



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“CALIDAD DEL SUELO Y FRACCIONES ORGÁNICAS DE LA
MATERIA ORGÁNICA INFLUENCIADOS BAJO UN ESCENARIO
DE CAMBIO CLIMÁTICO EN CULTIVOS DE MAÍZ Y QUINUA”

Tesis para optar el título profesional de:
INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:
Marco Antonio Medina Solano (0000-0002-2640-1641)

Asesor:
José Eloy Cuellar Bautista (0000-0001-5087-5719)

Co-asesora:
Llermé Navarro Vásquez (0000-0003-0147-362X)

Lima – Perú

2021

Copia de acta de sustentación



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 10 de septiembre de 2021.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. Claudia Vanina Arias
Miembro: Ing. Haydee Miriam Ramos León
Miembro: Dr. Marcos Alejandro Sulca Lopez

Se reúnen para evaluar la tesis titulada: "Calidad del suelo y fracciones orgánicas de la materia orgánica influenciados bajo un escenario de cambio climático en cultivos de maíz y quinua"

Presentada por el bachiller:

- Marco Antonio Medina Solano

Para optar al Título Profesional de ingeniero(a) ambiental.

Asesorada por: Dr. José Eloy Cuellar Bautista y coasesora por Mg. Llermé Navarro Vasquez

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del(a) estudiante de la carrera de ingeniería ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (x) por mayoría simple () calificar a:

Tesis: Marco Antonio Medina Solano		Nota (en letras): dieciocho	
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (x)	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

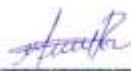
Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Dra. Claudia Vanina Arias
Presidente del Jurado



Dr. José Eloy Cuellar Bautista
Asesor



Ing. Haydee Miriam Ramos León
Miembro del jurado



Mg. Llermé Navarro Vasquez
CoAsesora



Dr. Marcos Alejandro Sulca Lopez
Miembro del jurado

T // (51) 610 6738
informes@cientificasudpe
cientificasudpe

Dedicatoria

A mis abuelos Amador Solano y Teodora Camayo (QEPD), mis padres Héctor Medina y Rosa Solano, mis hermanas Deisy y Zayuri; a ellos por regalarme una vida sencilla y feliz, a mis asesores, revisores y docentes por su tiempo y dedicación.

INDICE GENERAL

Copia de acta de sustentación.....	1
Dedicatoria.....	2
INDICE GENERAL.....	3
Título.....	4
Resumen.....	5
Abstract.....	6
Resumo.....	7
<i>1. Introducción</i>	8
<i>2. Materiales y Métodos</i>	9
<i>3. Resultados y discusión</i>	12
<i>4. Conclusión</i>	21
<i>Agradecimientos</i>	22
<i>Referencias bibliográficas</i>	22
ANEXOS.....	28
Evidencia del envío a revista científica.....	28
Copia de documento de aprobación de comité de ética (DGIDI).....	29
Copia de resolución de aprobación del proyecto de tesis (Carrera).....	30
Instrumentos usados en la investigación y demás información de utilidad.....	32
Registro fotográfico.....	32

ARTÍCULO ENVIADO A PUBLICAR

Titulo: Calidad del suelo y fracciones orgánicas de la materia orgánica influenciadas bajo un escenario de cambio climático en cultivos de maíz y quinua

Afiliaciones: Scopus, Web of Science

Revista: Desenvolvimento e Meio Ambiente (DMA) – Brasil

Enlace de la revista: <https://revistas.ufpr.br/made>

Autor de correspondencia: Marco Antonio Medina Solano, medinasolano95@gmail.com;

Susan Medina Canzio, smedinaca@cientifica.edu.pe

**Calidad del suelo y fracciones orgánicas de la materia orgánica
influenciadas bajo un escenario de cambio climático en cultivos de
maíz y quinua**

**Soil quality and organic fractions of organic matter influenced under a climate
change scenario in corn and quinoa crops**

**Qualidade do solo e frações orgánicas da matéria orgânica, influenciada sob um
cenário de mudança climática em cultivares de milho e quinua**

Marco MEDINA-SOLANO^{1*}, Eloy CUELLAR-BAUTISTA¹, Llerme NAVARRO-VÁSQUEZ²,
Wilbert CRUZ-HILACONDO³, Susan MEDINA-CANZIO¹

^{1*}Universidad Científica del Sur, Lima, Perú. (ORCID: 0000-0002-2640-1641)

¹Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú. (ORCID: 0000-0001-5087-5719)

²Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. (ORCID: 0000-0003-0147-362X)

³Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. (ORCID: **0000-0003-0314-4686**)

