

ISSN 1684 - 0089

Investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Vicerrectorado de Investigación
OFICINA GENERAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

Volumen 29 Número 1
Enero- Junio 2021

Ayacucho, Perú

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

Revista INVESTIGACIÓN

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Antonio JERI CHAVEZ

Rector

Hermelinda CALDERON GONZALES

Vicerrector Académico

Juan Ranulfo CAVERO CARRASCO

Vicerrector de Investigación

Editor

Mg. Elisa del Carmen García Bautista

Jefe de la dirección del instituto de investigación

Personal Administrativo

ISSN impreso N° 1684-0089

ISSN en Línea N° 2709 - 8583

Depósito Legal N° 2007-10457

Investigación

**Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
OFICINA GENERAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN**

Vol. 29 Número 1 - 2021



AYACUCHO - PERÚ

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

Revista *INVESTIGACIÓN*

Vol. 29 Número 1 Enero - Junio 2021

ISSN N° 1684-0089

DIRECTORES DE LAS UNIDADES DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2021

Rómulo Agustín Solano Ramos	:	Ciencias Agrarias
Edwin Portal Quicaña	:	Ciencias Biológicas
Luis Lucio Rojas Tello	:	Ciencias de la Educación
Oscar Américo Vallejos Sáenz	:	Ciencias Económicas, Administrativas y Contables
Mariela M. Llantoy Barboza	:	Ciencias Sociales
Alejandro G. Monzón Montoya	:	Ingeniería de Minas, Geología y Civil
Tarcila Alcarraz Alfaro	:	Ingeniería Química y Metalurgia
Lidia González Paucarhuanca	:	Ciencias de la Salud
Otoniel Paul Ochoa Roca	:	Derecho

OFICINA GENERAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

EDITOR

Mg. Elisa del Carmen García Bautista
Jefe de la dirección del instituto de
investigación

DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO

Ever Yhon Seras Palomino

CORRESPONDENCIA Y CANJE

Local Garcilaso de la Vega Jr. Arequipa N° 175 2do
Piso

Teléfonos (066) 315588-312510 anexo 118 Fax
066-313433

E-mail: investigaciones@unsch.edu.pe

Home page: <http://www.unsch.edu.pe>

<http://www.vriunsch.com/>

La Revista *INVESTIGACIÓN* de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (**Investigación: ISSN 1684-0089**), es una publicación científica abierta a la comunidad local, nacional e internacional sobre aspectos de ciencia, tecnología y humanidades, editada por la Dirección del Instituto de Investigación, tiene una periodicidad semestral. Los puntos de vista expresados por los autores son de su exclusiva responsabilidad.

EDITORIAL

La Dirección del Instituto de Investigación dependiente del Vicerrectorado de Investigación de la UNSCH, tiene el honor de presentar a la comunidad universitaria y sociedad en general, el volumen 29, numero 1 (Enero-Julio, 2021) de su revista de “Investigación” que contiene artículos originales pertenecientes a los docentes que realizaron investigación en las áreas de Ciencias Agrarias y Pecuarias, Ciencias Biológicas y Ambientales, Ingeniería de Minas, Geología y Civil, Ingeniería Química.

En estricta consideración a la ley N° 30220 - Ley Universitaria, que en su esencia, prioriza las labores de investigación, como una función principal y obligatoria del docente universitario; nuestra universidad. En concordancia a los principios y valores que inspiraron su propia creación, fomenta y promueve el desarrollo de sus conocimientos y el desarrollo tecnológico, en la aspiración latente de reducir la pobreza y ofrecer mayores y mejores oportunidades a la población del ámbito de nuestra influencia y la sociedad en general.

Conocedores de los múltiples obstáculos que circundan la labor de investigación, que van desde aspectos de subvaloración, tramites excesivamente burocráticos y otros; es pertinente reconocer y felicitar a los señores docentes que han podido arribar a las conclusiones, recomendaciones y artículos científicos de sus respectivos proyectos de investigación que nutren la presente publicación científica. Exhortamos a no desmayar en los esfuerzos de crear nuevos conocimientos que generen impactos positivos en la promoción de una mayor y mejor calidad de vida de nuestra sociedad

Mg. Elisa del Carmen García Bautista
Jefe de la dirección del Instituto
de investigación

Investigación

ISSN impreso N° 1684-0089
ISSN en Línea N° 2709 - 8583

OFICINA GENERAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

Jr. Arequipa N° 175, Ayacucho Perú

Vol. 29 Número 1 Enero –Junio 2021

CONTENIDO

EDITORIAL

ARTÍCULOS ORIGINALES

CIENCIAS AGRARIAS Y PECUARIAS

Identificación, caracterización y control biológico in-vitro de la pudrición radicular en <i>Persea americana</i> Mill – Ayacucho-2020. <i>Guillermo Carrasco Aquino, Germán de la Cruz Lapa</i>	11
Niveles de Harina de descarte de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> sweet) en remplazo de torta de soya en raciones de engorde en cuyes Uripa –Apurímac 2020. <i>Wilder s. Quijano Pacheco</i>	17
Rendimiento y calidad de trigo harinero con épocas de siembra y densidades de planta. Ayacucho, 2020. <i>José Antonio Quispe Tenorio</i>	25
Regulación de <i>Peronospora variabilis</i> con ecofungicidas en <i>Chenopodium quinoa</i> Willd., bajo sistema de labranza de conservación. Ayacucho. <i>Rolando Bautista Gómez</i>	37
Tipos de Abonamiento y época de siembra en el rendimiento del maíz morado (<i>Zea mays</i> L.), Ayacucho –2020. <i>Fortunato Álvarez Aquisé</i>	47
Prototipo didáctico de sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica - Unsch – 2020 <i>Carlos Augusto Castañeda Esquén</i>	57
Biosilíce foliar y edafico en la tolerancia del maíz morado a la salinidad, en laboratorio- Ayacucho. <i>Marhleni Cerda Gómez, Ramiro Quispe Palomino</i>	65

Granulometría de diatomita en el consumo de agua y rendimiento de tomate, en
secano. Ayacucho.

Alex Lázaro Tineo Bermúdez, Carlos Cabrera Carranza _____ 73

INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

Análisis espectral de datos georadar para la estimación de la distribución de
profundidad de bofedal en la microcuenca Apacheta, Región Ayacucho, 2020.

Moncada Sosa, Wilmer Enrique, Alex Miguel Pereda Medina, Lidia Jacova Verde
Rodríguez _____ 83

Estrés académico en estudiantes de educación de la Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga. _____ 91

Manuel Antonio Masías Correa, Juan José Cuadros López, Nilton Wilfredo Loyola
Verde _____ 91

Relación de la concentración de clorofila y reflectancia espectral de algunos cultivos
andinos de la provincia de huamanga, 2020.

Walter Mario Solano Reynoso, Renato Soca Flores, Noel Torres Huaripaucar _____ 97

Óxido conductor transparente para construcción de celdas solares cds/cdte.

Oswaldo Morales Morales, Kléber Janampa Quispe, Octavio Ceron Balboa, Julio Ore
García _____ 105

INGENIERÍA DE QUÍMICA Y METALURGIA

Reconstrucción y puesta en marcha de una mesa concentradora gravimétrica
construida en la UNSCH y determinación de variables óptimas de operación.

Pedro Inga Zarate, Luis Alberto Cossio Herrera, Robert
Álvarez Rivera, _____ 109

ARTÍCULOS ORIGINALES

CIENCIAS AGRARIAS Y PECUARIAS

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN Y CONTROL BIOLÓGICO IN-VITRO DE LA PUDRICIÓN RADICULAR EN *Persea americana* Mill-AYACUCHO-2020

Carrasco Aquino, Guillermo

Programa de Investigación en Cultivos Andinos (PICA), Área de Fitopatología

RESUMEN

Una de las enfermedades más importantes y de amplia distribución en *Persea americana* Mill es la pudrición radicular causada por el pseudo hongo *Phytophthora cinnamomi* Rands, cuyos síntomas son: decaimiento general de la planta, por este síntoma se le conoce comúnmente como la “tristeza del palto”, hojas pequeñas, clorosis generalizada acompañado de una marchitez, hay una progresiva defoliación y una proliferación de frutos pequeños. A nivel de raíces, las más afectadas son las raicillas que se tornan de un color marrón oscuro a negro y que son muy quebradizas.

La identificación y caracterización del agente causal se basó en las características culturales y morfométricas de la colonia purificada. Para la identificación a nivel de género se utilizó las claves de Plannts-Niterink (1981), Robertson (1980) y Erwin y Rebeiro (1996).

Para realizar la prueba de control biológico in-vitro se trabajó con tres biocontroladores: *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride* y *Bacillus subtilis*, de los cuales el que controló mejor al fitopatógeno fue el *Trichoderma harzianum*.

En tal sentido el objetivo del presente trabajo es, evidenciar al agente causal de la pudrición radicular en el palto en la Región de Ayacucho,

Palabra Clave: *cinnamomi*, *Trichoderma*

ABSTRACT

One of the most important and widely distributed diseases in *Persea americana* Mill is root rot caused by the pseudo fungus *Phytophthora cinnamomi* Rands, whose symptoms are: general decay of the plant, for this symptom it is commonly known as the "avocado sadness", Small leaves, generalized chlorosis accompanied by wilting, there is a progressive defoliation and a proliferation of small fruits. At the root level, the most affected are the roots that turn from a dark brown to black color and are very brittle.

The identification and characterization of the causal agent was based on the cultural and morphometric characteristics of the purified colony. For the identification at the gender level, the keys of Plannts-Niterink (1981), Robertson (1980) and Erwin and Rebeiro (1996) were used.

To carry out the in-vitro biological control test, three biocontrollers were used: *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride* and *Bacillus subtilis*, of which the one that best controlled the phytopathogen was *Trichoderma harzianum*. In this sense, the objective of this work is to demonstrate the causal agent of root rot in avocado in the Ayacucho Region.

Key Word: *cinnamomi*, *trichoderma*.

I.-INTRODUCCIÓN

El palto (*Persea Americana* Mill), es un frutal que en estos últimos tiempos cuenta con mucha demanda, debido a que se ha convertido en un cultivo de exportación, en tal sentido las áreas de cultivo se han ido incrementándose notablemente. Actualmente el palto se produce en los cinco continentes, en las zonas tropicales y subtropicales desde el nivel del mar hasta los 2800 msnm., aunque las mayores áreas se encuentran en América.

Actualmente América Latina y el Caribe son las principales regiones productoras de este cultivo a nivel mundial, puesto que México y Chile son dos de los mayores exportadores de palto sin embargo actualmente el Perú y Colombia vienen ascendiendo en este Mercado.

La pudrición de raíces en el palto puede ser ocasionado por varios fitopatógenos entre ellos el más importante es el ocasionada por especies de *Phytophthora*, los síntomas en muchas variedades de plantas se agravan cuando el suelo se satura por períodos prolongados, que determinan la pudrición de raíces ocasionada por *Phytophthora*. Esta condición de inundación del suelo se puede presentar por una mala práctica de riego, presencia de niveles freáticos altos, o bien por el uso de suelos de textura pesada, con drenaje deficiente.

Con el presente trabajo de investigación se pretende evidenciar al agente causal de la pudrición radicular en el palto en la Región de Ayacucho, con lo cual se recomendará las medidas adecuadas para su control, esto evitará que se

disminuya las pérdidas y una reducción en los costos de producción.

II.- MATERIALES Y MÉTODOS 2.1.- METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se está realizando en dos fases:

FASE I: Trabajo de campo

• Descripción de sintomatología en campo

Los síntomas de la enfermedad se analizaron in situ, observando minuciosamente los diferentes órganos afectados de la planta, describiéndolos y tomando fotografías.

• Recolección de muestras

Para la recolección de muestras se hizo mediante un muestreo dirigido, el cual consiste en sacar las muestras de aquellas plantas que muestran síntomas de la enfermedad, las muestras fueron mayormente tallos, hojas y raíces, el cual se colocaron en bolsas de polipropileno debidamente codificadas y se llevarán al laboratorio para su diagnóstico respectivo.

FASE II: Trabajo de diagnóstico en laboratorio

Esta fase se a realizado en el laboratorio de Fitopatología de la Escuela profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

• Aislamiento y Purificación del fitopatógeno

El aislamiento se realizado del material enfermo recolectado del campo, de las cuales se escogieron los más representativos, para lo cual se siguió la metodología rutinaria de laboratorio.

Para aislar el fitopatógeno, se han realizado los siguientes procedimientos preliminares:

- Esterilización de los materiales e instrumentos
- Preparación de soluciones para la des infestación
- Preparación de medios del cultivo
- Aislamiento de raíces
- Identificación y caracterización

• Prueba de control bilógico in-vitro

Para esta prueba se ha utilizado el método de la prueba dual o del enfrentamiento, para lo cual se han utilizado los biocontroladores más conocidos como son: *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride* y *Bacillus subtilis*.

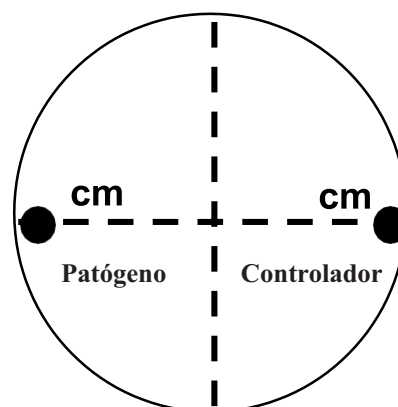
Para esta prueba se preparó el medio de cultivo CMA, donde se tuvo cuatro tratamientos con tres repeticiones, la forma de evaluar fue midiendo el ritmo de crecimiento de cada uno de los tratamientos.

Tabla 2.1. Tratamientos de la prueba de control biológico in vitro

TRATAMIENTO	FRENTAMIENTO
T1	Testigo <i>Phytophthora cinnamomi</i>
T2	<i>P. cinnamomi</i> vs <i>T. harzianum</i>
T3	<i>P. cinnamomi</i> vs <i>T. viride</i>
T4	<i>P. cinnamomi</i> vs <i>B. subtilis</i>

Metodología de la Prueba dual:

1. Se realizaron enfrentamientos entre el patógeno y aislamientos de los controladores biológicos como *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride* y *Bacillus subtilis*.
2. En una placa Petri conteniendo PDA; sobre la superficie del medio se colocó en un extremo, una rodaja de 4 mm de medio conteniendo micelio del patógeno y en el otro extremo otra rodaja del mismo diámetro con micelios del biocontrolador.
3. Para realizar las mediciones del crecimiento micelial del patógeno y del biocontrolador se trazó una línea horizontal y vertical en la parte inferior de la placa que sirvió de guía para tomar las medidas hacia el centro de la placa como se muestra en el siguiente gráfico:



Líneas de medición para el crecimiento micelial diario del patógeno y controlador en placa Petri

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A.- SOBRE LOS SÍNTOMAS DE LA ENFERMEDAD:

Los primeros síntomas en arboles infectados fue una clorosis generalizado luego un marchitamiento de la planta a consecuencia de la pudrición de raíces conocida como la tristeza del aguacatero (NEWELL G. 1994), el síntoma de marchitamiento es debido a que disminuye la absorción de agua y nutrientes, induciendo a la clorosis generalizada (Fig.Nº1), que finalmente causa defoliación. Estos síntomas se presentan en cualquier etapa fenológica de la planta. Al perder la vigorosidad el árbol infectado produce una proliferación de frutos pequeños que son generalmente abortados antes de su madurez y finalmente el árbol muere (Fig.Nº 2).

Este patógeno también invade la base del tronco y se desarrollan síntomas de cancro que llega a alcanzar de uno a dos metros de altura y que se caracteriza por presentar coloración de café claro a oscuras debajo de la corteza y exudaciones acuosas acompañadas en algunas ocasiones de gomosis y polvo blanco en la superficie del tronco. A nivel de plántulas de aguacate, *P. cinnamomi* produce necrosis y constricción del tallo (NEWELL G. 1994). En 1959, se observaron por primera vez en California, síntomas de cancro en árboles de macadamia y aguacate, donde los síntomas característicos fue a nivel de las raíces donde se produjo muerte de pelos radiculares el cual se puede observar que las raíces presentan un color marrón oscuro, de igual forma un descortezamiento característico de las raíces (Fig. 3 y 4).

En 1960 se comprobó que el agente causal del cancro en estos árboles era ocasionado por *P. cinnamomi* (Zentmyer et al., 1961 y Zentmyer, 1980). En Michoacán, México Ceja et al. (2000) reportan la incidencia de cancro en aguacate de 1 a 90%. Cuando *P. cinnamomi* infecta la base del tronco y producen un exudado característico de color blanquecino.



Fig. N° 1.- Síntoma de clorosis generalizada en el palto



Fig. N° 2.- Proliferación de frutos acompañada de marchitez de la planta

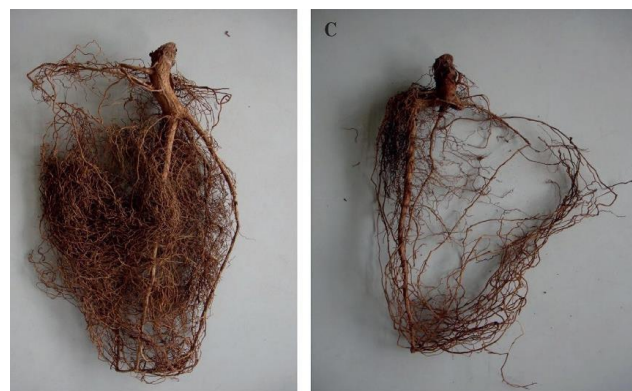


Fig. N° 3.- Diferentes grados de muerte de raíces y de pelos radiculares ocasionado por *Phytophthora cinnamomi*.



Fig. N° 4.- Necrosis a nivel de raíces con un descortezamiento de la misma

B.- RECONOCIMIENTO DEL AGENTE CAUSAL

Caracterización de las estructuras del Fitopatógeno

De acuerdo a los síntomas que se observaron en los diferentes árboles de palto de donde se extrajeron las muestras se presume que el agente causal de estos síntomas es *Phytophthora cinnamomi*, con la finalidad de corroborar la etiología se hizo la caracterización biométrica de las estructuras del patógeno.

El comportamiento de *P. cinnamomi* se debe en gran medida a las estructuras especializadas que posee, las cuales le confieren capacidad de dispersión en el ambiente y resistencia a condiciones adversas. El fitopatógeno hiberna en forma de oosporas, clamidosporas o micelio en el suelo o en las raíces que ha infectado. Una vez las condiciones son favorables, las oosporas y las clamidosporas germinan, mientras que el micelio prosigue su desarrollo y/o produce

zoosporangios que liberan zoosporas. Estas últimas nadan en el agua del suelo entorno a las raíces y de esta forma infectan a otras plantas, si éstas son susceptibles, el patógeno penetra por la punta de la raíz por medio de una prolongación hifal que penetra la superficie de las mismas. Este pseudohongo forma más micelio y zoosporas en climas húmedos y moderadamente fríos y con un mal drenaje del suelo, la enfermedad se disemina a otras plantas a través del contacto de raíz a raíz. En climas secos, cálidos e incluso demasiado fríos, este patógeno sobrevive en forma de oosporas, clamidosporas o micelio, con las cuales pueden iniciar nuevamente infecciones cuando las condiciones de humedad y temperatura se tornan favorables (Acosta, 2008; Collins et al. 2012). Las características de las principales estructuras son las siguientes:

Micelio: El micelio de *P. cinnamomi*, como estructura somática está compuesta por hifas cenocíticas (sin septos), toruloso, hialino, ramificado, con inchamientos hifales redondos, característicos de la especie. Prolifera dentro de la raíz, alimentándose de los azúcares y destruyendo los tejidos vegetales hasta la pudrición. El diámetro del micelio fue variable, oscilando entre 5 – 8 µm de ancho, posee dilataciones hifales esféricas con racimos de 42 a 60 µm de diámetro, que le dan un aspecto botrioso a coraliforme. Se mantiene viable entre 1 a 60 días, el crecimiento micelial en medios de cultivo PDA (Papa-Dextrosa-Agar), presentó un aspecto algodonoso blanquecino, en forma de camelia o coraliforme. (Fig.5 A y B).

Zoosporangios: Estructura de la reproducción asexual que puede germinar por elongación hifal directa o por fraccionamiento del citoplasma en compartimentos uninucleados que son liberados al ambiente como zoosporas por disolución del material de la pared del ápice. Pueden ser ovoides, ovopiriformes o elipsoides, con un ápice no papilado (engrosamiento apical sobreel esporangio) compacto, no caducos, su base fue redonda y estrecha, sujeta por una zona terminal. (Fig. N° 6). El tamaño promedio que se midió fue de 43.6 75 µm de largo y 25.9 - 47 µm de ancho, que están dentro del rango para esta especie, aunque tanto la forma como el tamaño varían con las condiciones ambientales y nutricionales. Pueden mantenerse viables por 3-42 días (Acosta, 2008; Castañeda, 2009; Schreier, 2013).

Zoosporas: Esta estructura de propagación son la clave de la diseminación y el establecimiento de la enfermedad, dado que son los principales propágulos infectivos del fitopatógeno, provienen de los zoosporangios, son de vida corta, frágiles y producidas en gran número; poseen movilidad a través de un flagelo anterior que le sirve para desplazarse con un movimiento sinusoidal y otro posterior liso que funciona como timón, son atraídas a los sitios de infección de las raíces por quimiotaxis desde una distancia de 3-4 mm y atacan la superficie más externa de las puntas de la raíz, ya que poseen una marcada habilidad para sintetizar una pared celular enquistada en pocos minutos, de la cual surge una elongación hifal. La pared celular luce intacta durante el proceso de infección, a excepción del punto de entrada del tubo germinativo, donde una pequeña lesión se hace evidente (Newell, 1994; Acosta, 2008).

Clamidosporas: Son estructuras de supervivencia que se forman abundantemente en cultivos y tejidos infectados bajo condiciones de crecimiento desfavorables, con un tiempo de vida medio de 84-365 días. Las clamidosporas de *P.*

cinnamomi tienen diámetros promedio de 40 a 135 µm, son de pared delgada (0.5 µm), globosas y muchas son de forma irregular, pueden presentar grupos de dos a tres por hifa de forma terminal, con apariencia similar a un racimo de uvas, o intercaladas en el micelio (Acosta, 2008; Castañeda, 2009).



Fig. N°5
A) Micelio cenocítico con hinchamientos hifales típico de *P. cinnamomi*
B) Colonia de *P. Cinnamomi* tipo coroloide o camelia en medio PDA.

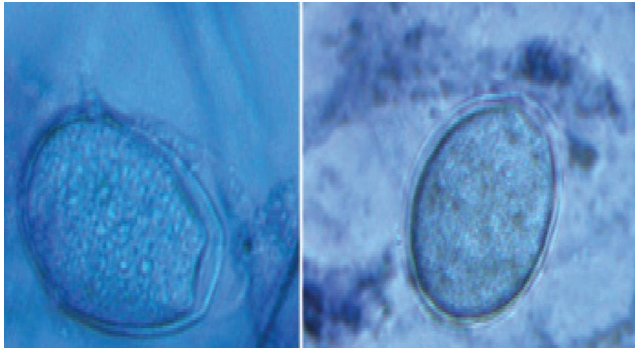


Fig. N° 6.- Zoosporangios de *P. cinnamomi* que es una estructura de reproducción asexual

C). - PRUEBA DE CONTROL BIOLÓGICO IN VITRO

En el cuadro N° 1, se observa los promedios de la velocidad de crecimiento en cm. de la prueba de control in-vitro; destacan el tratamiento T6 y T4; en el cuadro N°14 (ANVA), indica que hay diferencia altamente significativa entre los tratamientos.

Cuadro 1: Promedios de datos numéricos del control biológico in-vitro

	TRATAMIENTOS			
	T1	T4	T3	T2
medio	1.65	1.27	1.43	1.06

T1: Testigo <i>P.cinnamomi</i>	T3: <i>T.viride</i> vs <i>P.cinnamomi</i>
T2 <i>T. harzianum</i> vs <i>P.cinnamomi</i>	T4; <i>B. subtilis</i> vs <i>P. cinnamomi</i>

Cuadro 2: Análisis de variancia para la velocidad del crecimiento de *Pythium* frente al control biológico in-vitro.

F.D.V	G.L	S.C.	C.M.	Fc	Ft (0.05 , 0.01)
Tratamiento	3.0	0.751	0.250	78.32	3.49 , 5.95 **
Error	12.0	0.038	0.003		
Total	15.0	0.79			

CV = 5.23 %

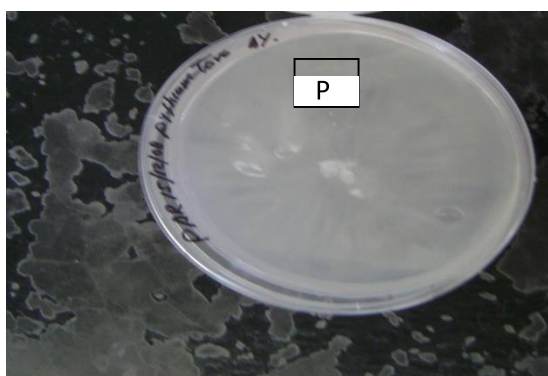
Según la prueba de Tukey (cuadro 3) los tratamientos (T6) mejores biocontroladores de *Pytophthora cinnamomi* *Bacillus subtilis* y (T4) *Trichoderma harzianum* fueron los

Cuadro 3: Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) de la velocidad de crecimiento en cm de *Pytophthora cinnamomi* frente al control biológico in vitro.

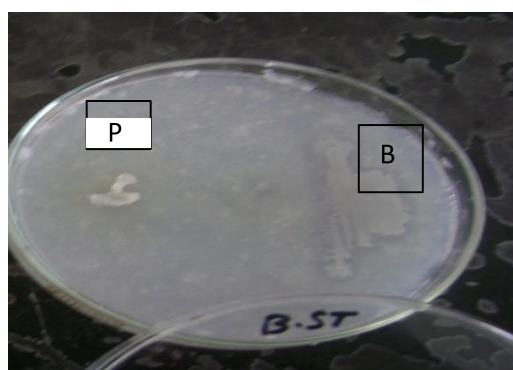
Tratamiento	Ritmo de crecimiento	Tukey
T1	1.65	a
T3	1.43	b
T4	1.27	c
T2	1.06	d

T1: Testigo *P.cinnamomi*

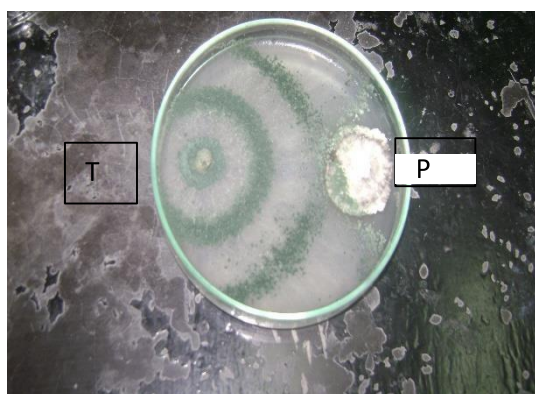
T5: *T. viride* vs *P. cinnamomi*



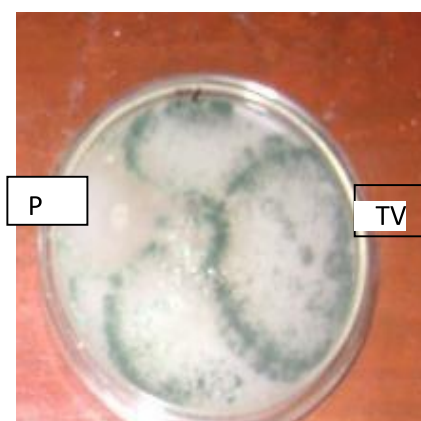
Testigo *P.cinnamomi* (P)



P.cinnamomi (P) y *Bacillus subtilis* (B)



T.harzianum (TH) VS *P.cinnamomi* (P)



T.viride (TV) *P. cinnamomi* (P)

Figura 7. Prueba de control biológico in-Vitro frente a *P. cinnamomi* como patógeno

Los resultados de esta prueba nos indican que se notó una efectividad hiperparasitaria de las especies de *Trichoderma*, el que tuvo mejor control fue el *Trichoderma harzianum*, ya que *Phytophthora cinnamomi* fue limitado significativamente en su crecimiento e incluso tuvo mayor competencia en espacio frente al fitopatógeno, ya que incluso llegó a colonizar encima del fitopatógeno en un periodo de 4 días (fig. 17). Por otro lado, en el enfrentamiento con *B.subtilis*, *Phytophthora cinnamomi* retardó en su crecimiento por lo tanto su desarrollo fue muy lento y la colonia se mostró no compacta, *Bacillus* no llegó a cubrir al fitopatógeno como lo observado en el caso del *Trichoderma harzianum*.

V.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- ABCAGRO. 2002. Agroinformación – El cultivo de palta – A b c A g r o . D i s p o n i b l e e n : http://www.abcagro.com/frutas/frutas_tropicales/palta.asp (consultado el día 8 de setiembre de 2017, a las 8:32 a.m.).
- 2.- Acosta I. 2008. Pruebas de tolerancia a *Phytophthora cinnamomi* Rands. en plántulas de aguacate criollo Mexicano (*Persea americana* Mill. var. *drymifolia*). Tesis Profesional no publicada, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.
- 3.- Agrios, G. N. 1995. Fitopatología. Segunda edición. Editorial Limusa S.A. De C.V.
- 4.- Agrios, G. N. 1997. Plant Pathology. Fourth. Edition American Press. San Diego, California, U.S.A. 635pp.
- 5.- AGROAREQUIPA. 2011. Producción Agraria: Cultivo de palto . D i s p o n i b l e e n : agroarequipa.blogspot.com/2011/08/cultivo-de-palto.html (consultado el 5 de setiembre de 2017, a las 10 a.m.).
- 5.- AGRODATA 2007. La revista agraria. Disponible en <http://www.cepes.org.pe/revista/agraria.htm> (consultado el día 8 de setiembre de 2017, a las 5:21 p.m.).
- 6.- Catalogue of life. 2017. *Phytophthora cinnamomi*. R e t r i e v e M a r c h 8 t h , 2 0 1 7 f r o m : <http://www.catalogueoflife.org/col/details/species/id/8798708/source/tree>.
- 7.- Castañeda E. 2009. Búsqueda de portainjertos de aguacate tolerantes-resistentes a *Phytophthora cinnamomi* Rands. Tesis de Doctorado no publicada, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.
- 8.- Erwin C. & Ribeiro K. 1996. *Phytophthora Diseases World-wide*. APS PRESS. The American Phytopathological Society St. Paul, Minnesota. 562p.
- 9.- Franciosi, R. 2003. El Palto, Producción, Cosecha y Post Cosecha. Ediciones Cimagraf. Lima - Perú. 225pp.
- 10.-Gamarra A. 2009. Lasiodiplodia en mango. Disponible en la página angeldiga2000@hotmail.com angeldiga2000@yahoo.com. Publicado el 08 de enero de 2013. Consultado el 23 de marzo del 2015.
- 11.- Gutiérrez, A. 2013. Manejo agronómico del Palto (*Persea americana*. Mill) variedad Hass en Chao-La Libertad. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú.
- 12.- Jaramillo S. 2003. Monografía sobre *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. Monografía. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- 13.- Mont Koc, R. 1993. Principios de control de las enfermedades de las plantas. Departamento de Sanidad Vegetal. U.N.A.M.L. Lima – Perú. 175pp.
- 14.- Newell G. 1994. The effect of *Phytophthora cinnamomi* on the habitat utilization of *Antechinus stuartii* in a victorian forest. Thesis for the degree of Doctor unpublished, Deakin University, Melbourne, Australia.

NIVELES DE HARINA DE DESCARTE DE TARWI (LUPINUS MUTABILIS SWEET) EN REEMPLAZO DE TORTA DE SOYA EN RACIONES DE ENGORDE EN CUYES URIPA – APURÍMAC 2020

Wilber Samuel Quijano Pacheco

wilber.quijano@unsch.edu.pe

Programa de Investigación en Pastos y ganadería de la UNSCH

Michael Yslachin Garcia

yslachingarciam@gmail.com

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar los niveles de harina de descarte de tarwi (*Lupinus mutabilis sweet*) en remplazo de torta de soya en raciones de cuyes de engorde para la evaluación productiva Uripa – Apurímac, se realizó en el galpón de cuyes del C. P. Challhuani, Distrito de Anco Huayllo Chincheros. La harina del subproducto de tarwi constituyeron granos de descarte y el proceso consistió en selección, limpieza, hidratación, cocción, enjuague y desamargado, secado y molido; se hizo 5 tipos de alimentos balanceados que reemplazó en 0, 25, 50, 75 y 100 % peso a peso a la torta de soya, se planteó bajo el Diseño Completo al Azar (DCA) con 5 tratamientos 3 repeticiones y 3 cuyes como unidad experimental, se utilizó 45 cuyes machos destetados, La evaluación duró 60 días, la dación diaria del forraje fue 10% de su peso vivo y del alimento ad libitum. Los resultados del análisis nutricional de la harina del tarwi humedad 8.52%, proteína 40.95, extracto etéreo 15.43%, fibra 8.34%, ceniza 3.95% y ELN 23.81%; en el rendimiento productivo para todos los parámetros evaluados (consumo, peso vivo, índice de conversión alimenticia y rendimiento de carcasa) de los 5 tratamientos no se encontró diferencia estadística ($P < 0.05$) pero si diferencia numérica, a favor de todos los porcentajes de reemplazo del tarwi. Pero mejor rendimiento con un 25% de reemplazo. En la retribución económicas posee mayor rentabilidad llegando desde un 4.03% (T!) hasta un 15.06%, con ello se abarata el costo de producción; en conclusión el tarwi es un ingrediente que reemplaza al uso tradicional de la torta de soya, se recomienda promocionar el cultivo del tarwi en las comunidades como una oportunidad de negocio.

Palabras claves: tarwi (*Lupinus mutabilis sweet*), engorde de cuyes, rendimiento productivo

LEVELS OF TARWI (LUPINUS MUTABILIS SWEET) DISCARD MEAL IN REPLACEMENT OF SOYBEAN CAKE IN FATTENING RATIONS IN GUINEA PIGS URIPA - APURÍMAC 2020

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the levels of tarwi (*Lupinus mutabilis sweet*) discard meal in replacement of soybean cake in rations of fattening guinea pigs for the productive evaluation Uripa - Apurímac, it was carried out in the guinea pig shed of CP Challhuani, District of Anco Huayllo Chincheros. The flour from the tarwi by-product constituted discard grains and the process consisted of selection, cleaning, hydration, cooking, rinsing and debittering, drying and grinding; It was made 5 types of balanced foods that replaced in 0, 25, 50, 75 and 100% weight by weight to the soybean cake, it was raised under the Complete Random Design (DCA) with 5 treatments 3 repetitions and 3 guinea pigs as a unit Experimental, 45 weaned male guinea pigs were used. The evaluation lasted 60 days, the daily feeding of the forage was 10% of its live weight and of the food ad libitum. The results of the nutritional analysis of tarwi flour moisture 8.52%, protein 40.95, ethereal extract 15.43%, fiber 8.34%, ash 3.95% and ELN 23.81%; In the productive performance for all the evaluated parameters (consumption, live weight, feed conversion index and carcass yield) of the 5 treatments, no statistical difference was found ($P < 0.05$) but there was a numerical difference, in favor of all the percentages of tarwi replacement. But better performance with 25% replacement. In the economic retribution it has higher profitability, reaching from 4.03% (T!) To 15.06%, thereby lowering the cost of production; In conclusion, tarwi is an ingredient that replaces the traditional use of soy cake, it is recommended to promote the cultivation of tarwi in the communities as a business opportunity.

Key words: tarwi (*Lupinus mutabilis sweet*), guinea pig fattening, productive performance

INTRODUCCIÓN

La alimentación en cualquier especie animal juega un papel importante porque dentro de los costos de producción, la alimentación representan un 70 a 80 % lo que influye directamente en la producción y rentabilidad de la crianza de cuyes, por lo que es necesario buscar diferentes fuentes alimenticias no tradicionales, que permitan ser incluidas en

la formulación de dietas que logren mejorar los índices de producción y rentabilidad. Dentro de muchos insumos proteicos vegetales, uno como alternativo es el tarwi (*Lupinus mutabilis sweet*) producto de nuestra región (Mujica y Sven (2006), es una especie que presenta período vegetativo corto, considerable producción anual, bajo costo, alto contenido proteico y energético, bondades que permiten utilizarlo como componente importante en la formulación de

alimentos balanceados para la producción animal (Tapia, 2015).

Además en el avance tecnológico en la crianza de esta especie, se notan muchos avances en la nutrición y la genética, haciendo que los requerimientos se incrementen y que alimentar sólo con forrajes hace que estos animales generen muchas deficiencias y es por ello que retrasan su crecimiento y alargan en tiempo su engorde haciendo en muchos casos una crianza muy costosa (Mises, L. y Quijano W., 2017).

Razón por la cual se presenta el presente trabajo de investigación que permitirá usar un producto producido en la región en reemplazo de uno tradicional. Por lo antes mencionado se tiene los Objetivos es determinar el rendimiento productivo (consumo de alimento, peso vivo, incremento de peso, índice de conversión alimenticia, rendimiento de carcasa) de los cuyes con la harina de descarte de tarwi (*Lupinus mutabilis* sweet) en reemplazo peso a peso de torta de soya en raciones de cuyes de engorde y determinar la inclusión de harina de descarte tarwi en reemplazo de a torta de soya para la retribución económica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se ejecutó en el galpón de cuyes del C. P. Challhuani, Distrito de Anco Huallo Chincheros. Se utilizó 15 pozas armado de material madera y mallas galvanizadas, cuyas dimensiones fueron de 0.6 x 0.5 x 0.5m de largo, ancho y altura respectivamente cada uno tuvo un comedero y un bebedero de arcilla. La harina del subproducto de tarwi se obtuvo de los centros de procesamiento, fueron granos de descarte y el proceso consistió en selección, limpieza, hidratación, cocción, enjuague y desamargado, secado y molido; con esto se preparó 5 tipos de alimentos balanceados (Tabla 1) que fueron los tratamientos y se reemplazó a la torta de soya en 0, 25, 50, 75 y 100 % peso a peso en inclusión en la ración, el trabajo se planteó bajo el Diseño Estadístico Completo al Azar (DCA) el cual tuvo 5 tratamientos con 3 repeticiones y 3 cuyes como unidad experimental, se utilizó 45 cuyes de 15 días de nacidos, todos machos, el periodo de evaluación fue 60 días, la dación del forraje fue el 10% de su peso vivo y el alimento ad libitum y agua a diario y fresco.

Tabla 1. Fórmula de la ración para cada tratamiento

	TESTIGO (%)	25% HDT	50% HDT	75% HDT	100% HDT
Pancamel	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2
Sub producto de trigo	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
Torta de soya	20	15	10	5	0
Maíz	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3
Harinilla de sub producto trigo	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
Pasta de algodón	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
Carbonato de calcio	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Grasa	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Premix	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Harina descarte de Tarwi	0	5	10	15	20
T o t a l %	100.05	100.05	100.05	100.05	100.05

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RENDIMIENTO PRODUCTIVO

En la Tabla 2, se muestra el resumen de los resultados del rendimiento productivo de los cuyes por efecto del reemplazo de la torta de soya por la harina del subproducto de tarwi en todo el proceso del trabajo

El comportamiento de pesos vivo e incrementos de peso de los cuyes durante el periodo de engorde con los tratamientos aplicados no mostraron diferencia significativa ($p < 0.05$), por tanto se puede afirmar que el uso de la harina del subproducto de tarwi en las cantidades incluidas en las raciones es igual, sin embargo se observa mejores resultados (Figura 1) pero numéricamente en los promedios en función al testigo, con el reemplazo del 25%.

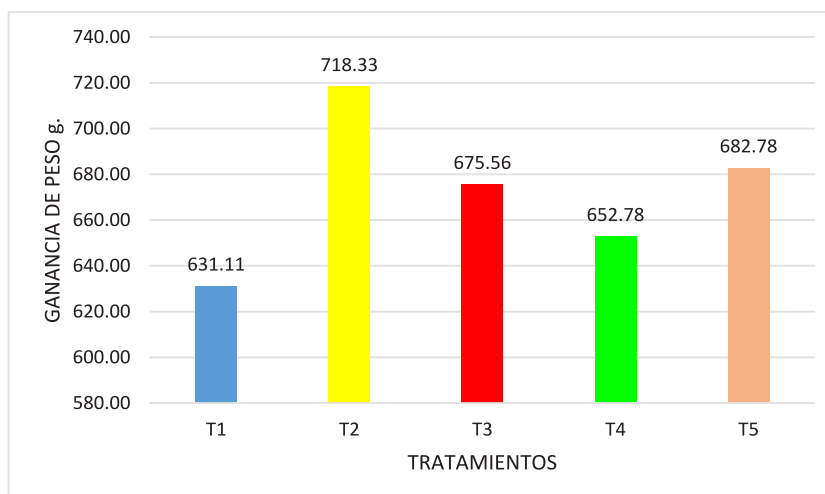


Figura 1. Efecto del tratamiento sobre la ganancia de peso

La velocidad de crecimiento que tuvieron los cuyes con cada tratamiento fue normal y se puede inferir que no hubo efecto negativo en la harina del subproducto de tarwi, por el contrario el animal aprovechó y pudo transformar en carne, la diferencia numérica en el incremento de peso entre los tratamientos posiblemente sea la digestibilidad y palatabilidad del alimento balanceado. Además este parámetro está en función de la calidad de alimento y del factor genético de los cuyes de acuerdo a la afirmación de Solórzano (2014).

Además, la diferencia numérica en el incremento de peso dentro de los tratamientos posiblemente se deba a la interacción entre la torta de soya y el tarwi en la digestibilidad y palatabilidad del alimento balanceado. Además este parámetro está en función de la calidad de alimento y del factor genético de los cuyes de acuerdo a la afirmación de Sarria citado por Solórzano, 2014. En consecuencia los tratamientos que interviene el tarwi se nota que posee mejor incremento de peso pero en el reemplazo con el 25% es mejor.

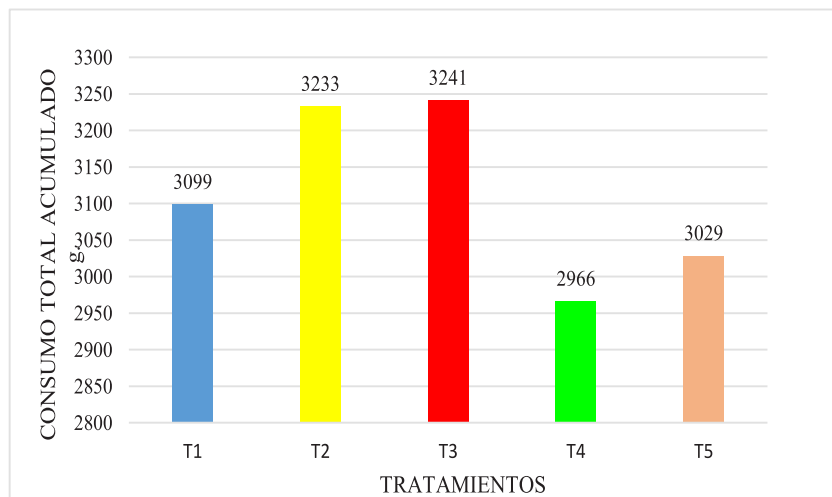
Tabla 2. Resumen de los parámetros evaluados por tratamiento

Rubro	T1	T2	T3	T4	T5
Peso inicial (g)	293.22	291.22	292.33	293.44	189.56
Peso final (g)	957.78a	1009.67a	967.56a	946.11a	972.11a
Ganancia de peso (g)	631.11a	718.33a	675.56a	652.78a	682.78a
Consumo de alimento (g)	3099a	3233a	3241a	2966a	3029a
Conversión alimenticia	4.91a	4.5a	4.8a	4.54a	4.44a
Rendimiento de carcasa (%)	70.83	73.22	72.16	71.83	72.58
Rentabilidad (%)	100.00	104.30	105.51	1154.46	115.06

Sobre el consumo de alimento (Tabla 2) al análisis de variancia no hay diferencia significativa entre tratamientos con diferentes niveles de inclusión de harina de tarwi; se intuye que es porque poseen características organolépticas, de palatabilidad y digestibilidad (proteína de 42% Navarrete., 2010). Además Aliaga (1979) menciona que los cuyes por su fisiología digestiva y anatomía aprovechan mejor la fibra y los demás nutrientes del alimento balanceado. A medida que la inclusión del tarwi reemplaza a la torta de soya mejora el consumo a medida que hay mayor

reemplazo.

Pese a que probablemente todavía presenten alcaloides la harina de tarwi, los cuales están estrechamente relacionados negativamente con el consumo voluntario y la aceptabilidad de los forrajes (García, 2005). Aun así los cuyes tuvieron un consumo normal en todas las semanas de experimentación. Demostrando así que los cuyes no tuvieron ningún problema de toxicidad hasta el 100 % de reemplazo, como lo afirmo Tapia (2015) que en el proceso de desamargado se concentra más la proteína y eleva la calidad de la harina del tarwi.



Comparación del consumo acumulado del alimento en los tratamientos.

Al comparar con Gallegos (2012) en el consumo total de materia obtuvo mayor consumo de alimento balanceado local de 4493.43 g y en el alimento balanceado comercial Cogorno 3899.27g, por otro lado Gutiérrez (2013) al comparar tres fuentes proteicas en el crecimiento y engorde de cuyes mejorados – Ayacucho incluyendo como insumo proteico harina de pescado (T1) torta de soya (T2) y harina de tarwi (T3) encontró que no hubo diferencia estadística, siendo similares al

El **Índice de conversión alimenticia** se presenta en la **Tabla 2**, los cuyes transformaron sus alimentos en ganancia de peso corporal con mayor eficiencia. El índice de conversión alimenticia resulto 3.75, 3.55, 3.92, 3.33 y 3.56 respectivamente para los tratamientos del 1 al 5; estos valores de índice de conversión alimenticia indican que para incrementar en 1 kg de su peso corporal requieren consumir esa calidad de alimento balanceado en kg de materia seca. Se observa, que el T2 resulto ser más eficiente en la alimentación de los cuyes, además los tratamientos con el reemplazo del tarwi están por debajo del testigo en eficiencia de conversión alimenticia, notándose el efecto de los componentes del tarwi en la alimentación de los cuyes frente a un ingrediente tradicional como es la soya. La característica organoléptica así como la biodisponibilidad de nutrientes (digestibilidad) y también al factor genético de los animales tiene un efecto directo en el consumo y ganancia

de peso; los cuales en conjunto dan como producto al índice de conversión alimenticia. Al respecto Rojas (1979) menciona que los alimentos de buena calidad son aquellos que presentan un balance de los nutrientes y estos son de alta digestibilidad y además poseen bajo contenido de fibra, esto se corrobora con los resultados del análisis químicos nutricionales que se realizó a la harina del tarwi, el cual posee un alto valor proteico y adecuado nivel de energía, además un contenido de fibra aceptable. De acuerdo a lo mencionado y a los resultados de índice de conversión alimenticia, estamos frente a un ingrediente alimenticio de calidad y de utilidad tanto como para monogástricos y poligástricos.

Al análisis de varianza para el índice de conversión alimenticia para todos los tratamientos del presente trabajo no mostraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$). Lo que significa que el reemplazo funciona dentro del alimento balanceado inclusive al 100%. Pero mejores índices se obtuvieron numéricamente a mayor reemplazo de la soya por el tarwi. En la figura 3 muestra los resultados promedios obtenidos en la conversión alimenticia en los cuyes alimentados con diferentes niveles de inclusión de harina descarte de tarwi, se obtuvieron distintos datos y resaltando tratamiento T2 (25% de reemplazo de la harina tarwi) y el tratamiento 4 (con el 75% de reemplazo de la harina tarwi) se obtuvo mejores promedios de la conversión alimenticia.

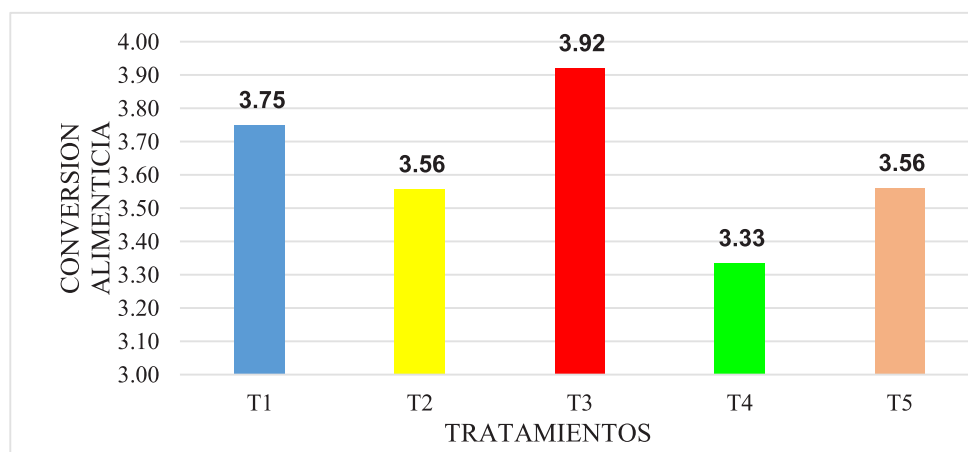


Figura 3 Índice de conversión alimenticia para los diferentes tratamientos.

Al realizar las comparaciones de la conversión alimenticia con otros trabajos tenemos a Pozo y Quijano (2016) con 3.64, 3.50, 3.65, y 3.76 índices menores a los encontrados y similares a Gutiérrez (2013) con índice de conversión alimenticia en T1 de 3.9, T2 3.7 y T3 3.6, en cambio Ruiz y Quijano (2017) obtuvieron resultados mayores (4.58 y 4.02) al obtenido en el presente trabajo. Además Navarrete (2010) menciona que el tarwi posee aminoácidos relativamente estables haciendo una proteína de alta calidad.

El rendimiento de carcasa

Los resultados se muestran en la Tabla 2. Con este parámetro se determinó exactamente cuánto transformó el alimento en carne, este es el parámetro

más real para determinar la eficiencia del alimento. Para el cuál se benefició 2 cuyes al azar de cada tratamiento, siendo seleccionados al azar de las repeticiones, esta actividad se realizó al día 56. La carcasa del cuy incluye cabeza, patas, hígados y pulmón, en este caso se tomó la carcasa en frío con 6 horas después de beneficiado

Se observa una diferencia de un tratamiento a otro, obteniéndose el rendimiento de carcasa de 70.83, 73.22, 72.16, 71.83 y 72.58% (Figura 4) para los tratamientos del 1 al 5; obteniendo el mejor rendimiento de carcasa con el tratamiento 2 al 25% de reemplazo a la torta de soya. Siendo en este nivel donde los nutrientes fueron aprovechados con mayor eficiencia para convertirse en carne.

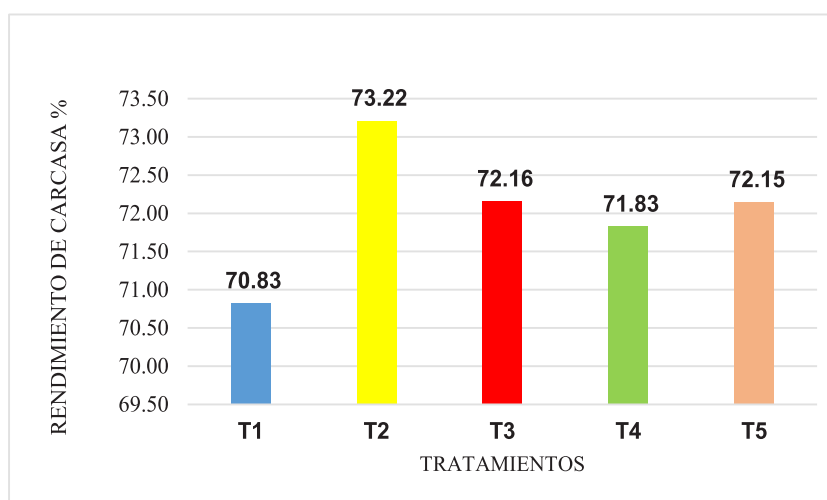


Figura 4 Comparación del rendimiento de carcasa para los 5 tratamientos.

Del gráfico 4 se observa al comparar los promedios de La relación del rendimiento de carcasa en función del peso vivo nos muestra la eficiencia en transformar el alimento en carne, que es la parte económica real del producto final que representa. Como se mencionó el cuy se vende por unidad y el costo es el mismo, pero si el valor económico fuera por peso y el cuy se vendiera por kg habría mayor beneficio para el tratamiento 2 por obtener mejor rendimiento de carcasa.

Para la retribución económica de la harina de descarte tarwi en reemplazo de a torta de soya en raciones de cuyes de engorde.

Se determinó el costo de producción de cada cuy y se observa a medida que se reemplaza la torta de soya se abarata los costos, estos son los costos actualizados, en cambio Pozo y Quijano (2017) determinaron costos menores al presente trabajo que van desde 11.312 a 12.05 soles que puede deberse a costos de ese periodo de prueba.