*Corresponding author: medinasolano95@gmail.com; smedinaca@cientifica.edu.pe

Resumen

Actualmente, el déficit hídrico y desertificación de suelos son efectos del cambio climático, estas situaciones alteran la calidad del suelo, así como la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo. Por ello es necesario conocer la necesidad hídrica que demanda un cultivo para no afectar la cantidad de carbono en el suelo, las fracciones de materia orgánica y el rendimiento. La presente investigación evaluó contenidos totales de carbono orgánico del suelo y carbono de las fracciones físico-químicas de materia orgánica frente al déficit hídrico, esto mediante un contexto de cambio climático en cultivos de quinua y maíz. La investigación se desarrolló en la sede del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, Huancayo; para ello se recolectó muestras de suelo por cada cultivo a una profundidad de 0–0,1m donde se evaluó: producción de grano, contenido de carbono orgánico total (COT) y los contenidos de carbono en ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, humina, carbono orgánico particulado (COP) y asociados a los minerales (COAM). Los resultados de caracterización química indican que varios elementos (MO, N, K, pH) no se ven influenciados por el déficit hídrico. Respecto a las fracciones químicas, se evidenció diferencias significativas en el contenido de ácido

húmico y fúlvico en quinua y humina en maíz, en las fracciones granulométricas en cultivo de maíz no se presentó diferencias significativas, mientras en quinua se evidenció diferencias significativas en COT y COP. En conclusión, las características químicas, los contenidos de carbono en las fracciones químicas/granulométricas y el rendimiento de los cultivos evaluados se ven influenciados por el déficit hídrico en ambos cultivos.

Palabras clave. Estrés hídrico, fraccionamiento químico, fraccionamiento granulométrico, sustancias húmicas y carbono orgánico.

Abstract

Currently, the water deficit and soil desertification are effects of climate change; these situations alter the quality of the soil, as well as the quantity and quality of soil organic matter. For this reason, it is necessary to know the water need demanded by a crop so as not to affect the amount of carbon in the soil, the fractions of organic matter and the yield. This research evaluated total soil organic carbon content and carbon in the physicochemical fractions of organic matter in the face of water deficit, in a context of climate change in quinoa and corn crops. The research was developed at the headquarters of the National Institute for Agrarian Innovation - INIA, Huancayo; for this purpose, soil samples were collected for each crop at a depth of 0-0.1m where the following were evaluated: grain production, total organic carbon content (TOC) and carbon contents in fulvic acids, humic acids, humin, particulate organic carbon (POC) and carbon associated with minerals (COAM). The chemical characterization results indicate that several elements (MO, N, K, pH, etc.) are not influenced by water deficit. With respect to the chemical fractions, significant differences were found in humic and fulvic acid in quinoa and humin in corn, in the granulometric fractions in corn there were no significant differences, while in quinoa there were significant differences in TOC and POC. In conclusion, the chemical characteristics, carbon contents in the chemical - granulometric fractions and the yield of the evaluated crops are influenced by the water deficit in both crops.

Key words. Water stress, chemical fractionation, granulometric fractionation, humic substances and organic carbon.

Resumo

Atualmente, o déficit de água e a desertificação do solo são efeitos da mudança climática, essas situações alteram a qualidade do solo, bem como a quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo. Portanto, é necessário conhecer a necessidade da água de uma cultivar para não afetar o carbono no solo, as frações de matéria orgânica e a produtividade. Esta pesquisa avaliou o conteúdo total de carbono orgânico do solo e carbono nas frações físico-químicas da matéria orgânica frente ao déficit hídrico, em um contexto de mudança climática nas cultivares de quinoa e milho. A pesquisa foi realizada na sede do Instituto Nacional de Inovação Agrária - INIA, Huancayo; para este fim, foram coletadas amostras de solo para cada cultivar a uma profundidade de 0-0,1m, onde foram avaliados: produção de grãos, conteúdo de carbono orgânico total (COT) e conteúdo de carbono em ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, humina, carbono orgânico particulado (POP) e minerais associados (COAM). Os resultados da caracterização química indicam que vários elementos (MO, N, K, pH, etc.) não são influenciados pelo déficit da água. Com relação às frações químicas, houve diferenças significativas no conteúdo de ácido húmico e fúlvico na quinoa e em humina no milho, nas frações granulométricas no milho não houve diferenças significativas, enquanto que na quinoa houve diferenças significativas em COT e COP. Em conclusão, as características químicas, o conteúdo de carbono nas frações químicas - granulométricas e o rendimento das lavouras avaliadas são influenciados pelo déficit da água em ambas as cultivares.

Palavras-chave. Tensão hídrica, fracionamento químico, fracionamento granulométrico, substâncias húmicas e carbono orgânico.