Para determinar la rentabilidad, como se sabe en nuestra región el cuy se vende por unidad y al mismo precio desde los 750 g a más de un kilo de peso vivo y este precio de venta es de 20 soles la unidad. Asimismo Sarria (2011) menciona que el peso de venta de los cuyes está en el rango de 700 a 900g. en el trabajo todos los tratamientos superaron.

La rentabilidad del uso de la harina del subproducto de tarwi, teniendo como referencia el 100% de uso de la torta de soya y como se observa a medida que se reemplaza con la harina del tarwi este posee mayor rentabilidad llegando hasta un 15.06% con el tratamiento 5 que es el 100% del reemplazo de la harina del tarwi. Con ello se puede inferir por el valor nutricional que posee la harina del tarwi es un buen ingrediente proteico en nuestra región que bien puede reemplazar a la torta de soya por ser un producto que importa el Perú en volúmenes grandes, lo que queda es tratar de promocionar su producción haciendo ver que existe un mercado potencial..

Determinación del valor nutritivo de la harina descarte de tarwi

En la Tabla 3 muestra los resultados porcentuales del análisis químico nutricional de la harina de tarwi y del conjunto de alimentos utilizados en cada tratamiento.

Según análisis bromatológico se obtiene el siguiente resultado de la harina de descarte de tarwi y de los tratamientos; observándose que la proteína bruta (PB) y extracto etéreo (EE) de la harina de descarte de tarwi son 40.95 % y 15.43 % respectivamente. En el tratamiento cinco T5 se observa el mayor porcentaje de proteína bruta (PB) de

18.5 % y extracto etéreo (EE) de 3.78 %, este tratamiento tiene el 100 % de inclusión de harina de descarte de tarwi con 0 % de presencia de torta de soya. Los niveles de proteína y el

extracto etéreo aumentan proporcionalmente cuando el nivel de inclusión de harina de descarte de tarwi aumenta.

Tabla 3. Análisis porcentual químico nutricional del tarwi y de los alimentos por tratamiento.

NUTRIENTE	TARWI	T1	T2	T3	T4	T5
HUMEDAD	8.52	8.2	8.5	9.2	8.9	9.1
MATERIA SECA	91.48	91.8	91.5	90.8	91.1	90.9
PROTEINA	40.95	17.8	17.9	18.1	18.2	18.5
EXTRACTO ETEREO	15.43	2.89	3.41	3.5	3.72	3.78
FIBRA	8.34	7.3	7.21	6.95	7.21	7.25
CENIZA	3.95	4.7	4.73	4.68	4.79	4.92
ELN	23.81	59.98	58.25	57.57	57.18	56.45

ELN = Extracto libre de nitrógeno. Fuente: Laboratorio LENA-UNALM

Del cuadro 3 se presenta el porcentaje de proteína para cada tratamiento, los cuales están en este rango de 17.80 % - 18.5 %; el cual cumple con lo recomendado por la NRC (1995); para el proceso de crecimiento y engorde del cuy. Por otro parte, Torres (2006) indica que al alimentar cuyes con dietas mixtas (alimento balanceado y forraje) de 15 y 18 % de proteína, se obtienen mejores resultados de ganancias de pesos.

Del análisis químico nutricional de la harina de descarte de Tarwi se encontró el 40.95 % de proteína, valores casi similares con que coincide con Navarrete (2010), Afirma que la semilla de tarwi posee un contenido promedio de 42% de proteína y en algunos ecotipos llegan hasta casi el 50%. En cambio Garay (2015) encontró mayor porcentaje de proteína de 44.3 %, e Irigoien (2016) determinó 49.92% de proteína. Al comparar con la soya Gross (1982) determinó que la soya posee 33.4%, valores menores que el tarwi.

La grasa en el tarwi es alto con 15.45% son del tipo de grasa insaturada y que es bueno para la alimentación animal Garay (2015) reportó 16.66% de extracto etéreo. En cambio Gross (1982) determinó 16.4% de grasa para la soya, valores también menores que el tarwi.

El contenido de fibra presenta 8.34 %, siendo menor a lo reportado por Garay (2015) con 7.1% es un nutriente bajo en fibra y que bien puede usarse en todos los animales principalmente monogástricos.

Para la composición de ceniza, ELN se coincide con lo reportado por garay (2015) además junto con Navarrete (2010) mencionan que es una leguminosa que, para poseer todos los componentes biodisponibles debe ser

desamargado mediante la cocción del grano y extraer todo los alcaloides que posee.

Se concluye que, para todos los tratamientos resultaron no significativos en todos los parámetros productivos (consumo, peso vivo, ganancia de peso, índice de conversión y rendimiento de carcasa) haciendo que cualquiera de las raciones propuestas en la alimentación de los cuyes con la harina de descarte de tarwi (*Lupinus mutabilis*) en remplazo peso a peso de la torta de soya se puede utilizar para la alimentación de los cuyes, sin embargo numéricamente resultó mejor el tratamiento 2 con el reemplazo de 25% a la soya y todos los tratamientos que incluye el tarwi; y en la retribución económica, a medida que se reemplaza con la harina del tarwi este posee mayor rentabilidad llegando desde un 4.03% (T1) hasta un 15.06% con el tratamiento 5 que es el 100% del reemplazo de la harina del tarwi. Este es un producto que fácilmente puede reemplazar a la soya, solo queda promocionar su siembra. Se recomienda promocionar la siembra del tarwi con fines de uso en la alimentación de animales y con ello desarrollar esta actividad de forma comercial.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.

AGUIRRE, G. (2004). Los granos Andinos: Quinua (*Chenopodium quinoa* W.), Chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) y el amaranto o ataco (*Amaranthus* spp) en el Ecuador. XI CONGRESO INTERNACIONAL DE CULTIVOS ANDINOS.

- ALIAGA, L. 1979. Producción de Cuyes. UNCP. Huancayo–Perú.
- BLANCO, G. O. 1981. Tarwi curso de cultivos andinos. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho.
- CAMARENA, F 1997. Cultivo de tarwi. IX congreso internacional de cultivos andinos. Cuzco–Perú.
- CAMARENA, F; HUARINGA, A; JIMENEZ, J; MOSTACERO E. (2012). Revaloración de un cultivo subutilizado: Chocho o Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). Universidad Nacional Agraria de La Molina – Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.
- CHAUCA, L. 1999. Curso: Crianza Tecnificada de cuyes. Producción de Cuyes. Convenio INIA-COSUDE. Ayacucho.
- DAVILA, J. 1987. El lupino como alimento humano proteína y aceite Ambato, Ecuador. Edit. CONACYT.
- GARCÍA, D. (2005). “Principales factores antinutricionales de las leguminosas forrajeras. Formas de cuantificación”. Tesis presentada en opción al grado científico de Máster en pastos y Forrajes. Estación experimental Indio Hatuey. Matanzas. Cuba.
- GROSS, R. 1982 “El cultivo y la utilización del tarwi (*Lupinus mutabilis*), agencia alemana de corporación técnica. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación, Roma-Italia.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO). 1997. “Producción de cuyes”. Santiago de Chile. Oficina Regional de la Producción Vegetal. Pág. 2-10.
- MIESES L. Y QUIJANO, W. 2017. Efecto de cocción y tostado de la harina del sub producto de tara en raciones de cuyes de engorde (*Caesalpinia spinosa*) 2694 msnm. Tesis de ingeniero Agrónomo. UNSCH.
- MUJICA, A.; SVEN, E. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. Universidad Nacional del Altiplano. Puno- Perú
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995. Nutrient requirement of laboratory animals. Publication N° 990. 4th. Ed. Washington D. C.: NCR
- NAVARRETE, P.; ROBLEDO, R.; MORA, E.; DAVILA, O. (2010). Alkaloids composition of *Lupinus campestris* from Mexico. J. Food Biochem.
- POZO T. Y QUIJANO, W. 2016. Harina de cacuay (*Eritrina berteroa*) en el rendimiento productivo de cuyes en engorde Ayacucho. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. UNSCH.
- ROJAS, S. 1979. Nutrición animal aplicada. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- SARRIA, J. 2011. El cuy, crianza tecnificada. Manual técnico en cuyicultura n.º 1. Lima: Oficina Académica de Extensión y Proyección Social de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
- SOLÓRZANO, A. y SARRIA, B. 2014. Crianza, producción y comercialización de cuyes. Editorial MACRO. Lima, Perú.
- TAPIA, M. E. 2015. El tarwi, lupino Andino tarwi, tauri o chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) FIP 1ra Edición Áncash-Perú.
- TORRES, A. 2006. Evaluación de dos niveles de energía y proteína en el concentrado de crecimiento para cuyes machos. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TRIGO HARINERO CON ÉPOCAS DE SIEMBRA Y DENSIDADES DE PLANTA. AYACUCHO, 2020

José Antonio Quispe Tenorio

Programa de Investigación en Cultivos Alimenticios Área de Mejoramiento Genético de Plantas
Línea de Investigación: Trigo
jose.quispe@unsch.edu.pe

RESUMEN

Se estudiaron épocas de siembra y densidades de planta m⁻² en trigo harinero INIA 436 Huamanguino (*Triticum aestivum* L.), con el objetivo de evaluar componentes de rendimiento y calidad de grano en Canaán a 2735 msnm, Ayacucho. La unidad experimental fue una parcela de 6 surcos, 2 m de largo, 0.4 m entre surcos. Se delinearon 13 tratamientos mediante el diseño central compuesto rotatable con los factores, épocas de siembra y densidad de plantas, en campo se usó el diseño bloques completos al azar con 13 tratamientos y 3 bloques. No se encontró diferencia significativa entre tratamientos en los caracteres altura de planta, longitud de espiga y número de espiguillas por espiga, siendo los promedios de 77.00 cm, 94.31 mm y 17.74 unidades respectivamente. El número de macollos por planta varío entre 1.433 a 5.500 para los tratamientos t11 (19 días, 250 plantas m⁻²) y t07 (19 días, 100 plantas m⁻²) respectivamente, con diferencia significativa. El número de espigas por planta varío entre 1.200 a 4.867 para los tratamientos t11 (19 días, 250 plantas m⁻²) y t07 (19 días, 100 plantas m⁻²) respectivamente, con diferencia significativa. La época de siembra que permite un máximo rendimiento es el 22 de noviembre, con un rendimiento de 8.879 t ha⁻¹, para una densidad de 250 plantas m⁻². El peso de 1000 semillas varío entre 24.19 a 75.86 g para los tratamientos t04 (19 días, 250 plantas m⁻²) y t01 (6 días, 144 plantas m⁻²) respectivamente, con diferencia significativa.

Palabras clave. Trigo harinero, época de siembra, densidad de plantas, rendimiento.

ABSTRACT

YIELD AND QUALITY OF FLOUR WHEAT WITH SEEDING TIMES AND PLANT DENSITIES. AYACUCHO, 2020

Sowing times and plant densities m⁻² were studied in INIA 436 Huamanguino bread wheat (*Triticum aestivum* L.), with the objective of evaluating yield components and grain quality in Canaán at 2735 masl, Ayacucho. The experimental unit was a plot of 6 rows, 2 m long, 0.4 m between rows. Thirteen treatments were delineated through the rotatable composite central design with the factors, planting times and plant density, in the field the randomized complete blocks design with 13 treatments and 3 blocks was used. No significant difference was found between treatments in the characters plant height, spike length and number of spikelets per spike, with averages of 77.00 cm, 94.31 mm and 17.74 units respectively. The number of tillers per plant varied between 1,433 and 5,500 for treatments t11 (19 days, 250 plants m⁻²) and t07 (19 days, 100 plants m⁻²) respectively, with a significant difference. The number of spikes per plant ranged from 1,200 to 4,867 for treatments t11 (19 days, 250 plants m⁻²) and t07 (19 days, 100 plants m⁻²) respectively, with a significant difference. The sowing time that allows maximum yield is November 22, with a yield of 8,879 t ha⁻¹, for a density of 250 plants m⁻². The weight of 1000 seeds varied between 24.19 to 75.86 g for treatments t04 (19 days, 250 plants m⁻²) and t01 (6 days, 144 plants m⁻²) respectively, with a significant difference.

Keywords. Bread wheat, sowing time, plant density, yield.

I. INTRODUCCIÓN

El trigo se produce en 20 regiones del Perú, las regiones de mayor producción son: La Libertad, Cajamarca, Cuzco, Arequipa, Ancash, Huánuco, Junín, Piura y Ayacucho. Entre los años 2009 a 2018, la producción nacional paso de 230111 a 191109 toneladas, representó 17 % de disminución. En la región Ayacucho la producción paso de 10744 toneladas en el año 2009 a 14169 en 2018, representó 32 % de incremento. El promedio de superficie cultivada en Ayacucho de los últimos

10 años fue de 9483 hectáreas, ocupando el séptimo lugar. Sin embargo en Ayacucho, se registraron los más bajos rendimientos, variaron de 789 a 1451 kg ha⁻¹

¹ entre los años 2011 a 2018, en este periodo los mayores rendimientos se dieron en las regiones Lima Metropolitana, Arequipa y Tacna con 7550, 6724 y 2710 kg ha⁻¹

¹ respectivamente (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2020). Por estas consideraciones se deduce que a nivel nacional se presenta disminución en la producción de trigo y por tanto los incrementos en las importaciones, sin embargo, en la región Ayacucho se

percibe un incremento en la producción en los últimos años, en concordancia con la tradición triguera de esta zona.

La Estación Experimental Agraria Canaán – Ayacucho del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA Ayacucho) ha producido la variedad de trigo harinero INIA 436 Huamanguino, de alta productividad, 4.53 t ha⁻¹ en campo de agricultores, siendo su época de siembra en campaña grande entre noviembre y diciembre y en campaña chica entre junio y julio. Particularmente en el trigo INIA 436 Huamanguino, no se tiene conocimiento de los efectos de ambas épocas de siembra y densidades de planta en el desarrollo, componentes de rendimiento y calidad de grano, en las condiciones de Ayacucho.

El objetivo general fue evaluar el efecto de cinco épocas de siembra y cinco densidades de planta por metro cuadrado, en los componentes de rendimiento y calidad de grano de trigo en la variedad INIA 436 Huamanguino, en las condiciones de Canaán a 2735 msnm, Ayacucho.

La época de siembra o momento oportuno de siembra de un cultivo, depende de los factores, clima, especie, plagas y enfermedades, comercialización y objetivo del cultivo.

En el aspecto climático se consideran condiciones meteorológicas e hidrológicas, tratando de hacer coincidir las exigencias agro ecológicas de los cultivos con las condiciones ambientales. En la sierra la época de siembra en campaña grande se practica entre octubre y diciembre, las precipitaciones van de octubre hasta marzo, la época en campaña chica está determinada por la disponibilidad de agua y se practica entre junio y julio.

En la variedad de trigo INIA 436 la época de siembra en campaña grande entre noviembre y diciembre y en campaña chica entre junio y julio. La presencia de plagas, enfermedades, a menudo obligan a modificar las fechas de siembras con la finalidad de eludir la acción perjudicial de estos factores. La comercialización tiene implicancia económica, las siembras también se realizan de acuerdo a precios y requerimiento de mercado. La época de siembra varía con el órgano vegetal a usarse o el estado de madurez como se va a cosechar. (Cerna, 2007; Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2020).

Las épocas de siembra planteados en el presente experimento son: 17 noviembre, 23 noviembre, 6 diciembre, 19 diciembre, 25 diciembre, consideradas en campaña grande. La densidad de plantas es el número de plantas implantadas por unidad de superficie de suelo, depende de la condición física del

suelo, humedad y temperatura, cantidad y tipo de residuos, también es afectada por la población objetivo. A medida que aumenta la población objetivo el % de implantación se reduce. Ese efecto es atribuible a un fenómeno de autotoxicidad del que hay evidencia en trigo y cebada. Las semillas de estas especies producen sustancias tóxicas para controlar la población inhibiendo la germinación. (García, 2017)

En el presente experimento se planteó la siembra de 100, 144, 250, 356 y 400 plantas/m².

Abbate y Divito (2017) refieren:

Durante el ciclo del cultivo ocurren dos procesos simultáneos: crecimiento y desarrollo. El crecimiento involucra aumento de la biomasa, mientras que el desarrollo hace referencia a la sucesión de estados morfológicos o fisiológicos que se presentan durante el ciclo de vida del cultivo. Ambos procesos están regulados genéticamente e influenciados por el ambiente. Por ello, el patrón de crecimiento y la sucesión de los estados de desarrollo (fenología) puede diferir entre variedades y, dentro de ellas, según las condiciones ambientales. (p. 22)

El rendimiento del grano ("rendimiento") y sus componentes es la expresión definitiva de muchos procesos fisiológicos individuales que han interactuado con el clima y el medio ambiente durante el ciclo de crecimiento del cultivo: número de espiga m⁻² (SNO; número de planta m⁻² × macollos fértiles por planta), número de granos m⁻² [GNO; número de espiga m⁻² × granos por espiga (espiguillas por espiga (SPS) × granos por espiguilla)] y, peso de mil granos (TGW; g). Aunque la determinación se realiza típicamente en muestras recolectadas destructivamente, algunas evaluaciones en campo también son posibles. Los tres componentes del rendimiento se desarrollan secuencialmente durante el desarrollo del cultivo: primero SNO, luego GNO, y finalmente el peso del grano. (Pietragalla & Pask, 2012)

Por otra parte, García (2017), considera que el rendimiento del trigo se construye a partir del número de granos por unidad de área y el peso de los granos. El número de granos = plantas m⁻² x espigas planta⁻¹ x espiguillas espiga⁻¹ x granos espiguilla⁻¹. Un rendimiento puntual se puede obtener con diferente combinación de los componentes debido a los fenómenos de compensación. El número de granos logrado está estrechamente relacionado al rendimiento y es muy dependiente de las prácticas agronómicas, en tanto el peso de los granos depende más de las condiciones climáticas durante su formación. El aumento en el número de granos no se traduce en forma directa en rendimiento; en parte porque al incrementar los granos formados es mayor la competencia y tienden

a ser más chicos. Otra causa posible es que, con poblaciones de espigas altas, la proporción de granos que provienen de zonas distales de la espiga, que son de menor tamaño, es mayor que la de los originados en el medio de la espiga (más pesados). Una importante práctica agronómica consiste en usar densidades de planta y las condiciones ambientales de crecimiento y desarrollo del cultivo siempre están asociadas a la época de siembra, el rendimiento y calidad de grano no es el mismo cuando los dos factores interactúan.

Hernández, Soto y Plana (2015), evaluaron la influencia de tres fechas de siembra (noviembre de 2008, diciembre de 2009 y enero de 2010) sobre el crecimiento y rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.) cv 10-TH4, en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José de las Lajas, Mayabeque – Cuba, a 230 01' N y 820 08' W, a 138 msnm, en un suelo Ferralítico rojo compactado hidratado. Se determinó la masa seca total de la parte aérea, el Índice de Área Foliar (IAF) y el rendimiento, ajustándose los datos a un modelo exponencial polinómico de segundo grado, estando los coeficientes de determinación (R^2) entre 0.90 y 0.99; a partir de las ecuaciones de regresión se calculó la tasa absoluta de crecimiento (TAC) de masa seca de la parte aérea, encontrándose una mayor acumulación de materia seca en la fecha de siembra de enero de 2010, la cual fue mantenida durante todo el ciclo reproductivo del cultivo. La dinámica del IAF y la TAC mostraron un comportamiento similar al de la masa seca, indicando que valores máximos de estos indicadores y sobre todo que estos se mantengan durante mayor período de tiempo implican mayores rendimientos. En este caso el experimento se comprueba que el incremento de los rendimientos está asociado a una época donde ocurren la mejor performance de IAF y TAC durante el ciclo reproductivo del trigo, ocurriendo esto en siembras del mes de enero en las condiciones de San José de las Lajas, Mayabeque – Cuba, a 230 01' N y 820 08' W, a 138 msnm, lugar en el hemisferio norte.

Mosanaei, Ajamnorzi, Reza, Abolfazieh, & Ressarakli (2017), refieren, que todos los rasgos cuantitativos (altura de la planta, longitud de la espiga, número de semillas por espiga, número de espiguillas por espiga, peso de 1000 semillas, rendimiento de grano, rendimiento de paja, rendimiento biológico e índice de cosecha) y rasgos de calidad (rendimiento y contenido de proteínas, contenido de nitrógeno, rendimiento y contenido de almidón) fueron significativamente diferentes en diferentes años.

En el cultivo de trigo, se observa que el número de plantas establecidas por área a menudo es menor que la cantidad de semillas viables utilizadas, lo que puede estar relacionado con las condiciones ambientales como con el vigor de las semillas. Abati, Brzezinski,

Zucareli, Simoneti, & Henning (2018), estudiaron dos niveles de vigor de la semilla (alto y bajo), dos densidades de siembra (200 y 400 semillas viables por m^2) y tres cultivares de trigo (BRS Sabiá, BRS Gaivota y BRS Gralha Azul), conducidos en dos lugares (Londrina y Ponta Grossa). La densidad de siembra de 200 semillas por m^2 conduce a una mayor producción de materia seca aérea por planta en las etapas de encañado y emergencia de inflorescencia. El rendimiento de grano de los cultivares no es el mismo entre lugares. Las semillas de alto vigor favorecen el establecimiento de plantas, el crecimiento y desarrollo de las plantas en las etapas fenológicas iniciales y la productividad de los granos de trigo.

Fraschina (2017), refiere:

El ambiente y la interacción entre este y la variedad pueden modificar la expresión de caracteres que son importantes para la calidad del trigo, por ejemplo, modificando el contenido de proteína y la relación entre gluteninas y gliadinas. El contenido y tipo de almidón en trigo resulta más estable que el de proteína.

La acumulación de proteína en el grano de trigo depende principalmente de la *disponibilidad de N* durante los momentos críticos del cultivo, de la variedad utilizada y de la temperatura durante el llenado de los granos. A una temperatura media de 18°C durante el llenado de grano, primero se depositan albuminas y globulinas, después gliadinas y más tarde lo hacen las gluteninas (Stone y Savin, 1999). De esto surge que el peso molecular de las proteínas que se almacenan va aumentando durante el llenado, y así también progresa la aptitud panadera que tendrá la harina resultante. Esta dinámica indica que, de acuerdo al momento en que ocurra algún tipo de estrés durante el llenado, el efecto sobre la calidad será diferente. (p. 60) La calidad del grano trigo está asociada a su uso en la panificación, los trigos de endospermo duro (*Triticum aestivum* L.) son calificados para este propósito (Finnie et al., 2016 mencionado por Rozo, 2019). La norma XX de calidad para la comercialización de trigo pan describe la utilización de tipos duros y semiduros de trigo. Esta norma está clasificada en grados del uno al tres, que varían en sus exigencias, siendo el grado uno el más exigente y el grado tres el de menor exigencia; dentro de los parámetros establecidos en esta norma para la recepción de los granos se encuentran el peso hectolítrico, rasgos y/o características físicas del grano por factores externos abióticos y bióticos, así como presencia de otras especies que perjudican la calidad. A su vez, la norma otorga bonificaciones y rebajas de acuerdo a la clasificación y el contenido de proteína en grano, incluyendo un análisis de aptitud panadera.

INIA (2020), refiere las características morfológicas

del trigo harinero INIA 436 Huamanguino. Macollamiento: regular, tipo de espiga: aristada, densidad de espiga: intermedia, color de grano: amarillo ambar, N° promedio granos espiga⁻¹: 45.0, peso hectolítico: 78 kg hl⁻¹, peso de mil granos: 49.80 g, altura de planta: 85.00 cm, días a espigado: 77 días a madurez: 160, rendimiento promedio en campo de agricultores: 4.53 t ha⁻¹.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del experimento

El experimento se instaló en el Centro Experimental Canaán de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, ubicado a 3 km de la ciudad de Ayacucho, distrito Andrés Avelino Cáceres, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, latitud 13°10'09" S, longitud 74°32'82" O y a 2735 msnm.

2.2. Material genético

La variedad de trigo harinero INIA 436 Huamanguino tiene el siguiente origen y genealogía (INIA, 2020)

Proviene del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)

- Línea: PRINIA / JUN / 3 / HE1 / 3 * CNO79 // 2 * SERI
- Progenitor femenino: PRINIA / JUN / 3 / HE 1 / 3 * CNO79
- Progenitor masculino: 2 * SERI,
- Pedigree: CMSS93Y029 10- 24Y – 010Y – 010M-010Y – 8M – 0Y

2.3. Tratamientos

En el presente estudio se innovó el uso del diseño de tratamientos central compuesto rotatable, para el estudio de factores cuantitativos (época de siembra y densidad de plantas). Mediante el diseño de tratamientos central compuesto rotatable (Cochran & Cox, 1990) y considerando dos factores a estudiar (X₁ y X₂), con 5 niveles cada uno, se pueden diseñar 13 tratamientos (tabla 2.1), la variable respuesta (Y) puede ser estudiada mediante el modelo de regresión múltiple, donde se consideran efectos lineales, cuadráticos y cruzado, los mismos que son sometidos a los análisis de variancia:

$$\hat{Y}_i = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2$$

Tabla 2.1 Tratamientos para 2 factores según el diseño central compuesto rotatable (Cochran & Cox, 1990)

Tratamiento	Código factor época	Código factor densidad	Época de siembra	Tiempo día	Densidad de plantas Plantas / m ²
	X ₁	X ₂	E	Z ₁	Z ₂
t01	-1	-1	23/11/20	6	144
t02	1	-1	19/12/20	32	144
t03	-1	1	23/11/20	6	356
t04	1	1	19/12/20	32	356
t05	-1.4142	0	17/11/20	0	250
t06	1.4142	0	25/12/20	38	250
t07	0	-1.4142	6/12/20	19	100
t08	0	1.4142	6/12/20	19	400
t09	0	0	6/12/20	19	250
t10	0	0	6/12/20	19	250
t11	0	0	6/12/20	19	250
t12	0	0	6/12/20	19	250
t13	0	0	6/12/20	19	250

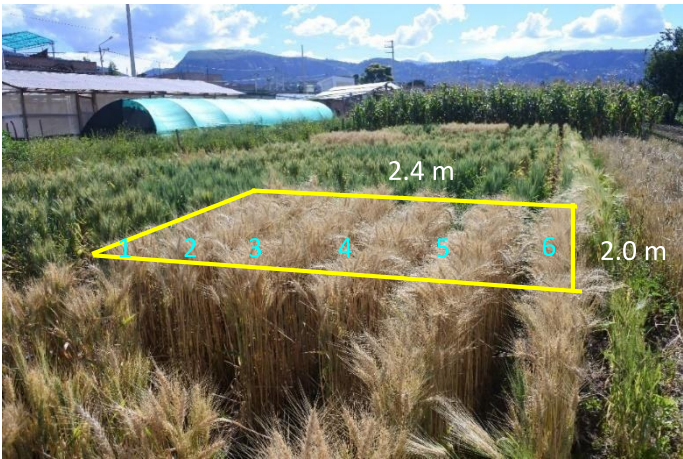
2.4. Unidad experimental

La unidad experimental estuvo formada por una parcela con plantas de trigo, se sembraron plantas en 6 líneas

distanciadas a 0.40 m, en una densidad de acuerdo a los tratamientos, las dimensiones de la parcela se observan en la figura 2.1.

Figura 2.1.

Unidad experimental

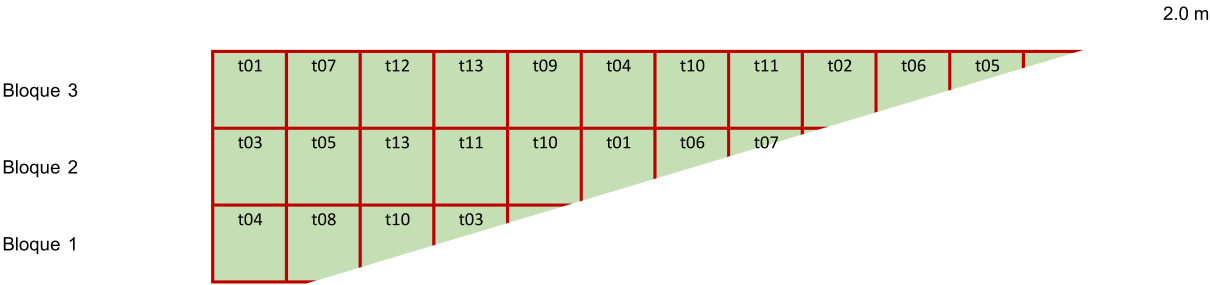


2.6. Campo experimental

En la figura 2.2 se puede apreciar el esquema del campo experimental:

Figura 2.2

Esquema del campo experimental



Área efectiva total = 187.2 m²

2.6. Diseño experimental

El estudio se condujo en el diseño experimental bloques completos al azar, con 3 bloques y 13 tratamientos (Kuehl, 2001)

2.7. Variables

Se consideraron las variables como se indica en la tabla 2.2.

Variable	Indicadores	Unidad de medida
Variables independientes:		
Época de siembra	Fecha de siembra (17 noviembre, 23 noviembre, 06 diciembre, 19 diciembre, 25 diciembre)	días
Densidad de plantas	Número de plantas implantadas por metro cuadrado de terreno cultivado (100, 144, 250, 356, 400)	Plantas m ⁻²
Variables dependientes:		
Componentes de rendimiento	- Altura de planta	cm
	- Longitud de espiga	mm
	- Número de macollos / planta	n
	Número de espigas / planta	nn
	Número de espiguillas / espiga	
Calidad de grano	- Rendimiento de grano	t ha ⁻¹
	- Peso de 1000 semillas	g

2.8. Conducción del experimento

El experimento se condujo con las labores agrícolas para el cultivo de trigo en sistema de siembra a surco corrido, en base a las siguientes labores: Preparación del terreno, análisis de semilla (prueba de germinación, análisis de pureza, cálculo de valor de uso), tratamiento de semilla, siembra, fertilización ($100 - 100 - 40 \text{ kg ha}^{-1}$ de N P K), riego por goteo, control de malezas, control de plagas y enfermedades y cosecha.

2.9. Análisis de datos

Los métodos de análisis e interpretación de la información están basados en las técnicas de análisis de variancia según el diseño experimental bloques completos al azar, análisis de regresión según el diseño central compuesto rotatable y prueba de Tukey. (Cochran & Cox, 1990; Kuehl, 2001)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Componentes de rendimiento

En el análisis de variancia de los componentes de rendimiento de la variedad de trigo INIA 436 Huamanguino (tabla 3.1), se encontró diferencia altamente significativa entre bloques para los caracteres número de espigas por planta y rendimiento ($P\text{-valor} < 0.01$). Se encontró diferencia significativa entre bloques para altura de planta y número de espiguillas por espiga [$0.01 < (P\text{-valor}) < 0.05$]. No se encontró diferencia significativa entre bloques para longitud de espiga y número de macollos por planta ($P\text{-valor} > 0.05$). Se encontró diferencia altamente significativa entre tratamientos ($P\text{-valor} < 0.01$) en los caracteres número de macollos por planta, número de espigas por planta y rendimiento. No se encontró diferencia significativa entre tratamientos en los caracteres altura de planta, longitud de espiga y número de espiguillas por espiga ($P\text{-valor} > 0.05$). El coeficiente de variación fue de 9.05 a 28.23

%, lo que indica un adecuado control de factores no considerados en el estudio.

Tabla 3.1.

*Análisis de variancia de los componentes de rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.) con tratamientos de época de siembra (tiempo) y densidades de planta. Canaán 2735 msnm, Ayacucho*

Fuente	GL	Altura de planta (cm)		Longitud de espiga (cm)		Nº macollos por planta		Nº espigas por planta		Nº espiguillas por espiga		Rendimiento (t ha^{-1})	
		Cuadrados medios	P-valor	Cuadrados medios	P-valor	Cuadrados medios	P-valor	Cuadrados medios	P-valor	Cuadrados medios	P-valor	Cuadrados medios	P-valor
Bloque	2	211.00	0.0380	147.00	0.1550	1.14	0.0532	2.19	0.0004	9.41	0.0425	33.92	0.0035
Tratamiento	12	60.44	0.4195	85.08	0.3582	3.49	<0.0001	2.91	<0.0001	1.68	0.7854	16.15	0.0049
Error	24	56.11		72.89		0.34		0.20		2.61		4.71	
Total	38												
CV (%)		9.73		9.05		23.32		21.09		9.1		28.23	
Promedio		77.00		94.31		2.51		2.13		17.74		7.68	

Altura de planta Tabla 3.2.

*Prueba de Tukey de la altura de planta de trigo (*Triticum aestivum* L.) con tratamientos de época de siembra (tiempo) y densidades de planta. Canaán 2735 msnm, Ayacucho.*

Tratamiento	Tiempo	Densidad de plantas	Promedio	Tukey 0.05
	día	Plantas / m^2		
t02	32	144	85.67	a
t10	19	250	82.33	a
t08	19	400	81.00	a
t06	38	250	80.33	a
t12	19	250	80.33	a
t07	19	100	76.67	a
t11	19	250	75.67	a
t05	0	250	75.00	a
t01	6	144	74.00	a
t13	19	250	73.67	a
t09	19	250	73.33	a
t04	32	356	71.67	a
t03	6	356	71.33	a

DMS = 22.40

Los promedios individuales de cada tratamiento se pueden observar en la tabla 3.2, se encontró valores promedio que varían de 71.33 a 85.67 para los tratamientos t03 (6 días, 356 plantas m⁻²) y t02 (32 días, 144 plantas m⁻²) respectivamente. La descripción

de la variedad INIA 436 Huamanguino, reporta una altura de planta de 85.00 cm, 12 tratamientos en el presente ensayo reportan valores menores y solo 01 tratamiento supera el valor referido, estas diferencias se atribuyen a efectos ambientales.

Longitud de espiga Tabla 3.3.

Prueba de Tukey de la longitud de espiga de trigo (*Triticum aestivum* L.) con tratamientos de época de siembra (tiempo) y densidades de planta. Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

Tratamiento	Tiempo día	Densidad de plantas Plantas / m ²	Promedio	Tukey 0.05
t03	6	356	101.67	a
t05	0	250	100.67	a
t04	32	356	99.33	a
t10	19	250	97.00	a
t13	19	250	96.67	a
t06	38	250	96.00	a
t01	6	144	94.67	a
t11	19	250	93.33	a
t08	19	400	93.00	a
t09	19	250	93.00	a
t07	19	100	91.33	a
t12	19	250	86.33	a
t02	32	144	83.00	a

DMS = 25.53

Los promedios individuales de la longitud de espiga de cada tratamiento se pueden observar en la tabla 3.3, se encontró valores promedio que varían de 83.00 a 101.67 mm para los

tratamientos t02 (32 días, 144 plantas m⁻²) y t03 (6 días, 356 plantas m⁻²) respectivamente, sin diferencia significativa.

Número de macollos por planta Tabla 3.4.

Prueba de Tukey del número de macollos por planta de trigo (*Triticum aestivum* L.) con tratamientos de época de siembra (tiempo) y densidades de planta. Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

Tratamiento	Tiempo día	Densidad de plantas Plantas / m ²	Promedio	Tukey 0.05
t07	19	100	5.500	a
t01	6	144	3.233	b
t09	19	250	3.133	b c
t02	32	144	2.867	b c
t10	19	250	2.733	b c
t13	19	250	2.467	b c
t06	38	250	2.200	b c
t05	0	250	2.167	b c
t12	19	250	1.833	b c
t08	19	400	1.733	b c
t04	32	356	1.700	b c
t03	6	356	1.600	b c
t11	19	250	1.433	c

DMS = 1.75

Número de espigas por planta Tabla 3.5.

Prueba de Tukey del número de espigas por planta de trigo (*Triticum aestivum* L.) con tratamientos de época de siembra (tiempo) y densidades de planta. Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

Tratamiento	Tiempo día	Densidad de plantas Plantas / m ²	Promedio	Tukey 0.05		
t07	19	100	4.867	a		
t01	6	144	2.967	b		
t02	32	144	2.667	b	c	
t10	19	250	2.333	b	c	d
t09	19	250	2.200	b	c	d
t13	19	250	2.000	b	c	d
t06	38	250	1.967	b	c	d
t05	0	250	1.867	b	c	d
t08	19	400	1.600		c	d
t12	19	250	1.433		c	d
t04	32	356	1.367		c	d
t03	6	356	1.233			d
t11	19	250	1.200			d

DMS = 1.34

Los promedios individuales del número de espigas por planta para cada tratamiento se pueden observar en la tabla 3.5, se encontró valores promedio que varían de 1.200 a 4.867

espigas por planta para los tratamientos t11 (19 días, 250 plantas m-2) y t07 (19 días, 100 plantas m-2) respectivamente.

Número de espiguillas por espiga Tabla 3.6.

Prueba de Tukey del número de espiguillas por espiga de planta de trigo (*Triticum aestivum* L.) con tratamientos de época de siembra (tiempo) y densidades de planta. Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

Tratamiento	Tiempo día	Densidad de plantas Plantas / m ²	Promedio	Tukey 0.05
t07	19	100	19.000	a
t04	32	356	18.667	a
t01	6	144	18.333	a
t03	6	356	18.333	a
t05	0	250	18.000	a
t13	19	250	18.000	a
t06	38	250	17.667	a
t11	19	250	17.667	a
t08	19	400	17.333	a
t09	19	250	17.333	a
t10	19	250	17.000	a
t12	19	250	17.000	a
t02	32	144	16.333	a

DMS = 4.82

Los promedios individuales del número de espiguillas por espiga de cada tratamiento se pueden observar en la tabla 3.6, se encontró valores promedio que varían de 16.33 a 19.00

para los tratamientos t02 (32 días, 144 plantas m-2) y t07 (19 días, 100 plantas m-2) respectivamente, sin diferencia significativa.

Rendimiento Tabla 3.7.

Prueba de Tukey del rendimiento de grano de trigo (Triticum aestivum L.) con tratamientos de época de siembra (tiempo) y densidades de planta. Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

Tratamiento	Tiempo día	Densidadde plantas Plantas / m ²	Promedio	Tukey 0.05	
t01	6	144	10.406	a	
t09	32	144	10.218	a	b
t10	6	356	10.061	a	b
t08	32	356	9.643	a	b
t03	0	250	9.521	a	b
t07	38	250	8.535	a	b
t05	19	100	7.832	a	b
t13	19	400	7.752	a	b
t12	19	250	6.766	a	b
t06	19	250	5.782	a	b
t11	19	250	5.486	a	b
t02	19	250	4.016	a	b
t04	19	250	3.890		b

DMS = 6.49

Los promedios individuales del rendimiento de grano de cada tratamiento se pueden observar en la tabla 3.7, se encontró valores promedio que varían de 3.890 a 10.406 t ha-1 para los tratamientos t04 (19 días, 250 plantas m-2) y t01 (6 días, 144 plantas m-2) respectivamente. La descripción de la

variedad INIA 436 Huamanguino, reporta un rendimiento de 4.53 t ha-1, 11 tratamientos en el presente ensayo reportan valores mayores y 02 tratamientos no superan el valor referido, estas diferencias se atribuyen a efectos ambientales.

Tabla 3.8.

Análisis de variancia de la regresión del rendimiento de grano de trigo (Triticum aestivum L.) con variables época de siembra (tiempo) y densidades de planta. Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P-valor
Modelo	5	33.55	6.71	1.51	0.2979
Tiempo (X1)	1	27.26	27.26	6.15	0.0422
Densidad (X2)	1	0.04	0.04	0.01	0.9281
X1 ²	1	5.64	5.64	1.27	0.2965
X2 ²	1	0.46	0.46	0.10	0.7566
X1*X2	1	0.14	0.14	0.03	0.8621
Error	7	31.04	4.43		
Falta de ajuste	3	13.98	4.66	1.09	0.4484
Error puro	4	17.06	4.26		
Total	12	64.58			

De acuerdo al análisis de variancia de la tabla 3.8, el rendimiento de grano tiene una relación lineal con el tiempo como indicador de la época de siembra (P- valor = 0.0422), no se encontró relación del rendimiento de grano con la

densidad de plantas y la interacción tiempo x densidad. La falta de ajuste fue no significativa, lo cual indica que no se puede probar que exista otro modelo en la presente investigación.

Tabla 3.9.

Coefficientes de regresión con variables del modelo del Diseño Central Compuesto Rotable, variables época de siembra (tiempo) y densidades de planta. Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	P-valor
b0	10.88623	5.99915	1.81	0.1125
b1	0.00834	0.26229	0.03	0.9755
b2	-0.01342	0.03906	-0.34	0.7411
b11	-0.00480	0.00449	-1.07	0.3207
b22	0.00002	0.00007	0.32	0.7566
b12	0.00014	0.00076	0.18	0.8621

En la tabla 3.9 se tiene los coeficientes de regresión para el modelo considerado, el mismo que para un valor $X_2 = 250$ plantas m⁻² que es un valor medio, se tiene que el modelo de regresión para el rendimiento resulta:

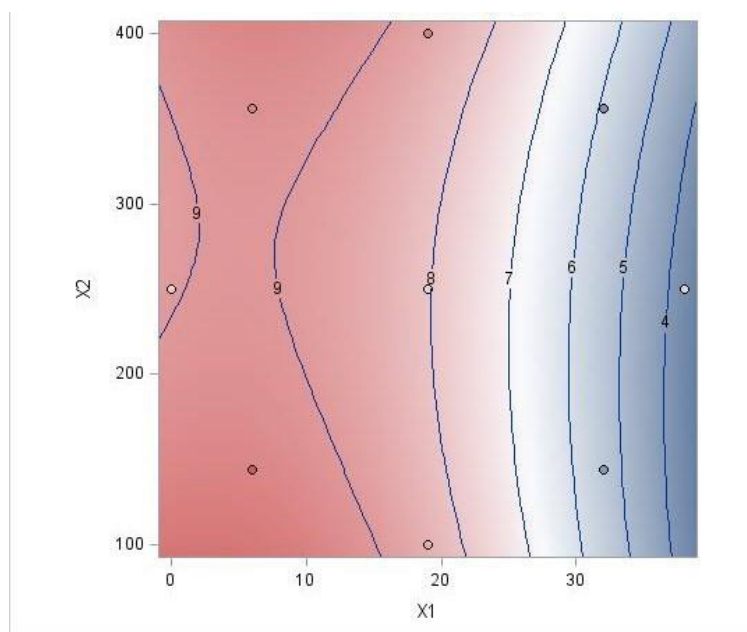
$$Y = 8.78123 + 0.04334 X_1 - 0.00480 X_1^2$$

Donde: Y es el rendimiento de grano de trigo (t ha⁻¹), X₁ es el tiempo (día)

En este modelo solo el efecto lineal es significativo, sin

Figura 3.1.

Gráfico de contorno para el rendimiento



En la figura 3.1 se puede observar el gráfico de contorno en la que para las variaciones de tiempo (X₁) y densidad (X₂) se dan diferentes rendimientos.

Hernández, Soto, y Plana (2015) cuando evaluaron la influencia de tres fechas de siembra (noviembre de 2008, diciembre de 2009 y enero de 2010) en Cuba, atribuyen las diferencias en el rendimiento a que en el experimento se

embargo, sirve para estimar la fecha de siembra para un máximo rendimiento. Al derivar la ecuación cuadrática se tiene que el tiempo (época de siembra) que permite un máximo

rendimiento es de 4.5 días que son contados a partir del 17 de noviembre, siendo así que la mejor época de siembra resulta el 22 de noviembre, para el que se tiene un rendimiento de 8.879 t ha⁻¹.

comprueba que el incremento de los rendimientos está asociado a una época donde ocurren la mejor performance de IAF y TAC durante el ciclo reproductivo del trigo, ocurriendo esto en siembras del mes de enero en las condiciones de San José de las Lajas, Mayabeque – Cuba, a 230 01' N y 820 08' W, a 138 msnm, lugar en el hemisferio norte.

3.2. Calidad de grano Peso de 1000 semillas Tabla 3.10.

Análisis de variancia del peso de 1000 semillas de grano de trigo (Triticum aestivum L.) con variables época de siembra (tiempo) y densidades de planta. Canaán 2735 msnm, Ayacucho

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P-valor
Bloque	2	232.35	116.17	0.85	0.4385
Tratamiento	12	7233.62	602.80	4.43	0.0009
Error	24	3267.45	136.14		
Total	38	10733.42			

CV = 22.12

Promedio = 52.74

En el peso de 1000 semillas, no se encontró diferencia significativa entre bloques (P-valor = 0.4385), se encontró diferencia significativa entre tratamientos (P-valor = 0.0009). El coeficiente de variación fue de 22.12 %, lo que

indica un aceptable control de factores no considerados en el estudio. El promedio general del peso de 1000 semillas fue de 52.74 g (tabla 3.10).

Tabla 3.11.

Prueba de Tukey del peso de 1000 semillas de trigo (Triticum aestivum L.) con tratamientos de época de siembra (tiempo) y densidades de planta. Canaán 2735 msnm, Ayacucho.

Tratamiento	Tiempo	Densidad de plantas día Plantas /m ²	Promedio	Tukey 0.05	
t01	6	144	75.86	a	
t03	0	250	67.69	a	b
t11	19	250	62.54	a	b
t09	32	144	60.65	a	b
t10	6	356	59.79	a	b
t12	19	250	58.55	a	b c
t05	19	100	53.63	a	b c
t08	32	356	53.13	a	b c
t07	38	250	52.61	a	b c
t13	19	400	43.21	a	b c
t06	19	250	37.97		b c
t02	19	250	35.83		b c
t04	19	250	24.19		c

DMS = 38.88

Los promedios individuales del peso de 1000 semillas de cada tratamiento se pueden observar en la tabla 3.11, se encontró valores promedio que varían de 24.19 a 75.86 g para los tratamientos t04 (19 días, 250 plantas m-2) y t01 (6 días, 144 plantas m-2) respectivamente. La descripción de la variedad INIA 436 Huamanguino, reporta un peso de 1000 semillas de 49.80 g, 09 tratamientos en el presente ensayo reportan valores mayores y 04 tratamientos no superan el valor referido.

La calidad de grano de trigo esta determinado por el ambiente

y la interacción entre este y la variedad que pueden modificar la expresión de caracteres que son importantes para la calidad del trigo, en esta dinámica indica que, de acuerdo al momento en que ocurra algún tipo de estrés durante el llenado, el efecto sobre la calidad será diferente (Fraschina, 2017)

Se concluye: No se encontró diferencia significativa entre los 13 tratamientos en los caracteres altura de planta, longitud de espiga y número de espiguillas por espiga, siendo los promedios de 77.00 cm, 94.31 mm y 17.74 unidades

respectivamente. El número de macollos por planta vario entre 1.433 a 5.500 para los tratamientos t11 (19 días, 250 plantas m⁻²) y t07 (19 días, 100 plantas m⁻²) respectivamente, con diferencia significativa. El número de espigas por planta vario entre 1.200 a 4.867 para los tratamientos t11 (19 días, 250 plantas m⁻²) y t07 (19 días, 100 plantas m⁻²) respectivamente, con diferencia significativa. La época de siembra que permite un máximo rendimiento es el 22 de noviembre, con un rendimiento de 8.879 t ha⁻¹, para una densidad de 250 plantas m⁻². El peso de 1000 semillas vario entre 24.19 a 75.86 g para los tratamientos t04 (19 días, 250 plantas m⁻²) y t01 (6 días, 144 plantas m⁻²) respectivamente, con diferencia significativa.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por el apoyo económico para la realización del presente estudio.

Al Programa de Investigación en Cultivos Alimenticios, por el apoyo logístico para la realización del presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abati, J., Brzezinski, C., Zucareli, C., Simoneti, J., & Henning, F. (2018). Growth and yield of wheat in response to seed vigor and sowing densities. *Catinga, Mossoró*, 891-899.

Abbate, P., & Divito, G. (2017). Como crece y se desarrolla el cultivo de trigo. En G. Divito, & F. García, *Manual del cultivo de trigo* (págs. 22-32). Buenos Aires: International Plant Nutrition Institute.

Cerna, L. (2007). *Agrotecnia sostenible*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.

Cochran, W., & Cox, G. (1990). *Diseños experimentales*. México: Trillas.

Cuniberti, M., & Mir, L. (2019). Relación gluten / proteína en trigo. *INTA Marcos Juárez*, 10.

Fraschina, J. (2017). ¿Por qué es importante la calidad del trigo? En G. Divito, & F. García, *Manual del cultivo de trigo* (págs. 57-66). Buenos Aires: International Plant Nutrition Institute.

García, A. (2017). Densidad de siembra en trigo. *INIA*, 6.

Hernández, N., Soto, F., & Plana, R. (2015). Comportamiento del crecimiento y rendimiento del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en tres fechas de siembra. *Cultivos Tropicales*, 1819-4087. Instituto Nacional de Innovación Agraria. (25 de Mayo de 2020). Trigo INIA 436. *Trigo INIA 436 Huamanguino*. Ayacucho, Huamanga, Ayacucho: Instituto Nacional de Innovación Agraria.

Kuehl, R. (2001). *Diseño de experimentos: Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones* (Segunda ed.). México, México: Thomson Learning.

Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (25 de Mayo de 2020). *Ministerio de Agricultura y Riego - Minagri*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Riego - Minagri: [https://www.google.com/search?q=Ministerio+de+Agricultura+y+Riego+%E2%80%93+Per%C3%BA+\(MINAGRI\).+2019.+Series+Hist%C3%B3ricas+de+Producci%C3%B3n+Agr%C3%ADcola+%E2%80%93+Compendio+Estadístico](https://www.google.com/search?q=Ministerio+de+Agricultura+y+Riego+%E2%80%93+Per%C3%BA+(MINAGRI).+2019.+Series+Hist%C3%B3ricas+de+Producci%C3%B3n+Agr%C3%ADcola+%E2%80%93+Compendio+Estadístico)

C3%ADstico.+www.minagri.gob.pe%2Fportal%2Fsistemas-de-informacion.&oq=

Mosanaei, H., Ajamnorzi, H., Reza, M., Abolfazieh, F., & Ressayakli, M. (2017). Improvement effect of nitrogen fertilizer and plant density on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed deterioration and yield. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 899-910.

Pietragalla, J., & Pask, A. (2012). Grain yield and yield components. En J. Pietragalla,

A. Pask, D. Mullen, & M. Reynolds, *Physiological breeding II: A field guide to wheat phenotyping* (pág. 140). México D. F.: International Maize and Wheat Improvement Center.

Rozo, G. (2019). *Cambios en la calidad comercial e industrial del trigo pan (Triticum aestivum L.) asociados a enfermedades biotróficas y necrotroficas*. Buenos Aires: Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires.

REGULACIÓN DE PERONOSPORA VARIABILIS CON ECOFUNGICIDAS EN *Chenopodium quinoa* Willd., BAJO SISTEMA DE LABRANZA DE CONSERVACIÓN. AYACUCHO, 2020”.

Bautista Gómez, Rolando

robautist@yahoo.es rolando.bautista@unsch.edu.pe

Mateu Mateo, Walter A

walter.mateu@unsch.edu.pe

Programa de investigación en cultivos alimenticios

Línea de investigación agricultura de conservación

RESUMEN

El experimento se realizó en el Centro Experimental Canaán propiedad de la Universidad de Huamanga-Ayacucho, con el objetivo de determinar el extracto de *Allium sativum*, *Equisetum arvense* y *Chenopodium ambrosoides* en el manejo de mildiu que reporte el mayor rendimiento de quinua, en condiciones de labranza de conservación. Se utilizó el diseño estadístico de Bloque Completo Randomizado aleatorizado mediante el Diseño de Parcelas Divididas, adjudicándose la variedad a las parcelas y el extracto de plantas a las subparcelas, estableciéndose 03 repeticiones y 10 tratamientos. La unidad experimental tuvo una dimensión de 3.20 m de ancho por 4.0 m de longitud, en la cual se instalaron 4 surcos distanciados a 0.80 m, sembrándose a chorro continuo a una densidad de 10 kg.ha⁻¹ de semilla. Se utilizó dos variedades de quinua: Blanca Junín y Pasankalla y dosis de extracto de plantas biocidas (100 gr de *Allium sativum* en 10 l de agua, 2 kg de *Equisetum arvense* en 20 l de agua, 2 kg de *Chenopodium ambrosoides* en 10 l de agua y 200 g de fungicida metalaxyl en 225 l de agua). La aplicación de los extractos de plantas se realizó en forma preventiva, repitiéndose la aplicación previa evaluación patológica del cultivo. Los resultados de la aplicación de plantas biocidas con propiedades ecofungicidas demostraron que el efecto fúngico de mayor control del mildiu causada por *Peronospora variabilis*, fue con el extracto de ajo referido especialmente al menor grado de incidencia y severidad, con un rendimiento de grano de quinua en la variedad Blanca Junín de 3943.2 kg.ha⁻¹ y un índice de rentabilidad de 2.73.

Palabras clave: Variedades de quinua, plantas ecofungicidas, agricultura de conservación.

REGULATION OF PERONOSPORA VARIABILIS WITH ECOFUNGICIDES IN *Chenopodium quinoa* Willd. UNDER CONSERVATION TILLAGE SYSTEM. AYACUCHO, 2020

RESEARCH PROGRAM IN FOOD CROPS
CONSERVATION AGRICULTURE RESEARCH LINE

ABSTRACT

The experiment was carried out at the Canaán Experimental Center owned by the University of Huamanga-Ayacucho, with the objective of determining the extract of *Allium sativum*, *Equisetum arvense* and *Chenopodium ambrosoides* in the management of mildew that reports the highest yield of quinoa, under conditions of conservation tillage. The randomized Complete Block statistical design was used through the Divided Plot Design, assigning the variety to the plots and the plant extract to the subplots, establishing 03 repetitions and 10 treatments. The experimental unit had a dimension of 3.20 m wide by 4.0 m long, in which 4 furrows were installed, spaced at 0.80 m, sowing continuously at a density of 10 kg.ha⁻¹ of seed. Two varieties of quinoa were used: Blanca Junín and Pasankalla and doses of biocidal plant extract (100 gr of *Allium sativum* in 10 l of water, 2 kg of *Equisetum arvense* in 20 l of water, 2 kg of *Chenopodium ambrosoides* in 10 l of water and 200 g of metalaxyl fungicide in 225 l of water). The application of the plant extracts was carried out preventively, repeating the application after a pathological evaluation of the crop. The results of the application of biocidal plants with ecofungicidal properties showed that the fungal effect of greater control of the mildew caused by *Peronospora variabilis*, was with the garlic extract, especially referred to the lower degree of incidence and severity, with a yield of quinoa grain in the Blanca Junín variety of 3943.2 kg.ha⁻¹ and a profitability index of 2.73.

Keywords: Quinoa varieties, ecofungicidal plants, conservation agriculture.

INTRODUCCIÓN

La quinua es un grano alimenticio con alto valor proteico, balance adecuado de aminoácidos esenciales, alto contenido de lisina, minerales y vitaminas, constituyendo

un producto de fácil elección por los consumidores de productos naturales, inocuos y nutritivos, siendo uno de los principales cultivos de la región Ayacucho, considerado el principal sustento económico para las familias que practican la agricultura familiar, cuyo incremento se debe al

incremento de las exportaciones de quinua orgánica.

Según Alandía et al. (1979); Otazú et al. (1976); Danielsen y Ames (2000), citado por Risco (2014), mencionan que la enfermedad más importante de la quinua es el mildiu, causado por *Peronospora variabilis*, que ocasiona grandes pérdidas en el rendimiento que oscila entre el 33 y 58%.

Ante el alto nivel de daño que ocasiona el mildiu los agricultores controlan principalmente con aplicaciones múltiples de fungicidas en base a metalaxyl. Este tipo de control incrementó los costos de producción e influyó en la disminución de los precios al dejar de ser una producción orgánica, altamente apreciada en el mercado nacional e internacional.

El control del mildiu con la aplicación de extractos de plantas biocidas es ideal para una producción orgánica, pues este tipo de control genera menor costo de producción, es amigable con el ambiente y asegura una producción sostenible. Es por ello que el mildiu en el cultivo de quinua controlada con aplicaciones de extractos de plantas biocidas a dosis adecuadas y en el momento oportuno contribuye al desarrollo económico y ecológico de las zonas productoras de la región andina.

Por otro lado, la intensa actividad de mecanización agrícola provoca la pulverización y erosión de los suelos, una mayor mineralización y pérdida acelerada de la materia orgánica, una mayor incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos y por último la disminución de la fertilidad y productividad de los suelos, por tal razón surgen los sistemas de agricultura de conservación que es un sistema que realiza la siembra sobre una superficie del suelo cubierta con residuos del cultivo anterior o mediante la aplicación de residuos de cosecha en una proporción de alrededor del 30%, con lo cual se conserva la humedad y se reduce la pérdida de suelos agrícolas.

Por las consideraciones planteadas los objetivos del experimento fueron:

- ✓ Determinar el manejo más adecuado de mildiu en el cultivo de quinua con aplicación de extracto de ajo, cola de caballo y paico, bajo condiciones de labranza de conservación en Ayacucho.
- ✓ Determinar el mejor rendimiento de quinua con aplicación de extractos de ajo, cola de caballo y paico, bajo condiciones de labranza de conservación en Ayacucho.
- ✓ Establecer el mérito económico de los tratamientos en estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

El experimento se realizó en el Centro Experimental de Canaán, ubicado en el distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, provincia de Huamanga y región Ayacucho a las coordenadas de 13° 43' 33" Latitud Sur, 74° 32' Longitud Oeste y a una altitud de 2750 msnm. La pendiente del terreno varía de 1 – 1.5% y es clasificado ecológicamente como Bosque Seco Montano Bajo Subtropical. El suelo del lugar del experimento, posee un pH alcalino, contenido de materia orgánica bajo, contenido de nitrógeno total pobre, el contenido de fósforo y potasio disponible muy alto y una textura del suelo de franco arcilloso, por lo que es considerado un suelo apropiado para el cultivo de quinua. La temperatura promedio máxima, media y mínima durante el periodo vegetativo fue de 24.81 °C, 17.31 °C y 9.72 °C, respectivamente. La precipitación total anual fue de 450.42 mm. Se presentó condiciones húmedas en el mes de diciembre del 2019 y falta de humedad en el mes de enero, febrero, marzo y abril del 2020.

MÉTODOS

El estudio corresponde a la utilización de dos variedades de quinua (Blanca Junín y Pasankalla) y la aplicación de extractos de plantas biocidas (Ajo, cola de caballo, paico y Metalaxyl). Para la distribución de las unidades experimentales se utilizó el diseño estadístico de Bloque Completo Randomizado aleatorizado mediante el Diseño de Parcelas Dividas, adjudicándose la variedad a las parcelas y extracto de plantas biocidas a las subparcelas, estableciéndose 03 repeticiones y 10 tratamientos. Para el análisis estadístico se realizaron los análisis de varianza y luego la prueba de Tukey.

La preparación del terreno se realizó el 16 de noviembre del 2019 utilizando un tractor agrícola. El abonamiento y siembra se realizaron el 22 de noviembre de 2019 a una densidad de 10 kg.ha⁻¹, colocando las semillas manualmente a chorro continuo en el surco en una sola hilera en surcos distanciados a 0.8 m. El raleo se realizó el día 16 de diciembre del 2019 a los 26 días después de la siembra cuando las plantas tenían 0.20 m de altura en promedio, dejando aproximadamente 15 plantas por metro lineal. Esta labor se realizó juntamente con el control de malezas en todo el área del experimento. El aporque se realizó el día 27 de diciembre del 2019, a los 37 días después de la siembra, luego de aplicar la segunda dosis de abono nitrogenado. Se colocó rastrojos de quinua entre los surcos del cultivo en forma homogénea y en toda las unidades experimentales.

La primera aplicación de extracto de plantas biocidas se realizó el 16 de diciembre del 2019 a los 26 días después de la siembra. Se realizaron 09 aplicaciones con una frecuencia de

7 días. El metalaxyl se aplicó en 5 oportunidades, con una frecuencia de 15 días. Se realizó cuando las panojas tenían una humedad aproximada de 18%, luego se procedió al secado, trilla y venteo de las semillas. La cosecha se realizó en dos oportunidades, el 03 de marzo del 2020 de la variedad Pasankalla y el 28 de abril de la variedad Blanca de Junín, es decir a los

131 y 162 días después de la siembra. Se evaluaron las variables de incidencia y severidad del mildiu y los caracteres de precocidad y productividad del cultivo de quinua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DE LOS CARACTERES DE SANIDAD

En la tabla 3.1 se muestra los Cuadrados Medios de las caracteres de sanidad de variedades de quinua con aplicación de extracto de plantas biocidas, donde existe una alta significación estadística en todas las fuentes de variabilidad, excepto en la fuente de variabilidad de la interacción de variedad y extracto para la severidad donde se obtuvo no significativo. El coeficiente de variación es de 2.12 y 3.15%, para la incidencia y severidad del mildiu en el cultivo de quinua, respectivamente, mostrando una buena precisión en los resultados.

Tabla 3.1. Cuadrados Medios de las características de sanidad en variedades de quinua con aplicación de extracto de plantas biocidas. Canaán 2750 msnm - Ayacucho.

Fuente de variación	GL	INCIDENCIA	SEVERIDAD
Bloques Variedad (V)Error	2	6.42 sn	0.57 ns
(a) Extracto (E)	1	440.81 **1.65	17.29 **0.87
Variedad x ExtractoError	2	99.39 **	42.74 **
(b)	4	14.85 **3.09	0.63 ns0.62
Total	4		
CV (%)	16	2.12	3.15
	29		

a. PORCENTAJE DE INCIDENCIA DEL MILDIU

En la figura 3.1 se muestra la prueba de Tukey de efectos simples de extracto de plantas biocidas para la incidencia del mildiu en dos variedades de quinua, donde en la variedad Blanca de Junín sin aplicación de extractos reportó 90.69% de incidencia, seguido de las aplicaciones con extracto de paico, cola de caballo y ajo con 89.38%, 87.69% y 84.2% respectivamente, sin mostrar diferencia estadística entre ellos. En la variedad Pasankalla la tendencia es la misma que en la Blanca Junín donde con el tratamiento sin aplicación se reportó 82.65%, seguido de los tratamientos con extracto de cola de caballo, paico y ajo con 82.35%, 80.36 y 80.30%, respectivamente, sin diferencia significativa entre ellos: La incidencia más baja se presentó con la aplicación de metalaxyl con 70.36%. De los resultados se deduce, que la variedad Pasankalla

es más tolerante que la variedad Blanca Junín. Apaza et. al. (2013) menciona que la variedad Blanca Junín es susceptible al ataque del mildiu, mientras que la variedad Pasankalla es tolerante. Danielsen y Ames (2008) mencionado por Risco (2014) sostienen que debido a la manera de diseminación del mildiu en el campo de cultivo de quinua a través del viento, la incidencia no es un parámetro apropiado para distinguir la tolerancia o susceptibilidad entre cultivares, pues en cultivares con alto nivel de resistencia, la incidencia del mildiu en años propicios para el desarrollo de la enfermedad frecuentemente alcanza el 100%. El extracto de las tres plantas biocidas no tuvieron efecto positivo en el control del mildiu en las dos variedades de quinua debido a que la incidencia depende de las condiciones ambientales del lugar donde crece y desarrolla la planta.

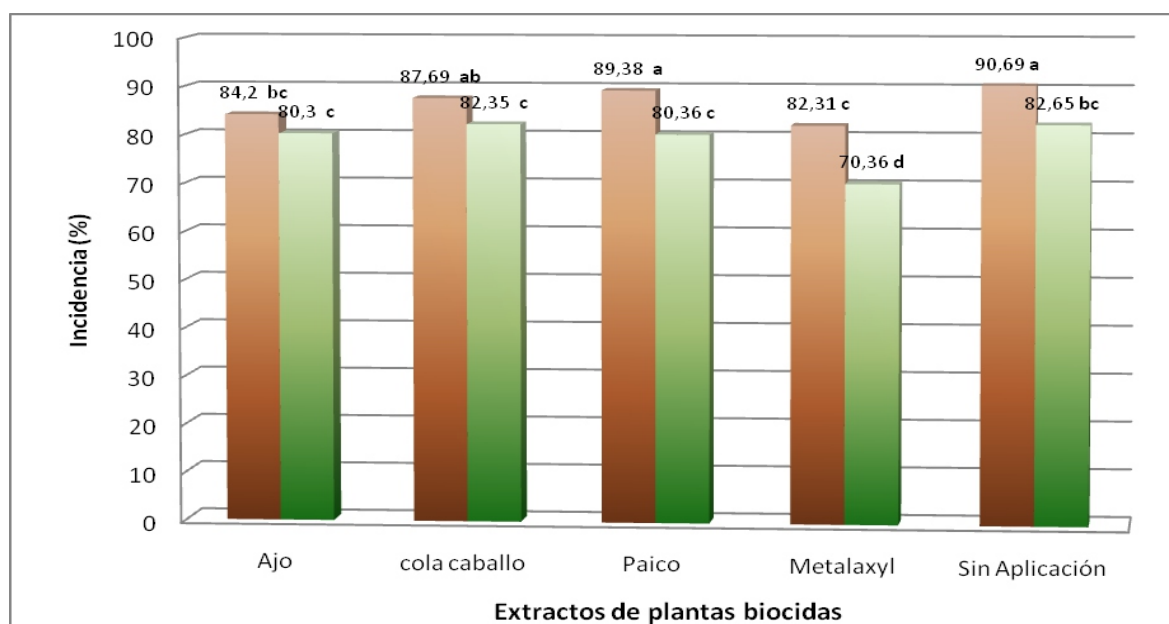


Figura 3.1. Prueba de Tukey de efectos simples de extracto de plantas biocidas para incidencia del mildiu en variedades de quinua. Canaán 2750 msnm - Ayacucho.

3.2.DE LOS CARACTERES DE PRECOCIDAD

En la tabla 3.2 se muestra la precocidad a la madurez fisiológica y madurez de cosecha de las variedades Blanca Junín y Pasankalla con aplicación de extractos de plantas biocidas para el control del mildiu, donde se aprecia que la variedad Blanca Junín alcanza la madurez fisiológica a los 155 días después de la siembra y la variedad Pasankalla a los 128 días, siendo ésta última considerada como precoz.

Tabla 3.2. Madurez fisiológica y de cosecha de dos variedades de quinua con aplicación de extracto de plantas biocidas. Canaán 2750 msnm - Ayacucho.

VAR-	TRAT.	CÓD.	M.F	M.C
B. Junín	T ₁	v1 x e1	155	160
	T ₂	v1 x e2	155	160
	T ₃	v1 x e3	155	160
	T ₄	v1 x e4	155	160
	T ₅	v1 x e5	155	160
Pasankalla	T ₆	v2 x e1	128	135
	T ₇	v2 x e2	128	135
	T ₈	v2 x e3	128	135
	T ₉	v2 x e4	128	135
	T ₁₀	v2 x e5	128	135

La madurez fisiológica es el mejor indicador de precocidad y está influenciada por el carácter varietal de los genotipos.

Llamocca (2018) en una investigación realizada en el Centro Experimental Canaán reporta que la variedad Blanca Junín alcanza la madurez fisiológica entre los 151 y 156 días después de la siembra. Morote (2014) en el Centro Experimental Canaán, determinó que la madurez fisiológica de la quinua variedad Blanca Junín se alcanza entre los 155 y 160 días después de la siembra, mientras que en la variedad Pasankalla entre los 125 y 130 días. Estos resultados son similares a los obtenidos en el presente trabajo de investigación, siendo la variedad Pasankalla precoz y la Blanca Junín semitardía. La aplicación de extracto de plantas biocidas no influye en la precocidad de las dos variedades estudiadas, puesto que se sabe que la variedad Pasankalla es precoz y la variedad Blanca Junín se muestra como semitardía. La madurez de cosecha se alcanzó a los 135 y 160 días después de la siembra en la variedad Pasankalla y Blanca Junín, respectivamente.

3.3 DE LOS CARACTERES DE PRODUCTIVIDAD

En la tabla 3.3 se muestra los Cuadrados Medios de los caracteres de productividad, donde para todas las variables, se observa una alta significación estadística en la fuente de variación de variedades, extracto de plantas biocidas y en la interacción de variedades y extractos, con excepción en la variable de longitud y diámetro de panoja para la fuente de variación de la interacción, en la cual es no significativo. El coeficiente de variabilidad oscila de 1.81 a 5.39%, indicando una buena precisión en los resultados del experimento.

Tabla 3.3. Cuadrados medios de las características de productividad de dos variedades de quinua con aplicación de extracto de plantas biocidas. Canaán 2750 msnm - Ayacucho.

Fuente de variación	GL	Longitud Panoja	Diámetro panoja	Peso Panoja	Rendimiento grano
Bloques Variedad (V)	2	4.37 ns	0.39 ns	0.38 ns	1473.79ns
Error (a) Extracto (E)	1	5230.11**	1054.36*	1544.42**	19728191.53**
	2	5.29	*	7.54	24482.69
Variedad x Extracto	4	33.28**	1.83	382.71**	681363.64**
Error (b)	4	4.05 ns	10.99**	58.95**	211202.23**
Total	16		1.52ns	2.92	6 803.81
CV (%)	29	1.92	0.76		
			5.39	1.81	3.08

a. LONGITUD DE PANOJA

En la figura 3.3 se muestra la prueba de Tukey de efectos principales de extractos de plantas biocidas para la longitud de panoja de dos variedades de quinua, donde la variedad

Blanca Junín reporta la mayor longitud de panoja con 83.11 cm y la menor longitud la variedad Pasankalla con 56.39 cm, existiendo significación estadística entre las dos variedades.

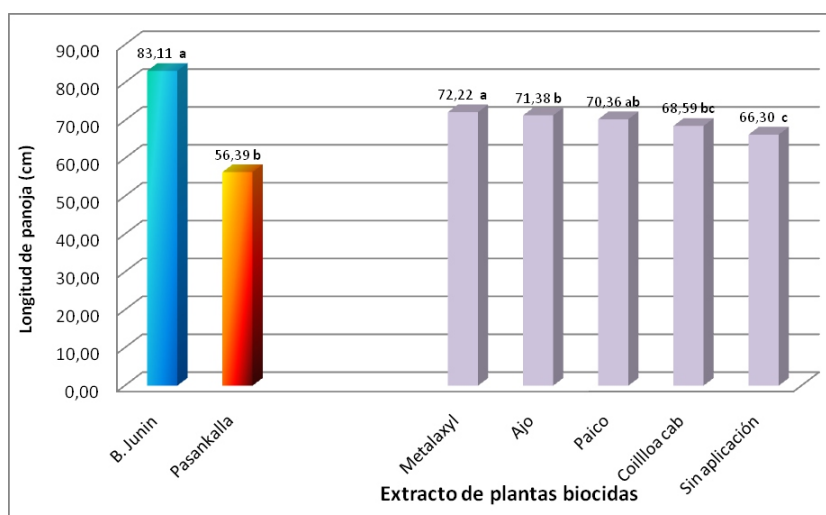


Figura 3.3. Prueba de Tukey de efectos principales de extracto de plantas biocidas y variedades de quinua para la longitud de panoja. Canaán 2750 msnm - Ayacucho.

En la figura 3.3 se observa la prueba de Tukey de efectos principales de extracto de plantas biocidas para la longitud de panoja, donde con la aplicación de metalaxyl se obtuvo una mayor longitud con 72.22 cm, seguido de los extractos de ajo, paico y cola de caballo con 71.38, 70.36 y 68.59 cm respectivamente, sin que exista diferencia estadística entre ellos y la menor altura se obtuvo con el tratamiento sin aplicación con 66.30 cm, siendo estadísticamente similar a la aplicación con extracto de cola de caballo. Llamocca (2018) en Canaán a 2750 msnm como respuesta a la aplicación de 6 t.ha⁻¹ de gallinaza en la variedad Blanca Junín obtuvo una longitud de panoja de 81.07 cm, siendo ligeramente inferior a lo hallado en el presente experimento.

Apaza (2005) menciona sin precisar la variedad, que la

longitud de panoja en Puno varía entre 29 a 55 cm, siendo similar a la variedad Pasankalla del presente experimento. En general la mayor o menor longitud de panojas en la quinua, se debe a su hábito de crecimiento, es decir al carácter varietal y está influenciado por el ambiente.

Con respecto a la aplicación con extracto de plantas biocidas, se puede mencionarr que las tres aplicaciones no tuvieron efectos con respecto a la longitud de panoja, siendo casi similares el metalaxyl y el tratamiento sin aplicación, encontrándose todos los tratamientos dentro de los rangos de longitud de panoja.

b. DIÁMETRO DE PANOJA

En la figura 3.4 se muestra la prueba de Tukey de efectos principales de extracto de plantas biocidas para el diámetro de panoja de dos variedades de quinua, donde la variedad Blanca Junín reporta el mayor diámetro de panoja con 22.06 cm y la variedad Pasankalla el menor diámetro con 10.21

cm, habiendo significación estadística entre ellas. Para la aplicación de extracto de plantas biocidas, el tratamiento con metalaxyl reportó el mayor diámetro con 17.68cm, seguido de los extractos de ajo, paico y cola

de caballo con 17.56, 16.60 y 15.45 cm respectivamente, sin que exista diferencia estadística entre ellos. El menor diámetro se obtuvo con el tratamiento sin aplicación con 14.36 cm.

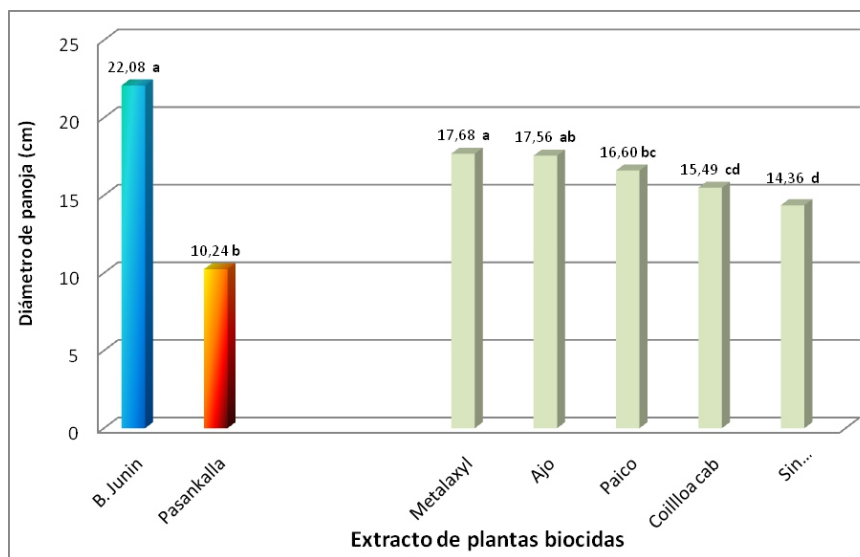


Figura 3.4. Prueba de Tukey de efectos principales de extracto de plantas biocidas y variedades de quinua para el diámetro de panoja (cm). Canaán 2750 msnm - Ayacucho.

Morote (2014) en la variedad Blanca Junín obtuvo un diámetro de panoja de 13.70 cm y en la variedad Pasankalla 9.31 cm. Estos valores se encuentran por debajo de lo obtenido en el presente trabajo de investigación, lo cual se puede explicar debido al manejo agronómico del cultivo bajo condiciones de labranza mínima, nivel de abonamiento (110-20-20), control efectivo de plagas y enfermedades.

Garamendi (2014) obtuvo un diámetro de panoja de 25 cm en la variedad Blanca Junín, lo cual es superior a lo hallado en el presente trabajo de investigación.

Las aplicaciones con extracto de plantas biocidas no tuvieron efectos con respecto al diámetro de panoja, siendo similares al tratamiento con metalaxyl y al tratamiento sin aplicación, encontrándose todos los tratamientos dentro de los rangos del diámetro de panojas, puesto que depende del carácter varietal.

RENDIMIENTO

En la figura 3.6 se muestra la prueba de Tukey de efectos simples de extracto de plantas biocidas y variedades en el rendimiento de granos de quinua. En la variedad Blanca Junín el metalaxyl presentó el mayor valor en rendimiento con 4013.4 kg.ha⁻¹, seguido del tratamiento con extracto de ajo, paico y cola de caballo con 3943.0, 3509.01 y 3285.2 kg.ha⁻¹ respectivamente. El menor valor se alcanzó con el tratamiento sin aplicación con 2764.5 kg.ha⁻¹, mostrando diferencia estadística a los demás tratamientos. En la variedad Pasankalla el mayor valor en rendimiento se

alcanzó con el tratamiento con metalaxyl con 2191.1 kg.ha⁻¹, seguida de los tratamientos con extracto de ajo, paico y cola de caballo con 1922.0, 1802.3 y 1751.90 kg.ha⁻¹ respectivamente, sin diferencia significativa entre ellos y con el tratamiento sin aplicación. El rendimiento más bajo se obtuvo con el tratamiento sin aplicación con 1736.01 kg.ha⁻¹, sin diferencia estadística a los tratamientos con extractos, pero sí al tratamiento con metalaxyl.

La aplicación de extracto de plantas biocidas en la variedad Blanca Junín y Pasankalla tuvieron efecto positivo en el rendimiento de granos de quinua, obteniendo el mayor rendimiento con metalaxyl, seguido por los extractos de paico y cola de caballo: Estos resultados se debe al genotipo y a la resistencia al ataque del mildiu.

Morote (2014) al evaluar el rendimiento de tres variedades de quinua bajo sistema de labranza mínima reportó rendimientos de 3526.8 y 1849.3 kg.ha⁻¹ para las variedades de Blanca Junín y Pasankalla respectivamente. Pérez (2014) reportó rendimientos de 2976.28 y 1989.36 kg.ha⁻¹ en las variedades Blanca Junín y Pasankalla. Estos resultados son superiores al tratamiento sin aplicación obtenido en ambas variedades, lo cual indica que el mildiu afectó significativamente el rendimiento, mientras que en los tratamientos donde se aplicó los extractos el rendimiento promedio están dentro del rango.

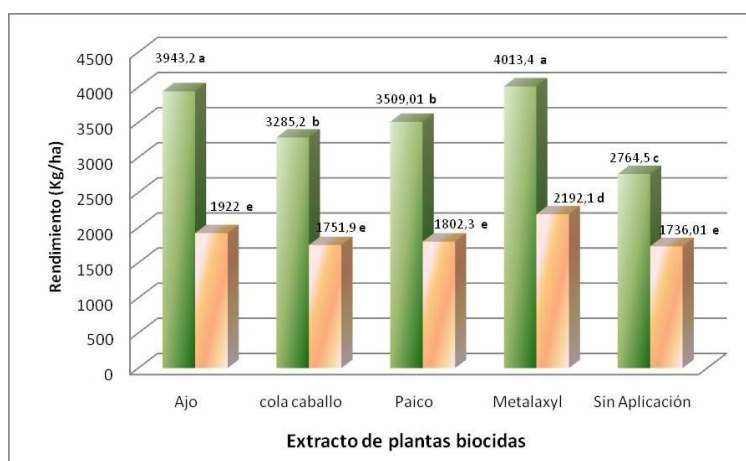


Figura 3.6. Prueba de Tukey de efectos simples de extracto de plantas biocidas y variedades de quinua en el rendimiento (kg.ha⁻¹). Canaán 2750 msnm - Ayacucho.

Mujica (1993) señala que los rendimientos varían de acuerdo a las variedades, fertilización, labores culturales y control fitosanitario durante el cultivo. Danielsen y Ames (2008), mencionan que los daños ocasionados por el mildiu pueden reducir el rendimiento entre el 10% y el 30%, pudiendo ser mayores en ataques severos y en las fases fenológicas más críticas de la planta.

Como se puede apreciar las diferencias en el rendimiento de granos se debe al genotipo, factores ambientales, niveles de fertilización, labores culturales y principalmente al control de plagas y enfermedades.

La relación carbono nitrógeno (C/N) del rastrojo de quinua es de extrema importancia para el manejo de la fertilidad relacionada con la disponibilidad de N, la actividad de microorganismos y la materia orgánica contenida por el suelo. Los restos orgánicos incorporados al suelo aumentan la actividad microbiana que actúan para su descomposición. Estos microorganismos usan el Carbono para la constitución de su propio cuerpo, desprendiendo energía para la respiración y eliminándolo en forma de CO₂. Durante este

proceso, el N es momentáneamente inmovilizado como NH₄⁺ y NO₃⁻ por causa del uso por parte de los microorganismos que los hace no aprovechables. Durante esta inmovilización el N soluble pasa a ser insoluble para las plantas por la posición antagonista que posee ante el Carbono hasta que exista la relación ideal que rompa esta posición antagonista. Cuando esta relación (C/N) es superior a 33, se produce la inmovilización (los nutrientes no son solubles, por tanto son no absorbibles), si la relación C/N se encuentra entre 17 a 33 se tiene un equilibrio (nutrientes casi solubles y aun no absorbibles) y cuando la relación se encuentra en un valor inferior a 17 se produce la mineralización (Fatecha, 1999, mencionado por García, Miranda y Fajardo, 2013).

3.4. RENTABILIDAD ECONÓMICA

En la tabla 3.4 se muestra el análisis de la rentabilidad económica de dos variedades de quinua en dosis de extracto de plantas biocidas, donde con los tratamientos T4 y T1 (Variedad Blanca Junín con metalaxyl y extracto de ajo) se obtuvo una rentabilidad de 2.98 y 2.73

Tabla 3.4. Análisis de rentabilidad económica de dos variedades de quinua con aplicación de extracto de plantas biocidas. Canaán 2750 msnm - Ayacucho.

Tr.	Variedad	Extracto	Rdto	P.U	Utilidad	I.R
T4	B. Junín	Metalaxyl (200 g/cil de agua)	4012.93	6.00	18048.53	2.98
T1	B. Junín	100 gr ajo en 10 l de agua	3942.10	6.00	17286.16	2.73
T3	B. Junín	2 kg paico en 10 l de agua	3508.15	6.00	14281.67	2.12
T2	B. Junín	2 kg cola de caballo en 20 l agua	3284.50	6.00	12939.77	1.92
T5	B. Junín	Sin aplicación	2763.70	6.00	10826.12	1.89
T9	Pasankalla	Metalaxyl (200 g/cil de agua)	2191.74	6.00	7121.51	1.20
T6	Pasankalla	100 gr ajo en 10 l de agua	1923.16	6.00	5172.98	0.82
T10	Pasankalla	Sin aplicación	1734.13	6.00	4648.70	0.82
T8	Pasankalla	2 kg paico en 10 l de agua	1801.52	6.00	4041.89	0.61
T7	Pasankalla	2 kg cola de caballo en 20 l agua	1751.44	6.00	3741.36	0.56

CONCLUSIONES

1. El efecto fúngico de mayor control del mildiu causada por *Peronospora variabilis*, fue con el metalaxyl, seguido por el extracto de ajo, por reportar un menor grado de severidad.
2. El mayor rendimiento de grano del cultivo de quinua se obtuvo con la variedad Blanca Junín, con 4013.4 y 3943.2 kg.ha-1 respectivamente.
3. La mayor rentabilidad económica en el cultivo de quinua se obtuvo con el metalaxyl y el extracto de ajo en la variedad Blanca Junín, con un índice de rentabilidad de 2.98 y 2.73 y una utilidad de 18 048.53 y 17 286.16 soles respectivamente.

RECOMENDACIONES

1. Para el control el mildiu causado por *Peronospora variabilis* en el cultivo de quinua variedad Blanca Junín utilizar extractos de ajo por haber ejercido mayor efecto fúngico y mayor rendimiento de grano.
2. Realizar investigación con otros extractos de plantas, con otras dosis de extracto de ajo y en épocas y variedades diferentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Apaza, V. (2005). Manejo y mejoramiento de quinua orgánica. Puno - Perú: Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria.
2. Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., y Pinedo, R. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Lima Perú: INIA - FAO. Recuperado el 10 de Mayo de 2020, de <http://www.fao.org/3/a-as890s.pdf>.
3. Arapa, V. (2006). Selección por rendimiento de grano y características deseables para procesamiento de genotipo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) tolerantes a mildiu *Peronospora farinosa* Fr. Tesis para Grado Académico de Maestría en Agricultura Andina. UNA. Puno - Perú. Recuperado el 15 de Junio de 2020, de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/597>.
4. Bazán de Segura, C. (1965). Enfermedades de cultivos tropicales y subtropicales. Lima - Perú: Jurídica.
5. Bonifacio, A. (2006). Estudio de prospectiva para los productos del altiplano y los valles centrales de los Andes. ICS - ONUDI. Recuperado el 11 de Mayo de 2020, de <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Cultivos%20Andinos/Quinua/Bibliografia%20Quinua/1%20Peru.pdf>.
6. Calixtro, M. G. (2017). Respuesta de 100 accesiones de quinua a la infección natural de mildiu (*Peronospora variabilis* Gäum) en el Valle del Mantaro. Tesis para Título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima - Perú.
8. Chávez, A., y Aquino, A. (2012). Control de hongos del suelo *Rhizoctonia* sp. *Fusarium* sp. y *Sclerotium* sp. con extractos vegetales. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo Paraguay: Investigación Agraria.
9. Choquecagua, A. (2011). Caracterización y selección de poblaciones varietales de quinua grano blanco (*Chenopodium quinoa* Willd.) Canaán 2750 msnm Ayacucho. Tesis para Título de Ingeniero Agrónomo. UNSCH. Ayacucho - Perú. Recuperado el 20 de Junio de 2020, de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3189>.
11. Garamendi, O. (2014). Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Canaán 2735 msnm - Ayacucho. Tesis para Título de Ingeniero Agrónomo. UNSCH. Ayacucho - Perú. Recuperado el 17 de Junio de 2020, de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2061>.
12. García, Miranda y Fajardo H. (2013). Manual de manejo de la fertilidad del suelo bajo riego deficitario para el cultivo de la quinua en el altiplano Boliviano. UNESCO. LASALAC. La Paz - Bolivia.
14. Llamocca, M. (2018). Niveles de gallinaza en el rendimiento de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de grano blanco, bajo labranza de conservación. Canaán 2750 msnm - Ayacucho. Tesis para Título de Ingeniero Agrónomo. UNSCH. Ayacucho - Perú. Recuperado el 10 de Junio de 2020, de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3273>.
15. Morote, M. (2014). Morote, M. (2014). Rendimiento de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en tres densidades de plantas bajo sistema de labranza mínima. Canaán 2750 msnm Ayacucho. Tesis para Título de Ingeniero Agrónomo. UNSCH. Ayacucho - Perú. Recuperado el 10 de Junio de 2020, de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2066>.
16. Mujica, A. (1993). Cultivo de Quinua. Instituto Nacional de Investigación Agraria - DGIA. Serie Manual N° 11.
- 18- Pérez, J. (2014). Respuesta de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) a tres niveles de gallinaza Valle de Yucaes - Tambillo, 2535 msnm - Ayacucho. Tesis para Título de Ingeniero Agrónomo. UNSCH. Ayacucho - Perú. Recuperado el 11 de Junio de 2020, de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2068>.
19. Risco, A. (2014). Severidad de *Peronospora variabilis* GÄUM en *Chenopodium quinoa* WILLD "Pasankalla" como respuesta a aplicaciones de fungicidas sintéticos y bioestimulantes. Tesis para Magister Scientiae en Fitopatología. UNAL. Lima - Perú. Recuperado el 20 de Abril de 2020, de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2350>.

ANEXO



Fotografía 05. Colocación de cintas de riego



Fotografía 02. Primer aporque del cultivo.



Fotografía 03. Síntomas del mildiu en B. Junín.



Fotografía 04. Síntomas del mildiu en Pasankalla



Fotografía 05. Severidad del mildiu en B. Junín.



Fotografía 06. Panojas de quinuya

ABONAMIENTO Y ÉPOCA DE SIEMBRA EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ MORADO (ZEA MAYS L.), AYACUCHO – 2020

Álvarez Aquise, Fortunato

Programa de Investigación en Cultivos Alimenticios
fortunato.alvarez@unsch.edu.pe

RESUMEN

El trabajo experimental se realizó en el Centro Experimental Canaán, propiedad del Programa de Investigación en Cultivos Alimenticios – PICAL, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, ubicado a una altitud de 2743 msnm. Los objetivos fueron determinar la influencia del tipo de abonamiento y la época de siembra que influye en el rendimiento del maíz morado. Se evaluaron 4 tipos de abonamiento (1.0, 1.5, 2.0 t/ha de guano de islas y fertilización Química) y 3 épocas de siembra (setiembre, octubre y noviembre). Los resultados de las observaciones fueron analizados con el Diseño Bloque Completo Randomizado para el Análisis de Varianza. La comparación de los promedios fue con la prueba de Tukey ($p=0.05$). Las conclusiones permiten señalar que las etapas de desarrollo del maíz morado presentaron influencias por las épocas de siembra y la disponibilidad hídrica; el periodo vegetativo del maíz fue de 170, 155 y 152 dds, cuando la siembra fue en setiembre, octubre y noviembre, respectivamente. Aplicando 2.0 t/ha de guano de islas y sembrando en el mes de noviembre, se obtuvo plantas con alturas de 3.18 m; las siembras de setiembre produjeron plantas de 2.33 m. Las épocas de siembra influyeron en el peso de mazorcas con panca y peso de mazorcas sin paca, obteniéndose 307.42 y 194.91, respectivamente, cuando la siembra se hizo en el mes de noviembre. El rendimiento obtenido fue 7036.47 kg/ha cuando se sembró en noviembre; mientras que, la siembra de setiembre produjo 5646.24 kg/ha.

Palabras claves: Maíz morado, época de siembra, Abonamiento.

FERTILIZATION AND PLANTING TIME ON THE YIELD OF PURPLE CORN (ZEA MAYS L.), AYACUCHO - 2020

ABSTRACT

The experimental work was carried out at the Canaán Experimental Center, owned by the Food Crops Research Program - PICAL, National University of San Cristóbal de Huamanga, located at an altitude of 2743 meters above sea level. The objectives were to determine the influence of the type of fertilizer and the sowing time that influences the performance of purple corn. They were evaluated 4 types of fertilization (1.0, 1.5, 2.0 t / ha of island guano and Chemical fertilization) and 3 sowing seasons (September, October and November) were evaluated. The results of the observations were analyzed with the Randomized Complete Block Design for the Analysis of Variance. The comparison of the means was with the Tukey test ($p=0.05$). The conclusions allow to point out that the development stages of purple corn were influenced by the sowing times and water availability; the vegetative period of corn was 170, 155 and 152 dds, when sowing was in September, October and November, respectively. Applying 2.0 t/ha of guano from islands and sowing in November, plants with heights of 3.18 m were obtained; the September plantings

Produced plants of 2.33 m. The sowing times influenced the weight of ears with pan and weight of ears without bail, obtaining 307.42 and 194.91, respectively, when sowing was done in November. The yield obtained was 7036.47 kg/ha when it was sown in November; while, the September sowing produced 5646.24 kg/ha.

Key words: Purple corn, planting time, fertilization.

INTRODUCCIÓN

El maíz morado es una planta con mazorcas pigmentadas por la presencia de antocianinas, que es un tipo de flavonoides complejos que se caracterizan por tener un importante efecto antioxidante que fomenta el flujo de la sangre, reduce el colesterol y promueve la formación de colágeno, mejorando la circulación; así mismo, reducen el envejecimiento del cuerpo, disminuyen los riesgos de ataque al corazón y son excelentes preventivos contra el cáncer de Colon.

Para obtener rendimientos satisfactorios del maíz morado, Melgar (2013) manifiesta que es necesario un enfoque integral y planificación de la fertilización, señala que el

manejo nutricional es uno de los pilares fundamentales para optimizar el resultado de los sistemas de explotación de maíz en la Región Pampeana. Sin embargo, a nivel de establecimiento agropecuario, la fertilización representa una tecnología más que debe ser integrada dentro del proceso de producción.

Restrepo (2000); señala la existencia de una gran variedad de abonos naturales que permiten el cultivo ecológico y saludable de huertos y jardines. Al no utilizar sustancias químicas, como las que poseen los abonos inorgánicos, evitamos posibles riesgos de contaminación en nuestro espacio y además aportamos nuestro grano de arena al cuidado del medio ambiente.

Un abonamiento adecuado para cualquier cultivo es de mucha importancia si se pretende maximizar los rendimientos. En el caso del maíz morado, trabajos de investigación han demostrado que utilizando niveles adecuados de fertilización química y/o orgánica, incrementan significativamente los rendimientos; sin embargo, la época de siembra es muy importante porque están relacionados con el comportamiento climático del lugar de producción (Azabache, 2003).

Los resultados del presente trabajo de investigación permitirán difundir a la comunidad científica, técnica y universitaria, como una contribución al conocimiento de la mejor época de siembra y el uso de fuentes de fertilización con la finalidad de aumentar los rendimientos. Los directos beneficiarios serán los agricultores de la región para la masificación del cultivo de maíz morado.

En merito a los señalados el presente trabajo de investigación se ha planteado con los siguientes objetivos.

General:

Evaluar las influencias del tipo de abonamiento y la época de siembra en el rendimiento del maíz morado.

Específicos:

- Determinar la influencia del tipo de abonamiento en el rendimiento del maíz morado.
- Determinar la época de siembra que influye en el rendimiento del maíz morado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Centro Experimental de Canaán, que está bajo la administración del Programa de Investigación en Cultivos Alimenticios – PICAL, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; ubicado geográficamente a 13°10'06" LS y a 74°12'16" LO, a una altitud de 2743 msnm. El material genético fue semillas seleccionadas del Centro Experimental de Canaán, de la Variedad Arequipeño.

Los resultados de las variables evaluadas, se analizaron con el Diseño Bloque Completo Randomizado, calculándose el Análisis de Varianza (ANVA). Las significancias de las fuentes de variación, se comprobaron con la Tabla de Contrastes de Ficher (Prueba de F), a nivel de 0.05 y 0.01. Así mismo, de las fuentes de variación que resultaron significativas, se hicieron la prueba de contrastes de medias a través de la Prueba de Tukey ($p=0.05$).

Los factores en estudio, estuvieron conformados por tres épocas de siembra (setiembre, octubre y noviembre) y cuatro tipos de abonamiento (1.0, 1.5 y 2.0 t/ha de guano de islas y abonamiento químico (84- 140-110 NPK). De la combinación de los factores en estudio resultaron 12 tratamientos; para la conducción de ensayo se consideró 3 repeticiones por tratamiento, resultando en total 36 parcelas experimentales. Se utilizó una densidad de siembra de 45 kg/ha, en parcelas experimentales de 12.0 m² (2.4 m x 5.0 m), utilizando surcos de 80 cm y 30 cm entre golpes, colocando 3 semillas por cada golpe. En la siembra se utilizó distintos niveles de abonamiento, según la tabla siguiente:

Tabla 1: Cantidad de abono utilizado en el experimento.

Tratamiento	ABONAMIENTO ORGANICO					ABONAMIENTO QUIMICO (160-140-100 de NPK)							
	Guano de isla (kg)					Papa Sierra (15-25-15)					Cloruro de Potasio		
	1.0 ha	16 m ²	N (10%)	P (10%)	K (2%)	1.0 ha (kg)	16 m ² (gr)	N (15%)	P (25%)	K (15%)	1.0 ha (kg)	16 m ² (gr)	k (60%)
T-1	1000	1.6	100	100	20								
T-2	1500	2.4	150	150	30								
T-3	2000	3.2	200	200	40								
T-4						560	896	84	140	84	27	43.2	16.2

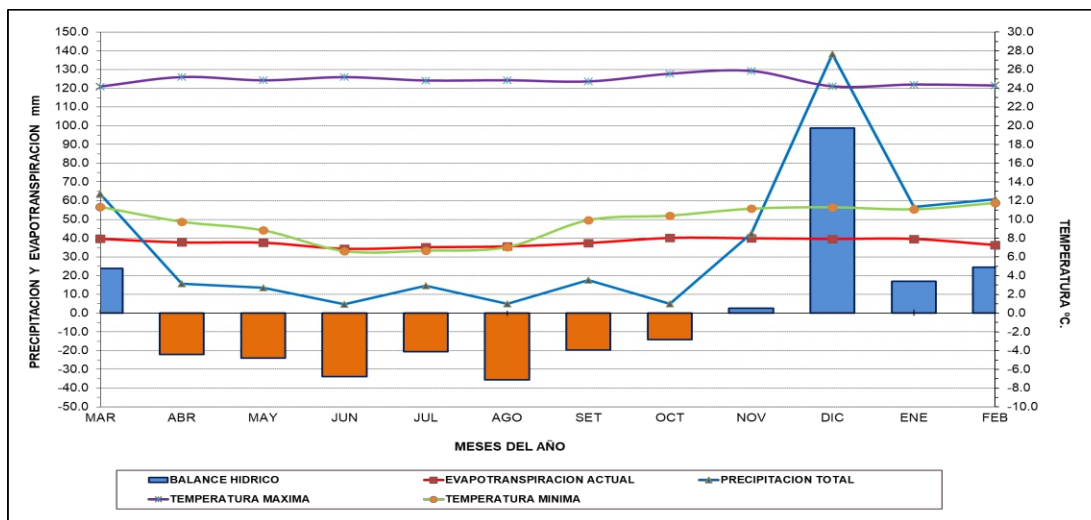


Figura 1 Balance hídrico y temperaturas ombrotermicas de la campaña 2020. Estación Meteorológica de INIA-2021.

Luego de la emergencia de las plántulas se dejó dos plantas por cada golpe, para manejar 83250 plantas/ha, luego se hizo las labores de escardas, riegos y aporcados en forma oportuna.

Para comprobar el comportamiento climático de la zona donde se realizó el ensayo, se registró datos climatológicos como las temperaturas máximas y mínimas media diarias y las precipitaciones que se presentaron durante la conducción del cultivo (Figura 1). A partir de estos datos climáticos, se calculó el balance hídrico, correspondiente a la campaña

agrícola 2020, para poder interpretar la influencia de la época de siembra en el comportamiento fenológico del cultivo de maíz morado.

RESULTADOS Y DISCUSIONES FACTORES DE PRECOCIDAD

Tabla 2: Etapas de desarrollo del maíz morado, con influencia de fuentes de abonamiento y épocas de siembra, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho – 2020.

TRATAMIENTOS	FACTORES EN ESTUDIO		ETAPAS DE DESARROLLO DEL MAÍZ MORADO (DDS)				
	ÉPOCA DE SIEMBRA	FUENTE DE ABONAMIENTO	Días a Emergencia	Días a la floración masculina	Días a floración femenina	Días a Madurez fisiológica	Días a madurez cosecha
T-1	1°set2020(E-1)	1.0t/haGuand.	9- 11	96-102	126- 130	147- 150	165- 170
T-2	1°set2020(E-1)	1.5t/haGuand.	9- 10	94- 98	125- 132	149- 152	172- 175
T-3	1°set2020(E-1)	2.0t/haGuand.	10- 11	92- 98	130- 132	146- 155	168- 174
T-4	1°set2020(E-1)	AbonamQuímico	9- 12	91- 96	126- 130	148- 152	165- 170
T-5	1°oct2020(E-2)	1.0t/haGuand.	8- 9	75- 82	112- 117	130- 135	152- 158
T-6	1°oct2020(E-2)	1.5t/haGuand.	9- 10	78- 85	115- 118	128- 133	152- 156
T-7	1°oct2020(E-2)	2.0t/haGuand.	8- 9	80- 85	114- 117	130- 135	150- 155
T-8	1°oct2020(E-2)	AbonamQuímico	9- 10	82- 85	116- 118	125- 130	155- 158
T-9	1°nov2020(E-3)	1.0t/haGuand.	8- 10	74- 79	115- 120	122- 128	150- 154
T-10	1°nov2020(E-3)	1.5t/haGuand.	9- 10	75- 78	114- 118	120- 125	152- 154
T-11	1°nov2020(E-3)	2.0t/haGuand.	8- 9	72- 78	116- 118	128- 130	150- 154
T-12	1°nov2020(E-3)	AbonamQuímico	8- 9	73- 76	114- 117	127- 129	148- 153

Coefficiente de Variabilidad = 3.98 %

Al realizar la prueba de Tukey ($p=0.05$) en la figura 3 se determinó que aplicando 1.0 t/ha de guano de islas, en la época de siembra 3 (1ro de noviembre) y en la época de siembra 2 (1ro de octubre) la altura de planta fue 3.02 y 2.90 m, respectivamente, sin

denotar diferencias estadísticas entre estos valores; sin embargo, hay diferencias estadísticas con la altura de planta 2.38 m que se obtuvo en la época de siembra 1 (1ro de setiembre).

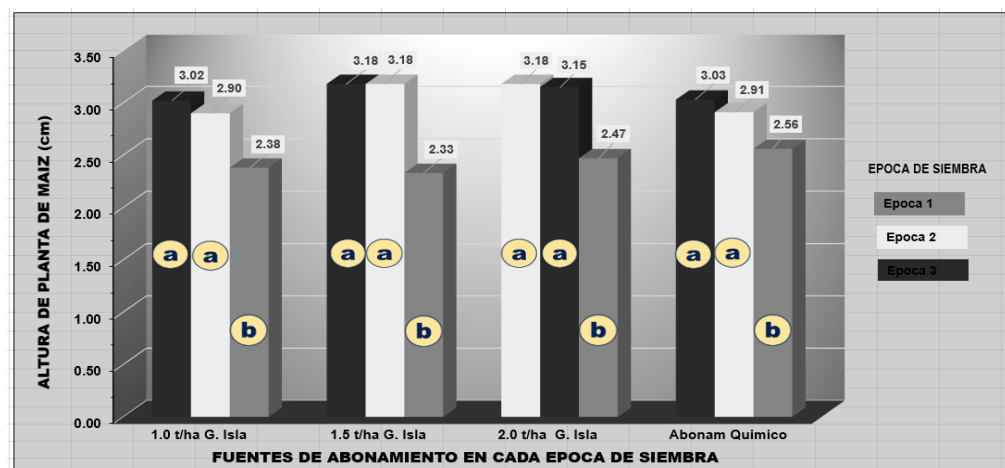


Figura 3: Prueba de Tukey ($p = 0.05$), de la altura de planta de maíz, correspondiente a la época de siembra en cada uno de las fuentes de abonamiento, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho 2020.

Según la figura 4, la prueba de Tukey ($p=0.05$), reporta una altura de planta de 3.18 m cuando se aplica abonamiento químico ó 2.0 t/ha de guano de islas durante la época de

siembra 2 (1ro de octubre) y época de siembra 3 (1ro de noviembre).

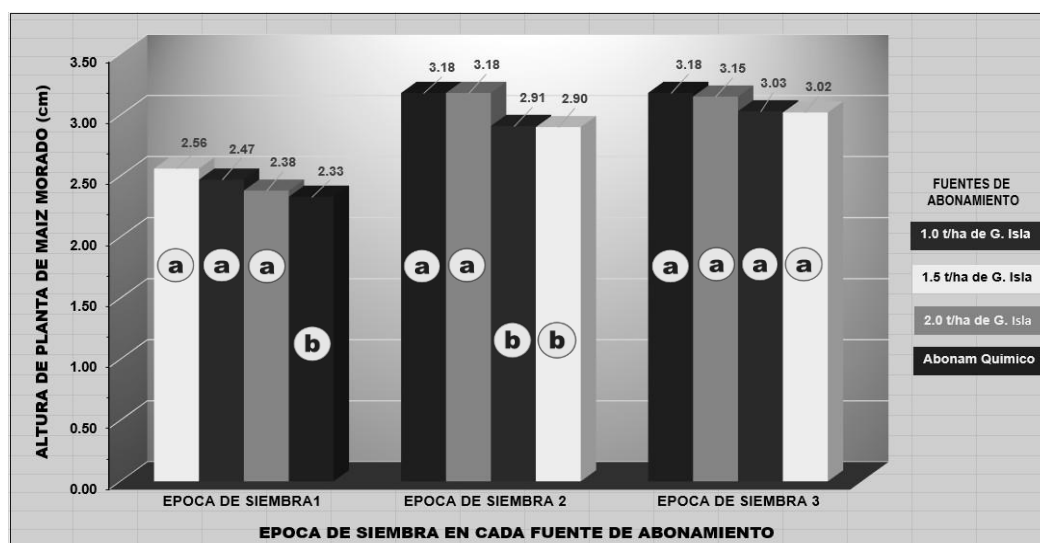


Figura 4: Prueba de Tukey ($p = 0.05$), de la altura de planta de maíz, correspondiente a fuentes de abonamiento en cada época de siembra, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho 2020

b) Altura a la mazorca (m)

El ANVA calculado en la tabla 4, señalan una alta significación estadística para la fuentes de variación épocas de siembra y significación para fuentes de abonamiento. Para

la interacción época de siembra y fuentes de abonamiento no se encontró significación estadística. El coeficiente de variabilidad fue 6.82%, considerado muy aceptable para el presente análisis estadístico.

Tabla 4: Análisis de Varianza de la altura a la mazorca, bajo influencia de fuentes de abonamiento y épocas de siembra, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho – 2020.

Fuente de Variación	G. L	Suma Cuadrada	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	Sig
Repetición	2	0.00335000	0.00167500	0.15	0.862	N.S
Época de siembra (E)	2	1.90291667	0.95145833	84.93	<.000	**
Fuentes de Abonamiento (A)	3	0.11275556	0.03758519	3.36	0.037	*
E*A	6	0.10012778	0.01668796	1.49	0.227	N.S
Error	22	0.24645000	0.01120227			
Total corregido	35	2.36560000				

Coeficiente de Variabilidad = 6.82 %

El ANVA calculado en la tabla 4, señalan una alta significación estadística para la fuentes de variación épocas de siembra y significación para fuentes de abonamiento. Para la interacción época de siembra y fuentes de abonamiento no se encontró significación estadística. El coeficiente de variabilidad fue 6.82%, considerado muy aceptable para el presente análisis estadístico.

Con relación a la altura a la mazorca graficada en la figura 5,

la prueba de Tukey ($p=0.05$) reporta 1.72 y 1.70 m, con la época de siembra 2 (1ro de octubre) y época de siembra 3 (1ro de noviembre), respectivamente, sin mostrar diferencias estadísticas; la siembra en la época 1 (1ro de setiembre) produjo una altura a la mazorca de 1.22 m, con diferencia estadística.

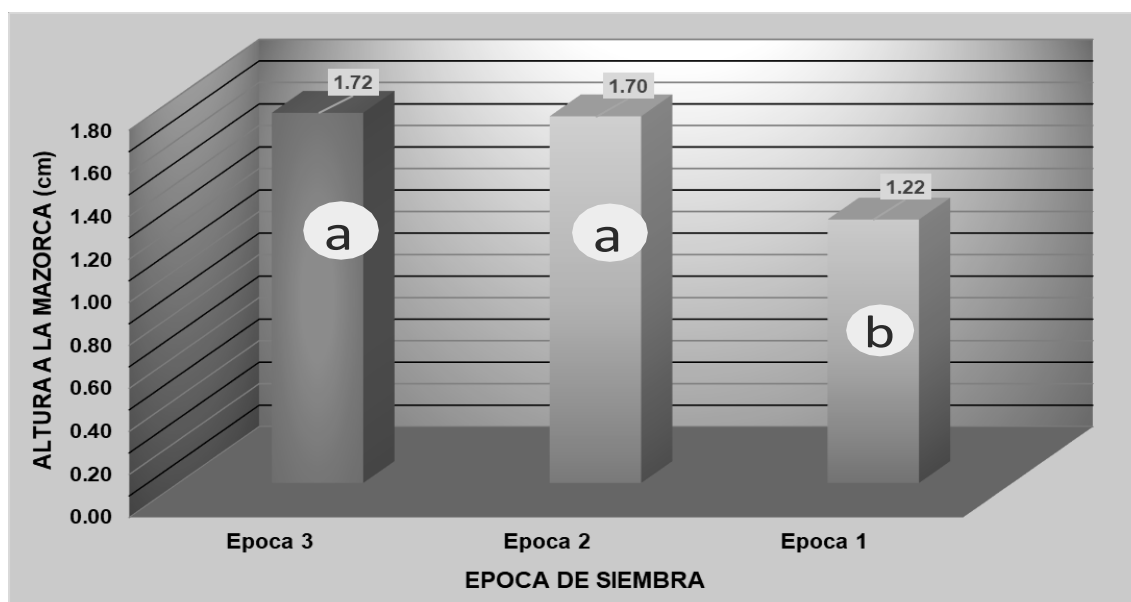


Figura 5: Prueba de Tukey ($p = 0.05$), correspondiente a la altura de planta a la mazorca en épocas de siembra, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho 2020.

En la figura 6, la prueba de Tukey ($p=0.05$) reporta una altura a la mazorca de 1.60, 1.59 y 1.55 m, con la aplicación de abonamiento químico, 2.0 y 1.5 t/ha de guano de islas,

respectivamente, sin demostrar diferencias estadísticas. Al aplicar 1.0 t/ha de guano de islas, se consiguió una altura a la mazorca de 1.46 m, considerado el menor valor.

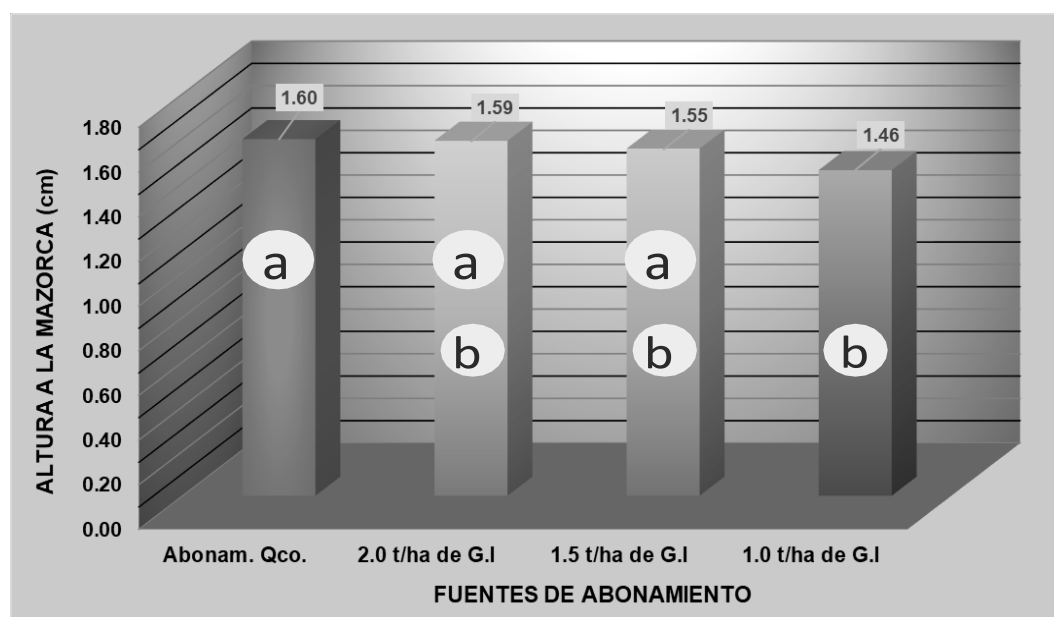


Figura 6: Prueba de Tukey ($p = 0.05$), correspondiente a la altura de planta a la mazorca en fuentes de abonamiento, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho 2020

Los resultados obtenidos de la altura a la mazorca relacionado con la época de siembra, fue determinante para este carácter evaluado. El crecimiento y desarrollo del cultivo, durante los meses de setiembre y octubre, estuvieron

influenciados de las temperaturas (máximas, mínima y media mensual), cuyos valores fueron inferiores a los registrados en los meses de noviembre, diciembre y enero, permitiendo mayor altura de planta, como se observa en la figura 1.

c) Peso de cada mazorca con panca (gr)

Tabla 5: Análisis de Varianza del peso de cada mazorca, bajo influencia de fuentes de abonamiento y épocas de siembra, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho – 2020.

Fuente de Variación	G. L	Suma Cuadrada	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	Sig
Repetición	2	7609.34787	3804.67394	4.75	0.0193	*
Época de siembra (E)	2	11230.19431	5615.09715	7.01	0.0044	**
Fuentes de Abonamiento (A)	3	4132.28041	1377.42680	1.72	0.1920	N.S
E*A	6	2210.26598	368.37766	0.46	0.8301	N.S
Error	22	17614.45833	800.65720			
Total corregido	35	42796.54690				

Coefficiente de Variabilidad = 9.68 %

De acuerdo a la tabla 5, el ANVA señala una alta significación estadística para la

fuente de variación época de siembre; para fuentes de abonamiento y para la interacción de épocas de siembra y fuentes de abonamiento no se encontró significación estadística. El coeficiente de variabilidad es 9.68%, cuyo valor es adecuado para el diseños evaluado.

La prueba de Tukey ($p=0.05$) graficado en la figura 7, denota que el peso de mazorcas con panca es 307.42 y 301.88 gr, con la época de siembra 3 (1ro de noviembre) y época de siembra 2 (1ro de octubre), respectivamente, sin diferencias estadísticas; mientras tanto, con la época de siembra 1 (1ro de setiembre), el peso de mazorcas con panca fue 267.49 gr, presentando diferencias estadísticas y considerado el menor valor.

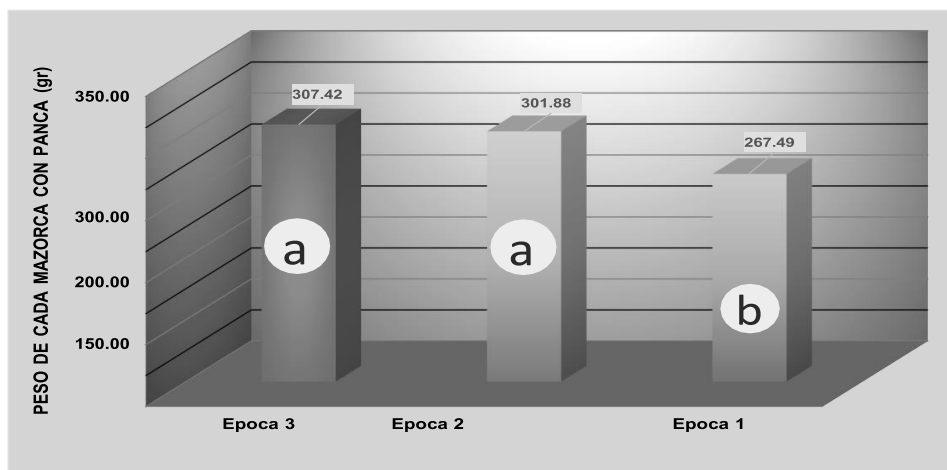


Figura 7: Prueba de Tukey ($p = 0.05$), correspondiente al peso de cada mazorca con panca en época de siembra, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho 2020.

d) Peso de cada mazorca sin panca (gr)

Tabla 6: Análisis de Varianza del peso de cada mazorca sin

panca, bajo influencia de fuentes de abonamiento y épocas de siembra, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho – 2020.

Fuente de Variación	G. L	Suma Cuadrada	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	Sig
Repetición	2	532.143217	266.071608	0.57	0.5742	N.S
Época de siembra (E)	2	5637.923517	2818.961758	6.03	0.0082	**
Fuentes de Abonamiento (A)	3	1607.993475	535.997825	1.15	0.3525	N.S
E*A	6	1043.447617	173.907936	0.37	0.8889	N.S
Error	22	10287.62825	467.61947			
Total corregido	35	19109.13607				

Coefficiente de Variabilidad = 12.04 %

El ANVA calculado en la tabla 6, reporto una lata significación estadística para la fuente de variación época de siembra; para las fuentes de variación fuentes de abonamiento y para la interacción épocas de siembra y fuentes de variación no se evidencio significación estadística. El coeficiente de variabilidad fue 12.04%

Al realizar la prueba de Tukey ($p=0.05$) y graficado en

la figura 8 se reporta mazorcas sin panca cuyo peso fueron 194.91 y 179.44 gr, con la época de siembra 3 (1ro de noviembre) y época de siembra 2 (1ro de octubre), respectivamente, sin diferencias estadísticas; con la época de siembra 1 (1ro de setiembre), el peso de mazorcas sin panca 164.25 gr, con diferencias estadísticas de los otros valores señalados.

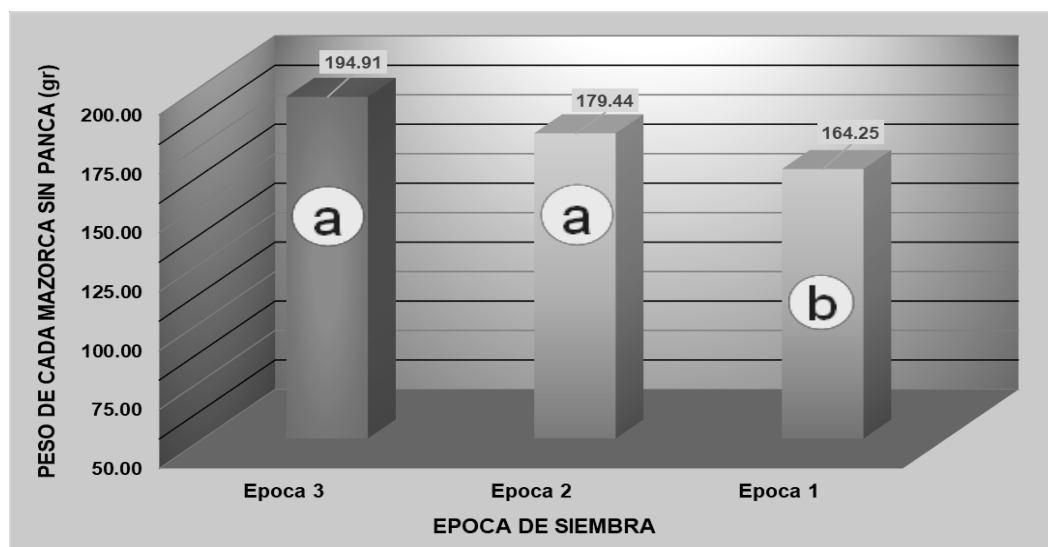


Figura 8: Prueba de Tukey ($p = 0.05$), correspondiente al peso de cada mazorca sin panca en época de siembra, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho 2020.

e) Peso de 1000 semillas (gr)

Tabla 7: Análisis de Varianza del peso de 1000 semillas, bajo influencia de fuentes de abonamiento y épocas de siembra, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho – 2020.

Fuente de Variación	G. L	Suma Cuadrada	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	Sig
Repetición	2	54.11949	27.05974	0.12	0.888	N.S
Época de siembra (E)	2	18.56421	9.28210	0.04	0.960	N.S
Fuentes de Abonamiento (A)	3	41618.13970	13872.71323	60.80	<.000	**
E*A	6	311.98719	51.99787	0.23	0.963	N.S
Error	22	5019.90944	228.17770			
Total corregido	35	47022.72003				

Los resultados del ANVA, mostrados en la tabla 9, señalan una alta significación estadística para la fuente de variación fuentes de abonamiento; para las otras fuentes de variación, época de siembra y la interacción entre épocas de siembra y fuentes de abonamiento, no existen significación estadística. Se obtuvo un coeficiente de variabilidad 3.51, valor adecuado para la prueba estadística utilizada.

La figura 9 que muestra la prueba de Tukey ($p=0.05$), denotando un peso de 1000 semillas de 453.40, 449.38 y 446.95 gr utilizando las fuentes de abonamiento Químico, 2.0 y 1.5 t/ha de guano de islas, respectivamente, sin diferencias estadísticas; con 1.0 t/ha de guano de isla se obtuvo 371.57 gr, presentado diferencia estadística de los otros valores.

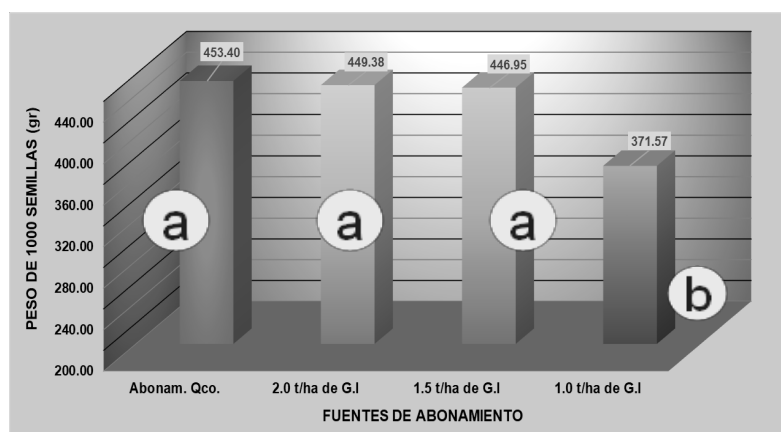


Figura 9: Prueba de Tukey ($p = 0.05$), correspondiente al peso de 1000 semillas en fuentes de abonamiento, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho 2020.

f) Rendimiento de mazorcas (kg/ha)

Tabla 8: Análisis de Varianza del rendimiento de mazorcas, bajo influencia de fuentes de abonamiento y épocas de siembra, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho – 2020.

Fuente de Variación	G. L	Suma Cuadrada	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	Sig
Repetición	2	888090.43	444045.21	0.82	0.453	N.S
Época de siembra (E)	2	12069158.40	6034579.20	11.15	0.000	**
Fuentes de Abonamiento (A)	3	1236127.96	412042.65	0.76	0.527	N.S
E*A	6	2897847.93	482974.66	0.89	0.517	N.S
Error	22	11902239.50	541010.89			
Total corregido	35	28993464.22				

Coefficiente de Variabilidad = 11.45 %

Al realizar el ANVA en la tabla 8 se reporta una alta significación estadística para la fuente de variación época de siembra; para las fuentes de variación fuentes de abonamiento y para la interacción de época de siembra y fuentes de abonamiento no es significativo. En la prueba estadística se encontró una fuente de variabilidad de 11.45%, cuyo valor es adecuado.

De acuerdo a la prueba de Tukey ($p=0.05$) graficado en la

figura 10, se reporta un rendimiento del maíz morado en mazorcas de 7036.47 y 6584.42 kg/ha, con la época de siembra 3 (1ro de noviembre) y la época de siembra 2 (1ro de octubre), Respectivamente, sin demostrar diferencias estadísticas; en la época de siembra 1 (1ro de setiembre) el rendimiento fue 5646.24 kg/ha, denotando diferencias estadísticas con los otros valores reportados.

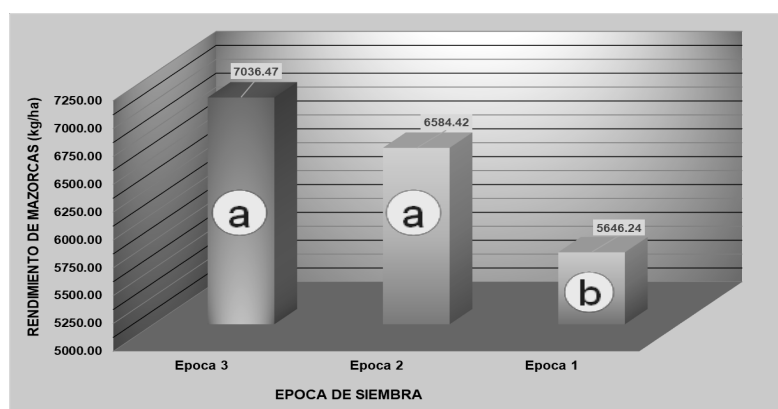


Figura 10: Prueba de Tukey ($p = 0.05$), correspondiente al rendimiento de mazorcas en fuentes de abonamiento, en el cultivo de maíz morado. Ayacucho 2020.

La discusión de los resultados del presente trabajo de investigación, son comparados y corroborados por los reportes presentados por:

Llanos (1984), señala que el momento de la siembra va ser determinado por las condiciones climáticas del año en conjunción con el ciclo de la variedad que se está utilizando.

El maíz en general exige un clima relativamente cálido y agua en cantidades adecuadas (Bonilla, 2009).

Se establece que el suministro de nutrientes minerales al cultivo de maíz morado, mediante los abonamientos, favorecen un normal desarrollo en el tiempo establecido en función a su carga genética; mientras que la ausencia de elementos minerales en el suelo, tiende a que la planta acorte su periodo vegetativo, como un mecanismo de sobrevivencia del cultivo a condiciones adversas del medio de cultivo. (Salisbury y Ross, 1994).

Chapman y Carter (1976), señala que la emergencia del maíz se realiza dentro de los primeros 10 días después de la siembra, dependiendo de las condiciones edáficas y climáticas del lugar de producción; las características físicas y la humedad del suelo son factores determinantes para una pronta emergencia.

Manrique (1997), señala que el periodo de emergencia a fecundación es muy variable con la temperatura y la humedad y sensible a los cambios ambientales; en cambio el periodo de fecundación a madurez fisiológico y de cosecha es relativamente estable con las diferentes cultivares e independiente de las variaciones del medio ambiente; señala también que, en este periodo cualquier cambio de temperatura, heladas, falta de humedad en el suelo y de nutrientes impiden el normal proceso metabólico de transformación de los fotosintatos y consecuentemente un mal llenado de elementos de reserva en el grano, y redundan en una pérdida del rendimiento. Sobre el rendimiento del maíz morado, la época de siembra, fue determinante para alcanzar altos rendimientos. La siembra realizada en setiembre no fue adecuado por la influencia de los índices térmicos (máximas, mínima y media mensual), cuyos valores fueron inferiores a los registrados en los meses de noviembre, diciembre y enero. Los cultivos que se sembraron en octubre y noviembre tuvieron mejores condiciones climáticas para un normal crecimiento y desarrollo, permitiendo buenos rendimientos.

Otro factor determinante en el rendimiento del cultivo fue la disponibilidad de agua en el suelo. Según el balance hídrico (figura 1), los meses de setiembre y octubre hubo escasez de agua en el centro experimental, perjudicando el abastecimiento normal de agua de riego y repercutiendo en el normal crecimiento y desarrollo del cultivo. Mientras tanto, los cultivos sembrados en octubre y noviembre tuvieron disponibilidad hídrica suficiente y permitió obtener mayor producción de mazorcas.

Los rendimientos obtenidos en el presente trabajo son superiores a los reportados por Roca (1992), y concordantes con los obtenidos por INIA (1999).

AGRADECIMIENTOS

A la Unidad de Investigación e Innovación de la Facultad de Ciencias Agrarias, por el apoyo económico para la ejecución del presente trabajo de investigación.

Al personal obrero y técnico del Programa de Investigación en Cultivos Alimenticios por el apoyo logístico en la instalación y la conducción del manejo agronómico del cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azabache, A. 2003. Fertilidad de Suelos para una agricultura sostenible.

Universidad Nacional del Centro. Huancayo, Perú.

Chapman, S y Carter, L. 1976. Producción Agrícola: Principios y Prácticas. Editorial Acribia. Zaragoza – España..

INIA, 1999. Producción Tecnificada de Maíz morado. Boletín de Información. INIA – Lima.

Manrique, A. 1997. El maíz en el Perú. Segunda edición.

CONCYTEC. Perú. Manrique, A. 1999. Maíz morado peruano (*Zea mays* L. Amilaceae st.). Folleto R.I. N° 2 – 99. Perú 24 p.

Melgar, R. y Torres, M. 2013. Abonos orgánicos: La Gallinaza. Folleto de divulgación. México.

Restrepo, J. 2000. Agricultura Orgánica: Una Teoría y una Práctica. Cali, Colombia.

Roca, O. 1992. Rendimiento de dos Variedades de Frijol, Asociado con Maíz morado. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho.

Salisbury y Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Ediciones Mundi Prens. México.

PROTOTIPO DIDÁCTICO DE SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - UNSCH – 2020

Castañeda Esquén, Carlos Augusto
Programa de Investigación en Agua y Energía
Área de Energía
carlos.castaneda@unsch.edu.pe

RESUMEN

El presente trabajo de investigación ha permitido seleccionar los componentes de un sistema de bombeo de acuerdo a las condiciones de operación y características de los equipos; para la puesta en marcha y simulación del sistema de iluminación y bombeo de agua con bomba sumergible se ha construido el prototipo compuesto por un generador solar fotovoltaico con dos baterías. En la investigación se examinaron los datos de la irradiación solar, voltaje, intensidad de corriente, potencia, altura manométrica y caudal, la investigación consistió en construir el prototipo de bombeo solar fotovoltaico con una bomba sumergible de corriente continua de 24 V y 300 W y la instalación para una lámpara de 50 W y 220 V en corriente alterna. La parte experimental se llevó a cabo con la validación del prototipo obteniéndose las curvas, características principales, utilizando para ello equipos de medición de variables meteorológicas y de medición de corriente y voltaje.

El generador fotovoltaico consta de un panel fotovoltaico de 270 W y 24 V, dos baterías de 12 V 110 AH conectadas en serie. El prototipo permitirá ser una guía que faciliten la enseñanza y aprendizaje en el Curso de Energías Renovables; de igual manera permitirá implementar un sistema de bombeo de mayor capacidad.

Palabras claves: Sistema de bombeo, generador fotovoltaico, prototipo didáctico.

DIDACTIC PROTOTYPE OF WATER PUMPING SYSTEM WITH PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY - UNSCH - 2020

ABSTRACT

The present research work has allowed to select the components of a pumping system according to the operating conditions and characteristics of the equipment; The prototype consisting of a photovoltaic solar generator with two batteries has been built for the start-up and simulation of the lighting and water pumping system with a submersible pump. In the investigation, the data of solar irradiation, voltage, current intensity, power, manometric height and flow were examined, the investigation consisted of building the photovoltaic solar pumping prototype with a submersible pump of direct current of 24 V and 300 W and the installation for a lamp of 50 W and 220 V in alternating current. The experimental part was carried out with the validation of the prototype, obtaining the curves, main characteristics, using equipment for measuring meteorological variables and for measuring current and voltage.

The photovoltaic generator consists of a 270 W 24 V photovoltaic panel, two 12 V 110 AH batteries connected in series. The prototype will serve as a guide to facilitate teaching and learning in the Renewable Energies Course; in the same way, it will allow to implement a pumping system with greater capacity.

Key words: Pumping system, photovoltaic generator, didactic prototype.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito realizar un prototipo didáctico de un sistema para bombear agua con energía solar fotovoltaica, habiéndose realizado previamente los cálculos que han permitido la selección de los equipos para la instalación del módulo.

Actualmente, el bombeo solar es una tecnología popular, útil y rentable por su facilidad de uso en diferentes campos de aplicación como el suministro de agua a zonas remotas en donde no es accesible la energía eléctrica; llevar agua potable a las casas, abastecer agua para el ganado y para el riego, entre otros (Asmat, 21018). Los sistemas fotovoltaicos de bombeo pueden satisfacer un amplio rango de necesidades que van desde 1,000 litros diarios para abreviar pequeños hatos o para consumo humano y hasta 50,000 litros diarios para hatos más grandes e irrigación de pequeñas parcelas. Estos sistemas son modulares, de manera que pueden optimizarse para las características específicas de cada

proyecto (Rochin, Ortiz y Ellis, s.f).

La energía solar fotovoltaica aplicada a sistemas de bombeo resulta una opción conveniente en la región de Ayacucho por su alto nivel de radiación, lo que permite instalar pequeños sistemas de bombeo de agua en lugares aislados, previo diseño para un adecuado dimensionamiento y así el sistema opere dentro de los parámetros óptimos.

Por lo que se hace necesario un estudio de los parámetros más importantes de dicho sistema: índice de radiación solar, número de paneles fotovoltaicos y sus características eléctricas del sistema de generación, acoplamiento entre el generador y el conjunto motor – bomba, pérdidas de potencia, el caudal y la eficiencia del sistema.

El contar con un prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico permite realizar mediciones en configuraciones distintas, evaluar y hacer mejoras en los diseños de sistemas de bombeo fotovoltaico, además permite desarrollar un método de enseñanza que muestre los componentes del

sistema y entrenar a los estudiantes en el uso de los sistemas fotovoltaicos en sistemas de bombeo.

Con la presente investigación se pretende exponer de manera clara parte de la información necesaria de los componentes que conforman el sistema de bombeo, poner en funcionamiento y realizar simulación del sistema de bombeo autónomo con bomba sumergible, alimentado por un generador solar fotovoltaico.

La función principal de este prototipo, es la extracción de agua mediante bomba sumergible, alimentado por un generador fotovoltaico que transforma la energía proveniente del sol en energía eléctrica de corriente continua.

El prototipo construido consta de un panel fotovoltaico de 270 W y 24 V, dos baterías en serie de 12 V 110 AH cada una, regulador de carga de la batería de 50 A, conversor de corriente continua a alterna de 24 V AD a 220 V AC, dos tanques de 600 litros y de 1100 litros, bomba sumergible de corriente continua de 24 V y 300 W. Con el prototipo, se podrá realizar las mediciones con configuraciones distintas, es decir ensayos con baterías y con paneles solares directos y configuraciones de batería más el panel solar, permitiendo realizar investigaciones para instalar un sistema de bombeo de mayor capacidad.

PROBLEMA

PROBLEMA PRINCIPAL

¿En qué medida el prototipo del sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica permite evaluar los parámetros y variables que caracterizan al sistema?

PROBLEMAS SECUNDARIOS

¿De qué manera las características del panel influyen en el sistema de bombeo con energía solar?

¿De qué manera el tipo de bomba sumergible influye en el comportamiento del sistema de bombeo?

¿De qué manera el funcionamiento del prototipo permite comprender el funcionamiento del sistema de bombeo con energía solar fotovoltaica?

OBJETIVOS

Los objetivos del presente proyecto de investigación son:

OBJETIVO GENERAL:

Contar con una instalación que permita realizar mediciones de los parámetros en configuraciones distintas, evaluar y hacer mejoras en los diseños y disponer un medio técnico didáctico para su aprendizaje.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Seleccionar los componentes del sistema de bombeo solar fotovoltaico en función del espacio disponible en el laboratorio de energías renovables, donde se ubicará el prototipo y que permita realizar las mediciones de los parámetros.

2. Caracterizar el prototipo mediante la evaluación de los parámetros y variables, en ensayos de bombeo sin baterías.
3. Caracterizar el prototipo mediante la evaluación de los parámetros y variables, en ensayos de bombeo con baterías.

MATERIAL Y MÉTODOS

Materiales

- Cámara fotográfica digital
- Computadora personal
- Memoria USB
- Estación meteorológica
- Generador fotovoltaico de 2 paneles de 270 W 24 V
- Regulador de carga de 40 A y de 12 a 24 V
- Sistema de baterías compuesto por dos baterías de 110 AH 12 V
- Motor-bomba, motor de corriente directa de 24 V 300 W
- Depósito de agua (donde irá sumergida la bomba y simulará el sondeo) de volumen de 1100 litros, altura de 1.40 m. y diámetro de 1.10 m.
- Sistema de tuberías
- Cuadro de conmutación (Bomba-Regulador)
- Accesorios para simular diferentes alturas manométricas y elementos de medición
- Bibliografía referida al uso de la energía solar fotovoltaica
- Guías, atlas, códigos
- Software PVsyst 7.0 para el cálculo de la irradiación solar de Ayacucho
- Pinza voltiamperimétrica
- Tanque de acumulación de agua de 600 litros, altura 1.12 m. y diámetro 0.97 m. Tipo de investigación empleada por la naturaleza de los objetivos y la metodología utilizada en la presente investigación es de tipo aplicada, con un nivel de investigación explicativa, método inductivo, observación, análisis, interpretación. Ubicación geográfica: El lugar de estudio de esta investigación tiene las siguientes coordenadas: latitud -13,15° S y longitud -74,23° W y está ubicada en los ambientes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Pampa del Arco perteneciente al distrito de Ayacucho, altitud 2805, figura 1:

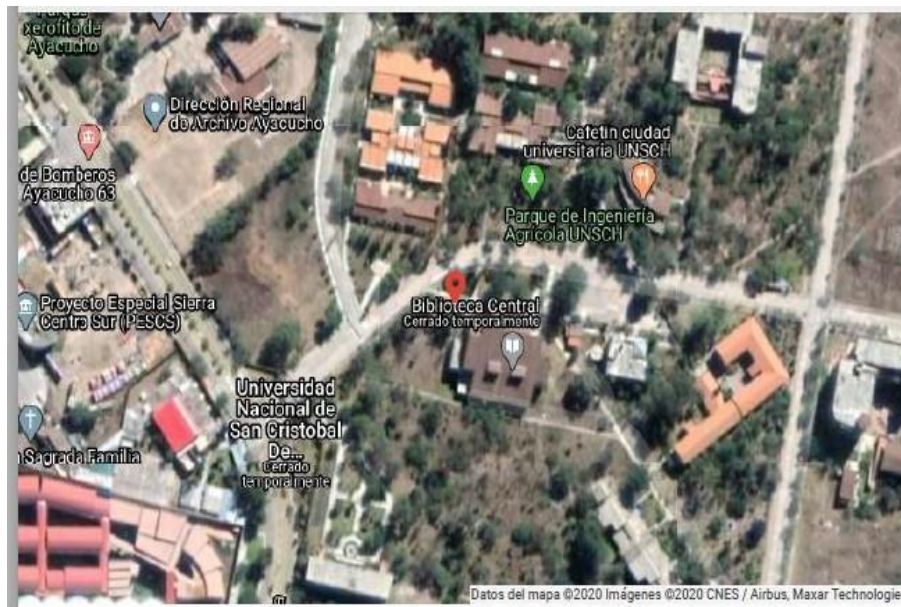


Figura 1: Ubicación geográfica, fuente <https://www.google.com/maps/place/Ayacucho>

MÉTODO

1. Determinación de la demanda energética
2. Determinación de la demanda hídrica
3. Determinación de la altura total equivalente

$$HTE = H_e + A_p + H_r + H_f$$

HTE altura total equivalente (m),

H_e Altura estática o geométrica (m),

A_p Altura por abatimiento del pozo (m),

H_r Altura del reservorio (m), y

H_f Altura por pérdidas de fricción (m).

Según IDAE (2009) la altura de las pérdidas por fricción en las tuberías y otros accesorios del sistema hidráulico (válvulas, codos, etc.). Serán inferiores al 10 % de la energía hidráulica útil, por lo que la ecuación quedará expresada de la siguiente manera. (Dávalos, 2019)

$$HTE = 1,1 [H_e + A_p + H_r]$$

4. Cálculo de la energía hidráulica (E_H)

La energía hidráulica viene representada por la siguiente ecuación según IDAE (2009),

$$E_H = 2,725x HTE x Q$$

5. Cálculo de la potencia hidráulica (P_H)

E_H

$$P_H = \dots\dots\dots t$$

6. Cálculo de la potencia eléctrica de la motobomba (PMB)

Considerando el rendimiento máximo de $\eta_{MB} = 0,65$ para bombas superiores a 500 W se calculó con la siguiente ecuación, la potencia eléctrica de la motobomba.

$$PMB = \dots\dots\dots \eta_{MB}$$

7.- Cálculo de la energía necesaria para el dimensionamiento del generador (Epot. máx. diaria).

E_H

$$EMB = EPot.Max.Diaria = \dots\dots\dots \eta_{MB}$$

$EPot.Max.Diaria$ energía potencial máxima (Wh/día),
 E_H energía hidráulica (Wh/día), η_{MB} eficiencia de la motobomba.

8.-Cálculo de la potencia del generador (P_g)

$$P_g = f. s \frac{EPot.Max.diaria}{0,9 \times HPS \times KT}$$

P_g potencia del generador (W),

$EPot.Max.diaria$ Potencia máxima diaria (Wh/día),

HPS hora sol pico,

KT factor por utilizar inversor o inversor más baterías, y

$f. s$ factor de seguridad.

9.-Cálculo del caudal pico que debe soportar la bomba.

El rendimiento pico del subsistema motobomba tiene un valor de 65 % y se calcula con la ecuación (Dávalos, 2019)

$$Q_p = \frac{P_g \times \eta_{MB}}{g \times HTE}$$

Q_p caudal pico (l/s),

P_g potencia del generador (W), η_{MB}

rendimiento de la motobomba,

g gravedad (m/s^2),

HTE altura total equivalente (m). 10.-Cálculo del número de paneles

Para el diseño del sistema se ha seleccionado paneles fotovoltaicos mono cristalino de 270 W, voltaje nominal 24 V, intensidad de operación 5,35 A, voltaje de operación 28,7 V, y corriente de corto circuito 5,72 A. Con la ecuación siguiente se calculará el número de paneles totales.

$$NP = \frac{P_g}{P_{pfv}}$$

P_{pfv}

NP es el número de paneles solares,

P_g es la potencia del generador y

P_{pv} es la potencia pico del módulo fotovoltaico.

El número de paneles en paralelo se determina con la ecuación

$$NP_{serie} = \frac{V_{n.sgen}}{V_{n.p}}$$

$N_{p.serie}$ es el número de paneles en serie,
 $V_{n.sgen}$ es el voltaje nominal de sistema de generación y
 $V_{n.p}$ es el voltaje nominal del panel.

El número de paneles en paralelo se determina con la ecuación

$$NP_{paralelo} = \frac{P_{pv}}{P_{max}}$$

NP serie 11.- Cálculo de la sección del conductor eléctrico
 Para conductores de cobre la sección de los cables para corriente continua se calculará mediante la siguiente ecuación

$$S = \frac{2 \times L \times I}{\sigma \times \Delta V}$$

S es la sección del conductor en (mm²),
 L longitud en (m),

I intensidad en (A),

σ conductividad del conductor (56 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$),

ΔV caída de tensión (4,8 V).

12.- Topología del sistema de bombeo fotovoltaico diseñado
 Con cada uno los componentes dimensionados, se configurará la topología del sistema de bombeo fotovoltaico, considerando almacenamiento de agua para 1 día de autonomía.

13.- Horas de sol pico (HSP) Es el promedio de horas de sol que se puede aprovechar en el transcurso del día, para generar la suficiente energía que pueda ser aprovechada por los paneles solares. La radiación promedio óptima que llega a la tierra es de 1000 w/m² y el número de horas de sol pico es equivalente a la insolación solar promedio diario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de los componentes del sistema de bombeo

El panel seleccionado cumple con las características técnicas de la tabla 1. Tabla 1. Características técnicas del panel solar fotovoltaico

MAGNITUD	VALOR/UNIDAD
POTENCIA MAXIMA (P_{MAX})	270 Wp
CORRIENTE DE POTENCIA MAXIMA (I_{max})	8.78 A
TENSION DE MAXIMA POTENCIA (V_{max})	30.81 V
CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO (I_{sc})	9.45 A
TENSION DE CIRCUITO ABIERTO (V_{oc})	38.12 V
EFICIENCIA	16.764 %

Número de paneles fotovoltaicos

El número de paneles de acuerdo a la demanda se muestra en la tabla 2 Tabla 2. Número de paneles fotovoltaicos

Consumo de energía WH/día	H:S:P panel W	Potencia del panel W	N° de paneles en serie	N° de paneles en paralelo	N° paneles
1973	5.32	270	1	2	2

Potencia del sistema de bombeo del prototipo

La potencia del sistema de bombeo para las condiciones de operación de la bomba se muestra en la tabla 3

Tabla 3. Potencia requerida para bombeo fotovoltaico

Altura m	udal m ³ /s	tencia	bomba tencia	motor	tencia uerida W
3.5	01	33			60

La potencia que se requiere para el funcionamiento de la instalación del prototipo para bombeo es de 60 W cuya potencia es menor a los 270 W de un panel.



Figura 2 Prototipo construido

Pruebas realizadas al prototipo

Pruebas realizadas permiten determinar el desempeño del prototipo en función de cuatro variables: Caudal de agua (m^3/s), Potencia de la bomba (watts), tensión (V) y la irradiación solar (W/m^2)

Los parámetros de validación más importantes son:

La curva potencia - caudal

La curva altura manométrica – caudal

La curva irradiación solar – potencia en bomba La curva Irradiación solar – caudal.

Ensayo del prototipo con baterías

Se realizaron las mediciones para obtener las curvas de potencia-altura y altura manométrica-caudal, para simular la altura manométrica se realizó mediante una válvula y la bomba recibió una tensión de 24 voltios mediante al banco de baterías figura 9, las mediciones se realizaron con la pinza voltiamperimétrica, la potencia es el producto del Voltaje y corriente.



Figura 3 banco de baterías

En la figura 3 se muestra el prototipo instalado para las pruebas realizadas con batería de 12 V cada una y 110 Ah, el regulador de carga para los 24 voltios y el inversor de 24 V CD a 220 V AC.

Mediciones realizadas a la salida del regulador de carga en corriente continua Voltaje

de salida del panel : 25.7 V.

Corriente : 10.4 A.

Potencia : 267.28 W.

Mediciones realizadas a la salida del inversor en corriente alterna Voltaje

de entrada al inversor : 25.7 V. DC

Voltaje de salida del inversor : 222 V. AC

Corriente a la salida del inversor : 0.34 A.

Potencia de salida del inversor : 75.48 W

Potencia instalada de la lámpara : 25.00 W.

Las condiciones estándar:

Irradiancia : 1000 W/m^2

Temperatura de célula : 25 °C

Comportamiento del sistema de bombeo solar fotovoltaico con banco de baterías

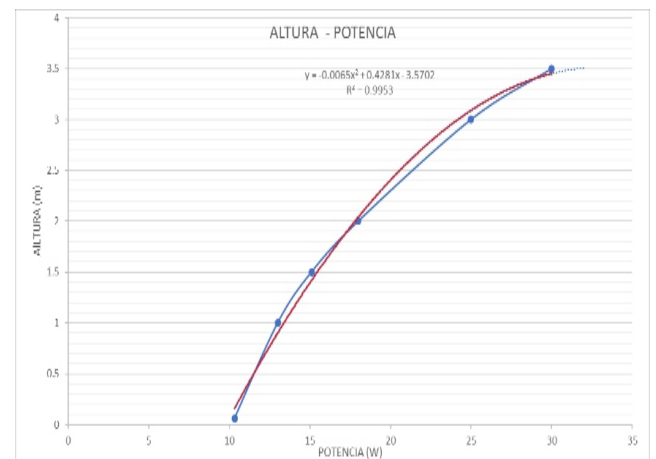


Figura 4 Altura para un caudal máximo de 15 l/m

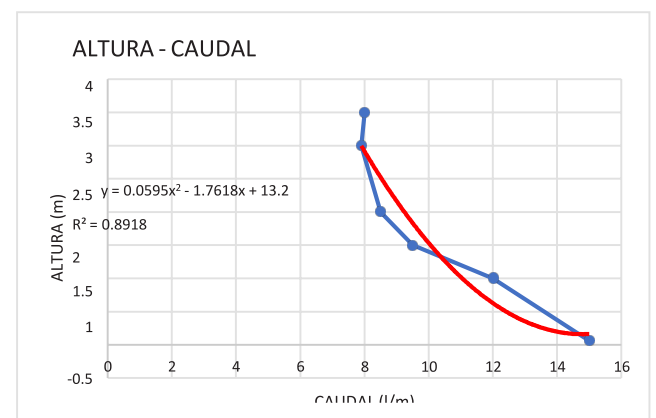


Figura 5 Evolución de la potencia demanda para el caudal en función de la altura En la figura 4 se observa que a mayor altura la bomba requiere más potencia y en la figura 5 el caudal disminuye con la altura.

Con respecto a los valores de corriente y voltaje se puede decir que a mayor altura el voltaje disminuye por la caída de tensión, aumentando la corriente Tabla 4.

Tabla 4 Resultados de las mediciones de voltaje y corriente

Medidas	Altura manométrica (m)	Voltaje V	Intensidad A	Potencia (W)	Caudal lit/min
1	0.06	25.8	0.4	10.32	15
2	1	24.2	0.54	13.068	12
3	1.5	23.3	0.65	15.145	9.5
4	2	22.9	0.79	18.091	8.5
5	3	21.8	1.15	25.07	7.9
6	3.5	20.3	1.48	30.044	8

Ensayo del prototipo sin baterías

El ensayo bombeo directo se ha realizado con valores de irradiancia solar, tabla 5 Tabla 5 Irradiancia solar registradas el 09 de febrero del 2020

Hora	Irradiación W/m2
10: 00 a.m	960
11: 00 a.m	1150
11:30 a.m	1160
12:00 a.m	1100
01:00 p.m	1000
02:00 p.m	980

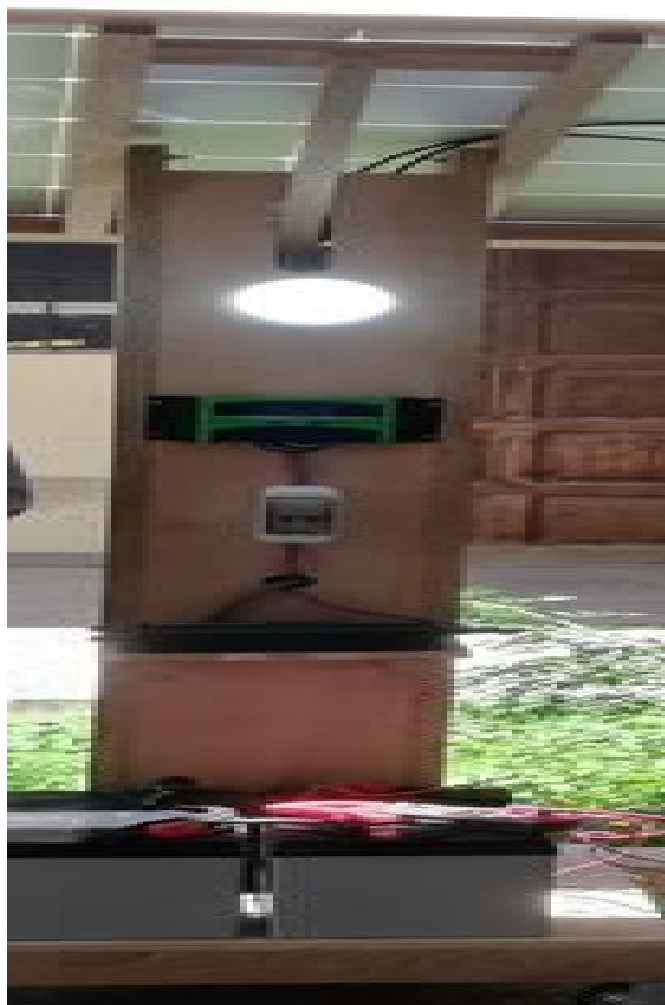


Figura 6 Panel solar con irradiación directa

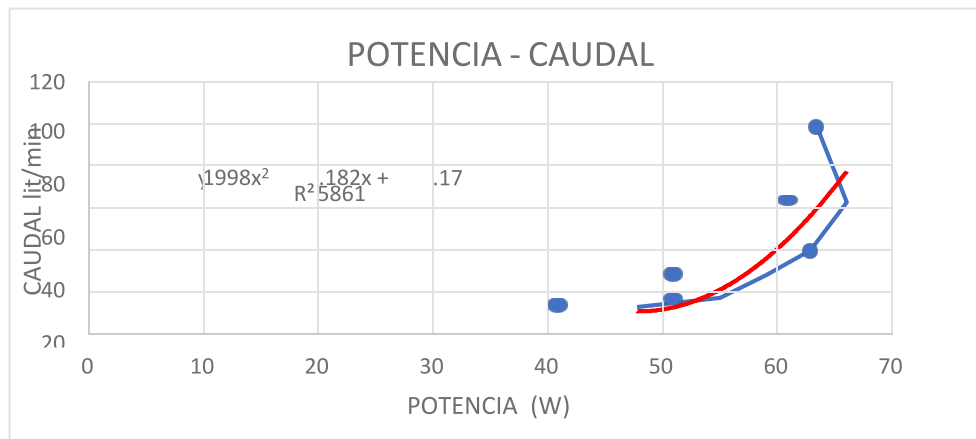


Figura 7 Curva de potencia entregada por el sistema y el caudal bombeado

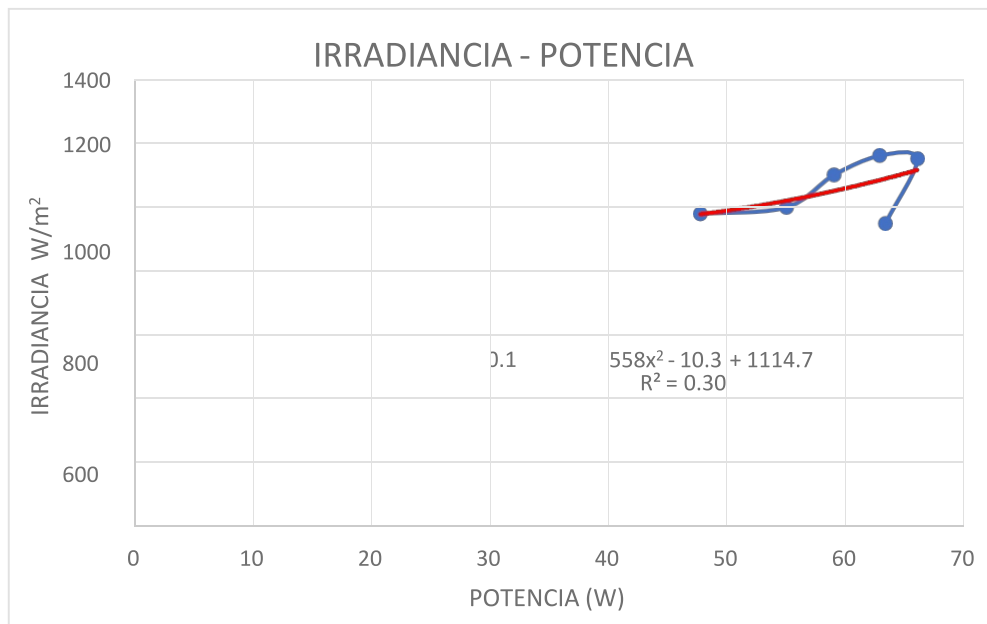


Figura 8 curva irradiancia solar y la potencia entregada por el sistema.

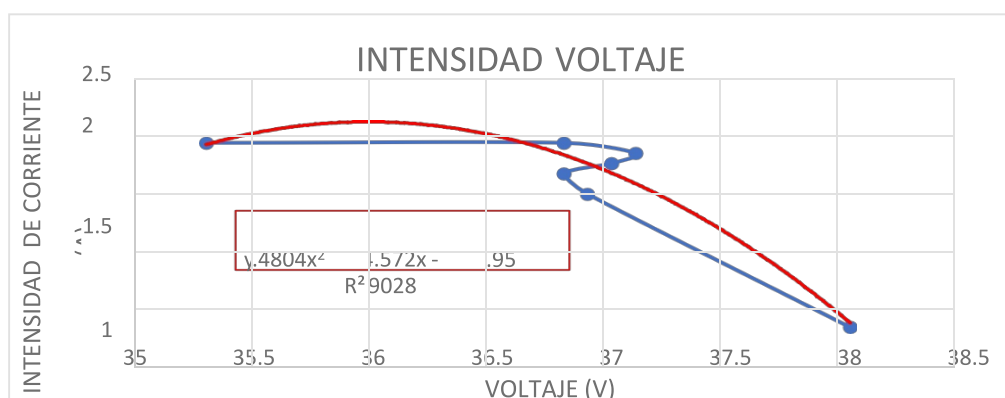


Figura 9 curva intensidad de corriente voltaje

En la figura 7 y 8 se observa que a mayor irradiancia solar la potencia entregada por el sistema y el caudal obtenido aumentan.

En la figura 9 se observa que el valor de la intensidad de corriente aumenta con la intensidad de radiación solar,

mientras que la tensión disminuye conforme aumenta la temperatura alcanzada en las células del módulo. La superficie del módulo se calienta por la radiación solar que recibe incrementando su temperatura.

DISCUSIÓN

Las pruebas se han realizado con ángulo de inclinación de los paneles de 12.77° , que se determinó teniendo en cuenta la latitud de -13.15° , el prototipo construido permite variar el ángulo de inclinación desde una posición horizontal 0° hasta 30° .

El regulador e inversor instalado son unidades independientes sin embargo de acuerdo a la investigación realizada también viene en una sola unidad que forman un inversor híbrido, los recomendados son del tipo PMMT que permiten trabajar a mayor nivel de tensión.

Al realizar las mediciones de la corriente y el voltaje en el sistema de bombeo directo sin baterías, se comprueba que la potencia depende de la irradiación incidente en el panel, a una irradiación de 1150 W/m^2 la potencia en el motor es de 66.24 W , y a 980 W/m^2 la potencia es de 47.67 W lo cual podemos decir que la potencia que suministra el panel en horas de mayor irradiación solar permite bombear un caudal de 62.49 l/min . Estudio realizado (Arija, 2010) obtiene curvas similares, lo que permite definir que las horas de funcionamiento óptimas serían de las 11 a 13 horas.

En la prueba con baterías se observa que al aumentar la altura manométrica de 0 a

3.5 mts. se presenta una caída de tensión de 5.5 V y la corriente aumenta de 0.4 a

1.48 A sin embargo se obtiene mayor potencia de salida en la bomba y una reducción del caudal de 15 l/min a 8 l/min , lo que demuestra que a mayor altura el requerimiento de la potencia aumenta. Estudio realizado (Arija, 2010) obtiene curvas de similar tendencia.

El tipo de panel solar escogido es monocristalino teniendo en cuenta la eficiencia del panel y la zona de estudio que tienen un clima frío con tendencia a tormentas en comparación con los policristalinos que se recomienda para climas cálidos (Autosolar, 2017) con respecto al costo también hay diferencia el policristalino es de menor costo que el monocristalino.

CONCLUSIONES

El prototipo instalado en el Laboratorio de Termodinámica y Máquinas Eléctricas, se muestra como una herramienta didáctica confiable y práctica para determinar el comportamiento del sistema de bombeo con energía solar fotovoltaica. Con la finalidad de caracterizar las curvas del prototipo, se utilizó una pinza voltiamperimétrica de escala hasta 600 V y 400 A . AD/AC que permitieron determinar los parámetros eléctricos del generador fotovoltaico.

Se monitoreó el sistema instalado sin batería con bombeo directo (panel solar) y con baterías, con la bomba accionada con motor de corriente continua de 24 V y 300 W , que permitió la caracterización del sistema y el comportamiento del conjunto motor- bomba obteniéndose información esperada de acuerdo al marco teórico y a las características técnicas de los equipos.

Para la captura de datos de la radiación se utilizó la estación meteorológica cuyos datos se obtuvieron de un solo día, sin embargo se tiene información indirecta (NASA) de la irradiación solar durante el año 2020, con esta información se ha determinado el número de paneles y se han realizado las curvas características con variaciones de caudal, altura, potencia e irradiación, hay que precisar que no se tiene una base de datos de la irradiación solar al no contar con los

equipos adecuados.

En relación a la hipótesis de esta investigación podemos decir que se ha cumplido, pues los resultados de las pruebas han brindado los datos que permiten asegurar el funcionamiento del prototipo con corriente alterna al hacer funcionar la lámpara de 50 W de forma directa con un Voltaje de 220 V AC . y con corriente continua motor- bomba con un voltaje de 24 VDC .

En los sistemas de bombeo fotovoltaico el caudal de agua y la potencia de la bomba, es directamente proporcional a la irradiación solar incidente en el plano del generador fotovoltaico e inversamente proporcional a la altura manométrica.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación se ha realizado gracias al apoyo económico que la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga da al investigador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arija, G.D (2010) *Prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico para proyectos de cooperación al desarrollo con tecnologías apropiadas*. Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior Departamento de Ingeniería Eléctrica. Disponible <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10871/proyecto.pdf>. Consultado el 20 de agosto del 2020.
- Asmat, C.P. (2018) *Determinación de la eficiencia de un sistema de bombeo fotovoltaico en el distrito de Yaurisque – Cusco*, Tesis pre grado, UNALM Perú disponible en <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM>, consultado el 30 de marzo del 2020.
- Autosolar (2017) *Diferencia entre silicio monocristalino y multicristalino o policristalino*, disponible en <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas>, consultado el 16 de mayo de 2020.
- Dávalos, P.J (2019) *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, distrito de Bellavista, Jaén-Cajamarca*, Tesis de pregrado, disponible <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/100>, consultada el 06 de julio del 2020.
- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). (2009) *Instalaciones de energía solar fotovoltaica. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones aisladas a la red. España*. Recuperado a partir de www.idae.es, consultado el 16 de julio del 2020
- Rochin, G. J., Ortiz, G.S y Ellis, S. A (s.f) *Energía solar para bombeo de agua experiencias con ranchos sustentables en Baja California Sur. Firco y Swtdi..* disponible www.bionica.info>Rochin-Solar Bombeo, consultado el 15 de marzo de 2020.

BIOSILICE FOLIAR Y EDÁFICO EN LA TOLERANCIA DEL MAÍZ MORADO A SALINIDAD, EN LABORATORIO-AYACUCHO

CERDA GÓMEZ, Marhleni

Programa de Investigación en Pastos y Ganadería Área de Investigación en Suelos.
marhleni.cerda@unsch.edu.pe

RESUMEN

Se evaluaron niveles de diatomita foliar y edáfico en la tolerancia del maíz morado a la salinidad, en suelo ligeramente salino y arcilloso de Luricocha- Ayacucho-Perú, en condiciones de laboratorio. Los tratamientos fueron niveles de biosilice foliar (0, 1, 2%) y edáficos (0, 500, 1000 kg.ha-1) en diseño completo al azar con arreglo factorial 3x3 y tres repeticiones. Las variables registradas fueron altura de planta, rendimiento de materia seca de parte aérea, radicular, relación peso aéreo/raíz y conductividad eléctrica del suelo. Los resultados refieren que ambas formas de aplicación de biosilice no muestran efecto significativo pero mantienen tendencia al incremento de materia seca de la parte aérea del maíz morado. La dosis 1.5% foliar de biosilice incrementa en 21.30% el desarrollo radicular y junto a 1000 kg.ha-1 hasta 23.47%, respecto del testigo y entre las aplicaciones edáficas cualquier dosis es mejor. Aplicar 2%, 1000, 2%-500 y 1.5%-1000 de biosilice foliar-edáfico, favorecen a la altura de maíz morado, sin diferencia entre sí. Aplicar al suelo 1000 kg.ha-1 de biosilice con o sin foliar, tiende a disminuir la conductividad eléctrica del suelo, sin diferencia entre dosis.

PALABRAS CLAVE: Diatomita o biosilice, foliar, edáfico, salinidad del suelo.

BIOSILICE FOLIAR Y EDÁFICO EN LA TOLERANCIA DEL MAÍZ MORADO A SALINIDAD, EN LABORATORIO-AYACUCHO

RESUMEN

Se evaluaron niveles de diatomita foliar y edáfico en la tolerancia del maíz morado a la salinidad, en suelo ligeramente salino y arcilloso de Luricocha- Ayacucho-Perú, en condiciones de laboratorio. Los tratamientos fueron niveles de biosilice foliar (0, 1, 2%) y edáficos (0, 500, 1000 kg.ha-1) en diseño completo al azar con arreglo factorial 3x3 y tres repeticiones. Las variables registradas fueron altura de planta, rendimiento de materia seca de parte aérea, radicular, relación peso aéreo/raíz y conductividad eléctrica del suelo. Los resultados refieren que ambas formas de aplicación de biosilice no muestran efecto significativo pero mantienen tendencia al incremento de materia seca de la parte aérea del maíz morado. La dosis 1.5% foliar de biosilice incrementa en 21.30% el desarrollo radicular y junto a 1000 kg.ha-1 hasta 23.47%, respecto del testigo y entre las aplicaciones edáficas cualquier dosis es mejor. Aplicar 2%, 1000, 2%-500 y 1.5%-1000 de biosilice foliar-edáfico, favorecen a la altura de maíz morado, sin diferencia entre sí. Aplicar al suelo 1000 kg.ha-1 de biosilice con o sin foliar, tiende a disminuir la conductividad eléctrica del suelo, sin diferencia entre dosis.

PALABRAS CLAVE: Diatomita o biosilice, foliar, edáfico, salinidad del suelo.

INTRODUCCIÓN

Los suelos son recursos diversos y escasos, en contexto nacional solo el 4.2% de nuestro territorio es de utilidad agrícola, sin embargo esta proporción podría disminuir con el tiempo, pues se provoca por varias razones un proceso de degradación entre los cuales el incremento en la concentración de sales. La salinización, es un proceso dinámico, se trata de la acumulación de sales solubles en los suelos y los cultivos que crecen en él manifiestan estrés osmótico, iónico y toxicidad (Flowers, 2004). Los suelos salinos, están presentes fundamentalmente en zonas áridas y semiáridas, como en la costa peruana, donde existe 306 701 hectáreas afectadas (MINAGRI, 2015). En la sierra, no es muy común, pero en algunas zonas bajas y/o depresiones se acumulan sales, los que pueden ser de origen antropogénico o no. Esta condición no permite diversificar cultivos, debido a la sensibilidad manifiesta de aquellos a las sales. Entre las

sales comunes que pueden concentrarse en los suelos están los cloruros y sulfatos de sodio, calcio, magnesio, en concentraciones lo suficientemente altas como para influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas FAO (2016). Se reporta que debido a la presión que se ejerce a la tierra al no permitir un adecuado descanso, el uso intensivo de abonos que no es siempre en cantidades y formas adecuadas, la incorporación de áreas con riego cuya calidad de agua no es siempre la deseable, el manejo inadecuado del drenaje, además del cambio climático y procesos erosivos; la tendencia es a degradar los suelos por acumulación de sales, disminuyendo la siembra diversa y/o limitando a solamente cultivos tolerantes. Al ser este problema crítico en el país y el mundo, se reportan prácticas de manejo, que van desde las estrategias tradicionales de manejo de suelos, agua y nutrientes, a la modificación genética y mejoramiento molecular. Una práctica de alcance nutricional-fisiológico en la planta y de mejoramiento edáfico, es el uso de silicio, cuyos efectos son variables así como las fuentes del mismo,

se investiga el uso de Wallastonita, silicatos residuales de fábricas, o minerales silicatados, en algunos casos también a las diatomitas. El biosilice, es el silicio de la diatomita, roca sedimentaria de origen orgánico, se trata de restos fósiles de algas unicelulares “diatomeas” y posee características particulares, como su elevada superficie específica y muy baja densidad. Ayacucho, cuenta con diatomita tanto en “Quicapata” como en “Tambillo” y que a decir de Verdeja et al. (1992) y Ramírez, (2012) tienen alto contenido de silicio y muy poco contaminante para uso industrial. El uso agrícola, aun es desconocido. En tal sentido, se propuso investigar niveles de diatomita al follaje y al suelo, para valorar su efecto en la tolerancia del maíz morado a la salinidad del suelo de Luricocha, en condiciones de laboratorio con los objetivos de evaluar el efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en la tolerancia del maíz morado a la salinidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

MATERIAL

Se recolectó y analizó suelo y agua, procedentes de la zona baja de Luricocha, provincia de Huanta, departamento de Ayacucho. La diatomita, se obtuvo de la zona de Quicapata, Ayacucho.

MÉTODOS

Se sembró el cultivo de maíz morado en suelo de pH 7.75, ligeramente salino, textura arcillosa, bajo en materia orgánica, alto en fósforo, potasio, CIC y carbonatos. Se aplicaron niveles foliares (0, 1, 2%) y edáficos (0, 500, 1000 kg.ha⁻¹) de biosilice o diatomita tamizada por malla de 120 y 10 mesh, respectivamente, dispuestos en diseño factorial 3 x 3 x 3 repeticiones, con un total de 27 tratamientos dispuestos en macetas de 01 kg de capacidad, se mantuvo la humedad a capacidad de campo con agua del río Cachi, durante dos meses. Las variables evaluadas en plantas fueron el rendimiento de materia seca de la parte aérea, raíz y altura, en suelo la conductividad eléctrica luego de la cosecha. La evaluación de datos fue basada en análisis de varianza, prueba de contraste de Tukey, haciendo uso del programa Infostat. El análisis de conductividad eléctrica del suelo se realizó por conductimetría. La determinación de materia seca previa desecación en estufa, por gravimetría.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Rendimiento de materia seca de parte aérea de maíz morado

El análisis de varianza de la tabla 1, muestra que no existe diferencia significativa en el rendimiento de materia seca de la parte aérea del maíz morado por efecto de la aplicación de niveles de biosilice tanto edáfico como foliar. Sin embargo se observa diferencias numéricas, donde la aplicación de biosilice tanto edáfico como foliar, permite mayor rendimiento de materia seca, respecto del tratamiento que no recibe dosis de biosilice, dejando evidencia que existe alguna mejora en la fisiología de la planta o la condición físico química edáfica.

Tabla 1

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca de la parte aérea de maíz morado (g.maceta⁻¹), por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino.

FV	GL	SC	CM	Fc
Nivel foliar	2	0.830422	0.415211	0.65
Nivel edáfico	2	0.077089	0.038544	0.06
F*E	4	0.473289	0.118322	0.18
Error	18	11.567200	0.642622	
Total	26	12.948000		

CV = 14.49%

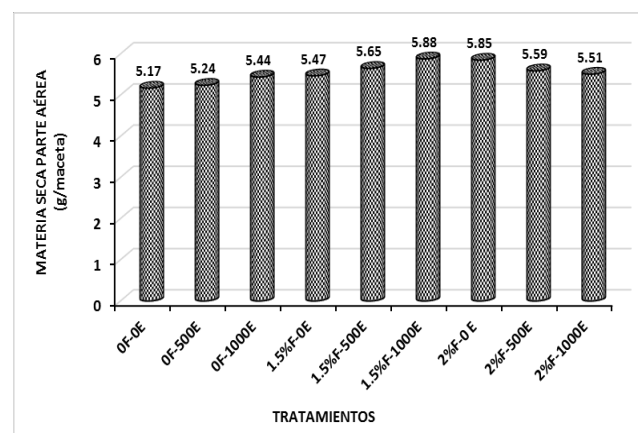


Figura 1. Rendimiento de materia seca de parte aérea de maíz morado (g.maceta⁻¹), por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino

La aplicación del silicio influye positivamente en el crecimiento y rendimiento de los cultivos así como en el metabolismo y la fisiología de las plantas (Walsh, *et al.*, 2018) en condiciones normales así como en situaciones de estrés de agua, salinidad y biótico (Khan *et al.*, 2019). Las respuestas pueden ser en términos de altura, rendimiento, floración, concentración de nutrientes, etc. Así El-Sayed *et al.* (2018) demuestran que el uso de 30% de diatomita junto a putrescina y alfa tocoferol aumentan la floración, desarrollo de brotes florales de *Antirrhinum majus* L. durante dos años. En plantas de sorgo y girasol Calero *et al.* (2019) muestran que aplicar sílice alivia el estrés de salinidad favoreciendo en el peso seco total en 27% (sorgo) y 41 % (girasol) con Si foliar, edáfico o en combinación. Nuestros resultados muestran que aplicar 1.5 o 2% de biosilice foliar, aumenta entre 5.8% a 13.15% la formación de materia seca de la parte aérea en planta de maíz morado, en condiciones de ligera salinidad del suelo y la interacción 1.5% foliar junto a 1000 kg.ha⁻¹ incrementa en 13.73%. Resultados que ratifican la conclusión de Artyszak, (2018) quien afirma que la aplicación foliar del silicio estimula el crecimiento de las plantas en condiciones de estrés y es especialmente beneficioso. No obstante todo depende de qué tipo de fuente silícica se emplea, así lo afirman López *et al.* (2020) refiriendo que la respuesta fisiológica del cultivo sembrado bajo estrés salino, depende del tipo de sal empleada y la dosis de silicio. Al respecto Henk-Maarten, (2018) indica la existencia de silicatos de potasio, de calcio, de sodio o aquellos productos que contiene ácido ortosilícico estabilizado, que suelen ser mucho más caros. Por lo tanto

una explicación de lo obtenido podría ser la fuente de Si, que resulta no muy “eficiente” a diferencia de otras fuentes debido a su solubilidad, a lo que Fraysse et al. (2009) asevera que las diatomitas están formadas por frústulas de diatomeas compuestas de Si amorfo, que es fácilmente soluble comparativamente a otros silicatos comunes de los suelos.

La aplicación edáfica de biosilice, también muestra respuesta favorable, no diferenciable estadísticamente pero claramente muestra una tendencia, pues existe mayor materia seca de la parte aérea (5.22%) a mayor dosis de diatomita o biosilice (1000 kg.ha⁻¹). El aplicar diatomita de 2 mm de diámetro al suelo ligeramente salino y arcilloso permitió la formación de agregados visibles sobre todo en el tratamiento que recibió la dosis alta de biosilice (1000 kg.ha⁻¹), hecho que probablemente influya en la retención de humedad y aireación del suelo, interviniendo en la nutrición mineral de las plantas. Al mismo tiempo, en lo químico la diatomita puede realizar intercambio de cationes, debido a su elevada superficie específica (Alsar et al., 2020) o contribuir al incremento de la disponibilidad del fósforo (Cerdeira, 2018) e influir en el comportamiento de otros nutrientes, lo que conduce a un ligero incremento del rendimiento de materia seca.

Se observa asimismo que el efecto en el rendimiento de materia seca con las aplicaciones foliar y edáfico exteriorizan un comportamiento diferente, existiendo más materia seca con la aplicación foliar.

3.2 Rendimiento de materia seca de raíz de maíz morado

Se observa diferencia significativa en el efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico (Tabla 2), sobre el rendimiento de materia seca del sistema radicular del cultivo de maíz morado. La figura 2, de la prueba de Tukey (α 0.01) a nivel foliar, muestra mayor rendimiento radicular con la dosis intermedia de 1.5% de biosilice, respecto del testigo y la mayor dosis. Aplicaciones al suelo de 500 y 1000 kg.ha⁻¹ de biosilice, favorecen al crecimiento de raíz.

Tabla 2

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca de raíz de maíz morado (g.maceta⁻¹), por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino.

FV	GL	SC	CM	Fc
Nivel foliar	2	0.944763	0.472381	5.40**
Nivel edáfico	2	0.696030	0.348015	3.98*
F*E	4	0.696104	0.174026	1.99
Error	18	1.573200	0.087400	
Total	26	3.910096		

CV= 11.82%

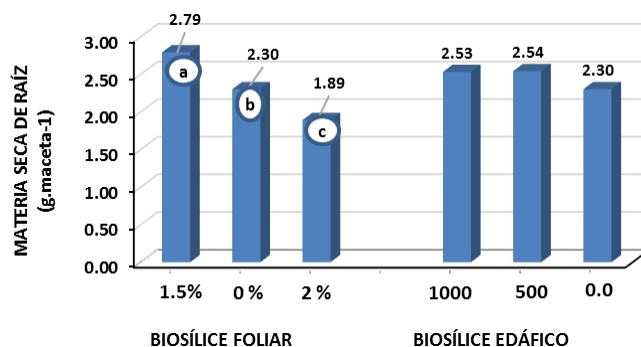


Figura 2. Prueba de Tukey (0.01) de materia seca de raíz de maíz, por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino. Letras iguales denotan no diferencia estadística significativa.

Aplicar 1.5% de biosilice al follaje de plantas de maíz morado en suelo ligeramente salino mejora significativamente el crecimiento radicular en tasas de 20,30% y 47,61%, respecto del testigo y al tratamiento de 2%. Sin duda las aplicaciones foliares resultan una alternativa de provisión de Si en las plantas, como afirman Artyszak et al. (2021) al encontrar que la aplicación foliar de sílice junto a potasio en remolacha azucarera en una concentración de 2% produjo mejor en plantas expuestas al estrés por sequía.

Henk-Maarten, (2018) considera que las aspersiones con Si, resultan efectivas a concentraciones de 1 a 6 ml/L de Si (7 a 45 ppm) en intervalos de 10 a 20 días, desde temprana edad, con efectos positivos sobre el crecimiento, desarrollo, en plantas cultivadas sobre todo con factores de estrés como la salinidad, acidez o sequía. Farahani et al. (2020) aplicando 0,2% de Si foliar en primavera y verano, aumenta el contenido de aceite esencial entre otros compuestos útiles de aplicación médica, cosmética y sanitaria del aceite de rosas, especialmente en condiciones de estrés hídrico. Últimamente Hussain et al. (2020) aplicando Si foliar en soya, mejoró el contenido de clorofila, azúcares solubles, peso fresco, longitud, área superficial y volumen de raíz, relación raíz-brote y peso seco de raíz en condiciones de luz y sombra. Entonces las respuestas a la aplicación foliar están demostradas, sin embargo las respuestas a la aplicación foliar no está del todo definida, respecto a concentración lo que probablemente dependa del tipo de vegetal.



Figura 3. Efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino y arcilloso en la estructura de suelo. Izquierda a derecha: suelo con dosis 1000 kg.ha⁻¹ de biosilice y 1.5% foliar mejor estructurado. La dosis 500 kg.ha⁻¹ se muestra con agregados de menor tamaño y la no aplicación de biosilice (0 kg.ha⁻¹) no muestra agregación.

En el caso de la aplicación edáfica si bien existe diferencia estadística significativa en los efectos principales que no se detecta en la prueba de Tukey. Sin embargo se observa que la aplicación de biosilice al suelo, mejora el crecimiento de la raíz a una tasa de 10%, en cualquier dosis aplicada. Cabe mencionar además que con la dosis de 1.5% foliar junto a 1000 kg.ha⁻¹ de biosilice al suelo ligeramente salino y arcilloso, se observó la formación de agregados con gránulos de 2-3 mm de diámetro, que no fue muy evidente en la dosis de 500 kg.ha⁻¹ (Figura 3). Este hecho sin duda marca una diferencia debido a que influyen en el almacenamiento de agua y/o aireación del suelo en consecuencia en otros aspectos como la nutrición, entre otros; así como encuentra Farooq et al. (2019) al añadir Si al suelo, disminuyó la concentración de Na⁺ y Cl⁻ en las células epidérmicas y corticales de la raíz, mejoró la absorción y el almacenamiento de

K⁺ e iones Mg²⁺, además de influir positivamente en el crecimiento y rendimiento fisiológico del trigo en suelo salinizado. Por su parte Nayecova et al. (2020) utilizando sílice biogénico encuentran mayor biomasa de hojas y raíces en plántulas de cebada en medio salino. Por lo tanto aplicando simultáneamente biosilice foliar y edáfico, nuestros resultados dejan entrever que existe mejora física del suelo que se traducen en mayor desarrollo radicular con incrementos de 20,43% a 23,47% con las dosis de 2%-1000 kg.ha⁻¹ y 1.5%-1000 kg.ha⁻¹, respetivamente..

3.3 De altura de planta

La tabla 3, muestra diferencia significativa en la interacción de sílice foliar y edáfico, y la prueba de efectos simples de la tabla 4, muestra significación al aplicar foliares en el nivel alto de biosilice así como la aplicación edáfica en el nivel alto de foliar, los que se muestran en la prueba de Tukey (α 0.01) de la figura 4.

Tabla 3

Análisis de varianza de altura de planta, por efecto de la aplicación de dosis creciente de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino.

FV	GL	SC	CM	Fc
Nivel foliar	2	77.85185	38.92593	0.92 ns
Nivel edáfico	2	84.96296	42.48148	1.00 ns
F*E	4	894.81481	223.70370	5.28*
Error	18	763.33333	42.40741	
Total	26	1820.96296		

CV= 7.24%

Tabla 4

Análisis de varianza de los efectos simples de altura de planta, por efecto de la aplicación de dosis creciente de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino

FV	GL	SC	CM	Fc
A en B1	2	216.88889	108.44444	2.56 ns
A en B2	2	91.55556	45.77778	1.08 ns
A en B3	2	664.22222	332.11111	7.83**
B en A1	2	214.22222	107.11111	2.53 ns
B en A2	2	2.00000	1.00000	0.02 ns
B en A3	2	763.55556	381.77778	9.00**
Error	18	763.33333	42.40741	
Total	26	1820.96296		

El aplicar 1000 kg.ha⁻¹ de biosilice al suelo, influye en la mayor altura de plantas de maíz morado, sin mostrar diferencia a los que se obtienen con 1.5%-1000 kg.ha⁻¹, de manera similar el uso de 2% en el follaje no se diferencia del que recibió 2%-500 kg.ha⁻¹; todas ellas desarrollan más altura respecto de cuando se aplica 2% foliar-1000 kg.ha⁻¹ al suelo, poniendo en evidencia que la diatomita en los niveles empleados en suelo ligeramente salino y arcilloso influye en la disponibilidad de nutrientes que favorece al crecimiento. Datos que son afines con Hussain et al. (2020) quienes aplicando Si en soya aumentó significativamente la acumulación de algunos carbohidratos como el azúcar soluble y sacarosa en tallos y hojas, asegurando mayor resistencia del tallo en condiciones de sombra y luz. También Shaimaa, (2018) encuentra que dosis foliares semanales (0.5 - 1%) de silicato de potasio aumentan todos los parámetros de crecimiento de plantas de maíz forrajero. El comportamiento en nuestro caso es muy interesante en vista de que las dosis altas simultáneamente aplicadas foliar y edáfico permiten plantas de menor altura, materia seca aérea y buen desarrollo radicular, por lo que se obtuvo mayor rendimiento total, dicha proporción deberá ser evaluada con minuciosidad, pues el parámetro altura si bien es muy importante por el efecto en la fotosíntesis, sin embargo también está el hecho de considerar cómo es la distribución del C en las plantas, que podría ser muy importante a la hora de fructificar entre otras respuestas fisiológicas, debido a que la altura no considera la arquitectura del tallo.

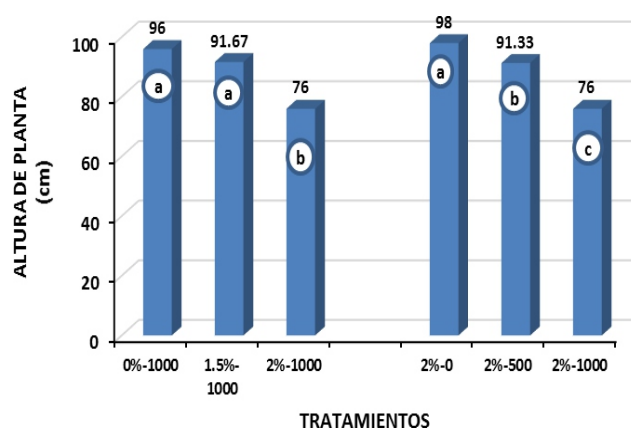


Figura 4. Prueba de Tukey (0.01) de altura de planta, por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino. Letras iguales denotan no diferencia estadística significativa.

3.4 Relación aérea/radicular

La relación de la parte aérea/raíz muestra diferencia significativa en el ANVA (Tabla 5), al igual que para los efectos simples (Tabla 6) de niveles foliares (A) en el primer

nivel edáfico (0 kg.ha⁻¹ biosilíce) y en los niveles edáficos junto al nivel alto de foliar (2%). Tabla 5

Análisis de varianza de la relación aérea/raíz, por efecto de la aplicación de dosis crecientes de biosilíce foliar y edáfico en suelo ligeramente salino.

FV	GL	SC	CM	Fc
Nivel foliar	2	1.10258	0.55129	10.32*
Nivel edáfico	2	0.63274	0.31637	5.92*
F*E	4	1.33156	0.33289	6.23**
Error	18	0.96127	0.05340	
Total	26	4.02815		

CV = 10.26%

Tabla 6

Análisis de varianza de los efectos simples de la relación aérea/raíz, por efecto de dosis crecientes de biosilíce foliar y edáfico en suelo ligeramente salino

FV	GL	SC	CM	Fc
A en B1	2	2.05862	1.02931	19.27*
A en B2	2	0.34349	0.17175	3.22
A en B3	2	0.03203	0.01601	0.30
B en A1	2	0.05444	0.02722	0.51
B en A2	2	0.06245	0.03122	0.58
B en A3	2	1.84742	0.92371	17.30*
Error	18	0.96127	0.05340	
Total	26	4.02815		

La figura 5 de la prueba de Tukey ($\alpha 0.01$) muestra que la sola aplicación de 2% de biosilíce muestra una relación aérea/raíz más alta, es decir existe formación de materia seca aérea, pero al parecer no existe translocación de carbono hacia las raíces, donde además las condiciones de baja aireación y ligera salinidad no contribuyen a una mayor formación de raíces, tal como se pudo observar en el ítem 3.2. La dosis de 1.5% foliar, desarrolla comparativamente al tratamiento anterior menos masa aérea, pero mayor masa radicular. En el segundo grupo se observa que poniendo al suelo biosilíce en dosis de 1000 kg.ha⁻¹, junto a 2% foliar favorece al crecimiento de raíz disminuyendo así la relación aérea/raíz, este hallazgo es clara demostración que la diatomita aplicada al suelo mejora algunas características de éste, entre las que pudimos observar, la agregación (Figura 3), con ella la retención de humedad y/o aireación del suelo, también la parte química por el intercambio catiónico, o liberación de nutrientes, o disminución de sales (ítem 3.5). Al disminuir las relaciones parte aérea/raíz dejan distinguir que las condiciones edáficas mejoran al punto de permitir desarrollar más a las raíces o que la distribución de C fue mejor, pues esta relación caracteriza el equilibrio funcional de la planta (Di Benedetto y Tognetti, 2016). El trabajo

C, acrecentando la eficiencia en el uso de N y P; que se tradujo en mayor rendimiento de materia seca, tanto en condiciones de estrés hídrico como sin estrés.

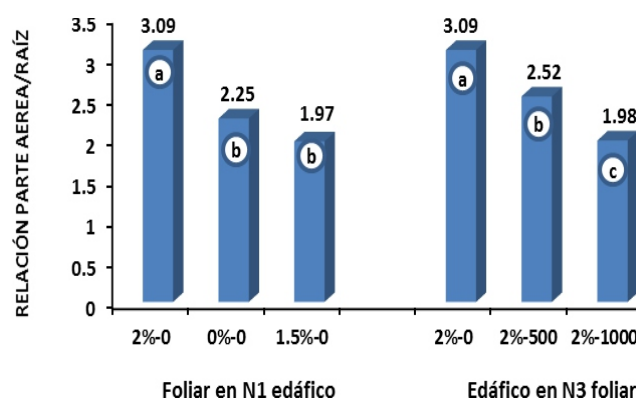


Figura 5. Prueba de Tukey ($\alpha 0.01$) de la relación aérea/raíz, por efecto de niveles de biosilíce foliar y edáfico en suelo ligeramente salino. Letras iguales denotan no diferencia estadística significativa.

es concordante con lo hallado por Teixeira et al. (2020) quienes concluyen que aplicando Si a raíces y hojas, en plantas pre brotadas de caña de azúcar modificó la estequiometría de C: N: P y aumentó la eficiencia del uso de

3.5 Conductividad eléctrica del suelo (CE)

El ANOVA de la tabla 7, muestra que luego de aplicar biosilice al follaje y al suelo no existe efecto significativo en la conductividad eléctrica del suelo. Sin embargo en la figura 6, la tendencia es clara, en razón a que el biosilice permite disminuir la salinidad en un suelo ligeramente salino y arcilloso como el nuestro, por lo cual existen diferencias que son significativas en otros parámetros evaluados como peso de raíz y altura de planta o tendencias de respuesta positiva (rendimiento de parte aérea y total). Esto permite especular el efecto positivo de diatomita o sílice biogénico de Ayacucho en el crecimiento de las plantas así como su efecto en el suelo. Estos resultados son semejantes a lo hallado por Martínez (2013) quien al aplicar diatomita comercial (diatomita-289) en dosis de 40 kg.ha⁻¹ permitió disminuir ligeramente la cantidad de sales del suelo, con el consiguiente aumento en el rendimiento de granos de trigo.

Tabla 7

Análisis de varianza de conductividad eléctrica del suelo (dS.m⁻¹), por efecto de la aplicación de dosis creciente de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino.

FV	GL	SC	CM	Fc
Nivel foliar	2	0.3428666 7	0.1714333 3	0.94 ns
Nivel edáfico	2	0.1887166 7	0.0943583 3	0.52 ns
F*E	4	0.1721833 3	0.0430458 3	0.24 ns
Error	18	3.2601 7	0.1811166 7	
Total	26	3.9638666 7		

CV = 8.69%

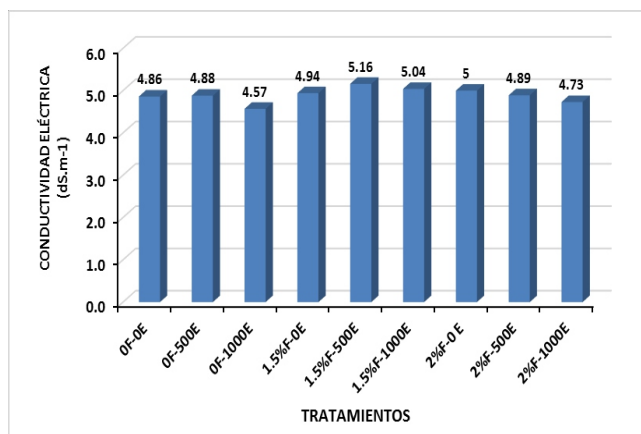


Figura 6. Conductividad eléctrica, por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por su apoyo para la realización del presente trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdalla, M.M., 2011. Impact of diatomite nutrition on two *Trifolium alexandrinum* cultivars differing in salinity tolerance, *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*. 3(13)pp.233-246.
2. Aksakal, E.L., Angin, I., Oztas, T. 2013. Effects of diatomite on soil consistency limits and soil compactibility. *Catena*. 101, 157-163.
3. Alsar, Zh., Duskinova, B., Insepov, Z. 2020. New Sorption Properties of Diatomaceous Earth for Water Desalination and Reducing Salt Stress of Plants. *Eurasian Chemico-Technological Journal* 22 (2020) 89–97. <https://doi.org/10.18321/ectj955>
4. Ansar, T. J., Zulfiqar, J.A., Anwar-ul-Haq, M., 2019. Silicon nutrition improves growth of salt-stressed wheat by modulating flows and partitioning of Na⁺, Cl⁻ and mineral ions. *Plant Physiology and Biochemistry*. Volume 141, p. 291-299.
5. Artyszak, A., 2018. Effect of Silicon Fertilization on Crop Yield Quantity and Quality—A Literature Review in Europe, *Plants* 7 (3), pp. 1 - 17. doi:10.3390/plants7030054
6. Artyszak, A.; Gozdowski, D.; Siuda, A. 2021. Effect of the Application Date of Fertilizer Containing Silicon and Potassium on the Yield and Technological Quality of Sugar Beet Roots. *Plants* 2021, 10, 370. <https://doi.org/10.3390/plants10020370>
7. Berni, R., Mandlik, R., Hausman, J-F., Guerriero, G., 2020. Silicon-induced mitigatory effects in salt-stressed hemp leaves. *Physiologia Plantarum*. <https://doi.org/10.1111/ppl.13097>
8. Brady, N., and Weil, R. 2008. The nature and properties of soils. 14th edn. Columbus, Ohio: Pearson Prentice hall.
9. Calero, A.; Chiconato, D.A.; De Mello R.; Silveira, G.; Felisberto, G. 2019. Silicon attenuates sodium toxicity by improving nutritional efficiency in sorghum and sunflower plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 142, 224 - 233 p. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.07.010>
10. Cerda, M. 2018. Niveles y finura de diatomite en propiedades químicas de suelo ácido altoandino en invernadero – Ayacucho. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Escuela Profesional de Agronomía, Ayacucho.
11. Di Benedetto, A., Tognetti, J., 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. RIA/Trabajos en prensa.
12. El-Ghamry, A.M.; Abd El-Hai, K.M.A.; Ghoneem, K.M. 2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of Faba bean cultivated in clayey soil. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 3, 731–739.
13. El-Sayed, I., Magda, M., El-Saady, B., Abo-El-Fetoh, A., Mona, M., and Afaf, H. 2018. Effect of Diatomite, Putrescine and Alpha-Tocopherol on flower characters and Anatomical flower bud structure of *Antirrhinum majus* L. plant. *Middle East Journal of Agriculture*. Volume : 07, p:1747-1755
14. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 1987. Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación, Colección FAO:

- Agricultura, N° 21, Roma-Italia.
15. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2009. High Level Expert Forum. How to Feed the World in 2050. Rome, Italy: Economic and Social Development, Food and Agricultural Organization of the United Nations.
 16. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2016. Estado mundial del recurso suelo/Resumen técnico. Roma.
 17. Farahani, H.; Sajedi, N.A.; Madani, H.; Changizi, M.; Naeini, M.R. 2020. Effect of Foliar-Applied Silicon on Flower Yield and Essential Oil Composition of Damask Rose (*Rosa damascena* Miller) under Water Deficit Stress. *Silicon* 2020. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00762-1>
 18. Farooq, M.A., Zulfiqar, J.A., Anwar-ul-Haq, M. 2019. Silicon nutrition improves growth of salt-stressed wheat by modulating flows and partitioning of Na⁺, Cl⁻ and mineral ions. *Plant Physiology and Biochemistry* 141. p 291–299
 19. Flowers, T.J., 2004. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 55(396), pp. 307-319
 20. Fraysse, F., Pokrovsky, O.S., Schott, J., Meunier, J.D. 2009. Surface chemistry and reactivity of plant phytoliths in aqueous solutions. *Chem. Geol.* 258, 197-206.
 21. Gupta, B. and Huang, B. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization, *Inter Jour Genom*, doi:10.1155/2014/701596
 22. Heathera, C. and Carolec, P., 2007. Silica in plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies. *Annals of Botany*, 100:1383-1389
 23. Henk-Maarten, L. 2018. The Effects of Foliar Sprays with Different Silicon Compounds. *Plants* 2018, 7(2), 45. doi:10.3390/plants7020045
 24. Hurtado, A. C., Chiconato, D.A., de Mello, R., Sousa, G.S., Junior Guilherme, J. F. 2019. Silicon attenuates sodium toxicity by improving nutritional efficiency in sorghum and sunflower plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. Volume 142. P. 224-233.
 25. Hussain, S., Shaukat, M., Ashraf, M., Zhu, Ch., Jin, Q. and Zhang, J., 2019. Salinity Stress in Arid and Semi-Arid Climates: Effects and Management in Field Crops. In: *Climate Change and Agriculture*. Print ISBN: 978-1-78985-667-5.
 26. Hussain, S.; Mumtaz, M.; Manzoor, S.; Shuxian, L.; Ahmed, I.; Skalicky, M.; Brestic, M.; Rastogi, A.; Ulhassan, Z.; Shafiq, I.; Allakhverdiev, S.; Khurshidi, H.; Yang, W.; Liu, W. 2020. Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions. *Plant Physiol. Biochem.* 2021, 159, 43–52, doi:10.1016/j.plaphy.2020.11.053.
 27. Khan, A., Latif, A., Muneer, S., Kim, Y., Al-Rawahi, A. and Al-Harrasi, A. 2019. Silicon and Salinity: Crosstalk in Crop-Mediated Stress Tolerance Mechanisms. *Frontier in Plant Science*. DOI: 10.3389/fpls.2019.01429
 28. Khatere, Y., Yavar, V., Naser, G. and Taimoor, J., 2019. Potassium Silicate Improves Salinity Resistant and Affects Fruit Quality in Two Strawberry Cultivars Grown Under Salt Stress, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50:12, 1439-1451, DOI: 10.1080/00103624.2019.1621333
 29. Kollalu, S. and Nagabovanalli, P., 2019. Bioavailability of Silicon from Different Sources and Its Effect on the Yield of Rice in Acidic, Neutral, and Alkaline soils of Karnataka, South India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. ISSN: 0010-3624 (Print) 1532-2416 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/lcss20>
 30. López, P.I.; Gonzáles, D.; Escobosa, M.I.; Cardenas, V.; Soto, R. y Ruiz, C. 2020. Respuesta fisiológica diurna del tomate a la aplicación de silicio bajo condiciones de salinidad. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* vol. 11 núm. 2
 31. Lorenz, W. and Gwosdz, W. 2004. Manual para la evaluación geológica-técnica de recursos minerales de construcción. Hannover: Schweizerbart'sche, p.500
 32. Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. ed. London: Academic Press Limited
 33. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. London: Academic Press
 34. Martinez, L. 2013. Efecto de la diatomite en las propiedades del suelo para reducir el impacto ambiental causado por el uso de fertilizantes químicos. Tesis de maestría en Ciencias ambientales. Universidad Autónoma del estado de Mexico. Toluca, Mexico.
 35. Ministerio de Agricultura – Perú. 2010. Plan Estratégico Sectorial Multianual Actualizado de 1 Ministerio de Agricultura 2007-2011. Disponible en: https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/conocenos/politica_agraria/pes_em_2007-2011_actualizado_06oct.pdf (Accedido: 01 Mayo, 2020)
 36. Ministerio de Agricultura y Riego. 2015 Estadísticas. Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/56-sector-agrario/cuencas-y-drenaje/384-estadisticas?start=3> (Accedido: 25 Abril 2020)
 37. Nawaz, K., Hussain, K., Majeed, A., Khan, F., Afghan, S. and Ali, K., 2010. Fatality of salt stress to plants: Morphological, physiological and biochemical aspects, *African Journal of Biotechnology*, 9(34), pp. 5475-5480
 38. Nayekova, S.K., Aubakirova, K.M., Aitlessov, K.K., Demidchik, V.V., Alikulov, Z.A., 2020. Impact of diatomite priming of seeds of hordeum vulgaris in salinity. *Eurasia J Biosci* 14: 705-712.
 39. Safwat, A. A., Amany, K. I., Marwa, S. G., Walid, W. M. and Salah, K., 2016. Diatomite alleviates the adverse effects of salinity stress on growth and yield of *Stevia rebaudiana*, *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 7(1), pp. 10-21
 40. Sattar, A., Cheema, M.A., Sher, A., Abbas, T., Irfan, M., Ijaz, M., Hussain, S. and Ali, Q., 2018. Foliar Applied Silicon Alleviates the Combined Effects of Salinity and Drought Stress on Wheat Seedlings. *International Journal of Agriculture & Biology*. ISSN Print: 1560–8530; ISSN Online: 1814–9596. DOI: 10.17957/IJAB/15.0800
 41. Savvas, D.; Ntatsi, G. 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Sci. Hortic.* 196, 66–81. Abdelaal, K.A.A.; Mazrou, Y.S.; Hafez, Y.M. 2020. Silicon

- Foliar Application Mitigates Salt Stress in Sweet Pepper Plants by Enhancing Water Status, Photosynthesis, Antioxidant Enzyme Activity and Fruit Yield. *Plants* 2020, 9, 733.
42. Shahid, S.A. and Rahman, K., 2011. Soil Salinity Development, Classification, Assessment, and Management in Irrigated Agriculture, Handbook of Plant and Crop Stress. ResearchGate. pp. 23-39
 43. Shaymaa, I., 2018. Assessing effect of potassium silicate consecutive application on forage maize plants (*Zea mays* L.). *Journal of Innovations in Pharmaceutical and Biological Sciences* Vol 5 (2), 119-127.
 44. Teixeira, G.C.M., Prado, Rd. M., Rocha, A.M.S. Piccolo Md.C., 2020. Root- and foliar-applied silicon modifies C: N: P ratio and increases the nutritional efficiency of pre-sprouted sugarcane seedlings under water deficit. *P L o S O N E 1 5 (1 0) : e 0 2 4 0 8 4 7* . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240847>
 45. Verdeja, L., Garcia, P., Vásquez, E. y Barranzuela, J., 1993. Contribución al estudio de las diatomitas del Peru. *Bol.Soc.Esp.Ceram. Vidr* 31(5), pp. 427- 433.
 46. Walsh, O., Shafian, S., McClintick-Chess, J., Belmont, K. and Blanscet, S., 2018. Potential of Silicon Amendment for Improved Wheat Production, *Journal List Plants*, 7(2). DOI: 10.3390/plants7020026
 47. Zargar, S.M., Mahajan, R., Bhat, J.A., Nazir, M. and Deshmukh, R., 2019. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system, *Biotech*, 9(3), p.73. doi: 10.1007/s13205-019-1613-z
 48. Zhu, J.K., 2001. Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*. 6: 66-71.

NIVELES Y GRANULOMETRÍA DE DIATOMITA EN EL RENDIMIENTO DE TOMATE, EN SECANO. AYACUCHO, 2020

TINEO BERMÚDEZ, Alex Lázaro, CABRERA CARRANZA, Carlos Francisco
FERNÁNDEZ HUAMANCAYO, Samuel
alex.tineo@unsch.edu.pe

RESUMEN

La escasez del agua limita la producción agrícola en regiones semiáridas de Ayacucho, como Pampa del Arco, con una precipitación media menor a 550 mm/año, manifestándose de modo general en la reducción del rendimiento de los cultivos; a esta situación se suma la baja fertilidad química de los suelos de esta región, pobres en materia orgánica y fósforo disponible. Por esta razón, se realizó el presente trabajo con la finalidad de determinar la influencia de dos niveles y cuatro granulometrías de diatomita, en la evaporación de agua del suelo y rendimiento de tomate, en macetas, en un suelo de Pampa del Arco. Los tratamientos corresponden a un arreglo factorial 2A*4B (A: dos niveles de diatomita, 500 y 1000 kg ha⁻¹; B: cuatro granulometrías de diatomita, 0,5, 2,0, 3,5 y 5,0 mm) más un testigo (sin diatomita), que se condujo utilizando el Diseño Completamente al Azar (DCA). Se evaluó el rendimiento de frutos de tomate y la evaporación del agua del suelo. El consumo de agua por el cultivo es mayor, cuanto menor es la evaporación, que se consigue con un mayor nivel de diatomita; sin embargo, no guarda relación estrecha con el rendimiento de frutos de tomate. El mayor consumo de agua se consigue con aplicaciones de diatomita con granulometría entre 2,0 y 5,0 mm de diámetro; igualmente, el rendimiento de frutos de tomate es influenciado por el tamaño de las partículas de diatomita, manifestándose mejor con las granulometrías entre 2,0 y 3,5 mm de diámetro.

Palabras clave: diatomita, tomate

DIATOMITE LEVELS AND GRANULOMETRY IN TOMATO YIELD, IN DRY CONDITIONS. AYACUCHO, 2020

ABSTRACT

The scarcity of water limits agricultural production in semi-arid regions of Ayacucho, such as Pampa del Arco, with an average rainfall of less than 550 mm / year, generally manifesting itself in the reduction of crop yields; Added to this situation is the low chemical fertility of the soils of this region, poor in organic matter and available phosphorus. For this reason, the present work was carried out in order to determine the influence of two levels and four diatomite granulometries, in the evaporation of water from the soil and tomato yield, in pots, in a soil of Pampa del Arco. The treatments correspond to a factorial arrangement 2A * 4B (A: two diatomite levels, 500 and 1000 kg ha⁻¹; B: four diatomite granulometries, 0.5, 2.0, 3.5 and 5.0 mm) plus a control (no diatomite), which was conducted using Completely Random Design (DCA). Tomato fruit yield and soil water evaporation were evaluated. The consumption of water by the crop is higher, the lower the evaporation, which is achieved with a higher level of diatomite; however, it is not closely related to the yield of tomato fruits. The highest water consumption is achieved with applications of diatomite with granulometry between 2.0 and 5.0 mm in diameter; Likewise, the yield of tomato fruits is influenced by the size of the diatomite particles, manifesting itself better with granulometries between 2.0 and 3.5 mm in diameter.

Keywords: diatomite, tomato

INTRODUCCIÓN

La escasez del agua constituye un problema de importancia vital en la producción agrícola en regiones semiáridas de Ayacucho y del Perú, como es el caso de Pampa del Arco, en la periferia de la ciudad de Huamanga, con una precipitación media menor a 550 mm/año y evapotranspiración potencial de 1345 mm/año (Rondinel, 2020), resultando con un índice de aridez (Ia) de 0,4. De esta manera, según la clasificación de las zonas áridas del mundo (MINAM, 2011) a Pampa del Arco, Ayacucho, le corresponde la categoría de semiárida (Ia: 0,2 – 0,5) dentro de las zonas áridas. La escasez de agua limita el crecimiento y desarrollo de los cultivos, manifestándose de modo general en la reducción significativa del crecimiento, desarrollo y rendimiento de los

cultivos, debido a la disminución de la absorción de nutrientes del suelo y los diversos procesos metabólicos en la planta; a esta situación se suma la baja fertilidad química de los suelos de esta región, caracterizados por su bajo contenido de materia orgánica y fósforo disponible. La diatomita es una roca silícea, sedimentaria de origen biogénico cuyo principal uso en la actualidad es como filtro en la industria de bebidas; es capaz de absorber y retener gran cantidad de líquidos con los cuales tiene grandes superficies de contacto, puede absorber hasta 150% de su peso en agua (Secretaría de Economía de los Estados Unidos Mexicanos, 2020). El uso de la diatomita, roca sedimentaria relativamente abundante en algunos distritos de la provincia de Huamanga, Ayacucho (Ayacucho, Tambillo, Quinua) puede constituir una práctica apropiada y económica para

optimizar el aprovechamiento del agua en regiones de clima semiárido donde el agua es un recurso escaso.

Por las consideraciones expuestas, se planteó desarrollar el presente trabajo, en condiciones de macetas, con la finalidad de responder el problema ¿Cuál es la influencia de dos niveles de diatomita y su granulometría, en el consumo de agua y rendimiento del tomate?.

Por lo expuesto, la presente investigación se desarrolló con los objetivos siguientes:

Objetivo General:

Evaluar la influencia de dos niveles de diatomita y cuatro granulometrías de la misma, en la evaporación del agua del suelo y rendimiento de tomate, en macetas, en un suelo de Pampa del Arco. Ayacucho.

Objetivos Específicos:

1. Evaluar la influencia de dos niveles de diatomita en la evaporación del agua del suelo y rendimiento de tomate, en macetas, en un suelo de Pampa del Arco. Ayacucho.
2. Determinar la influencia de la granulometría de diatomita en la evaporación del agua del suelo y rendimiento de tomate, en macetas, en un suelo de Pampa del Arco. Ayacucho.

MATERIAL Y MÉTODOS

UBICACIÓN:

El presente trabajo se realizó en los ambientes del Área de Investigación en Suelos, del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho a 2760 msnm, ubicado en el distrito de Ayacucho, provincia Huamanga y departamento Ayacucho. Según la clasificación de zonas áridas del mundo corresponde a una región semiárida y de acuerdo a las zonas de vida de Holdridge a bosque seco montano bajo subtropical, bs-MBS

(Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente, 2012)

TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Se trata de una investigación aplicada de tipo experimental. El estudio corresponde a la evaluación del efecto de la aplicación de dos niveles de diatomita (cada uno, a cuatro granulometrías) en el rendimiento de tomate y el aprovechamiento de agua.

VARIABLES E INDICADORES:

A. Variables Independientes:

Niveles de diatomita

- 500 kg ha⁻¹
- 1000 kg ha⁻¹
- Granulometría de la diatomita
- 0,5 mm de diámetro
- 2,0 mm de diámetro
- 3,5 mm de diámetro
- 5,0 mm de diámetro

B. Variables Dependientes:

- Consumo de agua
(litros de agua/kg de materia seca)
- Rendimiento de frutos y de materia seca
(kg/maceta)

DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS:

El experimento corresponde a un arreglo factorial 2A*4B (A: dos niveles de diatomita, 500 y 1000 kg ha⁻¹; B: cuatro granulometrías de diatomita molida, 0,5, 2,0, 3,5 y 5,0 mm) más un testigo (sin diatomita), que se conduce utilizando el Diseño Completamente al Azar (DCA) con 9 tratamientos y 3 repeticiones cada uno.

Tabla 5. Niveles (500 y 1000 kg ha⁻¹) y granulometría de diatomita

Tratamiento	diatomita		Descripción
	Nivel (kg ha ⁻¹)*	Granulometría	
T1	500	0,5 mm de ø	Nivel bajo, muy fino
T2	500	2,0 mm de ø	Nivel bajo, fino
T3	500	3,5 mm de ø	Nivel bajo, grueso
T4	500	5,0 mm de ø	Nivel bajo, muy grueso
T5	1000	0,5 mm de ø	Nivel alto, muy fino
T6	1000	2,0 mm de ø	Nivel alto, fino
T7	1000	3,5 mm de ø	Nivel alto, grueso
T8	1000	5,0 mm de ø	Nivel alto, muy grueso
T0	0	0	Testigo

*500 kg ha⁻¹ = 5 g/maceta (20kg); 1000 kg ha⁻¹ = 10 g/maceta (20kg)

UNIDAD EXPERIMENTAL (U.E.):

La U.E. consiste en macetas de plástico de 20 kg de capacidad de suelo, en las cuales se cultivaron dos plantas de tomate, procedentes de almácigo.

INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO:

Preparación de las U.E.:

- En cada una de las macetas se depositaron 20 kg de suelo tamizado con malla de 4 mm de diámetro. En los 20 cm superficiales se mezcló humus de lombriz equivalente a 5 t ha⁻¹.
- En el sustrato así preparado, se agregó la diatomita previamente pesada, según los tratamientos (tabla 5). Todas las unidades experimentales (con excepción del testigo) recibieron una cantidad de diatomita según los tratamientos establecidos (tabla 5); la diatomita se mezcló de forma homogénea con el sustrato, en los 5 cm superficiales.
- Luego de realizar un riego a capacidad de campo, se procedió con el trasplante de dos plantitas de tomate provenientes de almácigo, preparado con una anticipación de 1 mes (1ro: 01/02/2020 y 2do: 07/11/2020)

Conducción del experimento:

- Consistió en cuidar las plantitas de tomate hasta la

cosecha, suministrando agua según sus necesidades manteniendo el nivel de humedad adecuado en el suelo, la misma que se debía realizar determinando el contenido de humedad utilizando un sensor de humedad.

- Al cabo de cuatro meses (1ro: 29/05/2020; 2do: 23/02/2021) se cosecharon los frutos y determinaron los rendimientos de frutos y biomasa producidas, para el cual se extrajeron las plantas de cada envase con mucho cuidado; luego del secado correspondiente en una estufa, se pesaron en una balanza analítica de precisión, registrando los pesos en el cuaderno de campo.

PROCESAMIENTO DE DATOS:

Se realizaron los análisis de variancia y de regresión correspondientes, de acuerdo a la metodología propuesta por Tineo (2012); los contrastes se muestran en la tabla 6.

El contraste C1 evalúa al efecto de la diatomita en la optimización del uso de agua y del rendimiento de tomate; con el contraste C2 se determinará si el nivel de diatomita aplicado influye reduciendo la evaporación del agua del suelo y en el rendimiento del cultivo; con los contrastes C3 al C5 se hallará el modelo polinómico al que se ajusta la relación entre rendimiento y granulometría cuando se utiliza 500 kg ha⁻¹ de diatomita; con los contrastes C3 al C5 se hallará el modelo polinómico al que se ajusta la relación entre rendimiento y granulometría, utilizando 1000 kg ha⁻¹ de diatomita.

Tabla 6. Contrastes ortogonales planteados para el análisis de datos

Contraste	Compara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T9
C1	Testigo VS diatomita	1	1	1	1	1	1	1	-8
C2	Diatom.1 VS Diatom.2	1	1	1	1	-1	-1	-1	0
C3	Diatomita1 lineal	-3	-1	1	3	0	0	0	0
C4	Diatomita1 cuadrática	1	-1	-1	1	0	0	0	0
C5	Diatomita1 cúbica	-1	3	-3	1	0	0	0	0
C6	Diatomita2 lineal	0	0	0	0	-3	-1	1	0
C7	Diatomita2 cuadrática	0	0	0	0	1	-1	-1	0
C8	Diatomita2 cúbica	0	0	0	0	-1	3	-3	0

LIMITACIONES

El trabajo se instaló en dos oportunidades; durante las cuales, las restricciones de asistencia presencial han limitado las mediciones correspondientes a la variable de consumo de agua. Sin embargo, para lograr este objetivo, se instaló un ensayo parcial en domicilio utilizando macetas más pequeñas (para 3,5 kg de suelo), en las que se determinó la pérdida de agua diaria, por evaporación, en tres fechas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RENDIMIENTO DE FRUTOS (Primera cosecha)

La tabla 7, muestra los rendimientos promedio (g maceta⁻¹), correspondientes a cada tratamiento. De manera general se observa que los rendimientos de tomate son superiores a medida que se incrementan los niveles de diatomita (500 a 1000 kg ha⁻¹) y los diámetros del mismo (0,5, 2,0, 3,5, 5,0 mm).

Tabla 7. Rendimientos promedio de tomate (g maceta-1). Primera cosecha

Tratamiento: Descripción	Rdto. (g/maceta)
T1: Tomate con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 0,5 mm de ø)	454.7
T2: Tomate con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 2,0 mm de ø)	571.7
T3: Tomate con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 3,5 mm de ø)	638.7
T4: Tomate con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 5,0 mm de ø)	633.7
T5: Tomate con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 0,5 mm de ø)	581.0
T6: Tomate con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 2,0 mm de ø)	737.7
T7: Tomate con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 3,5 mm de ø)	647.0
T8: Tomate con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 5,0 mm de ø)	589.7
T0: Tomate sin diatomita (testigo)	359.7

El análisis funcional de la variancia (ANAFUNVA) de los rendimientos de tomate (tabla 8), indica respuesta altamente significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación (7,34%) se encuentra dentro de los límites aceptables para este tipo de experimentos (en ambientes semicontrolados). Según la tabla 8, la influencia de la

diatomita es estadísticamente significativa (C1), siendo mejor su efecto cuando se emplea el nivel de 1000 kg ha⁻¹ (C2), ajustándose su influencia sobre el rendimiento de frutos de tomate a modelos polinómicos de segundo (C4) o tercer orden (C8), para los niveles bajo (500 kg ha⁻¹) y alto (1000 kg ha⁻¹), respectivamente.

Tabla 8. ANAFUNVA del rendimiento de tomate. Primera cosecha

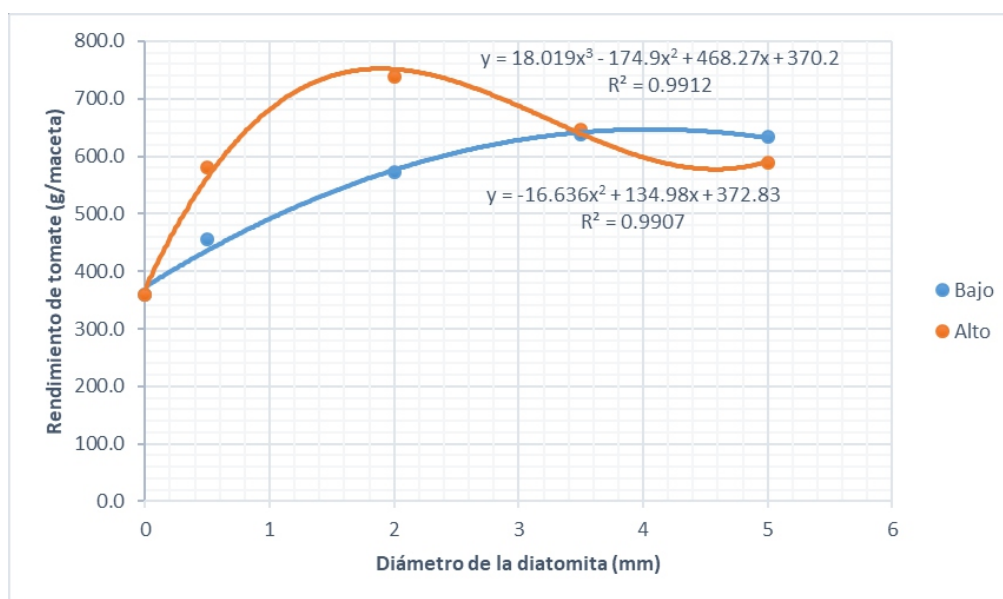
F.V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Tratamiento	8	300252.96	37531.620	20.73	<.0001**
C1 (T vs diat.)	1	162800.46	162800.463	89.93	<.0001**
C2 (diat1 vs diat2) 1		24704.17	24704.167	13.65	0.0017**
C3 (diat1 lineal)	1	54722.40	54722.400	30.23	<.0001**
C4 (diat1 cuad.)	1	11163.00	11163.000	6.17	0.0231*
C5 (diat1 cúbica)	1	72.60	72.600	0.04	0.8435ns
C6 (diat2 lineal)	1	627.27	627.267	0.35	0.5634ns
C7 (diat2 cuad.)	1	34347.00	34347.000	18.97	0.0004**
C8 (diat2 cúbica)	1	11816.07	11816.067	6.53	0.0199*
Error		18	32584.67	1810.259	
Total			26	332837.63	

C.V.: 7,34%

Los modelos correspondientes (figura 1) indican que el incremento granulométrico de la diatomita se traduce en rendimientos cada vez mayores, hasta cierto nivel; sin embargo, estos resultados deben considerarse como preliminares debido a las condiciones en las que se realizó el trabajo (no siempre el suministro de agua fue oportuno por

las restricciones de concurrencia al lugar experimental). Se debe entender que se trata de una enmienda cuya función principal, debido a su porosidad, es la de retener el agua del suelo, con la que hace contacto; de esta forma contribuye en brindar mejores condiciones ambientales para el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate.

Figura 1. Influencia de la diatomita en el rendimiento de tomate. 1ra cosecha



Coincidiendo con Martínez (2013) quien cita a varios autores, la diatomita, además de mejorar las condiciones físicas del suelo, mejora la retención del agua en tejidos vegetales y suelo, incide positivamente en la disponibilidad de nutrientes, protege al cultivo contra factores ambientales bióticos y abióticos. Confirmando algunos de los efectos indicados, Angin et al (2016) demostró que la aplicación de diatomita no solo disminuyó la densidad aparente, sino que también mejoró la estabilidad agregada de los suelos; igualmente, Villarreal et al (2015) utilizando pequeñas dosis de 12 kg/ha (15%) de zeolita encontró que se puede mejorar la eficiencia de uso de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de arroz.

En la tabla 7 y la figura 1, se destacan el hecho de que los rendimientos de tomate en promedio son mayores cuando se aplica mayor cantidad de diatomita (1000 kg ha⁻¹), y principalmente cuando la granulometría es menor de 3,5 mm. Este resultado podría sugerir que la granulometría entre 2,0 y 3,5 mm, permite una adecuada superficie de contacto con el suelo y suficiente espacio intersticial, para almacenar

temporalmente el agua; contrariamente a una granulometría mayor (alrededor de 5,0 mm), que podría tener mayor espacio intersticial pero menor superficie de contacto con el suelo, o con una granulometría muy fina (menor a 2,0 mm), que tiene mayor superficie de contacto pero menor espacio intersticial para almacenar el agua.

La aplicación foliar de silicio tiene un efecto bioestimulante, y los mejores resultados se observan en condiciones estresantes para las plantas como salinidad, deficiencia o exceso de agua, alta y baja temperatura, y la fuerte presión de enfermedades y plagas (Artyszak, 2018).

RENDIMIENTO DE FRUTOS (Segunda cosecha)

La tabla 9, muestra los rendimientos promedio (g maceta⁻¹), correspondientes a los tratamientos evaluados. De manera general se observa que los rendimientos de tomate son superiores a medida que se incrementan los niveles de diatomita (500 a 1000 kg ha⁻¹) y los diámetros del mismo (0,5, 2,0, 3,5, 5,0 mm), hasta una granulometría de unos 3,5 mm.

Tabla 9. Rendimientos promedio de tomate (g maceta⁻¹). Segunda cosecha

Tratamiento: Descripción	Rdto. (g/maceta)
T1: Tomate con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 0,5 mm de ø)	582.0
T2: Tomate con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 2,0 mm de ø)	706.7
T3: Tomate con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 3,5 mm de ø)	872.0
T4: Tomate con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 5,0 mm de ø)	814.0
T5: Tomate con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 0,5 mm de ø)	617.0
T6: Tomate con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 2,0 mm de ø)	755.3
T7: Tomate con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 3,5 mm de ø)	837.3
T8: Tomate con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 5,0 mm de ø)	673.3
T0: Tomate sin diatomita (testigo)	513.3

El análisis funcional de la variancia (ANAFUNVA) de los rendimientos de tomate (tabla 10), indica respuesta altamente significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación (6,58%) se encuentra dentro de los límites permisibles para este tipo de experimentos (en ambientes semicontrolados). Según esta tabla, la influencia de la

diatomita es estadísticamente significativa (C1), no diferenciándose su efecto por el nivel empleado, 500 o 1000 kg ha⁻¹ (C2), ajustándose su influencia sobre el rendimiento de frutos de tomate a modelos polinómicos de tercer (C5) o segundo orden (C7), para los niveles bajo (500 kg ha⁻¹) y alto (1000 kg ha⁻¹), respectivamente.

Tabla 10. ANAFUNVA del rendimiento de tomate. Segunda cosecha

F.V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Tratamiento	8	361065.33	45133.167	20.79	<.0001**
C1 (T vs diat.)	1	127750.04	127750.042	58.84	<.0001**
C2 (diat1 vs diat2) 1		3151.04	3151.042	1.45	0.2439ns
C3 (diat1 lineal)	1	111284.27	111284.267	51.26	<.0001**
C4 (diat1 cuad.)	1	25025.33	25025.333	11.53	0.0032**
C5 (diat1 cúbica)	1	10454.40	10454.400	4.82	0.0416*
C6 (diat2 lineal)	1	9450.15	9450.150	4.35	0.0515ns
C7 (diat2 cuad.)	1	68554.08	68554.083	31.57	<.0001**
C8 (diat2 cúbica)	1	5396.02	5396.017	2.49	0.1323ns
Error		18	39081.33	2171.185	
Total			26	400146.67	

C.V.: 6,58%

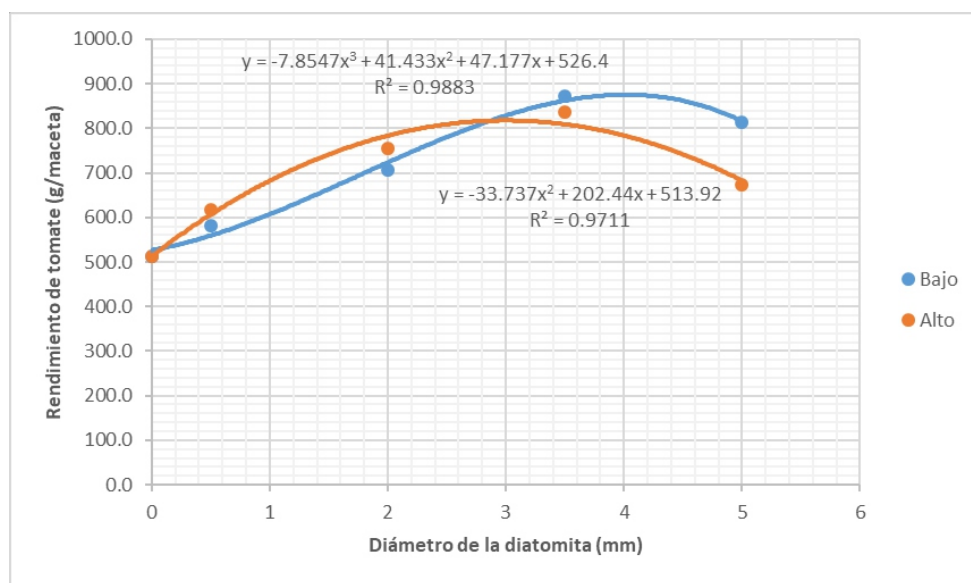


Figura 2. Influencia de la diatomita en el rendimiento de tomate. 2da cosecha

Como en la primera cosecha, la tabla 9 y la figura 2, destacan el hecho de que los rendimientos de tomate en promedio son mayores cuando la granulometría es menor de 3,5 mm de diámetro.

evaluados. De manera general se observa que los rendimientos de tomate son superiores a medida que aumenta los diámetros del mismo (0,5, 2,0, 3,5, 5,0 mm), hasta una granulometría de unos 3,5 mm, sin importar los niveles de diatomita (500 a 1000 kg ha⁻¹).

RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DE PLANTAS (Segunda cosecha)

La tabla 11 muestra los rendimientos promedio (g maceta⁻¹), de materia seca, correspondientes a los tratamientos

Tabla 11. Rendimientos de materia seca, plantas de tomate. Segunda cosecha

Tratamiento: Descripción	Rdto. (g/maceta)
T1: Tomate con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 0,5 mm de ø)	28.3
T2: Tomate con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 2,0 mm de ø)	35.0
T3: Tomate con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 3,5 mm de ø)	42.3
T4: Tomate con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 5,0 mm de ø)	36.7
T5: Tomate con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 0,5 mm de ø)	31.0
T6: Tomate con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 2,0 mm de ø)	34.7
T7: Tomate con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 3,5 mm de ø)	36.7
T8: Tomate con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 5,0 mm de ø)	32.3
T0: Tomate sin diatomita (testigo)	28.0

Tabla 12. ANAFUNVA del rendimiento de materia seca, plantas de tomate. Segunda cosecha

F.V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Tratamiento	8	494.67	61.833	4.00	0.0069**
C1 (T vs diat.)	1	117.04	117.044	7.58	0.0131*
C2 (diat1 vs diat2) 1		22.04	22.042	1.43	0.2477ns
C3 (diat1 lineal)	1	156.82	156.817	10.15	0.0051**
C4 (diat1 cuad.)	1	114.08	114.083	7.39	0.0141*
C5 (diat1 cúbica)	1	28.02	28.017	1.81	0.1947ns
C6 (diat2 lineal)	1	5.40	5.400	0.35	0.5617ns
C7 (diat2 cuad.)	1	48.00	48.000	3.11	0.0949ns
C8 (diat2 cúbica)	1	3.27	3.267	0.21	0.6511ns
Error		18	278.00	15.444	
Total			26	772.67	

C.V.: 11,60%

El análisis funcional de la variancia (ANAFUNVA) de los rendimientos de materia seca de plantas de tomate (tabla 12), indica respuesta altamente significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación (11,60%) se encuentra dentro de los límites permisibles para este tipo de experimentos. Según esta tabla, la influencia de la diatomita es estadísticamente significativa (C1), no diferenciándose su efecto por el nivel empleado, 500 o 1000 kg ha⁻¹ (C2), ajustándose su influencia sobre el rendimiento de materia seca de plantas de tomate a modelos polinómicos de segundo orden (C4) para el nivel bajo de diatomita (500 kg ha⁻¹) y no

definido para el nivel alto (1000 kg ha⁻¹).

TASA DE EVAPORACIÓN DEL AGUA DEL SUELO

La tabla 13, muestra los promedios de evaporación diaria, de agua del suelo (mm), en los tratamientos evaluados. De manera general se observa que la tasa de evaporación disminuye a medida que se incrementan los niveles de diatomita (500 a 1000 kg ha⁻¹) y es menor cuando el diámetro del mismo tiene una granulometría de unos 3,5 mm.

Tabla 13. Evaporación diaria en suelos con enmienda silícica (diatomita).

Tratamiento: Descripción	Evaporación (mm/día)
T2: Maceta con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 2,0 mm de ø)	3.198
T3: Maceta con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 3,5 mm de ø)	3.163
T4: Maceta con diatomita (500 kg ha ⁻¹ , 5,0 mm de ø)	3.280
T6: Maceta con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 2,0 mm de ø)	3.139
T7: Maceta con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 3,5 mm de ø)	3.080
T8: Maceta con diatomita (1000 kg ha ⁻¹ , 5,0 mm de ø)	3.245

La figura 3, permite observar que los valores más bajos de evaporación del agua del suelo, corresponden al nivel alto de

diatomita (10 t/ha), y en ambos niveles (alto y bajo) a la granulometría gruesa (3,5 mm, entre 2 y 5 mm)

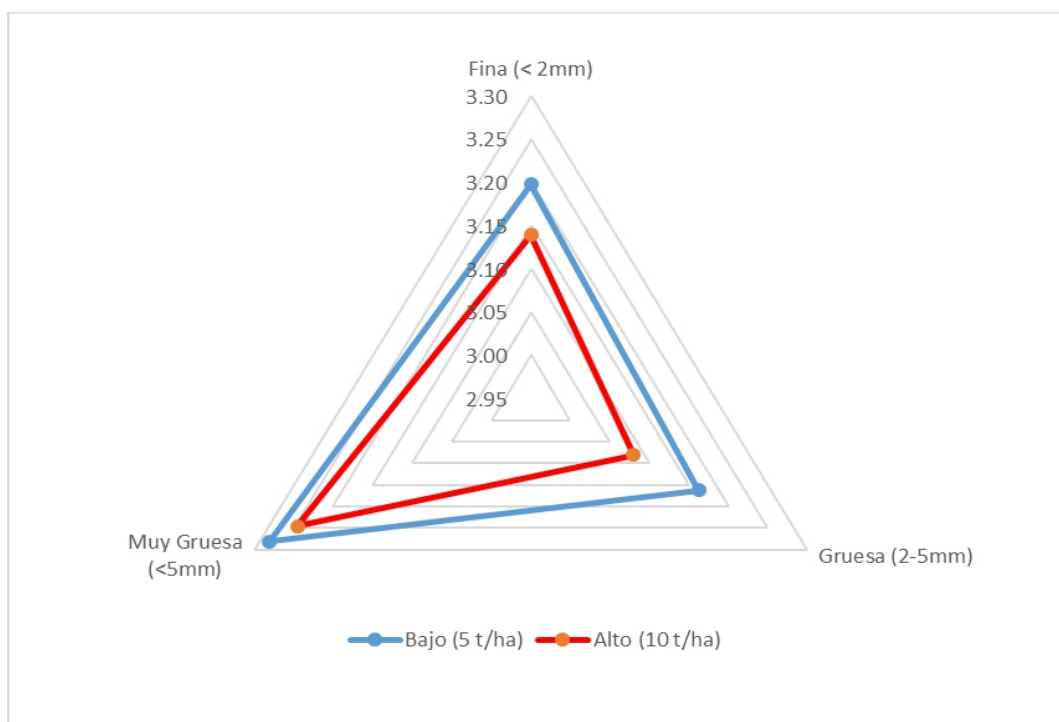


Figura 3. Tasa de evaporación diaria en suelos con enmienda silícica (2 niveles: bajo y alto y 3 granulometrías: fina, gruesa y muy gruesa)

Este resultado podría sugerir que la granulometría gruesa (entre 2,0 y 5,0 mm), permite una adecuada superficie de contacto con el suelo y suficiente espacio intersticial, para almacenar y retener temporalmente el agua; contrariamente a una granulometría mayor (superior a 5,0 mm), que podría tener mayor espacio intersticial pero menor superficie de contacto con el suelo, o con una granulometría fina (menor a 2,0 mm), que tiene mayor superficie de contacto pero menor espacio intersticial para almacenar el agua.

El mayor consumo de agua por el cultivo se dará cuanto mayor sea la disponibilidad de agua en el suelo; esto será posible cuanto mayor sea el período de retención de humedad en el suelo o menor sea la evaporación. En el presente ensayo, esta situación, se consiguió con aplicaciones de diatomita con granulometría gruesa (entre 2,0 y 5,0 mm de diámetro).

CONCLUSIONES

Los resultados encontrados, permiten arribar a las conclusiones siguientes:

1. El consumo de agua por el cultivo es mayor, cuanto mayor es la retención de humedad en el suelo (o menor es la evaporación), lo que se consigue con aplicaciones de un mayor nivel de diatomita (10 t ha⁻¹); sin embargo, no hay una relación estrecha con el rendimiento de frutos de tomate.
2. El mayor consumo de agua se consigue con aplicaciones de diatomita con granulometría gruesa (entre 2,0 y 5,0 mm de diámetro); igualmente, el rendimiento de frutos de tomate es influenciado por el tamaño de las partículas de diatomita, manifestándose mejor con las granulometrías entre 2,0 y 3,5 mm de diámetro.

RECOMENDACIONES

En vista de que el presente trabajo se realizó en condiciones irregulares, por las restricciones establecidas debido a la situación del COVID-19, se recomienda lo siguiente:

1. Realizar más ensayos, incorporando en el manejo de cultivo medidas para un mejor aprovechamiento del agua de lluvia como la aplicación de la diatomita y algunas enmiendas orgánicas, que contribuyan en una mejor conservación del agua y del suelo.
2. Evaluar la influencia de la diatomita en la retención de humedad del suelo y el rendimiento del cultivo, empleando mayores niveles de este material.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Artyszak A. (2018). Effect of Silicon Fertilization on Crop Yield Quantity and Quality-A Literature Review in Europe. *Plants* (Basel, Switzerland), 7(3), 54. <https://doi.org/10.3390/plants7030054>
2. Angin, I., Sari, S., & Aksakal, E. L. (2016). Effects of diatomite (DE) application on physical properties of soils subjected to freeze-thaw cycles. *Soil and Tillage Research*, 160, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.008>
3. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente, (2012). Informe Temático: Zonas de Vida. Gobierno Regional de Ayacucho.
4. Martínez, L.F. (2013). Efecto de la diatomita en las propiedades del suelo para reducir el impacto ambiental

- causado por el uso de fertilizantes químicos. Tesis Grado de Maestro en Ciencias Ambientales. Facultad de Química. Universidad Autónoma del estado de México. Toluca, México.
5. MINAM (2011). La Desertificación en el Perú: Cuarta Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Sequía. Fondo Editorial del MINAM. Lima.
 6. Rondinel, H. (2020). Estimación satelital, validación y distribución espacial de la evapotranspiración a través del clima en la cuenca Cachi - Ayacucho – 2020. Tesis Ingeniero Agrícola. UNSCH.
 7. Secretaría de Economía de los Estados Unidos Mexicanos (2020). Perfil del Mercado de la Diatomita. Dirección General de Desarrollo Minero. Enero, 2020. México.
 8. Tineo, A. (2012). El Análisis Funcional de la Varianza. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, AMI impresores, Ayacucho, Perú.
 9. Villarreal-Núñez, J. E., Barahona-Amores, L. A., & Castillo-Ortiz, O. A. (2015). Efecto de zeolita sobre la eficiencia de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de arroz. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 315. <https://doi.org/10.15517/am.v26i2.19324>.

ANEXO

Tabla A1. Resultados de variables evaluadas en las unidades experimentales

Rendimiento de frutos de tomate (g/maceta) de la primera cosecha

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
371	474	515	633	629	586	705	701	601
357	438	595	714	676	632	731	615	587
351	452	605	569	596	525	777	625	581
359.7	454.7	571.7	638.7	633.7	581.0	737.7	647	589.7
Rendimiento de frutos de tomate (g/maceta) de la segunda cosecha								
T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
512	582	640	900	812	624	701	826	675
477	620	694	801	794	653	785	861	725
551	544	786	915	836	574	780	825	620
513.3	582.0	7	8	8	617.0	7	8	6
Rendimiento de materia seca de plantas de tomate (g/maceta). Segunda cosecha								
T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
25	32	38	42	40	31	29	32	31
27	26	36	46	37	34	36	42	29
32	27	31	39	33	28	39	36	37
28.0	28.3	35.0	42.3	36.7	31.0	34.7	36.7	32.3
Evaporación diaria del agua del suelo (mm).*1								
T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
		3	3	3		3	3	3
		2	2	2		2	2	2
		3	3	3		3	3	3
		3	3	3		3	3	3
		3.213				3.155		
*1 Se trabajó sólo con esos tratamientos, por disponibilidad de material								

Tratamiento	Diatomita		Descripción (nivel y grosor)
	nivel (kg ha ⁻¹)	granulometría(mm Ø)	
T1	500	0,5	bajo, muy fino
T2	500	2,0	bajo, fino
T3	500	3,5	bajo, grueso
T4	500	5,0	bajo, muy grueso
T5	1000	0,5	alto, muy fino
T6	1000	2,0	alto, fino
T7	1000	3,5	alto, grueso
T8	1000	5,0	alto, muy grueso
T0	0	0	Testigo

ARTÍCULOS ORIGINALES

INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ANÁLISIS ESPECTRAL DE DATOS GEORADAR PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE PROFUNDIDAD DE BOFEDAL EN LA MICROCUENCA APACHETA, REGIÓN AYACUCHO, 2020.

Moncada Wilmer; Pereda Alex

Programa de investigación: Física

Área de investigación: biofísica

wilmer.moncada@unsch.edu.pe

RESUMEN

Las zonas de recarga hídrica en la microcuenca Apacheta obedecen a la funcionalidad superficial y subsuperficial de los ecosistemas de bofedales, que son amenazados por el sobre pastoreo y la degradación por efectos del cambio climático, por lo que el propósito de la investigación es estimar la distribución de profundidad del subsuelo de bofedal mediante el análisis espectral de datos georadar, en la microcuenca Apacheta de la región Ayacucho. Las prospecciones geofísicas generan secciones de radargrama del área muestreada a una altura aproximada de 4650 ms.n.m., que contienen datos de amplitud de onda reflejada del subsuelo de bofedal, los cuales son mapeados en capas con interpolación IDW a diferentes profundidades entre 0,5 a 20m, con intervalos de 0,5m. El análisis estadístico incluye el cálculo de la media, desviación estándar y varianza de la profundidad de subsuelo de bofedal en los transectos muestreados, además del ajuste de datos con la función de distribución normal, la correlación espacial de la profundidad de subsuelo de bofedal mediante el análisis del semivariograma. Los resultados indican que para valores altos en el semivariograma denotan una elevada variación espacial de la profundidad del subsuelo de bofedal. La distribución de densidad discrimina el contenido de agua y humedad en el suelo con respecto al suelo rocoso. Esto es relevante, para entender el comportamiento de los fenómenos de escorrentía subsuperficial, los procesos de infiltración y de transporte que ocurren en su interior de manera muy lenta, desde zonas altas a las más bajas.

Palabras claves: Georadar. Bofedal. Subsuelo. GPR.

SPECTRAL ANALYSIS OF GEO-RADAR DATA FOR THE ESTIMATION OF BOG DEPTH DISTRIBUTION IN THE APACHETA MICRO-WATERSHED, AYACUCHO REGION, 2020.

ABSTRACT

The water recharge zones in the Apacheta micro-watershed are due to the surface and subsurface functionality of the wetland ecosystems, which are threatened by overgrazing and degradation due to the effects of climate change, so the purpose of the research is to estimate the depth distribution of the wetland subsoil through spectral analysis of geo-radar data in the Apacheta micro-watershed in the Ayacucho region. The geophysical surveys generate radargram sections of the sampled area at an approximate height of 4650 masl, containing reflected wave amplitude data of the bofedal subsoil, which are mapped in layers with IDW interpolation at different depths between 0,5 to 20 m, with 0,5 m intervals. The statistical analysis includes the calculation of the mean, standard deviation and variance of the depth of bog subsoil in the sampled transects, in addition to the adjustment of data with the normal distribution function, the spatial correlation of the depth of bog subsoil by means of the semivariogram analysis. The results indicate that high values in the semivariogram denote a high spatial variation of the depth of the bog subsoil. The density distribution discriminates the water and moisture content in the soil with respect to the rocky soil. This is relevant to understand the behavior of the subsurface runoff phenomena, the infiltration and transport processes that occur in its interior in a very slow way, from higher to lower zones.

Keywords: Georadar. Bofedal. Underground. GPR

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de bofedales en la microcuenca Apacheta vienen siendo afectados por la disminución de las precipitaciones, el incremento de la temperatura máxima del aire y de la superficie del suelo, repercutiendo directamente en el desarrollo de la vegetación de bofedal, humedad del

suelo y uso de suelo, los que a su vez impactan negativamente en la superficie del suelo (erosión, degradación, pérdida de vegetación) por aumento de la velocidad de los vientos, por nombrar algunos (Moncada et al., 2015; Pereda et al., 2018; Moncada and Willems, 2020). La intervención del hombre en los ecosistemas de bofedal ha transformado su funcionalidad ocupándolos en centros poblados y actividades agrícolas-

ganaderas (Henao, 1988). En la actualidad, existen proyectos de recuperación, rehabilitación y restauración con la participación de la población (Hartman and Cleveland, 2018); los cuales se realizan sin ningún fundamento científico en relación al beneficio de su biomasa y sin conocer el comportamiento biofísico del subsuelo de bofedal (Moreau et al., 2003).

El uso del Georadar de Penetración Terrestre, GPR, permite estimar zonas saturadas de humedad, con presencia de agua en el subsuelo mediante el cálculo del índice de refracción complejo (Dawrea et al., 2021), además de mapear las propiedades del subsuelo y aguas subterráneas a diferentes profundidades (Davis et al., 1966). Las ondas del georadar viajan por el subsuelo hasta encontrarse con un material con propiedades electromagnéticas distintas, que las reflejan con un cambio en la velocidad original, debido al contraste entre los materiales, lo cual provoca que la onda resultante llegue a la antena receptora del GPR con un retraso medible por el propio equipo (Kearey et al., 2002). Como cualquier método geofísico, la calidad y precisión de la información que el GPR provee, se ve limitada por una serie de factores inherentes al subsuelo prospectado, además de agentes externos como el ruido o la dificultad que surge al interpretar las imágenes obtenidas con GPR cuando se emplean especialmente antenas no blindadas ya que los elementos superficiales reflectantes dan lugar a la aparición en los radargramas de contrastes no deseados que distorsionan la señal electromagnética, generando falsos positivos (Molina

et al., 2008). Algunos métodos permiten realizar un levantamiento 3D con una serie de conjuntos direccionales de levantamientos 2D muy adyacentes en un área, obteniéndose una estructura del subsuelo en 3D de manera precisa mediante el procesamiento de datos utilizando una migración 3D tipo Kirchhoff (Yokota et al., 2009).

Se espera que este método a emplear permita estimar la distribución de profundidades del subsuelo de bofedal, mediante el análisis espectral de los datos radargrama adquiridos con el GPR, Gepar, el cual se muestra como una alternativa eficiente, rápida y no destructiva para la estimación de zonas saturadas de humedad o contenido de agua en el subsuelo de bofedal de la microcuenca Apacheta en la región Ayacucho.

MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca Apacheta, se ubica en la cabecera de la cuenca Cachi en el distrito de Paras, provincia de Cangallo, Región Ayacucho, en las longitudes 74° 37' 26.4" W a 74° 45' 32.4" W y latitudes 13° 17' 6" S a 13° 26' 9.6" S. La línea limítrofe, figura 1, separa el área sur perteneciente a la región Ayacucho del área norte perteneciente a la provincia de Huaytará de la región Huancavelica. Tiene un área aproximada de 14,348,21 ha, con altitud mínima de 4112 ms.n.m., altitud máxima de 5045 ms.n.m., y altitud media de 4651 ms.n.m. (Moncada y Willems, 2020).

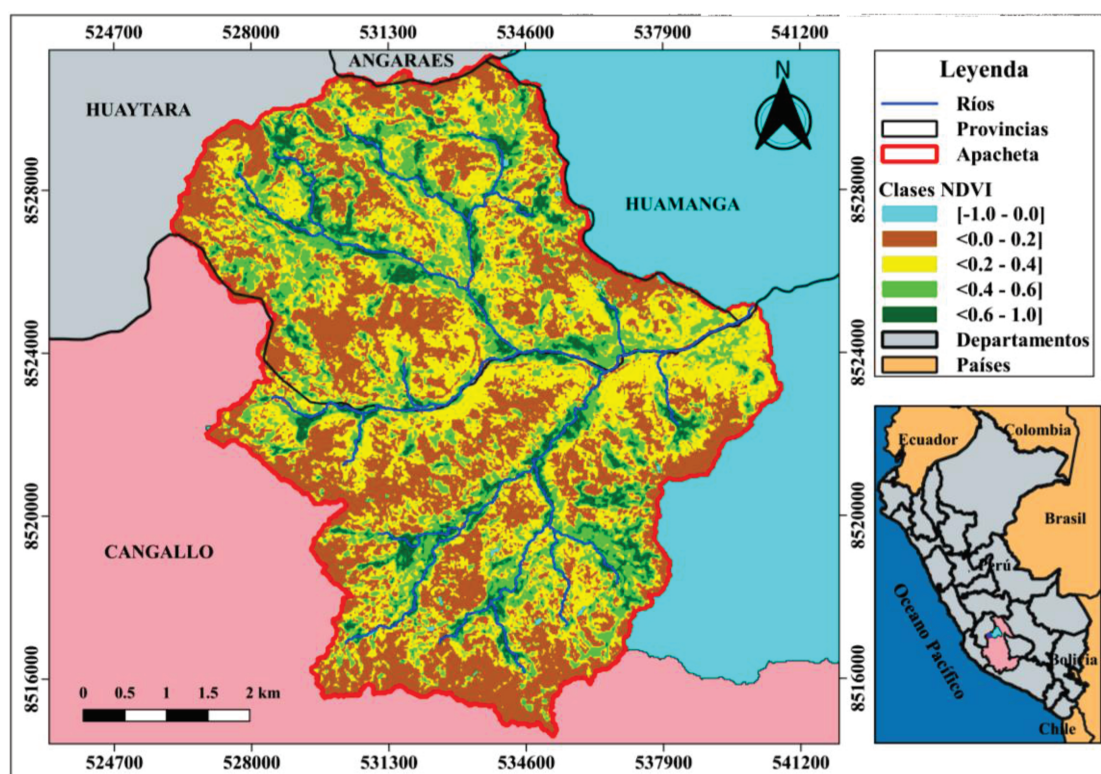


Figura 1: Ubicación geográfica de la microcuenca Apacheta, Región Ayacucho.

Tiene tres estadios estacionales climáticos, el lluvioso con valores altos de precipitación acumulada de 145,96mm, temperatura mínima del aire 1,55°C y humedad relativa 74,04%; el estadio seco, con valores altos de velocidad del viento 3,16m/s y bajos de temperatura mínima del aire -

2,40°C; el estadio intermedio, con valores altos de temperatura máxima del aire de 13,38°C y radiación solar 552,37Ly. La media anual de la precipitación acumulada es 71,09mm, la temperatura máxima del aire 12,73°C, la temperatura mínima del aire -0,35°C, la humedad relativa

40,43%, la velocidad del viento 2,91m/s y la radiación solar 514,43Ly. (Moncada et al., 2020).

En primer término, la metodología involucra la prospección geofísica del subsuelo de bofedal, realizada con el GPR, Gepard, en una zona de bofedal a lo largo de cinco transectos de 20m y separados 2 metros uno del otro (recogidas en noviembre de 2020), llegando a obtener datos de amplitud de onda reflejada del subsuelo hasta una profundidad de 20m. Las trazas de georadar con los tiempos de recorrido recogidos se georreferenciaron en el sistema de coordenadas UTM mediante el propio sistema de GPS del equipo en tiempo real.

El análisis de las anomalías de suelo en los radargrama se realiza aplicando la interpolación IDW de los datos de amplitud de onda reflejada, en planos, para cada profundidad desde 0,5m hasta 20m, con intervalos de 0,5m, obteniendo mapas de distribución espacial que explican el comportamiento de la composición del subsuelo en función de la frecuencia de puntos de amplitud de onda reflejada y de su densidad de probabilidad.

Análisis estadístico: incluye las siguientes etapas principales:

1. Estadísticas descriptivas, media, desviación estándar y varianza de la profundidad de subsuelo de bofedal en los transectos muestreados.
2. Análisis del mejor ajuste de datos con la función de distribución normal de la profundidad del subsuelo de bofedal.
3. Correlación espacial de la profundidad del subsuelo de bofedal analizando el semivariograma de los datos de amplitud de onda reflejada para cada profundidad, los cuales indican cómo una medida puntual está correlacionada con las otras medidas con respecto a la distancia relativa, dado que el georadar permite un muestreo espacial denso, los semivariogramas también pueden explicar dicho comportamiento para distancias de retardo pequeñas (menos de 1m), por lo que se debe toma en cuenta que los valores altos en el semivariograma denotan elevada variación espacial de la profundidad del subsuelo de bofedal.

Propiedades electromagnéticas de las ondas de radar

Los valores de la permitividad eléctrica para los distintos

tipos de material vienen dadas por la permitividad (ϵ), (Kovacs et al., 1995).

$$\epsilon = (1 + 0.845\rho)^2 \quad (1)$$

donde ρ es la gravedad específica y ϵ , es la permitividad eléctrica correspondiente al valor relativo con respecto al vacío (adimensional).

La relación entre el tiempo de viaje de la onda del georadar (twt en ns) y la gravedad específica se convierte en:

$$twt = \frac{2d}{c} \cdot (1 + 0.845\rho) \quad (2)$$

donde d es la profundidad del subsuelo de bofedal; c es la velocidad de la onda en el vacío (m/ns). En el rango de velocidades de 0,20 m/ns a 0,24 m/ns , la gravedad específica casi se duplica (de 0,3 a 0,6).

La concentración de agua en el subsuelo de bofedal (WE) se define como:

$$WE = \frac{\rho}{2} \cdot 0.845 \cdot (c - v) \cdot twt \quad (3)$$

La precisión en la estimación de WE está directamente relacionada con la precisión de los tiempos de recorrido de la onda del georadar y la variabilidad espacial (o precisión) de la velocidad de la onda electromagnética (Kovacs et al., 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Las secciones de radargrama, tomadas con el georadar, del área muestreada a una altura aproximada de 4650 ms.n.m., se muestran en los perfiles verticales del espectro radargrama de la señal de amplitud de onda reflejada del subsuelo de bofedal, el cual está compuesto principalmente por materia orgánica, producto de la descomposición y degradación de su vegetación con la humedad y el agua acumulada en el paso del tiempo, además de escombros de sedimentación y suelo rocoso. La figura 1, representa un perfil vertical del radargrama perteneciente a una sección de radar típica. Las reflexiones más significativas se obtuvieron para zonas con disponibilidad de agua saturada a una profundidad entre 5 a 10.5 m, los puntos rojos indican los transectos muestreados.

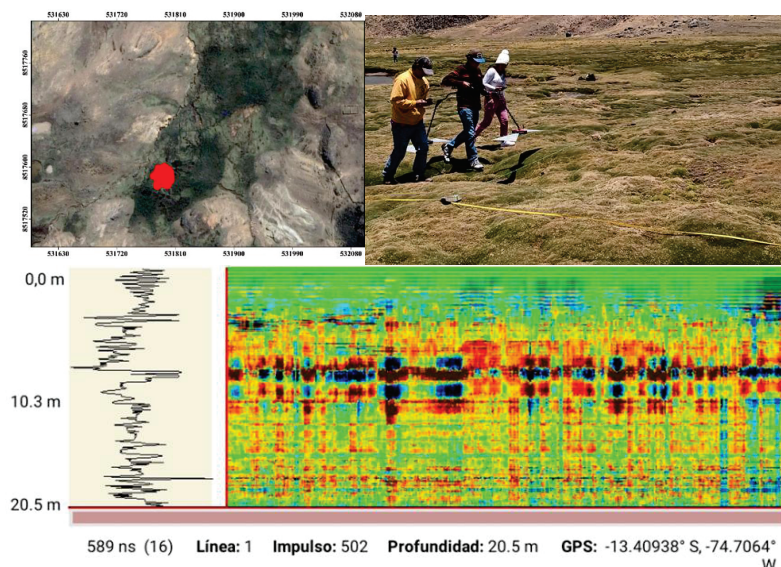


Fig. 1. Línea de perfil vertical de radargrama a lo largo de un transecto en el subsuelo de bofedal de la microcuenca Apacheta.

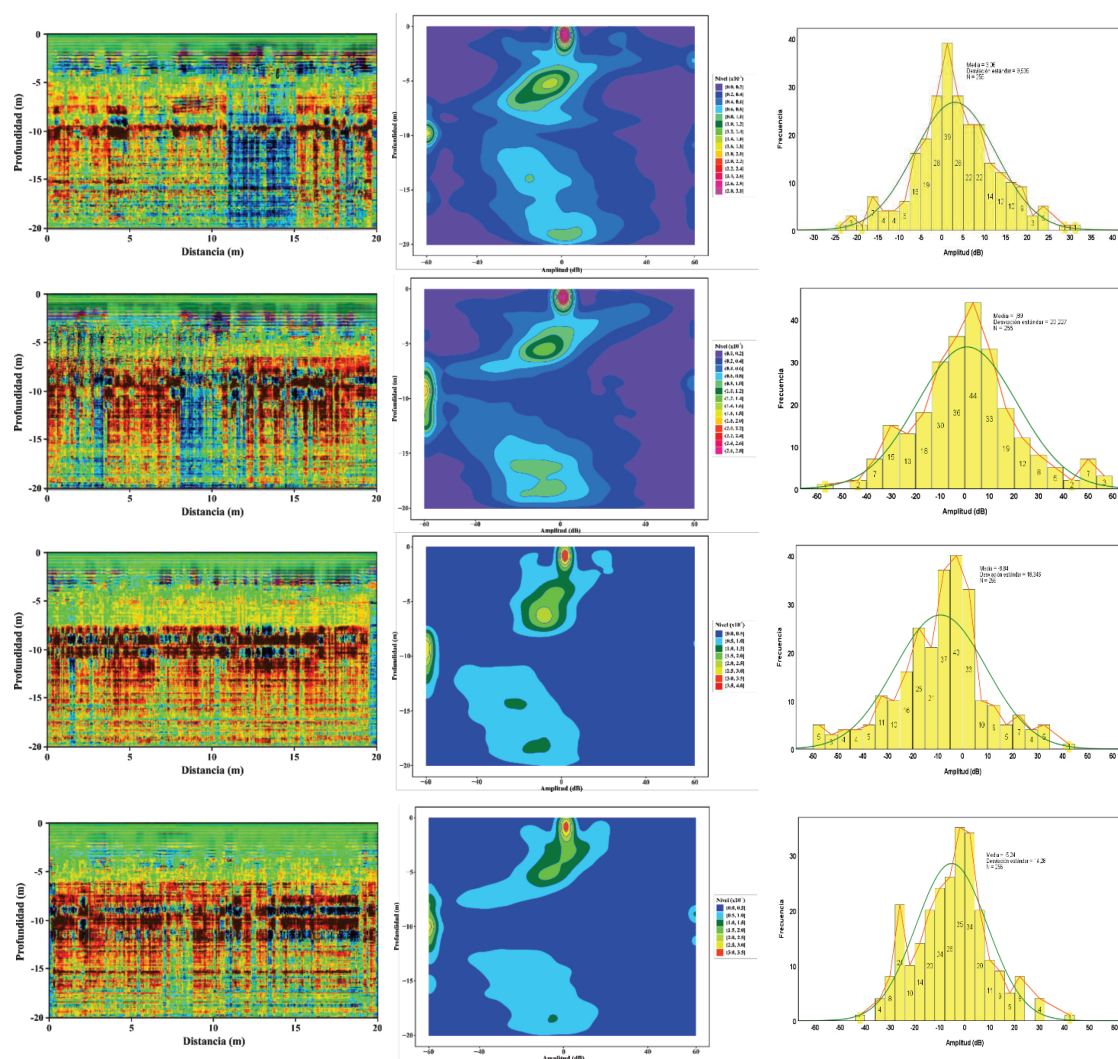
2. A lo largo de 5 transectos muestreados con el georadar, se observan capas continuas y bien definidas dentro del subsuelo de bofedal, figura 2, donde la intensidad de la señal recibida varió principalmente en función del estado de la materia orgánica, entre los primeros 5 m de profundidad, que compone el subsuelo de bofedal debido a su estratificación, así como de la naturaleza del sustrato, por lo que desde los 15 m hasta los 20 m se observa una capa uniforme de suelo rocoso. En el transecto 1 la mayor frecuencia de amplitud de onda se da entre los -5 a 10 dB, en el transecto 2 y 4 se da entre -10 a 10 dB, en el transecto 3 se da entre -10 a 5 dB, en el transecto 5 se da entre -25 a -10 dB. Siendo las zonas amarillas, anaranjadas, rojas y fucsias las de mayor densidad de frecuencia de amplitud de onda reflejada en el subsuelo de bofedal, perteneciente a suelo compacto.

En la cota de los 4650 ms.n.m., la cubierta vegetal de bofedal se superpone a la vegetación degradada más antigua, acumulada durante los años anteriores, almacenándose capa sobre capa, algunas de manera uniforme, otras encerrando vacío o gases por la descomposición de la materia orgánica y otras conduciendo agua de manera subsuperficial, tal como se muestra en los radargramas de los perfiles muestreados, regiones oscuras. El contraste de las propiedades electromagnéticas entre la vegetación superficial y la materia orgánica del subsuelo antigua, con el resto de su

composición, se diferencian en el coeficiente de reflexión, produciendo una reflexión débil, lo que significa que hay una mejor detección del agua con respecto a la demás composición del subsuelo.

La alta densidad de muestreo espacial de los datos georadar, genera una distribución robusta de la profundidad del subsuelo de bofedal, donde el conjunto de datos georadar permite obtener todas las variaciones del espesor de materia orgánica y composición del subsuelo de bofedal a diferentes profundidades, prácticamente no presenta limitaciones en la penetración del subsuelo; las técnicas tradicionales no podrían cubrir amplias áreas con la misma resolución espacial y están limitadas por el poder de penetración de la longitud de las ondas incidentes. Estas limitaciones son responsables de la subestimación tanto de la media como la desviación estándar de la profundidad del subsuelo de bofedal.

A menudo, la distribución normal ha resultado ser un buen modelo para describir la profundidad del subsuelo de bofedal, la cual, evoluciona desde una distribución bastante sesgada desde sus inicios hacia una distribución menos sesgada (incluso normal) en su máximo estacional, ya sea de precipitación o de mayor densidad de vegetación. Por el contrario, señalamos resultados similares a los dados por Skaugen (2007), donde un modelo basado en la función de distribución gamma se ajustaba a los datos experimentales de dos lugares de Noruega.



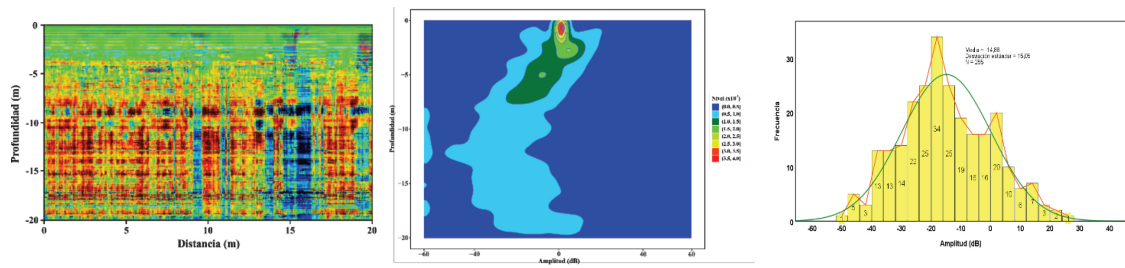
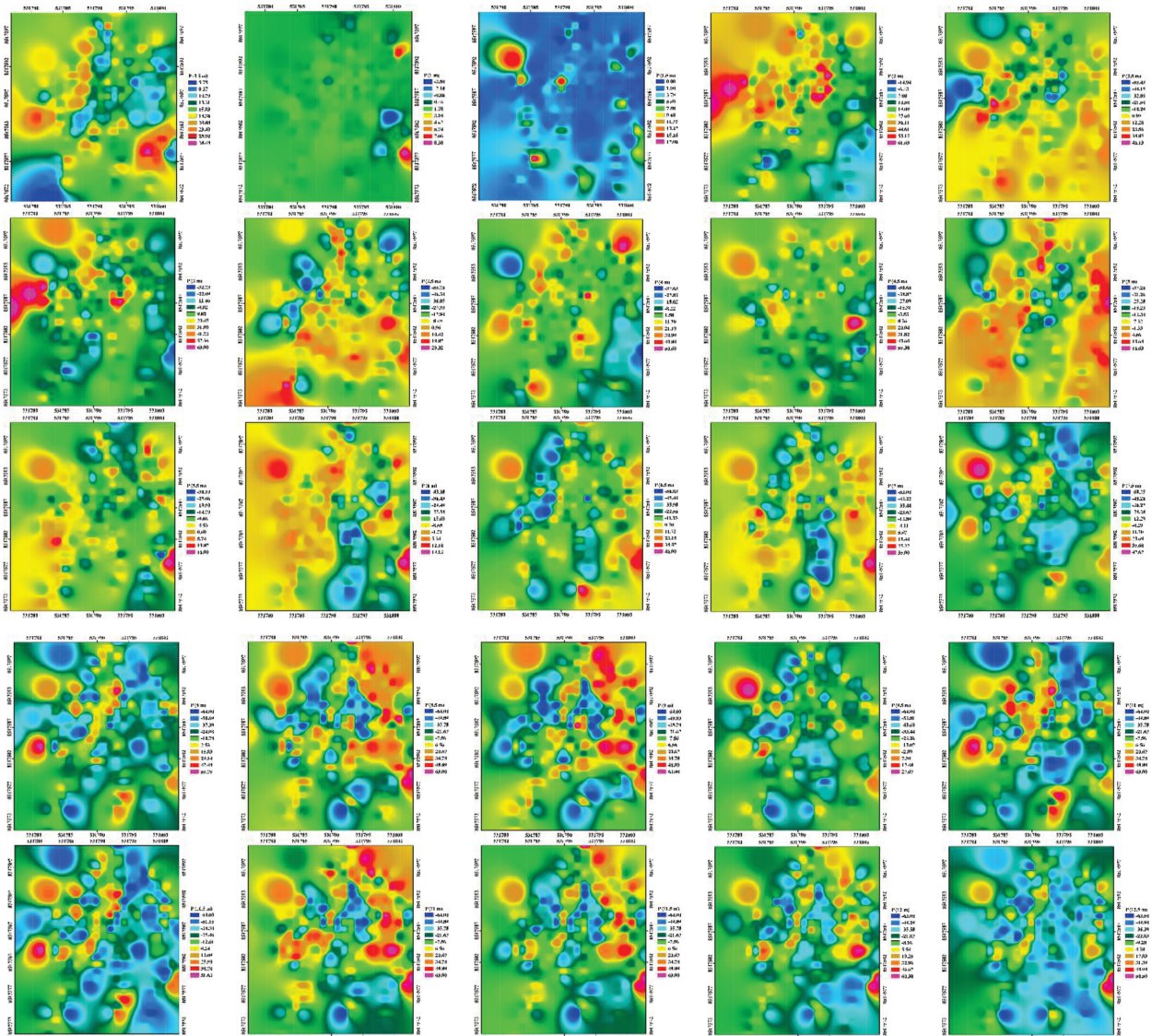


Fig. 2. Radargrama, densidad de amplitud e histograma de frecuencia de onda reflejada en 5 transectos de 20m, desde 0m a 20m de profundidad, en el subsuelo de bofedal en la microcuenca Apacheta.

3. En la Figura 3, se muestran 40 secciones planas a diferentes profundidades construidas mediante interpolación IDW, donde los colores celeste y azul corresponde a valores de menor amplitud de onda reflejada y los colores rojo y fucsia a valores mayores de amplitud de onda reflejada. Cada sección corresponde a los puntos muestreados en 5 transectos, para profundidades 0,5m hasta 20m. separadas 0.5 m. Se detecta claramente la reflexión debida a la presencia de agua para menores valores de amplitudes de onda reflejada, esto debido a la mayor absorbancia del agua; también se observan algunas reflexiones continuas a lo largo de las secciones,

debido a las características típicas de las capas dentro del subsuelo de bofedal. Por otro lado, la reflexión del fondo es más débil y se ve afectada en su mayor parte por el ruido. Se puede destacar que la señal detectada cerca de la superficie de bofedal es más ruidosa y no se puede detectar bien la reflexión principal, siendo esta muy dispersa, esto debido a la separación de las antenas con la superficie. Estos resultados son coherentes con la descripción de Koh et al. (1996), quienes observaron que la detección de la señal reflejada en el suelo es muy compleja.



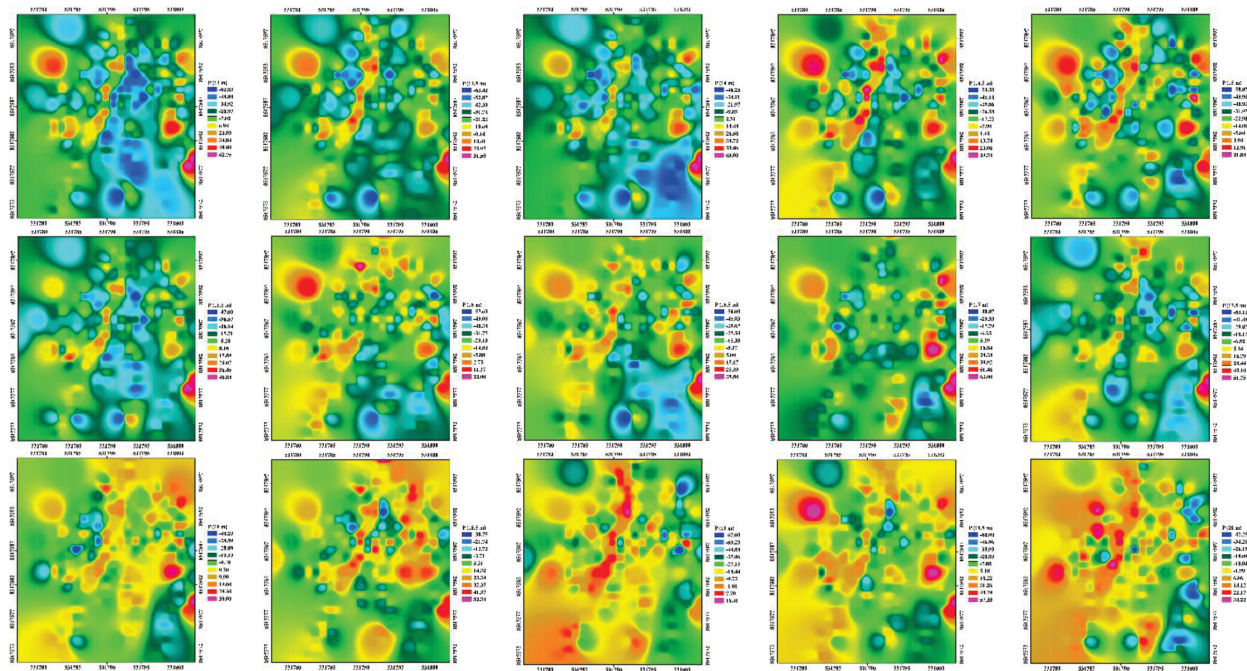
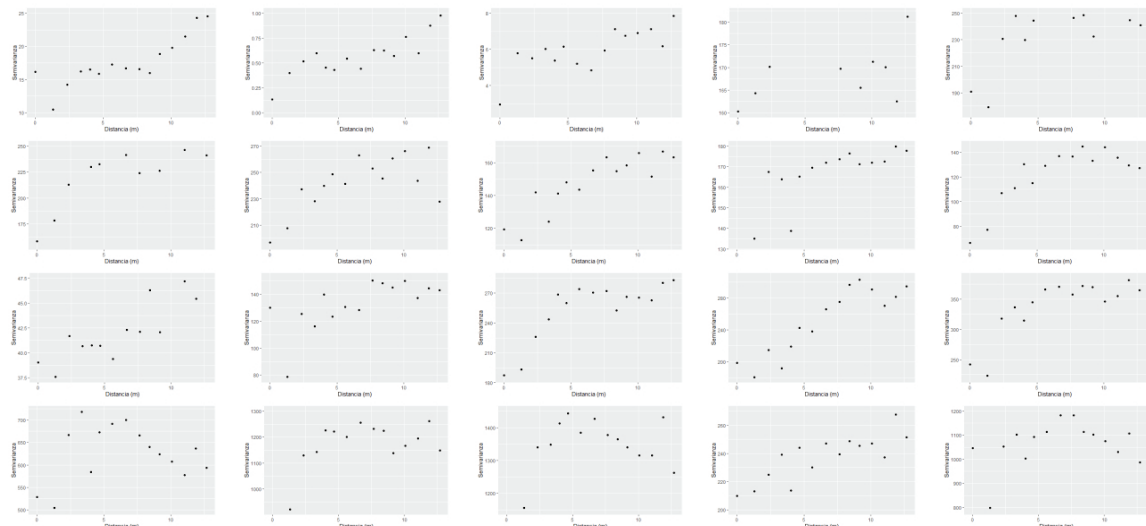


Fig. 3. Interpolación IDW de la amplitud de onda reflejada a profundidades de 0.5m a 20m, cada 0.5m, en el subsuelo de bofedal en la microcuenca Apacheta, medidas con el GPR, Gepard.

Para el caso de bofedales, el coeficiente de reflexión de la interfaz vegetación superficial y subsuelo depende de las propiedades de permitividad dieléctrica debido a su composición, como son algunos restos de roca (micaesquistos, ϵ , oscila entre 6 a 9); que para este caso el módulo del coeficiente de reflexión es aproximadamente 0,4. Por tanto, el alto contraste entre las propiedades electromagnéticas de las diferentes composiciones, vegetación, nieve ($\epsilon=2$), escombros (ϵ , oscila entre 5 a 6) con respecto al agua ($\epsilon=80$), justifica la fuerte reflectividad de la amplitud de la onda de radar.

5. Los semivariogramas de la amplitud de onda reflejada medidos cada 0.5m de profundidad desde los 0.5m hasta los 20m, correspondiente a los puntos muestreados en los cinco transectos se representan en la Fig. 4, donde el valor

medio es menor y la desviación estándar muestra un incremento significativo de la profundidad del subsuelo de bofedal en los transectos 2 y 3 con respecto a los otros tres transectos; también los semivariogramas a profundidades de 8.5m, 9m, 10m y 11m alcanzaron valores de semivarianza más altos por encima de los 1000, esto denota una mayor variación espacial del subsuelo de bofedal; de lo contrario, en el transecto 1, la desviación estándar es menor pero la media es mayor, mientras que los semivariogramas a diferentes profundidades no muestran comportamiento de forma regular, siendo estas muy dispersas en las primeras distancias. Las diferencias de la desviación estándar y la distribución espacial de la profundidad del subsuelo de bofedal están relacionadas con el comportamiento de las escorrentías subsuperficiales.



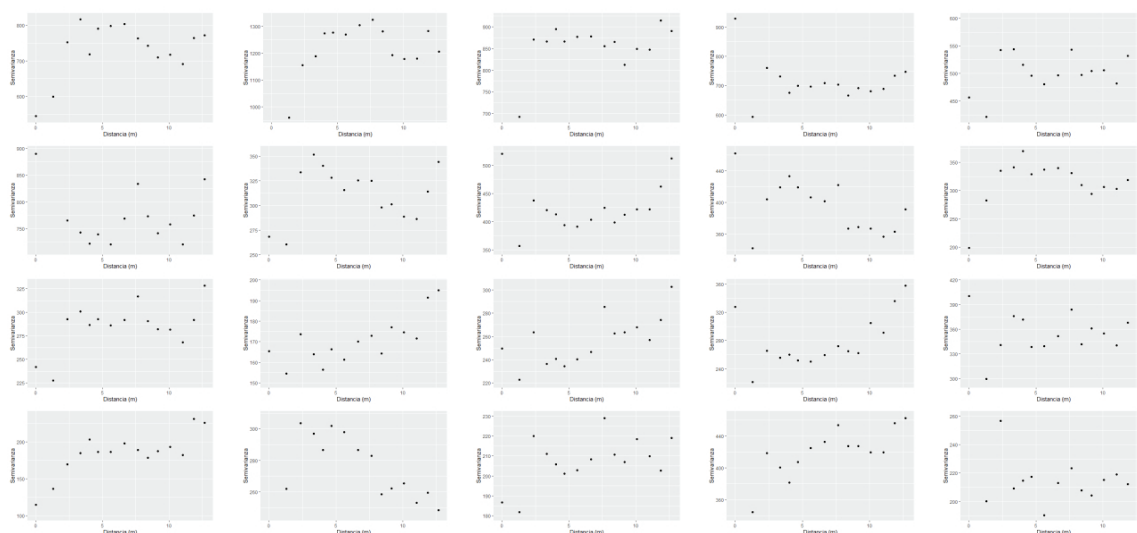


Fig. 4. Semivariograma de la amplitud de onda reflejada a diferentes profundidades, desde 0.5m a 20m, en el subsuelo de bofedal en la microcuenca Apacheta, medida con el GPR, Gepard.

Un análisis geoestadístico de la distribución de la profundidad del subsuelo de bofedal podría ser útil para analizar la confiabilidad de la distribución espacial de la información de la amplitud de onda reflejada a diferentes profundidades (Godio and Rege, 2016). Los semivariogramas confirman que existe una alta variabilidad espacial de la profundidad del subsuelo de bofedal a una distancia de unos 5m de un punto de medición. La variabilidad de la profundidad del subsuelo de bofedal se ve muy afectada por el área de mayor acumulación de materia orgánica o de bolsas con gases o de bolsas de agua acumulada.

El análisis de los datos georadar en los cinco transectos muestreados en uno de los bofedales de la microcuenca Apacheta, ha permitido estimar la variabilidad espacial de la profundidad del subsuelo de bofedal con diferentes sustratos y composición. Los tiempos de prospección son muy útiles para un mapeo rápido y preciso de la profundidad del subsuelo de bofedal con alta resolución espacial y buena precisión vertical. La ventaja de las prospecciones geofísicas realizadas con el GPR, Gepard, emplea menos tiempo y no sufren los límites de las técnicas tradicionales, como es el caso de la perforación del subsuelo que trastocan la profundidad de la zona investigada, cuyas mediciones tienen una mejor calidad de datos de alta resolución mediante una cuidadosa calibración de la velocidad de onda, lo cual trasciende en el análisis geoestadístico de los datos mostrando una gran variación espacial de las capas del subsuelo de bofedal.

Los semivariogramas muestran la aparición de clústeres a distancias corta, lo cual significa que algunas zonas se conectan con otras con comportamientos distintos a diferentes profundidades y que sólo tiene sentido para distancias cortas, dependiendo del contenido de humedad en el suelo y de su composición, que para este caso es de unos 20m de profundidad.

La distribución de densidad de la amplitud de la onda reflejada a diferentes profundidades del subsuelo de bofedal en cinco transectos diferentes, refleja bastante bien la

distribución de los datos experimentales y discrimina el contenido de agua y humedad en el suelo con respecto al suelo rocoso.

El comportamiento espacial de la humedad y del contenido de agua en diferentes profundidades son muy variables, lo cual explica su movimiento a través de escorrentías subsuperficiales de manera lentic, debido a la permeabilidad de la composición porosa del subsuelo en concordancia con el proceso de formación del bofedal por fenómenos de erosión y redistribución de materia orgánica acumulada.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Teledetección y Energías Renovables LABTELER de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por permitirnos hacer uso del GPR, Gepard. En especial, al Instituto de Investigación e Innovación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por haber hecho posible su realización, quienes han aportado económicamente en su ejecución sin lo cual no hubiera sido posible su desarrollo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Davis, B.R., Lundien, J.R., Williamson, A.N., 1966. Feasibility Study of the Use of Radar to Detect Surface and Ground Water. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Dawrea, A., Zytner, R.G., Donald, J., 2021. Enhanced GPR data interpretation to estimate in situ water saturation in a landfill. *Waste Manag.* 120, 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.033>
- Godio, A., Rege, R.B., 2016. Analysis of georadar data to estimate the snow depth distribution. *J. Appl. Geophys.* 129, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.03.036>
- Hartman, B.D., Cleveland, D.A., 2018. The socioeconomic factors that facilitate or constrain restoration management: Watershed rehabilitation and wet meadow (bofedal) restoration in the Bolivian Andes. *J. Environ. Manage.* 209, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.025>

Henao, J., 1988. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santo Tomas, Bogota.

Kearey, P., Brooks, M., Hill, I., 2002. An Introduction to Geophysical Exploration, Tercera. ed. Wiley-Blackwell, USA.

Koh, G., Yankielun, N.E., Baptista, A.I., 1996. Snow Cover Characterization Using Multiband Fmcw Radars. *Hydrol. Process.* 10, 1609–1617. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199612\)10:12<1609::AID-HYP504>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199612)10:12<1609::AID-HYP504>3.0.CO;2-O)

Kovacs, A., Gow, A.J., Morey, R.M., 1995. The in-situ dielectric constant of polar firn revisited. *Cold Reg. Sci. Technol.* 23, 245–256. [https://doi.org/10.1016/0165-232X\(94\)00016-Q](https://doi.org/10.1016/0165-232X(94)00016-Q)

Molina, G., Claría, J., Rinaldi, V., 2008. Procesamiento de Imágenes de Geo - Radar Obtenidas en Escenarios con Múltiples Reflectantes Superficiales. Argentina. <https://doi.org/DOI:10.13140/2.1.3035.2644>

Moncada, W., Pereda, A., Aldana, C., Masias, M., Jimenez, J., 2015. Cuantificación hidrográfica de la cuenca del rio Cachi-Ayacucho, mediante imágenes satelitales. *Inst. Investig. Científica E Innov. Tecnológica UNSCH II*.

Moncada, W., Willems, B., 2020. Spatial and temporal analysis of surface temperature in the Apacheta micro-basin using Landsat thermal data. *Rev. Teledetec.* 0, 51–63. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.13855>

Moncada, W., Willems, B., Rojas, J., 2020. Estimación de estadios estacionales a partir de parámetros climáticos medidos en la estación meteorológica de la microcuenca Apacheta, Región Ayacucho, 2000 al 2018. *Rev. Investig. Física UNMSM* 23, 17-- 25.

Moreau, S., Bosseno, R., Gu, X.F., Baret, F., 2003. Assessing the biomass dynamics of Andean bofedal and totora high-protein wetland grasses from NOAA/AVHRR. *Remote Sens. Environ.* 85, 516–529. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00053-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00053-1)

Pereda, A., Moncada, W., Verde, L., 2018. Respuesta nival de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta de Ayacucho. Editorial Académica Española, Perú.

Skaugen, T., 2007. Modelling the spatial variability of snow water equivalent at the catchment scale. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 1543–1550. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1543-2007>

Yokota, T., Inazaki, T., Shinagawa, S., Ueda, T., 2009. A 3D ground penetrating radar imaging of the heavy rainfall-induced deformation around a river levee: a case study of Ara River, Saitama, Japan*. *Explor. Geophys.* 40, 49–55. <https://doi.org/10.1071/EG08108>

ESTRÉS ACADÉMICO EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

Manuel Antonio Masías Correa, Juan José Cuadros López, Nilton Wilfredo Loyola Verde
Mmasias@unsch.edu.pe

RESUMEN

El estrés académico en estudiantes es un aspecto de importancia que condiciona su equilibrio interno, por lo que con el objetivo de evaluar su nivel en estudiantes de Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, se les observó con un diseño transversal simple a través de muestreo aleatorio con $\alpha = 0,05$ y un error máximo en la medición el mínimo posible de observar, los datos se analizaron con métodos estadísticos hallándose como resultado que existe evidencia estadística (p-valores menores a 0,05) que la dimensión físico del estrés y la característica demográfica sexo están asociadas significativamente, las demás dimensiones no evidencian correlación con las características demográficas con las que se contrastó.

Palabras clave: Estrés, Estrés académico.

ESTRÉS ACADÉMICO EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

ABSTRACT

Academic stress in students is an important aspect that conditions their internal balance, so in order to evaluate its level in students of Education Sciences of the Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, they were observed with a cross-sectional design simple through random sampling with $\alpha = 0.05$ and a maximum error in the measurement the minimum possible to observe, the data were analyzed with statistical methods, finding as a result that there is statistical evidence (p-values less than 0.05) that the physical dimension of stress and the demographic characteristic of sex are significantly associated, the other dimensions do not show a correlation with the demographic characteristics with which it was contrasted.

Key words: Stress, Academic stress.

INTRODUCCIÓN

El estrés en general y el estrés académico en particular hoy en día es un problema que, si bien se le está prestando atención, esta no recibe la atención suficiente en el campo de la investigación.

A partir de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, las universidades en el país han enfatizado, entre otros, la formación de sus estudiantes, su egreso e inserción en la vida laboral, lo que conlleva a tener un conocimiento lo más ajustado posible de las características de sus estudiantes con el fin de asegurar así su permanencia y el mejor aprovechamiento académico posible. Una de las características que podría impedir o dificultar el avance académico es el estrés académico y el desconocimiento de sus dimensiones dificulta el desarrollo de los programas de atención, las tutorías o soluciones a los problemas que los estudiantes enfrentan.

La posesión de los aspectos relevantes coadyuvará a una correcta visión del Estrés Académico en estudiantes de Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga con el objetivo de mejorar los programas de atención, tutorías o soluciones a los problemas que sus propios estudiantes enfrentan.

Su alcance y contenido también está orientado por las características del propio enfoque, que se pueden resumir

como preventiva, ya que identificará características que permitan formular estrategias mejorar la calidad los programas de atención, tutorías o soluciones a los problemas que sus propios estudiantes enfrentan; adaptativa y ecléctica, pues es flexible en términos del marco analítico a utilizar y los conceptos y categorías de análisis; participativa, pues requiere de procesos sociales de participación de los involucrados; de costo-eficiente, pues puede evitar conflictos posteriores e imparcial, se asumirá un rol independiente de la institución a estudiar.

La revisión y análisis de la literatura existente sobre el tema, fue la base para plantearnos los objetivos siguientes:

GENERAL

- Evaluar el nivel de estrés académico de los estudiantes de Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Específicos
- Establecer que dimensión del estrés académico presentan una mayor presencia entre los de los estudiantes de Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de Huamanga.
- Precisar si están asociadas las variables sociodemográficas con el estrés académico de los estudiantes de Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de Huamanga.

El término estrés etimológicamente deriva del griego *stringere* cuyo significado es tensar o estirar, y fue tomada y

utilizada en el siglo XIV en el idioma inglés como strain, que quiere decir tensión y fue usado para representar dureza, momentos de angustia, adversidad, entre otros. Su uso en psicología se le atribuye a Thomas Young que en el siglo XVIII lo asoció como la respuesta intrínseca del objeto propia a su estructura, provocada por la fuerza esto en semejanza a su uso en la física que se utiliza para describir la energía potencial elástica y la relación que hay entre las deformaciones de un cuerpo y la fuerza aplicada sobre este. Young lo asoció a la relación existente entre la capacidad de los procesos mentales de resistir cargas y la capacidad de las personas para soportarlas.

El estrés académico es una de las complicaciones de salud más generalizada en estudiantes universitarios, es multivariable y exige a los estudiantes universitarios dominar cada vez más los retos y las exigencias actuales para enfrentar la problemática que encaran (Alfonso Águila, Calcines Castillo, Monteagudo de la Guardia, & Nieves Achon, 2015).

En cuanto al Estrés Académico, Oliveti (2010) en un estudio cuantitativo, descriptivo-exploratorio, comparativo, transversal no experimental, utilizando el inventario de Estrés Académico SISCO de Barraza (2007) alcanzó a colegir que no existen diferencias significativas en cuanto al género y las dimensiones que evaluó.

Jaimes Parada (2008) validó el inventario de Estrés Académico SISCO, en adultos jóvenes de la Pontificia Universidad Bolivariana seccional Bucaramanga, con métodos estadísticos, hallando un valor de alfa de Cronbach de 0,81 y un coeficiente de dos mitades de 0,804, lo que permite inferir que este instrumento tiene alta confiabilidad y validez.

Al igual que Jaimes Pareda (2008), Malo Salavarieta, Cuadrado, Florián y Sánchez (2011, pág. 92), validaron el inventario de Estrés Académico SISCO, pero en adultos jóvenes de la universidad del Sinú, hallando un valor de alfa de Cronbach de 0,7 que ratifica la confiabilidad y validez de este instrumento.

Cabanach, Fariña, Freire, González & Ferradás (2013) en un estudio ex post facto utilizando la Escala de Afrontamiento del Estrés (A-CEA) hallaron que existen diferencias en el agudeza de situaciones estresantes entre hombres y mujeres en el contexto universitario de estudiantes de la Universidad de A Coruña.

De manera similar, pero utilizando Inventario de Estrés Autopercebido de Polo y colaboradores en 1996, Román Collazo, Ortiz Rodríguez & Hernández Rodríguez (2008) coligieron que “el estrés académico es un fenómeno de elevada frecuencia..., con un predominio en el sexo femenino”.

Sobre el estrés académico Correa Prieto (2019) en estudio analítico transversal en estudiantes de la escuela de Medicina Humana de la Universidad Cesar Vallejo de Piura, concluyó que “los niveles de preocupación presentes en los estudiantes es medio, con mayor prevalencia en mujeres; siendo el nivel de estrés académico presente en los universitarios, alto en mayor frecuencia”.

“A pesar de que el estrés ha sido muy investigado en el campo de las ciencias médicas, sociales y educativas, no se ha logrado un consenso general entre los expertos sobre este término” (Alfonso Águila, Calcines Castillo, Monteagudo de la Guardia, & Nieves Achon, 2015).

Stress en inglés o estrés en español, es un término que en el campo de la medicina es concebido como ‘reacción’, y que “a nivel mundial, uno de cada cuatro individuos sufre de algún problema grave de estrés y en las ciudades, se estima que el 50 por ciento de las personas tienen algún problema de salud mental de este tipo” (Caldera Montes, Pulido Castro, & Martínez González, 2007, pág. 78), que denota la “situación de un individuo vivo, o de alguno de sus órganos o aparatos que por exigir de ellos un rendimiento superior al normal, los pone en riesgo próximo de enfermar” (Galán Cuevas & Camacho Gutiérrez, 2010), “tiene su origen el estudio de la física en los albores del siglo XVII. En esa época el inglés Robert Hooke descubría la energía potencial elástica y la relación existente entre las deformaciones de un cuerpo y la fuerza de aplicación sobre este” (Román Collazo & Hernández Rodríguez, 2011, pág. 3), y “... se le emplea para hacer referencia a una gama muy amplia de experiencias, por ejemplo, nerviosismo, tensión, cansancio, agobio, inquietud y otras sensaciones o vivencias similares” (Caldera Montes, Pulido Castro, & Martínez González, 2007, pág. 78).

La evolución de los estudios del estrés ha pasado por varios esquemas y teorías de la Psicología, el Estimulo-Respuesta de la Teoría Clásica, el Persona-Entorno de la Teoría Cognoscitiva, entre otros, lo que ha generado el desarrollo de modelos teóricos para darle unidad y coherencia al sustento empírico y referencial (Barraza Macías, 2006, pág. 111); en la actualidad es considerado como un agregado ineludible en nuestro quehacer diario que obliga a conocer nuestra personalidad con el fin de prevenir enfermedades tanto psicósomáticas como somato psíquicas lo que hace relevante la percepción de Hans Selye de que “el hombre moderno debe dominar su estrés y aprender a adaptarse, pues de lo contrario se verá condenado al fracaso profesional, a la enfermedad y a la muerte prematura”, aún más debe aprender a diferenciar la forma como se advierte, el estrés agudo, que se torna positivo dado que se constituye en una respuesta natural frente a la situación percibida como amenazante y el estrés crónico que deja de ser una respuesta natural y se transforma en una alerta continua ante estresores reales o fantaseados (Sánchez Azuara & López Gutiérrez, 2010).

En ese proceso evolutivo es posible hallar la definición de estrés académico “como una reacción de activación fisiológica, emocional, cognitiva y conductual ante estímulos y eventos académicos” (Berrío García & Mazo Zea, 2011) o como mecanismos “adaptativos individuales e institucionales, producto de la demanda desbordante y exigida en las experiencias de enseñanza y aprendizaje que se desarrollan en las Instituciones de Educación Superior, con el propósito de mantener el estado estacionario ... en el proceso educativo” (Román Collazo & Hernández Rodríguez, El estrés académico: una revisión crítica del concepto desde las ciencias de la educación, 2011).

MATERIAL Y MÉTODOS

La base del estudio fue una muestra aleatoria estratificada cuyo tamaño se determinó estadísticamente. Los datos se obtuvieron con un segmento del Inventario CISCO cuyo objetivo central es explorar las características del estrés que acompaña a los estudiantes tanto de último ciclo de la Educación Básica Regular como de Educación Superior y de Postgrado a través de un cuestionario valorado en escala de 1 a 5 en cada ítem en tres dimensiones (reacciones físicas -6 ítems-, reacciones psicológicas -5 ítems- y reacciones

comportamentales -4 ítems-) por lo que la mayor desviación estándar a observar bajo el supuesto de normalidad estaría dado por $\sigma = R/6 = 30/6 = 5$, por lo que admitiendo un error máximo en la medición el mínimo posible de observar 1 punto con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ determinamos que el mínimo tamaño de muestra requerido para el estudio es de 96.04 instrumentos que se afijó proporcionalmente según el número de estudiantes de cada escuela profesional. Se utilizó como Criterio de Inclusión que los estudiantes estuvieran matriculados en el año calendario 2020 y como Criterio de Exclusión el no haber dado respuesta a algún ítem del instrumento. Para las cuentas se utilizó el software MS-

Excel con el complemento MegaStat y el JASP para determinar la aceptabilidad de los datos, además de los usuales como normalidad de los datos y contrastes de independencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de normalidad de las componentes arrojó que estas no tenían ajuste con la distribución normal, todos los p-valoros observados resultaron menores a $\alpha = 0.05$. Las características demográficas que se evidencian a partir de los datos se muestran en los cuadros siguientes:

01. Facultad de Ciencias de la Educación. Estrés estudiantil según dimensiones por nivel. 2020 (porcentajes)

DIMENSIONES DEL ESTRÉS	NIVEL DE ESTRÉS		
	BAJO	MEDIO	ALTO
GENERAL	27.9	45.6	26.5
FÍSICO	25.0	42.6	32.4
PSICOLÓGICO	19.1	45.6	35.3
COMPORTAMENTAL	35.3	45.6	19.1

02. Facultad de Ciencias de la Educación. Estrés de estudiantes de sexo femenino según dimensiones por nivel. 2020 (porcentajes)

DIMENSIONES DEL ESTRÉS	NIVEL DE ESTRÉS		
	BAJO	MEDIO	ALTO
GENERAL	27.3	40.9	31.8
FÍSICO	20.5	36.4	43.2
PSICOLÓGICO	15.9	45.5	38.6
COMPORTAMENTAL	31.8	43.2	25.0

03. Facultad de Ciencias de la Educación. Estrés de estudiantes de sexo masculino según dimensiones por nivel. 2020 (porcentajes)

DIMENSIONES DEL ESTRÉS	NIVEL DE ESTRÉS		
	BAJO	MEDIO	ALTO
GENERAL	29.2	54.2	16.7
FÍSICO	33.3	54.2	12.5
PSICOLÓGICO	25.0	45.8	29.2
COMPORTAMENTAL	41.7	50.0	8.3

04. Facultad de Ciencias de la Educación. Estrés de estudiantes de educación física según dimensiones por nivel. 2020 (porcentajes)

Dimensiones del estrés	Nivel de estrés		
	BAJO	MEDIO	ALTO
GENERAL	31.3	56.3	12.5
FÍSICO	31.3	56.3	12.5
PSICOLÓGICO	25.0	50.0	25.0
COMPORTAMENTAL	62.5	31.3	6.3

05. Facultad de Ciencias de la Educación. Estrés de estudiantes de educación inicial según dimensiones por nivel. 2020 (porcentajes)

Dimensiones del estrés	Nivel de estrés		
	BAJO	MEDIO	ALTO
GENERAL	26.7	40.0	33.3
FÍSICO	20.0	33.3	46.7
PSICOLÓGICO	13.3	46.7	40.0
COMPORTAMENTAL	26.7	53.3	20.0

06. Facultad de ciencias de la educación. estrés de estudiantes de educación primaria según dimensiones por nivel. 2020 (porcentajes)

DIMENSIONES DEL ESTRÉS	NIVEL DE ESTRÉS		
	BAJO	MEDIO	ALTO
GENERAL	25.0	37.5	37.5
FÍSICO	12.5	50.0	37.5
PSICOLÓGICO	12.5	37.5	50.0
COMPORTAMENTAL	37.5	37.5	25.0

07. Facultad de ciencias de la educación. estrés de estudiantes de educación secundaria según dimensiones por nivel. 2020 (porcentajes)

Dimensiones del estrés	Nivel de estrés		
	BAJO	MEDIO	ALTO
GENERAL	28.6	47.6	23.8
FÍSICO	33.3	33.3	33.3
PSICOLÓGICO	23.8	47.6	28.6
COMPORTAMENTAL	19.0	57.1	23.8

08. Facultad de ciencias de la educación. estrés de estudiantes de educación según sexo por nivel de estrés. 2020 (porcentajes)

Sexo	Nivel de estrés		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Femenino	27.3	40.9	31.8
Masculino	29.2	54.2	16.7

09. Facultad de ciencias de la educación. estrés de estudiantes de educación según distrito de residencia por nivel de estrés. 2020 (porcentajes)

Sexo	Nivel de estrés		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Andrés Avelino Cáceres	16.7	66.7	16.7
Ayacucho	34.8	26.1	39.1
Carmen Alto	22.2	66.7	11.1
Jesús Nazareno	25.0	75.0	0.0
San Juan Bautista	25.0	50.0	25.0
Otro	28.6	42.9	28.6

10. Facultad de ciencias de la educación. estrés de estudiantes de educación según escuela en que estudia por nivel de estrés. 2020

ESCUELA	NIVEL DE ESTRÉS		
	BAJO	MEDIO	ALTO
EDUCACIÓN FÍSICA	31.3	56.3	12.5
EDUCACIÓN INICIAL	26.7	40.0	33.3
EDUCACIÓN PRIMARIA	25.0	37.5	37.5
EDUCACIÓN SECUNDARIA	28.6	47.6	23.8

Del análisis de los cuadros anteriores se desprende que no hay evidencia que alguna de las dimensiones manifieste una presencia especial en los estudiantes.

Las características demográficas observadas contrastadas con las componentes determinadas mostraron los p-valores que se detallan en el cuadro siguiente,

11. Facultad de ciencias de la educación. p-valores de contraste de independencia de las dimensiones del estrés con las características demográficas. 2020

CARACTERÍSTICA DEMOGRÁFICA	ESTRÉS			
	General	Físico	Psicológico	Comportamental
Sexo	0.374	0.035	0.587	0.242
Escuela Profesional	0.795	0.355	0.770	0.176
Distrito de residencia	0.577	0.964	0.756	0.962

Que permite colegir que salvo la dimensión Físico y la característica demográfica Sexo, el estrés es independiente de las características demográficas observadas.

En conclusión, en los estudiantes Educación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga se observa que la dimensión físico del estrés y la característica demográfica Sexo evidencia asociación significantes estadísticamente, las demás dimensiones no evidencian correlación con las características demográficas con las que se contrastó. Tampoco hallamos evidencia que alguna de las dimensiones manifieste una presencia especial en los estudiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfonso Águila, B., Calcines Castillo, M., Monteagudo de la Guardia, R., & Nieves Achon, Z. (Abril - Junio de 2015). Estrés académico. *Edumecentro*, 163-178. Recuperado el 27 de Noviembre de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-28742015000200013

Barraza Macías, A. (Diciembre de 2006). *Un modelo conceptual para el estudio del estrés académico*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019, de *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*: https://www.researchgate.net/publication/228457746_Un_modelo_conceptual_para_el_estudio_del_estres_academic

Barraza Macías, A. (26 de Febrero de 2007). Propiedades psicométricas del Inventario SISCO del estrés académico. *Revista Psicología Científica.com*, 9(10). Recuperado el 4 de Noviembre de 2019, de <http://www.psicologiacientifica.com/sisco-propiedades-psicometricas/>

Berrío García, N., & Mazo Zea, R. (2011). Estrés Académico. *Revista de Psicología Universidad de Antioquia* (ISSN 2145-4892).

Cabanach, R. G., Fariña, F., Freire, C., González, P., & Ferradás, M. d. (2013). Diferencias en el afrontamiento del estrés en estudiantes universitarios hombres y mujeres. *European Journal of Education and Psychology*, 6(1), 19-32. doi:10.1989/ejep.v6i1.100

Caldera Montes, J. F., Pulido Castro, B. E., & Martínez González, M. G. (2007). Niveles de estrés y rendimiento académico en estudiantes de la carrera de Psicología del Centro Universitario de Los Altos. *Revista de Educación y Desarrollo*, 77-82.

Correa Prieto, F. R. (21 de 2 de 2019). Estrés académico en estudiantes de medicina de la Universidad Cesar Vallejo, de

Piura 2013. *Revista Del Cuerpo Médico Del HNAAA*, 8(2), 80-84. doi:<https://doi.org/10.35434/rcmhnaaa.2015.82.202>

Galán Cuevas, S., & Camacho Gutiérrez, E. J. (2010). *Estrés y salud: investigación básica y aplicada*. México: El Manual Moderno.

Jaimes Parada, R. (2008). *Validación del inventario SISCO del Estrés Académico en adultos jóvenes de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga*. Tesis de Licenciatura. Recuperado el 4 de Noviembre de 2019, de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/224/digital_16454.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Malo Salavarieta, D. A., Cuadrado, E., Florián, R., & Sánchez, D. (2011). Análisis psicométrico del inventario SISCO de estrés académico en adultos jóvenes de la universidad del Sinú. En A. Barraza Macías, A. Jaik Dipp, & I. U. C. (Ed.), *Estrés, Burnout y Bienestar Subjetivo. Investigaciones sobre la salud mental de los agentes educativos* (Primera ed., págs. 92-107). México. Recuperado el 4 de Noviembre de 2019, de <http://iunaes.mx/wp-content/uploads/2013/04/Estres-Bournot.pdf#page=95>

Oliveti, S. (2010). *Estrés académico en estudiantes que cursan el primer año del ámbito universitario*. Tesis de Licenciatura, Universidad Abierta Interamericana. Recuperado el 04 de Noviembre de 2019

Román Collazo, C. A., & Hernández Rodríguez, Y. (2011). El estrés académico: una revisión crítica del concepto desde las ciencias de la educación. *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*, 14(2), 1-13.

Román Collazo, C. A., Ortiz Rodríguez, F., & Hernández Rodríguez, Y. (25 de Julio de 2008). El estrés académico en estudiantes latinoamericanos de la carrera de Medicina. *Revista Iberoamericana de Educación*, 46(7), 1-8.

Sánchez Azuara, M. E., & López Gutiérrez, C. (2010). *Estrés y salud: aportaciones desde la psicología social*. México: 2010.

Barraza Macías, A. (01 de 01 de 2007). El Inventario SISCO del Estrés Académico. *Investigación Educativa Duranguense* (07), 90-93. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/28175062_El_Inventario_SISCO_del_Estres_Academico

RELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA Y REFLECTANCIA ESPECTRAL DE ALGUNOS CULTIVOS ANDINOS DE LA PROVINCIA DE HUAMANGA, 2020.

Solano Reynoso, Walter Mario; Soca Flores, Renato; Torres Huaripaucar, Noel

RESUMEN

Se ha obtenido la reflectancia espectral de seis cultivos andinos típicos de la región andina peruana, particularmente de Ayacucho, calculando los índices del contenido de clorofila (ICC) y de agua (ICA) de las hojas de los cultivos. Los datos de reflectancia fueron medidos mediante un espectroradiómetro Field Spec 4 entre 350 y 2500 nanómetros en intervalos de 1 nm, por el período comprendido entre el 17 de febrero y 9 de marzo de 2020 en intervalos de una semana. Los resultados muestran que el maíz y papa tienen un ligero mayor contenido de clorofila que la quinua, mientras que en el caso del contenido de agua, las hojas del maíz tienen menos contenido de agua respecto a la papa y quinua. El otro rasgo es que en la quinua hay un incremento del contenido de agua mientras que una disminución en maíz y papas. Si bien estos resultados iniciales indican diferencias y similitudes entre los cultivos a pesar de tener las mismas condiciones ambientales de los cultivos, sugiere que se realicen estudios futuros al respecto.

Palabras claves: Reflectancia espectral, índices de contenido de clorofila, índices de contenido de agua.

RELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA Y REFLECTANCIA ESPECTRAL DE ALGUNOS CULTIVOS ANDINOS DE LA PROVINCIA DE HUAMANGA, 2020.

ABSTRACT

The spectral reflectance of six typical Andean crops of the Peruvian Andean region, particularly of Ayacucho, has been obtained, calculating the indices of the chlorophyll content (ICC) and water (ICA) of the leaves of the crops. The reflectance data were measured using a Field Spec 4 spectrometer between 350 and 2500 nanometers in 1 nm intervals, for the period between February 17 and March 9, 2020 in one week intervals. The results show that corn and potato have a slightly higher chlorophyll content than quinoa, while in the case of water content, corn husks have less water content compared to potato and quinoa. The other feature is that in quinoa there is an increase in water content while a decrease in corn and potatoes. Although these initial results indicate differences and similarities between the crops despite having the same environmental conditions of the crops, they suggest that future studies be carried out in this regard.

Keywords: Spectral reflectance, chlorophyll content index, water content index.

INTRODUCCIÓN

En ciertos cultivos andinos a más de 2700 msnm, como la papa, quinua y maíz, se tienen variedades que se diferencian entre sí en la coloración del producto, tal como la quinua blanca y roja, la papa blanca y roja o morada, el maíz blanco y morado, atribuibles a su hábitat alto andinos. Entendiendo que las coloraciones se relacionan a pigmentos como los carotenoides y antocianinas en el producto, se ha intentado detectar si hay diferencias significativas en el contenido de clorofila y antocianinas de las hojas de los cultivos mencionados, habiéndose utilizado índices de contenido de clorofila y antocianinas encontrados en la literatura, a los cultivos estudiados.

La necesidad de cuantificar el contenido de clorofila de las hojas verdes es de larga data, particularmente utilizando técnicas relacionadas a la detección de la reflectancia de las hojas que no necesita destruir las hojas para su análisis como también con técnicas de percepción remota como drones, aviones o sensores de satélite. Para ello se propusieron índices que relacionan reflectancias de ciertas longitudes de onda que sean sensibles al contenido de clorofila con aquellas insensibles a la misma. De las propuestas destacan los

índices que utilizan el llamado borde rojo, que se define como el punto de inflexión entre el rojo y el infrarrojo cercano (NIR) (Horler et al., 1983, Curran et al., 1990), ya sea como razón simple o normalizada (Horler et al., 1987, Gitelson, et al., 1996). Particularmente destaca los índices propuestos por Datt (1999) utilizando tres reflectancias para los índices de clorofila que no dependen de la orientación para capturar el espectro de reflectancia. Se ha realizado evaluaciones del contenido de nitrógeno en hojas y utilizado varios índices (Xue y Yang, 2009) en algunas especies. Se usaron las concentraciones de clorofila para comparar las respuestas de hojas estresadas por falta de agua con las frescas (Lin et al., 2015), las correlaciones entre los índices de la reflectancia espectral y la tolerancia al frío (Obeidat et al., 2018). Una publicación reciente relaciona el contenido de clorofila con la reflectancia espectral multiangular (Li, et al., 2019), concluyendo que los índices propuestos por Datt en 1999 eran adecuados para cuantificar los contenidos de clorofila en condiciones de mediciones de campo donde la orientación de la incidencia de la luz solar es crítico.

Hay numerosas publicaciones del uso de los índices de clorofila en agricultura basados en la reflectancia espectral, relacionando con el contenido de nitrógeno, el uso de

fertilizantes en mejorar la productividad, las condiciones de estrés de las plantas en diferentes cultivos, como maíz, papas, frejoles, soya, etc. Particularmente en cultivos andinos encima de los 2500 m.s.n.m. relacionados a los índices de clorofila, no se han encontrado trabajos y menos en la región de Ayacucho, habiéndonos propuesto evaluar diferentes índices de contenido de clorofila en tres cultivos andinos y su variantes blanca y roja, intentado encontrar las diferencias y similitudes entre ellos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha considerado cultivos de maíz blanco, maíz morado, papa blanca, papa roja, quinua blanca y quinua roja, realizados en los campos de cultivo del Instituto Nacional de Innovación Agraria de Ayacucho en parcelas pequeñas en condiciones normales de crecimiento. El inicio de las mediciones de la reflectancia espectral se realizaron 4 semanas después de la siembra en intervalos de 7 días con un espectrorradiómetro Field Spec 4 de 350 a 2500 nm, en intervalos de 1 nm, teniendo una resolución espectral de 3 nm en el intervalo de 350 a 1000 nm y de 30 nm hasta 2500 nm. La toma de datos se ha realizado directamente en 3 plantas de cada tipo de cultivo escogidos aleatoriamente, con 10 mediciones para cada planta y luego promediadas. A cada promedio se aplicó un filtro para eliminar el ruido de los

datos, comparando el promedio móvil con el filtro Golay-Zavinsky, obteniendo los mismos resultados y finalmente utilizando la media móvil por su sencillez.

2.1 Reflectancias espectrales

En la Fig. 1 se muestra las reflectancias espectrales de las hojas recolectadas, ilustrando en una gráfica el método seguido para utilizar los datos almacenados en la determinación de las reflectancias, que son las que se usarán para la determinación de los índices de contenido de clorofila (ICC). De manera general, sin entrar en los detalles físico matemáticos de la determinación de la reflectancia por el instrumento, la reflectancia se cuantifica como

$$R(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{I_0} \quad (1)$$

Siendo I_0 la intensidad de la radiación incidente e $I(\lambda)$ la intensidad de la radiación reflejada por el material. Experimentalmente I_0 se determina capturando la reflexión en un dispositivo especial que teóricamente es un reflector perfecto que se denomina espectralón. Luego el detector de la señal se dirige a la hoja para almacenar el valor de $I(\lambda)$, dependiente de la longitud de onda, y calcular $R(\lambda)$ mediante la ecuación (1).

El pico de la antocianina se da cerca de 520 nm

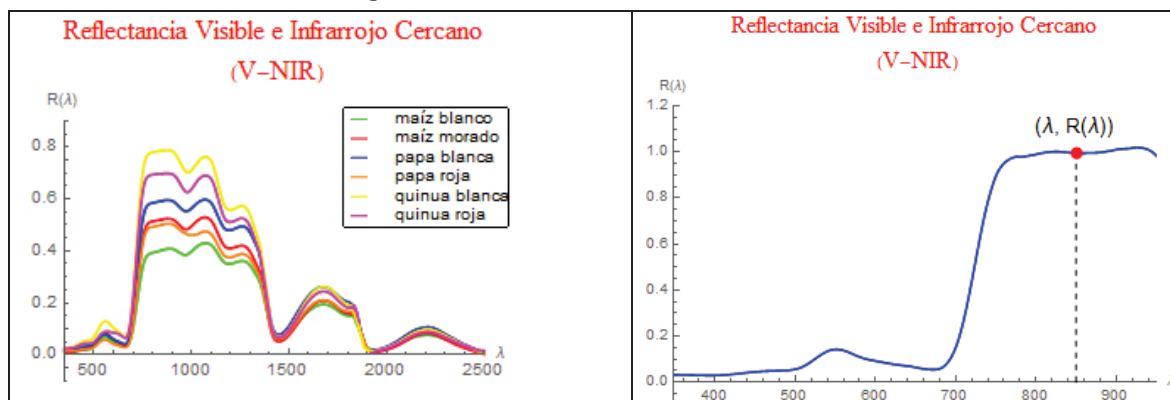


Fig. 1.- Reflectancia espectral de hojas de maíz, papa y quinua y sus coordenadas.

2.2 Índices de concentración de clorofila (ICC).

Se han definido diferentes tipos de índices, de los cuales tenemos los índices de razón simple (Simple Ratio, SR) dada de manera genérica como

$$SR = \frac{R_{\lambda_1}}{R_{\lambda_2}}, \quad (2)$$

donde $R_{(\lambda_1)}$ es la reflectancia a la longitud de onda λ_1 y $R_{(\lambda_2)}$ a la longitud de onda λ_2 . El otro tipo es el índice de diferencia normalizada (Normalised Difference Index) dada como

$$NDI = \frac{R_{\lambda_1} - R_{\lambda_2}}{R_{\lambda_1} + R_{\lambda_2}}, \quad (3)$$

Otro tipo de índices relacionan tres reflectancias para tres diferentes longitudes de onda escrito como

$$I3 = \frac{R_{\lambda_1} - R_{\lambda_2}}{R_{\lambda_1} - R_{\lambda_3}} \quad (4)$$

Entre estos destaca el propuesto por Datt (1999), dada como

$$MDatt = \frac{R_{850} - R_{710}}{R_{850} + R_{680}}$$

Apreciando la Fig. 2, se tiene la reflectancia espectral de la región visible e infrarrojo cercano (NIR) de las hojas, dentro del cual se toman las longitudes de onda para determinar los índices de contenido de clorofila. Uno de los índices de diferencia normalizada propuestos es dada como (Normalised Difference Red Edge, NDRE) (Gitelson et al., 2005):

$$NDRE = \frac{R_{790} - R_{720}}{R_{790} + R_{720}}$$

El término borde rojo (Red Edge) es usado en esta definición, el cual viene a ser el punto de inflexión de la curva que sube del mínimo rojo a la cima del infrarrojo cercano, como se aprecia en la Fig. 2.

Hace poco, Gitelson y Solovchenko (2017) hicieron una evaluación de un modelo de tres bandas de 45 diferentes especies con cientos de hojas, propuesto años atrás (Gitelson et al., 2003; Gitelson et al., 2006; Gitelson et al., 2009) y concluyeron que para clorofila y antocianina es mejor usar tres bandas, sugiriendo una banda entre 540 y 560 nm, otra del borde rojo (red edge) entre 710 y 720 nm, y el tercero en el NIR entre 770 y 800 nm, en la forma

$$\text{INDICE} = \left[\frac{1}{R(\lambda_1)} - \frac{1}{R(\lambda_2)} \right] R(\lambda_3).$$

Para la clorofila sugiere dos bandas, $R(\lambda_2) = R(\lambda_3)$, tomando el borde rojo y el NIR, siendo la propuesta

$$\text{Chl}_{\text{RE}} = \frac{\text{NIR}}{R_{\text{RE}}} - 1,$$

tomando RE entre 710 y 720 nm, mientras el NIR entre 770 y 800 nm.

Para la antocianina propone dos alternativas,

$$\text{ARI} = \frac{1}{R_{\text{green}}} - \frac{1}{R_{\text{RE}}},$$

siendo ARI (Anthocyanin Reflectance Index) el índice de reflectancia de la antocianina, y el modificado

$$\text{mARI} = \left(\frac{1}{R_{\text{green}}} - \frac{1}{R_{\text{RE}}} \right) R_{\text{NIR}}$$

En un estudio realizado por Li et al. (2019) relacionados a diferentes ángulos de incidencia y reflexión, se destacó el índice de contenido de clorofila de tres bandas, ya propuesto por Datt (1999) para otras bandas, dada como

$$\text{LCC} = \frac{R_{720} - R_{761}}{R_{720} - R_{672}},$$

como muy sensible al ángulo cenit de visión de las tres especies estudiadas.

Reflectancia Visible e Infrarrojo Cercano (V-NIR)

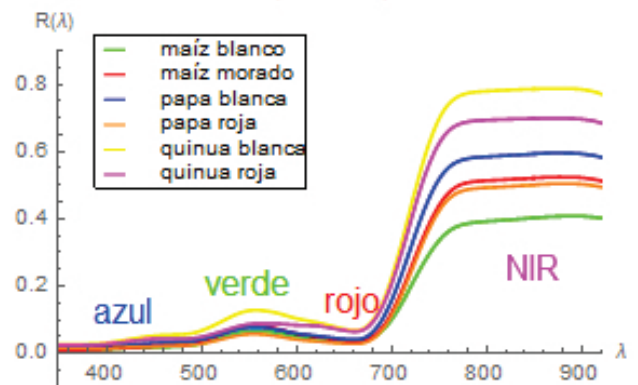


Fig. 2. Región visible e infrarrojo cercano de la reflectancia espectral de los cultivos estudiados, tomados hasta los 920 nm. Observar que un poco más allá de los 900 nm comienza el declive de la curva hacia la absorción del agua. Este comportamiento sugiere no tomar longitudes de onda del NIR más allá de los 900 nm.

En la Tabla 2 se tiene el resumen de varios índices utilizados en este trabajo, tomados de las referencias señaladas.

Tabla 2. Índices de contenido de clorofila.

ÍNDICE DE CLOROFILA	FÓRMULA	REFERENCIA
Razón Simple	$\frac{R_{800}}{R_{680}}$	Blackburn, 1998
Razón Simple	$\frac{R_{750}}{R_{550}}$	Datt, 1998
Razón Simple	$\frac{R_{850}}{R_{550}}$	Datt, 1998
	$\frac{R_{750}}{R_{710}}$	Zarco-Tejada et al., 2005
Diferencia Normalizada	$\frac{R_{800} - R_{680}}{R_{800} + R_{680}}$	Backburn, 1998
Diferencia Normalizada	$\frac{R_{750} - R_{710}}{R_{750} + R_{710}}$	Gitelson y Merzlyak, 1994
Diferencia Normalizada	$\frac{R_{750} - R_{550}}{R_{750} + R_{550}}$	
Diferencia Normalizada	$\frac{R_{860} - R_{550}}{R_{860} + R_{550}}$	

Se utilizó el índice de diferencia normalizada NDII (Normalised Difference Infrared Index) (Hardisky y Klemas, 1983), dada como

$$NDII = \frac{R_{850} - R_{1650}}{R_{850} + R_{1650}},$$

y el NDII2 (Rodríguez-Péres, 2007) escrita como

$$NDII2 = \frac{R_{870} - R_{1260}}{R_{870} + R_{1260}}.$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para mostrar cualitativamente el comportamiento espectral de la parte visible de los cultivos estudiados, se muestra en la Fig. 4 las reflectancias correspondientes. El pico en la parte

visible es la no absorción de la luz en la longitud de onda que corresponde al verde, produciéndose la reflexión más intensa del visible. De este pico hay un decaimiento hacia un mínimo, que corresponde al rojo. Un rasgo característico entre las hojas de maíz blanco, papa blanca y quinua blanca y las correspondientes al maíz morado, papa roja y quinua roja, es que para estos últimos el decaimiento muestra ligeras subidas, siendo más acentuada en la quinua roja. Este comportamiento se atribuye a la influencia de la antocianina, que no será analizada en esta publicación.

Fig. 4. Reflectancia espectral de los cultivos usados en el presente trabajo.

En la Fig. 5 se muestra los índices de clorofila de razón simple y diferencia normalizada calculados de acuerdo a las propuestas en la Tabla 1. En ambos casos se nota la tendencia a la disminución del índice de clorofila.

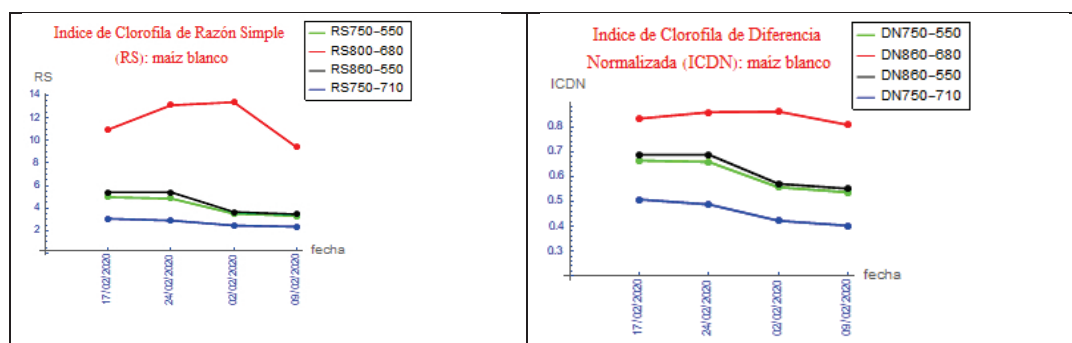


Fig. 5. Índices de clorofila de razón simple y normalizada del maíz blanco.

En la Fig. 6 se muestra los índices de razón simple y de diferencia normalizada para la clorofila de las hojas de

quinua blanca y roja, cuyo comportamiento cualitativo es similar.

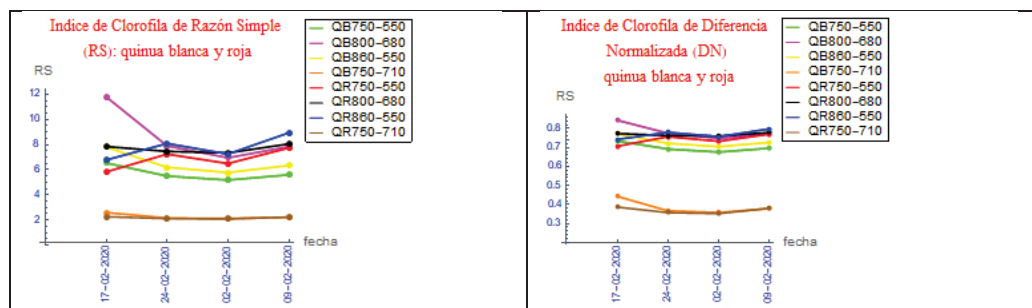


Fig. 6. Índices de contenido de clorofila de razón simple y normalizada de la quinua blanca y roja.

En la Fig 7 se observa los índices de contenido de clorofila de diferencia normalizada y de Datt para los seis tipos de cultivos y los correspondientes índices de contenido de agua de las hojas. Lo que se observa es que tanto el índice de clorofila del maíz y papas tiende a disminuir en el período de

4 semanas, lo que no ocurre con la quinua, notándose una ligera disminución y recuperación del índice de contenido de clorofila y un notorio aumento del índice de contenido de agua. El comportamiento de la quinua necesita ser explorado para conocer su fisiología respecto al maíz y papa.

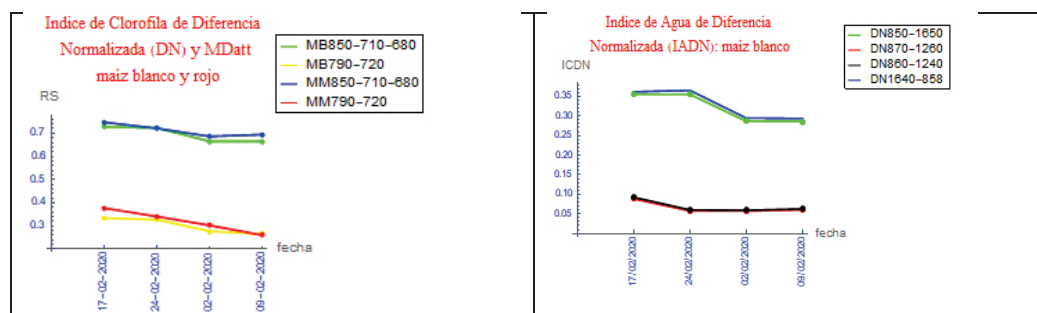




Fig. 7. Contenido de clorofila y agua de los cultivos

Finalmente, en la fig. 8 se tiene la reflectancia de la parte visible de la quinua, cuyo descenso en del máximo que corresponde al verde hacia el rojo, sugiere un ligero incremento respecto a la quinua blanca, lo cual sugiere sea debido al mayor contenido de antocianinas en las hojas de la quinua roja.

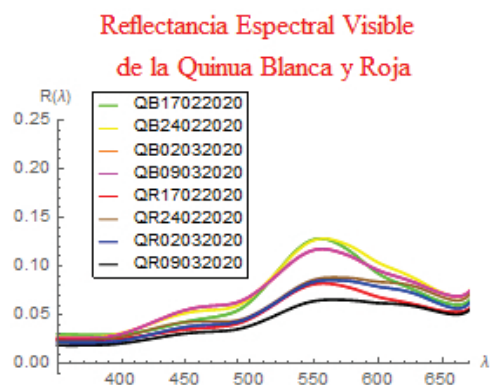


Fig. 8. Reflectancia de la parte visible de los cultivos de maíz, papa y quinua.

CONCLUSIONES

Se ha obtenido las reflectancias espectrales de tres cultivos andinos: maíz blanco

papa blanca y roja, reflejando las diferencias y semejanzas entre ellos.

Se encontró que el contenido de clorofila del maíz y papa disminuye en el período de las cuatro semanas de medición, en cuanto que en la quinua se mantuvo esencialmente el mismo,

Respecto al contenido de agua también se encontró una disminución en el maíz y papa y un incremento en la quinua.

Aparentemente no hay diferencias entre los contenidos de clorofila de las variedades de maíz, papa y quinua utilizadas, como también del contenido de agua para las longitudes de

onda utilizadas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda explorar las razones del incremento de clorofila y notoriamente del agua en las hojas de quinua, contrario a lo que ocurre con el maíz y papas.

No se han usado índices de las primeras derivadas, especialmente el que corresponde al borde rojo, para obtener mejores criterios en la determinación de los índices.

Se recomienda explorar la relación entre los índices de contenido de clorofila y de agua, para ver las tendencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., & Grégoire, J.M. (2001). *Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. Remote Sensing of Environment*, 77(1), 22–33. doi:10.1016/s0034-4257(01)00191-2.

Chen, P., Haboudane, D., Tremblay, N., Wang, J., Vigneault, P. y Li, B. (2010). New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat, *Remote Sensing of Environment*, 114, 1987–1997.

Cho, M. A. y Skidmore, A. K. (2006). A new technique for extracting the red edge position from hyperspectral data: The linear extrapolation method. *Remote Sensing of Environment*, 101(2), 181–193. doi:10.1016/j.rse.2005.12.011.

Collins, W., 1978, Remote sensing of crop type and maturity. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44, pp. 43–55.

Covshoff, S. (Editor). (2018). *Photosynthesis, Methods and*

Protocols Human Press. Springer.

Croce, R., van Grondelle, R., van Amerongen, H. y van Stokkum, I (Editores). (2018). *Light Harvesting in Photosynthesis*. CRC Press.

Curran, P. J., Dungan, J. L., and Gholz, H. L., (1990). Exploring the relationship between reflectance red Edge and chlorophyll content in slash pine, *Tree Physiology*, 7, 33-48.

Curran, P. J., Dungan, J. L., Macler, B. A., and Plummer, S. E. (1991). The effect of a red leaf pigment on the relationship between red Edge and chlorophyll concentration, *Remote Sensing of Environment*, 35, 69-76.

Danson, F. M. y Plummer, S. E., (1995). Red Edge response to forest leaf are a index. *International Journal of Remote Sensing*, 16, 183-188.

Datt, B. (1999). *A New Reflectance Index for Remote Sensing of Chlorophyll Content in Higher Plants: Tests using Eucalyptus Leaves*. *Journal of Plant Physiology*, 154(1), 30-36. doi:10.1016/s0176-1617(99)80314-9.

Filella, I. y Peñuelas, J. (1994). The red Edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status, *International Journal of Remote Sensing*, 15, 1459-1470.

Genc, L., Inalpulat, M., Kizil, U., Mirik, M, Smith, S.E. y Mendes, M.(2013). Determination of water stress with spectral reflectance on sweet corn (*Zea mays* L.) using classification tree (CT) analysis, *Zemdirbyste-Agriculture*, 100, 81-90. DOI 10.13080/z-a.2013.100.011.

Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N., y Lichtenthaler, H. K. (1996). *Detection of Red Edge Position and Chlorophyll Content by Reflectance Measurements Near 700 nm*. *Journal of Plant Physiology*, 148(3-4), 501-508. doi:10.1016/s0176-1617(96)80285-9.

Golbeck, J. y van der Est, A. (Editores). (2014). *The Biophysics of Photosynthesis*, Springer.

Griffiths, D.J. (2013). *Introduction to Electrodynamics*, Pearson, Fourth Edition.

Grimes, D.M. y Grimes, C.A. (2005). *The Electromagnetic Origin of Quantum Theory and Ligth*, Second Edition, World Scientific.

Guangjiana, Y., Ronghaia, H., Jinghuia, L., Maried, W., Hailana, J., Xihana, M., Donghuia, X. y Wuminga, Z. (2019). Review of indirect optical measurements of leaf area index: Recent advances, challenges, and perspectives, *Agricultural and Forest Meteorology*, 265, 390-411.

Horler, D. N. H., Dockray, M., y Barber, J. (1983). *The red edge of plant leaf reflectance*. *International Journal of Remote Sensing*, 4(2), 273-288. doi:10.1080/01431168308948546.

Im, J., y Jensen, J. R. (2008). *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*. *Geography Compass*, 2(6), 1943-1961.

doi:10.1111/j.1749-8198.2008.00182.x.

Jacquemond, S. y Ustin, S. (2019). *Leaf Optical Prperties*, Cambridge University Press.

Jackson, J.D. (1999). *Classical Electrodynamcis*. Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Jensen, J.R. (2014). *Remote Sensing of the Environmente and Earth Resource Perspective*, Sec. Edit., Pearson New International Edition.

Jin, X., Shi, C., Yu, C.Y., Yamada, T. y Sacks, E.J. (2017). Determination of Leaf Water Content by Visible and Near-Infrared Spectrometry and Multivariate Calibration in *Miscanthus*. *Front. Plant Sci.* 8:721. doi: 10.3389/fpls.2017.00721.

Lang, K.R. (2006). *Sun, Light and Sky*, Second Edition, Springer.

Lin, C., Popescu, S. C., Huang, S. C., Chang, P. T., & Wen, H. L. (2015). *A novel reflectance-based model for evaluating chlorophyll concentrations of fresh and water-stressed leaves*. *Biogeosciences*, 12(1), 49-66. doi:10.5194/bg-12-49-2015.

Liu, N., Wu, L., Chen, L., Sun, H., Dong, Q., & Wu, J. (2018). *Spectral Characteristics Analysis and Water Content Detection of Potato Plants Leaves*. *IFAC-PapersOnLine*, 51(17), 541-546. doi:10.1016/j.ifacol.2018.08.152.

Luo, X., Croft, H., Chen, J. M., He, L., & Keenan, T. F. (2019). *Improved estimates of global terrestrial photosynthesis using information on leaf chlorophyll content*. *Global Change Biology*. doi:10.1111/gcb.14624.

Mead, C.A. (2000). *Collective Electrodynamics, Quantum Foundations of Electrodynamics*, The MIT Press, Massachusetts.

Miphokasap, P., Honda, K., Vaiphasa, C., Souris, M. y Nagai, M. (2012). Estimating Canopy Nitrogen Concentration in Sugarcane Using Field Imaging Spectroscopy, *Remote Sens.* 2012, 4, 1651-1670; doi:10.3390/rs4061651.

Morrey, J. R. (1968). *On determining spectral peak positions from composite spectra with a digital computer*. *Analytical Chemistry*, 40(6), 905-914. doi:10.1021/ac60262a006.

Obeidat, W., Avila, L., Earl, H., & Lukens, L. (2018). *Leaf Spectral Reflectance of Maize Seedlings and Its Relationship to Cold Tolerance*. *Crop Science*, 0(0), 0. doi:10.2135/cropsci2018.02.0115.

Pfeffer, J.I. y Nir, S. (2000). *Modern Physics, An Introductory Text*, Imperial College Press.

Railyan, V. Y. y Korobov, R. M. (1993). Red Edge structure of canopy reflectance spectra of triticales, *Remote Sensing of Environment*, 46, 173-182.

Sneppen, K. y Zocchi, G. (2005). *Physiscs in Molecular*

Biology, Cambridge University Press.

Sun, H., Liu, N., Wu, L., Chen, L., Yang, L., Li, M., & Zhang, Q. (2018). *Water Content Detection of Potato Leaves Based on Hyperspectral Image*. *IFAC-PapersOnLine*, 51(17), 443–448. doi:10.1016/j.ifacol.2018.08.179.

Velichkova, K. y Krezhova, D. (2019). Extraction of the Red Edge Position from Hyperspectral Reflectance Data for Plant Stress Monitoring, AIP Conference Proceedings 2075, 130018 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5091303> Published Online: 26 February 2019.

Wang, J., Chen, Y., Chen, F., Shi, T., & Wu, G. (2018). *Wavelet-based coupling of leaf and canopy reflectance spectra to improve the estimation accuracy of foliar nitrogen concentration*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 306–315. doi:10.1016/j.agrformet.2017.10.017.

Xue, L., & Yang, L. (2009). *Deriving leaf chlorophyll content of green-leafy vegetables from hyperspectral reflectance*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(1), 97–106. doi:10.1016/j.isprsjprs.2008.06.002.

Yan, G., Hu, R., Luo, J., Weiss, M., Jiang, H., Mu, X., y Zhang, W. (2019). *Review of indirect optical measurements of leaf area index: Recent advances, challenges, and perspectives*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265, 390–411. doi:10.1016/j.agrformet.2018.11.033.

Yoder, B. J., y Pettigrew-Crosby, R. E. (1995). *Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400–2500 nm) at leaf and canopy scales*. *Remote Sensing of Environment*, 53(3), 199–211. doi:10.1016/0034-4257(95)00135-n.

Zhao, B., Duan, A., Ata-Ul-Karim, S. T., Liu, Z., **Chen, Z., Gong, Z.**, Ning, D. (2018). *Exploring new spectral bands and vegetation indices for estimating nitrogen nutrition index of summer maize*. *European Journal of Agronomy*, 93, 113–125. doi:10.1016/j.eja.2017.12.006.

Zheng, T., Liu, N., Wu, L., Li, M., Sun, H., Zhang, Q., & Wu, J. (2018). *Estimation of Chlorophyll Content in Potato Leaves Based on Spectral Red Edge Position*. *IFAC-PapersOnLine*, 51(17), 602–606. doi:10.1016/j.ifacol.2018.08.131.

Zoogman, P., Liu, X., Chance, K., Sun, Q., Schaaf, C., Mahr, T., & Wagner, T. (2016). A climatology of visible surface reflectance spectra. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 180, 39–46. doi:10.1016/j.jqsrt.2016.04.003.

ÓXIDO CONDUCTOR TRANSPARENTE PARA CONSTRUCCIÓN DE CELDAS SOLARES CdS/CdTe

Oswaldo Morales, Kléber Janampa, Octavio Cerón, Julio Oré
Wal23do@gmail.com

RESUMEN

En el mundo actual muchos investigadores tienen puesto la vista y esfuerzo hacia la preservación y cuidado del medio ambiente, ya que es notorio que tenemos contaminación a gran escala; una de las formas de contribuir al cuidado de medio ambiente es utilizando energías renovables como la energía solar mediante celdas solares. En el presente trabajo se construye y se caracteriza un electrodo conductor transparente en forma de una lámina fina, elaborado a base de óxido de estaño (SnO_2) que sirve como electrodo a las celdas solares que son construidos a base de sulfuro de Cadmio (CdS) y Teluro de cadmio (CdTe) depositados en forma de capas, con procedimientos de fácil ejecución y de bajo costo. Para la fabricación de este conductor transparente se requirió como mínimo un controlador de spray y un horno con temperatura controlable. Para la caracterización estructural de este conductor transparente (TCO) se tomó apenas las medidas eléctricas, la morfología, transparencia y distribución. No fueron posibles tomar medidas de difracción de rayos X; medidas de espectroscopia ultravioleta visible, entre otras, por las circunstancias de la pandemia que vive nuestra sociedad y porque estas medidas requieren un laboratorio de ciencia de materiales equipado como de la UNMSM o de la PUCP o de la UNI de la que tomábamos sus servicios en tiempos normales.

Palabras-Clave: Óxido conductor transparente, películas delgadas, TCO, Spray, sputtering.

TRANSPARENT CONDUCTIVE OXIDE FOR CONSTRUCTION OF CdS/CdTe SOLAR CELLS

ABSTRACT

In today's world, many researchers have their sights and efforts towards the preservation and care of the environment, since it is notorious that we have large-scale pollution; One of the ways to contribute to caring for the environment is by using renewable energy such as solar energy through solar cells. In the present work, a transparent conductive electrode is constructed and characterized, in the form of a thin sheet, made from tin oxide (SnO_2) that serves as an electrode for solar cells that are constructed from Cadmium sulfide (CdS) and cadmium tellurium (CdTe) deposited in the form of layers, with easy-to-manufacture and low-cost procedures. To manufacture this transparent conductor, at least a spray controller and a temperature-controllable oven were required. For the structural characterization of this transparent conductor (TCO), only the electrical measurements, morphology, transparency and distribution were taken. X-ray diffraction measurements were not possible; ultraviolet visible spectroscopy measurements, among others, due to the circumstances of the pandemic that our society is experiencing and because these measurements require a materials science laboratory equipped such as the UNMSM or the PUCP or the UNI from which we took their services in normal times.

Key Word: Transparent conductive Oxide, thin films, TCO, Spray, Sputtering.

INTRODUCCIÓN

Los óxidos conductores constituyen parte de una tecnología de películas delgadas (Afre, Sharma, & Sharon, 2018). Por sus propiedades de conductor y transparencia a la luz visible son ampliamente utilizados en la fabricación de celdas solares, displays, sensores, como dispositivos opto-eléctricos, etc. Son generalmente compuestos binarios o ternarios, que naturalmente puede contener uno o dos elementos metálicos en su composición. Su resistividad ($\Omega\cdot\text{cm}$) y su coeficiente de extinción (k) en la región de luz visible son del orden 10^{-4} $\Omega\cdot\text{cm}$ y 0.001, respectivamente. Su ancho de banda de energía prohibida del orden de 3.0 eV. Los óxidos tales como CdO , ZnO , SnO_2 , In_2O_3 son conductores transparentes y cuando son procesados en forma de láminas delgadas (R, S, M.Savith, & M.Balachandar, 2013); la mejora de estas propiedades se consigue introduciendo impurezas, llamados dopantes. Los óxidos conductores transparentes (TCO) (Stadler, 2012) son estados intermedios entre los materiales que conducen luz y los semiconductores intrínsecos, altamente flexibles en ambas

características. Su conductividad se puede ajustar de aislante a semiconductor, al igual que su transparencia dopando con ciertos elementos como F, Ta, Ge, Ga, In, Al, B, etc. (Stadler, 2012). Los principales materiales que se utilizan como TCO son el óxido de estaño (SnO_2), el óxido de estaño dopado con Flúor ($\text{SnO}_2\text{:F}$), el óxido de indio (In_2O_3), óxido de Indio dopado con Germanio ($\text{In}_2\text{O}_3\text{Ge}$), con molibdeno ($\text{In}_2\text{O}_3\text{Mo}$), con flúor ($\text{In}_2\text{O}_3\text{:F}$) y el óxido de zinc (ZnO) y sus dopantes Al, Ga, B, F, Ge. Así existe una amplia variedad de óxidos conductores transparentes que pueden ser seleccionados según las necesidades específicas.

Existen varios métodos de formación de películas delgadas como el de evaporación o sublimación, consiste en calentar un material hasta su punto de fusión y generar un vapor, dicho vapor es transportado de la fuente al sustrato y se condensa formando una capa delgada sólida. Otro método es la pulverización catódica; esta técnica consiste en la interacción de un electrodo y un gas, lo cual produce un bombardeo de iones, de estas técnicas destacan dos: Sputtering (RF/DC) y deposición por haz de iones, con este bombardeo se pulveriza un material llamado blanco para

hacer saltar sus átomos, los cuales llegarán al sustrato para depositarse y formar una película delgada (Seshan, 2001). Un tercer método es la deposición por procesos químicos (McConnell & Wolf, 2012) donde los componentes de un vapor o un líquido reaccionan químicamente cerca de la superficie de un sustrato para formar una capa delgada. Para procesos con vapor, la técnica más utilizada es la Deposición Químico en Fase Vapor (CVD); este proceso consiste en una cámara reactor, dentro del cual se coloca el sustrato y los gases o reactivos; para activar estos componentes y se produzca una reacción, se necesita de un estímulo el cual puede ser temperatura, plasma, radiación electromagnética, etc. La deposición de película delgada, utilizando la técnica de pirólisis (Yang & Suo, 2019), consiste en la pulverización de una solución de sal metálica sobre un sustrato caliente, las gotas impactan en la superficie del sustrato, se extienden en una estructura en forma de disco y se someten a la descomposición térmica.

Respecto a la caracterización de las películas delgadas existen también varios métodos: entre ellos la difracción de rayos X (David, Shankland, McCusker, & Bärlocher, 2006) que permite ver el tamaño de grano de los cristallitos formados, la morfología de la superficie y el porcentaje de elementos componentes. La espectrofotometría UV-visible (van Bokhoven & Lamberti, 2016) es una técnica analítica que permite determinar el ancho de banda de energía prohibida del material y también la absorbancia y transmitancia del material. El microscopio electrónico de barrido permite la observación de la morfología del material. Finalmente, la Elipsometría es útil para la determinación de espesores de películas delgadas, y constantes ópticas de materiales como el índice de refracción, coeficiente de extinción, etc (Fujiwara & Collins, 2019).

MATERIAL Y MÉTODO

La muestra fue elaborado a partir de dióxido de estaño hidratado $\text{SnO}_2(2\text{H}_2\text{O})$ y fluoruro de amonio NH_4F de 99.9% de pureza ambas. La preparación consistió en que: 13.55 g de $\text{SnO}_2(2\text{H}_2\text{O})$ es disuelto en 8 ml de ácido clorhídrico HCl , agitando moderadamente a 90°C durante una hora y dejado en reposo. Paralelamente 0.776 g de NH_4F es disuelto en otros 8ml de ácido clorhídrico HCl a 90°C durante 30 minutos y dejado reposando. Las dos soluciones así preparadas se mezclan agitando moderadamente a 30°C , durante dos horas. Finalmente se agrega etanol hasta que la mezcla total llegue a 100 ml, manteniendo en agitación más una hora, y dejar reposando por 24 horas. El horno eléctrico fue elaborado utilizando material refractario y cerámica de la localidad de Quinua; la resistencia eléctrica de $17\ \Omega$ fue empotrada tallando canaletas en la cerámica, adicionando un variador de tensión AC, un spray, etc. El horno alcanza temperatura mayor a 500°C y su potencia es mayor a 500 Watts.

Este horno fue previamente calentado con corriente alterna de 80 voltios por 15 minutos junto con el vidrio, ver figura 1. La fabricación de la lámina conductora transparente de $\text{SnO}_2:\text{F}$ fue realizado por el método de Spray; se calentó el vidrio de microscopio a 420°C en el horno, luego la solución precursora preparada fue sprayado, cada minuto, desde una altura de 26 cm por un intervalos de 1 segundo durante 4 minutos en total.

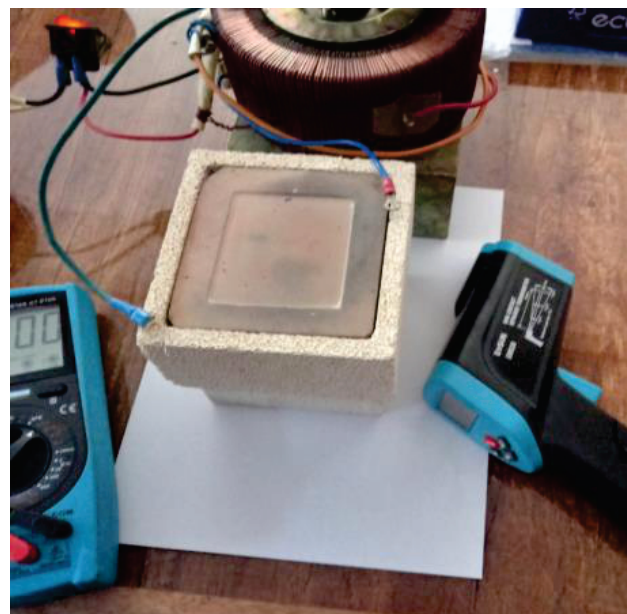


Figura 1. El horno conectado al variador de tensión AC, equipado con termómetro infrarrojo y multímetro.

Después de 2 repeticiones, se le deja a esta temperatura por unos 5 minutos y luego se le desconecta el horno para el enfriamiento natural de la lámina conductora, ver **figura 2**.

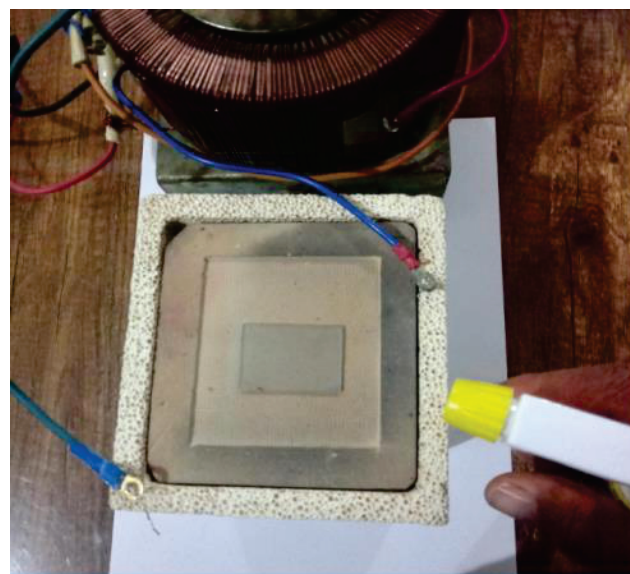


Figura 2. Horno a 420°C depositando óxido conductor transparente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de la deposición fueron obtenidos capas finas de óxido conductor transparente como muestra la **figura 3**; la resistencia de hoja de estos conductores fueron del orden de $18\ \Omega/\square$ pues la distribución de la muestra fue casi homogéneo. Este valor bajará cuanto más homogéneo es la muestra y tiempo adecuado el tratamiento térmico.



Figura 3. Lamina de óxido conductor transparente depositado.

Para probar la conductividad del óxido conductor transparente se ha utilizado varios pares de puntos diferentes, el valor de la conductividad depende de la distancia entre estos puntos, ver figura 4. Según la literatura para este material, la Transmitancia está entre 320 nm y 1100 nm que cubre espectro visible. Por el contexto actual en que vivimos, este trabajo ha sido afectado en la parte experimental, específicamente no fueron posibles acceder a los servicios de laboratorios de la UNMSM o PUCP para hacer las mediciones de Ultravioleta visible, difracción de rayos X, etc.

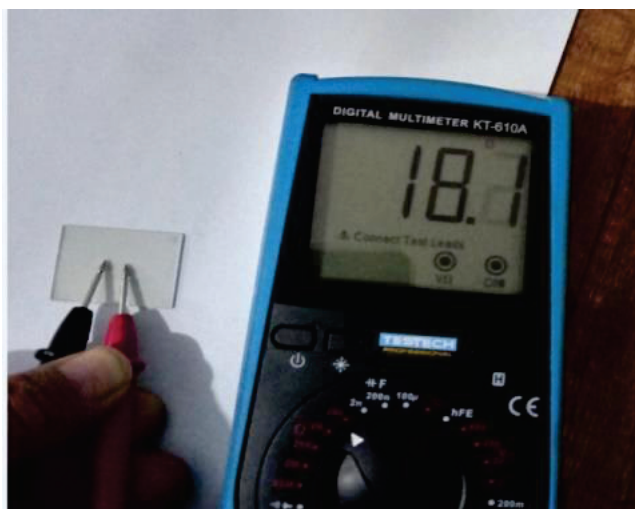


Figura 4. Prueba de conductividad del óxido conductor depositado.

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en este trabajo, llegamos a las siguientes conclusiones:

- El óxido conductor transparente elaborado en este trabajo tiene una resistencia de hoja de orden de $18 \Omega/\square$ adecuado para el uso como electrodo en la construcción de celdas solares CdS/CdTe a nivel de investigación formativa y de laboratorio.
- El uso de materiales y componentes de muy bajo costo en este trabajo, en el proceso de deposición de este óxido conductor transparente, muestran que es posible la adaptación de tecnologías avanzadas en la región y por

ende el desarrollo tecnológico.

- La caracterización más amplia de este material, dependen del acceso a los laboratorios equipados con Difractómetro de rayos X, Espectrómetro Ultravioleta visible, Fluorescencia de rayos X, etc., del que nuestra universidad carece.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Afre, R., Sharma, N., & Sharon, M. (2018). Transparent Conducting Oxide Films for Various Applications: A Review. *Reviews on Advanced Materials Science*, 53, 79-89. doi: 10.1515/rams-2018-0006
- David, W. I. F., Shankland, K., McCusker, L. B., & Bärlocher, C. (2006). *Structure Determination from Powder Diffraction Data*: OUP Oxford.
- Fujiwara, H., & Collins, R. W. (2019). *Spectroscopic Ellipsometry for Photovoltaics: Volume 2: Applications and Optical Data of Solar Cell Materials*: Springer International Publishing.
- McConnell, R. D., & Wolf, S. A. (2012). *Science and Technology of Thin Film Superconductors*: Springer US.
- R, P., S, R., M.Savith, & M.Balachandar. (2013). Review of physical vapour deposition (pvd) techniques.
- Seshan, K. (2001). *Handbook of Thin Film Deposition*: Elsevier Science.
- Stadler, A. (2012). Transparent Conducting Oxides—An Up-To-Date Overview. *Materials*, 5, 661-683. doi: 10.3390/ma5040661
- van Bokhoven, J. A., & Lamberti, C. (2016). *X-Ray Absorption and X-Ray Emission Spectroscopy: Theory and Applications*: Wiley.
- Yang, G. J., & Suo, X. (2019). *Advanced Nanomaterials and Coatings by Thermal Spray*: Elsevier Science.

ARTÍCULOS ORIGINALES

INGENIERÍA DE QUÍMICA Y METALURGIA

RECONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA MESA CONCENTRADORA GRAVIMÉTRICA Y DETERMINACIÓN DEL RANGO DE VARIABLES RELEVANTES DE OPERACIÓN

Pedro Inga Zaratea, Luis Alberto Cossio Herreraa, Robert Álvarez Riveraa, Donato Condea

Escuela de Ingeniería Química,
Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga (Perú),
Av. Universitaria S/N, Ayacucho, código postal 12351-456, Peru.
E-mail: pedro.inga@unsch.edu.pe

RESUMEN

El objetivo general del trabajo fue reconstruir y poner en marcha la mesa concentradora gravimétrica construida en la UNSCH y determinar el rango de las variables relevantes de operación. Y como objetivos específicos: Diseñar el mecanismo de movimiento vibratorio vertical a movimiento vibratorio horizontal de la mesa concentradora gravimétrica para concentrar minerales metálicos deseados. Adecuar la velocidad de vibración horizontal de la mesa concentradora gravimétrica para concentrar minerales metálicos deseados. Determinar los parámetros de operación de los modelos Wilfley y Deister para concentrar minerales metálicos deseados. El tipo de investigación fue aplicativo y tecnológico. El nivel de investigación fue experimental tecnológico. El método analítico comparativo. El diseño fue explicativo experimental. El muestreo fue puntual y compuesto. Se cumplió con el objetivo general y los objetivos específicos, realizándose 2 pruebas usando como fluido el agua, observando con ello el proceso de concentración gravimétrica. El rango de las variables relevantes de operación son: Geometría del tablero de la mesa (rectangular y trapezoidal), grado de inclinación transversal del tablero (de 5° a 9° y de 2° a 10°), frecuencia de r.p.m. (270 r.p.m. a 338 r.p.m.), caudal de agua de lavado (regulable con 2 llaves), granulometría del mineral (Malla 20), (densidad de pulpa (% de solidos), tiempo de operación. Se recomienda continuar con otras investigaciones en el rubro de la concentración gravimétrica, en vista que se cuenta con la mesa concentradora gravimétrica operativa.

Palabras claves. Mesa concentradora gravimétrica, Wilfley, Deister

RECONSTRUCTION AND COMMISSIONING OF A GRAVIMETRIC CONCENTRATOR TABLE AND DETERMINATION OF THE RANGE OF RELEVANT OPERATING VARIABLES

ABSTRACT

The general objective of the work was to rebuild and start up the gravimetric concentrator table built at UNSCH and to determine the range of the relevant operating variables. And as specific objectives: Design the mechanism of vertical vibratory movement to horizontal vibratory movement of the gravimetric concentrating table to concentrate desired metallic minerals. Adapt the horizontal vibration speed of the gravimetric concentrator table to concentrate desired metallic minerals. Determine the operating parameters of the Wilfley and Deister models to concentrate desired metallic minerals. The type of research was applicative and technological. The research level was technological experimental. The comparative analytical method. The design was explanatory and experimental. The sampling was punctual and compound. The general objective and the specific objectives were met, carrying out 2 tests using water as fluid, thereby observing the gravimetric concentration process. The range of relevant operating variables are: Geometry of the tabletop (rectangular and trapezoidal), degree of transverse inclination of the tabletop (from 5° to 9° and from 2° to 10°), frequency of r.p.m. (270 rpm to 338 rpm), wash water flow (adjustable with 2 keys), mineral granulometry (20 mesh), (pulp density (% solids), operating time ... It is recommended to continue with other investigations in the heading of gravimetric concentration, in view of the fact that the gravimetric concentrator table is operative

Keywords. Gravimetric concentrator table, Wilfley, Deister

INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (2017), Ramírez (2017) y otros autores, la contaminación relacionada a la extracción y procesamiento del oro es una de las actividades que causa más preocupación ambiental, debido a que vierten millones de toneladas al año de reactivos como el cianuro o el mercurio. El impacto ambiental producido por la minería informal y artesanal del oro afecta ecosistemas y consecuentemente las actividades humanas que anteriormente se desarrollaban en estos lugares. A nivel mundial más de la mitad del oro producido tiene impactos negativos para el medio ambiente.

En Perú, el departamento de Ayacucho, según los anuarios estadísticos (2016, 2017, 2018, 2019) del Ministerio de Energía y Minas del Perú, es el 5to mayor productor de oro y plata. El año 2017 se consiguió formalizar en el departamento de Ayacucho a 1500 pequeños mineros y mineros artesanales ubicados principalmente en la zona sur de Ayacucho, siendo esta circunscripción en la que se estaría produciendo contaminación ambiental desde mucho tiempo.

En este sentido es necesario tomar conciencia de la importancia de este problema para disminuir la contaminación, aportando con diferentes estrategias ambientales tales como el reciclaje de productos con contenido de oro, para así ser reutilizados dentro de un esquema de economía circular. Además de estrategias de reciclaje existen otras formas de reducir la contaminación producida por la minería del oro, una de ellas es el uso de equipos que, incorporados a la minería artesanal puede ser de suma importancia para la minimizar la contaminación. El presente trabajo de investigación, permitirá abordar el problema de la contaminación a causa de que en las operaciones mineras se usan reactivos contaminantes como el cianuro o el mercurio.

En cuanto a la mesa concentradora gravimétrica se ha tenido como referencia los trabajos realizados por Pérez (2007), Mamani (2018), Gastelu (2018). El presente trabajo tiene como objetivo reconstruir y poner en marcha una mesa concentradora gravimétrica construida en la UNSCH con la finalidad de determinar las variables de operación, por lo que se modificó el mecanismo de movimiento vibratorio vertical a movimiento vibratorio horizontal, velocidad de vibración horizontal, para finalmente determinar del rango de variables relevantes de operación con los 2 modelos: Wifley y Deister.

METODOLOGÍA

Se realizó la reconstrucción y puesta en marcha de una mesa concentradora gravimétrica construido en la UNSCH para determinación de variables de operación con fines didácticos y de investigación. La mesa gravimétrica es un equipo cuya función es concentrar minerales metálicos deseados. La operación de este equipo no utilizará reactivos químicos como el cianuro o mercurio por lo que tiene ventaja ambiental ante la ventaja ante otros procesos para la recuperación de minerales.

Esta mesa concentradora gravimétrica se encontraba parcialmente construida, por lo que se realizaron modificaciones de diseño y posteriormente pruebas, ensayos, tomas de muestras y análisis para obtener parámetros que nos permitan tener un rango de operabilidad. La elaboración de

base de datos se hará en la hoja de cálculo y los resultados se presentarán usando tablas pertinentes.

El presente estudio corresponde al tipo de investigación aplicativo y tecnológico, porque se modificó el diseño, se instaló y se puso en marcha la mesa concentradora gravimétrica construido en la UNSCH y se determinó las variables óptimas de operación con fines de mejora en los aspectos didácticos, funcionabilidad y económico en el proceso de recuperación de oro a partir de minerales auríferos. El nivel de investigación es teórico-experimental, porque se aplicará un conjunto de modificaciones de diseño y pruebas de concentración gravimétrica con muestra de minerales.

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron: una wincha, eclímetro, balanza, cronometro, probeta graduada, zarandas. La reconstrucción de la concentradora gravimétrica fue hecha en el “Taller Electromecánico Holger K. Hansen” y en el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Los parámetros evaluados fueron la geometría del tablero de la mesa, forma y distribución de los rifles, granulometría del mineral, densidad de pulpa (porcentaje de sólidos), frecuencia de golpes (rpm), frecuencia de la vibración (Hertz), grado de inclinación transversal del tablero, caudal de agua de lavado, tiempo de operación. Estos parámetros fueron modificados con la finalidad de obtener una mejor cantidad y calidad de recuperación de concentrado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Reconstrucción de la mesa concentradora gravimétrica

En cuanto a la reconstrucción de la mesa concentradora gravimétrica, se presenta los cálculos obtenidos, para tener ya la mesa reconstruida, en cuanto al accesorio de regulador de velocidad, se solucionó con el cambio de polea, el cual se colocó, y que nos permite reducir la velocidad en la mesa concentradora gravimétrica

Cuando se hizo la prueba con el concentrador gravimétrico, se observó que el movimiento de la mesa era vertical. Lo correcto es que el movimiento debe ser horizontal, por lo que se tuvo que hacer las modificaciones



Figura 1 . En la prueba inicial la mesa concentradora tenía un movimiento vertical



Figura 2. Equipo a ser modificado: (a) izquierda, estructura de la mesa gravimétrica; (b) derecha, tablero superior.

3.2 Especificaciones técnicas del equipo construido

La mesa concentradora gravimétrica, inicialmente construida en el taller electromecánico, tenía las siguientes

especificaciones técnicas, tal como se muestra en la Tabla 1, sin embargo estas fueron reajustadas

Tabla 1. Especificaciones técnicas iniciales de la mesa concentradora gravimétrica construido.

Descripción	Características
Designación	Mesa concentradora gravimétrica
Tipo de tablero	Intercambiable (Tipo Wifley y Deister)
Capacidad de producción	48 Kg/h aproximadamente
Angulo de inclinación	Regulable (desde 0° a 10°)
Voltaje	220 / 380 V
Amperaje	2.08 /3.5 A
Frecuencia	60 Hz
Velocidad de golpe (rpm)	450
Longitud de golpe	4 cm
Frecuencia de vibración	2.5 Hz
Potencia	1 HP

Fuente: Elaboración propia

3.3 Reconstrucción y dimensionamiento

La finalidad es reconstruir una mesa concentradora gravimétrica para la operación, con una capacidad de producción de 3.0 kg/batch. Se cuenta con 2 modelos el

Wilfley y el Deister. En el modelo Wilfley los rifles son paralelos al lado más largo de la mesa, en el modelo Deister los rifles tienen un ángulo de inclinación.

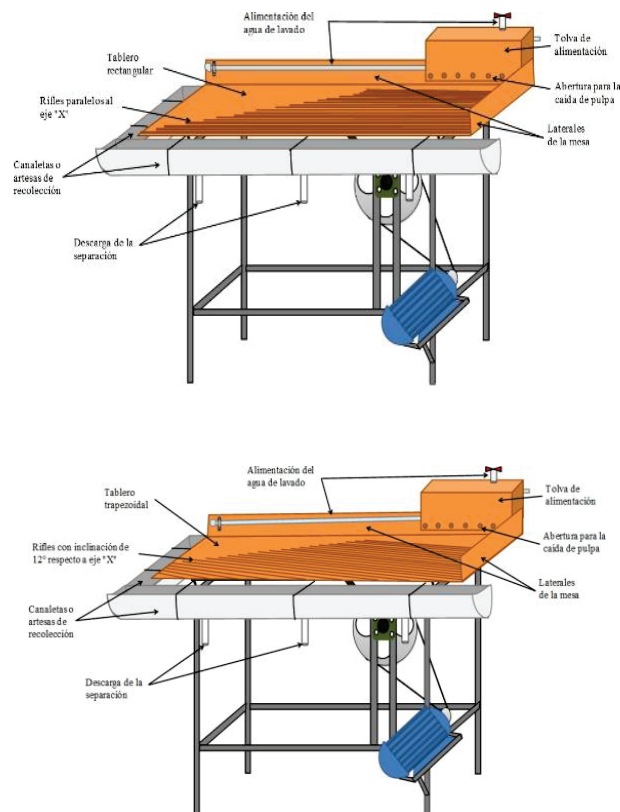


Figura 3: Equipo concentrador gravimétrico: (a) tablero tipo Wilfley; (b) tablero tipo Deister. (Fuente: Elaboración propia)

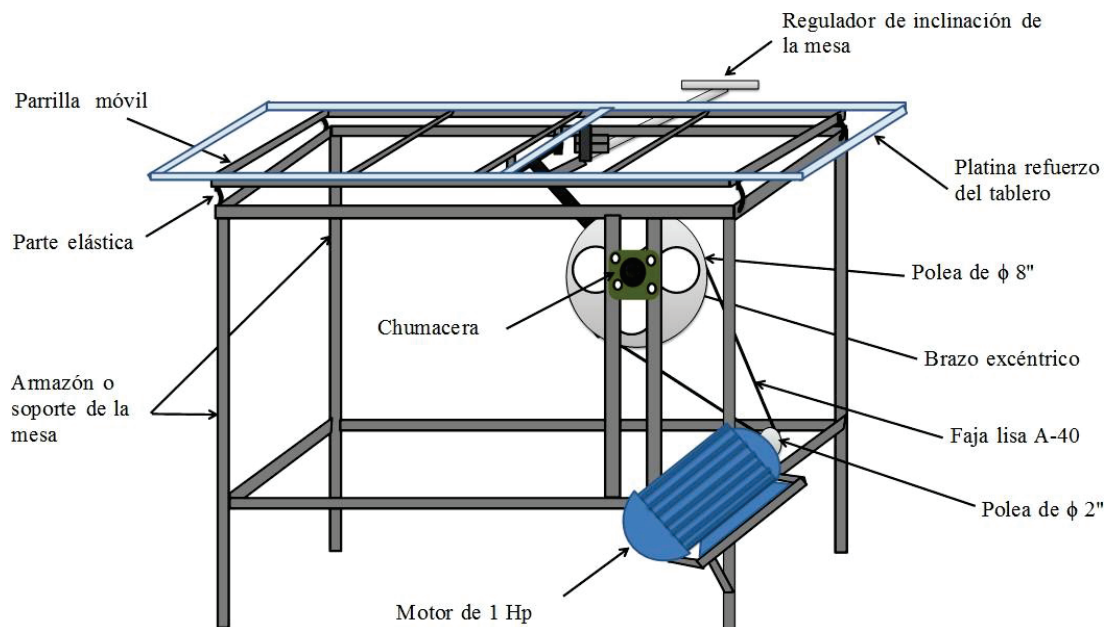


Figura 4. Estructura metálica completa de la mesa (Fuente: Elaboración propia)

3.4 Reconstrucción del concentrador gravimétrico

3.4.1. Reducción de velocidad

La polea del motor es de 2 pulgadas y tiene 1800 rpm, después se comunica con una polea de 8 pulgadas y 450 rpm,

luego se comunica con una polea de 3 pulgadas y 450 rpm. Finalmente se tiene una polea de 4 pulgadas y 338 rpm

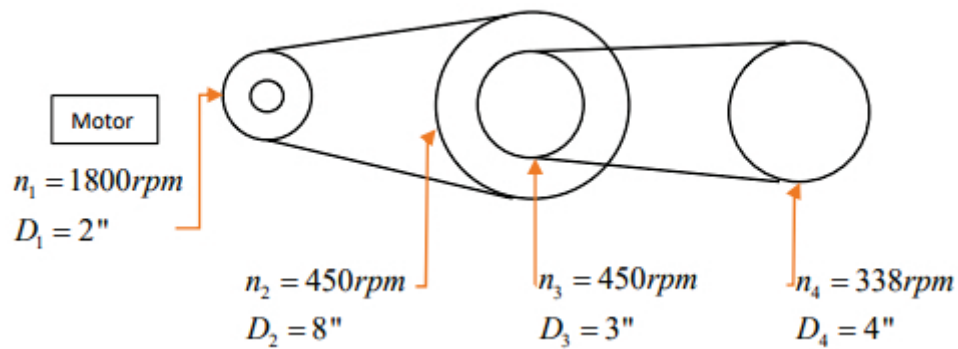
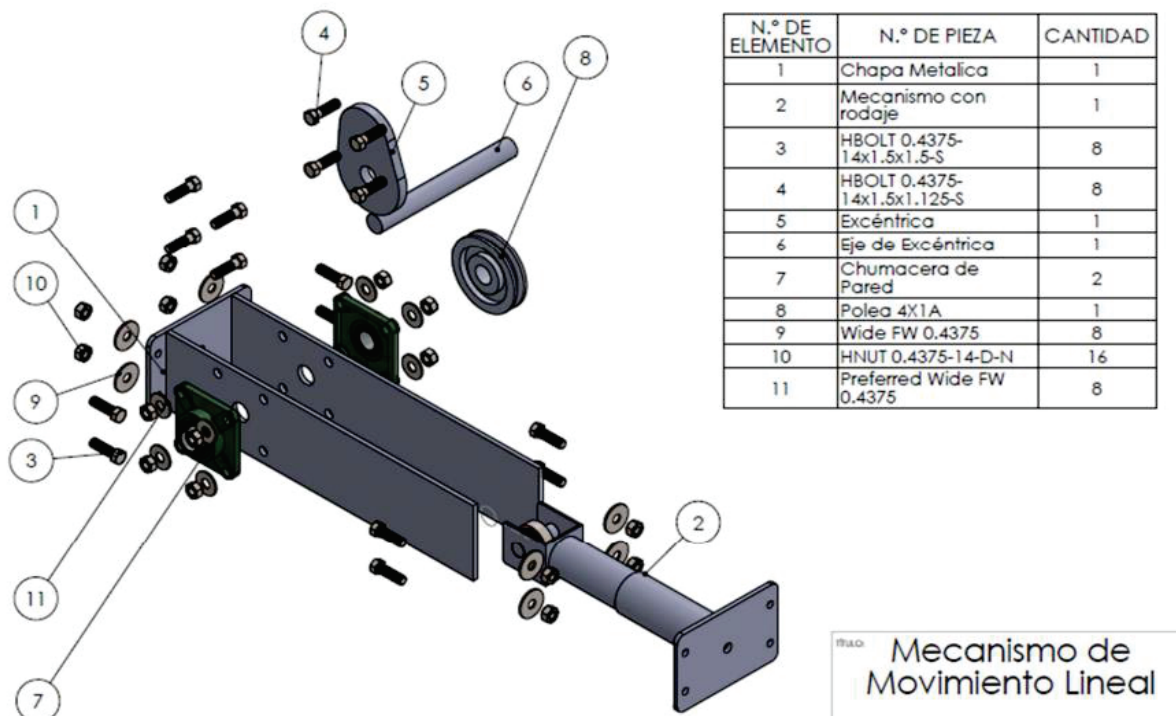


Figura 5 Diámetro y r.p.m. de las poleas de la mesa concentradora gravimétrica

3.4.2.Especificaciones a probar

Parámetros	Especificaciones técnicas	
	iniciales	a probar
Velocidad de golpe	450 rpm	270 - 338 rpm
Longitud de golpe	4 cm	1.27 - 3.17 cm
Angulo de inclinación	0 - 10 grados	0 - 10 grados

3.4.2.1 Mecanismo de movimiento lineal



Se presenta el plano de construcción del mecanismo de movimiento lineal horizontal especificando el nombre de la pieza y las cantidades



Figura 7. Mesa concentradora reconstruida modelo Wilfley (rectangular) , antes de su instalación en el Laboratorio de Metalurgia de la UNSCH

3.4.2.2 Puesta en marcha de la mesa concentradora gravimétrica y determinación de variables óptimas de operación

En cuanto a la puesta en marcha de la mesa concentradora gravimétrica se ha podido solucionar el movimiento de la

mesa de vertical a horizontal, con la construcción del mecanismo de movimiento lineal, en la cual se utilizó 1 chapa metálica, 2 mecanismos de rodaje, 1 excéntrica, 1 eje de excéntrica, 2 chumaceras de pared, 1 polea y otros accesorios

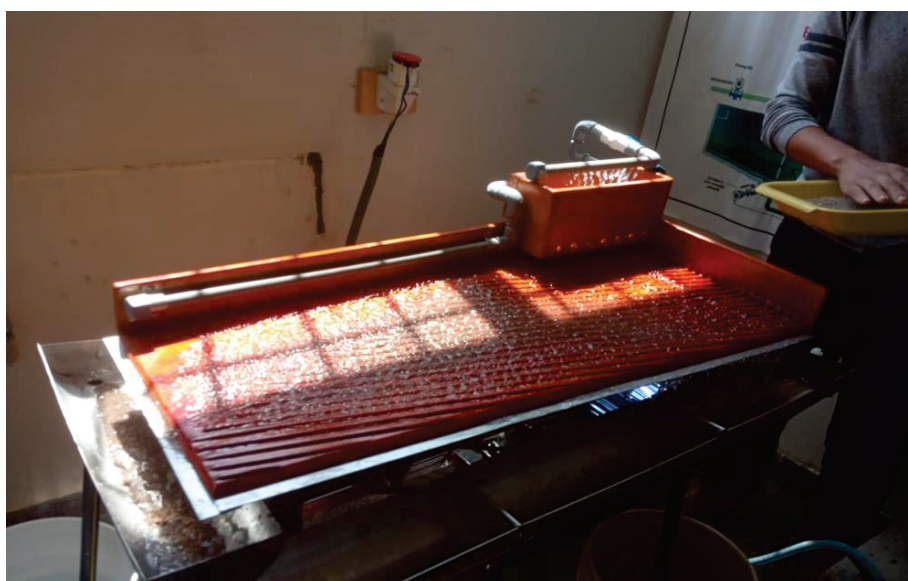


Figura 8. La mesa concentradora modelo trapezoidal , luego de fijar su instalación con pernos , se puso en marcha, realizándose las pruebas con los 2 tipos de modelo (Wilfley y Deister), verificando la puesta en marcha para observar las variables de relevantes de operación

En cuanto a la determinación del rango de variables relevantes de operación, se ha podido realizar 2 corridas por problemas de la pandemia del COVID 19.

Luego de las corridas se ha podido determinar el rango de las variables relevantes de operación, siendo estas: Geometría del tablero de la mesa (rectangular y trapezoidal), grado de

inclinación transversal del tablero , el ángulo de inclinación de 5° a 9° y de 2° a 10°), frecuencia de r.p.m. (270 r.p.m. a 338 r.p.m), caudal de agua de lavado (regulable con 2 llaves) , granulometría del mineral (Malla 20) , densidad de pulpa. En las corridas se ha usado como fluido el agua y no utiliza ningún reactivo contaminante como el cianuro o el mercurio



Figuras 9, 10. Mesa concentradora gravimétrica modificada e instalada en el Laboratorio de Metalurgia de la UNSCH.

CONCLUSIONES

1. El diseño inicial de la mesa concentradora gravimétrica se consiguió realizar la modificación del movimiento vertical a horizontal, construyendo el mecanismo de movimiento lineal
2. Para adecuar la velocidad de vibración horizontal, se realizó la reducción de la velocidad de la mesa concentradora inicial. La polea del motor es de 2 pulgadas y tiene 1800 rpm, después se comunica con una polea de 8 pulgadas y 450 rpm, luego se comunica con una polea de 3 pulgadas y 450 rpm. Finalmente se tiene una polea de 4 pulgadas y 338 rpm

3. Se ha puesto en operación los 2 tipos intercambiables de mesa Wilfley y Deister, determinando el rango de variables relevantes de operación : frecuencia de golpes (270 rpm - 338 rpm), frecuencia de la vibración (Hertz), grado de inclinación transversal del tablero (de 5° a 9°) y (de 2 a 10°)

CONCLUSIÓN FINAL

Finalmente se ha logrado reconstruir y poner en marcha los 2 modelos de mesa concentradora gravimétrica (Wilfley y Deister) para la recuperación de minerales metálicos, el cual usa como fluido el agua y no utiliza ningún reactivo contaminante como el cianuro o el mercurio



Figura 11 - Mesa concentradora gravimétrica en el cual se observa: el soporte de la mesa, la polea, el brazo excéntrico, la platina de refuerzo del tablero, la faja, el motor, las artesas de recolección, la descarga de la separación, el tablero de la mesa, la tolva de alimentación, la alimentación del agua de lavado.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por financiarnos el presente trabajo de investigación. Al Ing. Aquiles López La Serna, trabajador del Centro de Experimentación Taller Electro Mecánico de la UNSCH, al Estudiante Luis Rodríguez que con su apoyo y esfuerzo han hecho posible la culminación del presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Aguilar y Corella (2016) Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador “Diseño y construcción de una mesa concentradora para la optimización del proceso de extracción de oro en una Empresa minera de Zaruma”.

Ballester Antonio y otros. (2003). “Metalurgia extractiva “. Volumen I y II. Editorial Síntesis. España

Bustamante et al (2008) Selección de materiales

Cabrera Santiago (2014) Universidad Técnica Particular de Loja .” Recuperación de oro por gravimetría proveniente del distrito minero de Nambija. Condminio sur

Carbajal Martínez & Chávez Basurco. (2015) Separación solido liquido

García Bendezú, Aníbal (2016) “ Tratamiento de minerales “ . UNSCH. Ayacucho Perú

Gastelú Lujan, Cesar (2018). U.N.S.C.H.- F.I.Q.M.” Informe de Practicas Pre Profesionales: Construcción de una mesa concentradora gravimétrica”

Hinojosa Carrasco (2016) Revista Metalúrgica

Mamani Huanca Mario (2018) . Universidad Jorge Basadre Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. “Evaluación metalúrgica de minerales auríferos proveniente de la zona de Lechemayo San Gabán Región Puno”

Organización Mundial de la salud (2017). “La minería aurífera artesanal o de pequeña escala y salud”. Informe de la organización mundial de la salud. Ginebra.

Perry Yhon (2001). Manual del Ingeniero Químico

Pérez y Mendoza R.(2007). Mesas concentradoras

Pérez Villegas Alejandro Arturo (2007) Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Área de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Facultad de Ingeniería. “Mesa vibradora para concentración de metales auríferos”

Ramírez Salas. (2017). “Impacto ambiental de la pequeña minería y minería artesanal en la sub cuenca del rio Inambari Madre de Dios”. Tesis para optar el grado académico de magister scientiae en gestión ambiental y desarrollo sostenible. Universidad Nacional del Centro del Perú. Perú.

Rivera Sandra (2017). Universidad del Azua .Escuela de Ing. de Minas de la Facultad de Ciencias y Tecnología “Optimización de concentración gravimétrica de oro en la mesa vibratoria de la Mina Vicente”.

Romero A., Garay T. y Gallarday T. (2014). “Tecnología minera en la extracción artesanal del oro”. Informe de investigación. Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú

TECSUP (2018) “ Concentración de minerales” .Lima Perú.

Villachica L & Pérez H. (2008). Beneficio económico de minerales auríferos