1. Introducción

La regulación del clima se ve influenciada por la interacción del suelo, las plantas y la atmósfera (Galicia, 2014; Ritson et al., 2014) influyendo en la desertificación y degradación del suelo (Dascal, 2012); siendo su estudio de vital importancia y dando énfasis en la evaluación de su calidad por efectos del cambio climático (Jones et al., 2009; Bünemann et al., 2018). La variación climática, provocada por el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), incrementan la descomposición y mineralización de la materia orgánica del suelo (IPCC, 2013; Cotler, 2014; (CEPAL), 2015), alterando propiedades físico-químicas, fracciones orgánicas y contenido de carbono (Espinoza, 2010; Agencia Europea del Medio Ambiente, 2015). El suelo se encuentra influenciado por el contenido y distribución de la materia orgánica (Gaboury et al., 2009) cuyas características químicas establecen complejos órgano-minerales (Pitois et al., 2008). Las fracciones orgánicas de la materia orgánica del suelo son una mezcla principalmente de carbono, fósforo, oxígeno, hidrógeno, azufre y nitrógeno en cantidades variables (Angella et al., 2016; Galantini y Suñer, 2008); dentro de ellas, las sustancias húmicas proporcionan información sobre la fertilidad del suelo y sus propiedades fisicoquímicas (Jien et al., 2011; Kleber y Johnson, 2010).

Las sustancias húmicas se forman a partir de la degradación de los residuos orgánicos por la acción microbiana y tienen la propiedad de reducir el estrés ambiental como el déficit hídrico (Veobides et al., 2018; Kukuş et al., 2019); ante ello, los suelos agrícolas con mayor concentración de estas sustancias retienen mayor humedad por lo que podría emplearse en periodos de sequía como enmienda (Pettit, 2004). La composición de las sustancias húmicas constan de complejos aromáticos, aminoácidos, azúcares y compuestos alifáticos (Hayes, 1998); dentro de los más importantes están los ácido húmicos, ácido fúlvicos y humina (Swift, 1996) estas sustancias favorecen al desarrollo óptimo de las plantas con menor efecto a estrés abiótico logrando una mayor producción (Pettit, 2004). Los ácidos húmicos favorecen el crecimiento de la planta e incrementan la capacidad de retención del agua en el suelo (Fahramand et al., 2014) y los ácidos fúlvicos favorecen el transporte de minerales desde la raíz a los tejidos de la planta (Pettit, 2004). Las huminas, son moléculas de alto peso molecular y resistentes a la descomposición en comparación a las demás sustancias húmicas, estas poseen características hidrofóbicas indicando que no intervendría en la retención de agua (Pettit, 2004; Hayes et al., 2017)

Según Minasny y Mcbratney (2017) el calentamiento global, como consecuencia del cambio climático, puede causar la pérdida del carbono orgánico del suelo influyendo en las plantas y en el ciclo hidrológico. De acuerdo con la Agencia Europea del Medio Ambiente (2015), aquellos suelos que han sufrido estos efectos ocasionan estrés hídrico en las plantas. Bünemann et al. (2018) y Reeves (1997) analizaron el carbono orgánico del suelo, concluyendo que este es uno de los indicadores de calidad y salud del suelo. Además de ello, Bongiorno et al. (2019) refieren al carbono orgánico como una sustancia que influye en la regulación del clima, ya que en condiciones de temperaturas elevadas y poca agua se incrementa la mineralización y descomposición de la materia orgánica. Uno de los atributos del carbono orgánico es el Carbono Orgánico Total (COT). En épocas de sequía este COT disminuye evidenciando la reducción del almacenaje de carbono orgánico (Caviglia et al. 2016), sin embargo este efecto es usualmente variable a largo plazo (Cotler, 2014).

Diferentes estudios donde se evaluó la calidad del suelo, en un escenario de cambio climático, y se empleó el cultivo de maíz ((Steduto et al. (2012a) y Szczepanek y Wilczewski (2016)) concluyen que un leve pero prologando estrés hídrico provoca reducción en la biomasa y disminución en el rendimiento de grano. Para cultivos de quinua, Steduto et al. (2012a), indican que los cultivos de este tipo son parcialmente tolerantes al estrés hídrico. En relación a ello, Fahramand et al. (2014), menciona que las sustancias húmicas mejoran la retención de agua en las hojas, la actividad de fotosíntesis y el metabolismo antioxidante cuando se presenta déficit hídrico.

El presente artículo es parte del proyecto PIP N° 306260 “Instalación del servicio de investigación tecnológica agraria especializada en cambio climático para el sector agrario”. El objetivo es evaluar la calidad del suelo tomando como indicadores las fracciones orgánicas de la materia orgánica, siendo influenciados por el déficit hídrico mediante un contexto de cambio climático en cultivos de quinua y maíz, además de ello, se realiza un análisis químico del suelo y el rendimiento alcanzado en ambos cultivos.

2. Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agraria (EEA) “Santa Ana” del Instituto Nacional de Innovación Agraria del Perú (INIA) ubicada en la ciudad de Huancayo (Coordenadas UTM WGS 84: 8671985 N, 475964 E) a 3290 msnm. La región es

clasificada como una zona de clima lluvioso y frío, con temperatura y precipitación media anual de 12 °C y 700 mm. El verano es lluvioso y el invierno es seco con presencia de heladas generalmente entre los meses de abril a setiembre (Senamhi, 2020). Antes del ensayo se evaluó la calidad del suelo y la textura siendo de tipo franco arcilloso (Tabla 1).

Las semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) y maíz (*Zea mays* L.), fueron proporcionadas por el INIA - Huancayo, las mismas que fueron sembrados e irrigados bajo el sistema por goteo, para ello se empleó cintas de ½ pulgada de espesor con orificios separados a 0,20 m uno del otro. El caudal para los tratamientos por orificio fue de 14 ml por minuto, el riego se realizó controlando el tiempo para cada tratamiento. No se empleó ningún fertilizante químico.

La siembra se realizó en un área de 140,8 m² por tratamiento donde se designaron 19 surcos para cada tratamiento por cultivo. En cada cultivo se realizaron tres tratamientos con dos repeticiones. Asimismo, para reducir el efecto de borde se incorporaron tres surcos de maíz por el perímetro externo e interno.

2.1. Experimento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.)

La siembra se realizó al voleo, asimismo para el riego se consideró la temporada de lluvia, complementándose con riego por goteo para la germinación homogénea hasta el desarrollo de cuatro pares de hojas (45 días después de la siembra), luego se redujo la densidad de plantas mediante raleo manual (4 plantas por metro lineal). Hasta el día 68 de la siembra el volumen de agua es el mismo en todos los tratamientos, por tanto, se tuvo un desarrollo uniforme de toda la parcela y un volumen de 7470 litros por tratamiento de agua suministrada (27 de setiembre, 3 y 10 de octubre). Luego de ello, el volumen de agua se diferenció en función al primer tratamiento, siendo este el control (a 100% de capacidad de campo) y los volúmenes que se aplicó en los tratamientos 2 y 3 se redujeron a un 50% y 25% respectivamente; para esto se controló el tiempo de riego en horas aplicado en cada caso. El ensayo fue realizado por un período de ocho meses hasta la cosecha y posterior a ello se tomaron muestras de suelo. La cosecha se realizó sustrayendo las panojas y empleando la técnica del trillado para la obtención de grano. Para ello, se tuvo un tiempo de secado de tres semanas al aire a fin de facilitar la trilla y obtener el peso del grano por repetición.

2.2. Experimento en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

La siembra del maíz se realizó empleando tres granos por golpe; al igual que en cultivo de quinua, el volumen de riego suministrado fue el mismo en todos los tratamientos hasta la obtención de 6 hojas verdaderas, el cual se dio a los 30 días con 7470 litros por tratamiento. Luego de ello, se seleccionó tres plantas por metro lineal y se dosificó el volumen de agua en función al primer tratamiento o control (100% de capacidad de campo), para los tratamientos 2 y 3 se empleó 50 y 25% tomando en cuenta el tiempo de riego. En este caso, el ensayo fue realizado por un período de ocho meses hasta la cosecha de mazorcas.

2.3. Análisis de muestras de suelo

Se realizó el muestreo de suelo al inicio del experimento, ello estuvo constituido por dos muestras y dos repeticiones cuyos resultados promedio del análisis químico se evidencian en la tabla 1. Luego, culminada la cosecha, se colectó tres muestras para quinua y tres muestras para maíz con sus respectivas repeticiones, la profundidad de la toma de muestra fue de 0,1m. Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente y tamizadas con una malla de 2mm. La textura del suelo fue evaluada por el método de Bouyoucus (Medina et al., 2007), el pH (1:1) según Lizcano et al. (2017), Nitrógeno total a través del método Kjeldahl (Bazán, 2017), materia orgánica según Walkley y Black (Yeomans y Bremner, 1988), Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva según Lizcano et al. (2017), la concentración de Calcio y Magnesio mediante el método de EDTA (Oñate Gil, 1975), y las concentraciones de potasio, aluminio y fósforo según Bazán (2017).

A nivel físico o granulométrico se evaluó la cantidad de Carbono Orgánico Particulado (COP) y Carbono Orgánico Asociado a Minerales (COAM) según Cambardella y Elliott (1992). A nivel químico, se determinó la concentración de los ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y humina mediante el método adaptado por Swift (1996). El contenido de carbono de las fracciones granulométricas (COP, COAM) y el Carbono Orgánico Total (COT) se realizó mediante el método “Dakota do sul” modificado según Raij et al. (1997).

TABLA 1. Propiedades químicas del suelo en el lugar experimental antes de la siembra.

Macronutrientes	Cationes intercambiables (meq/100g)
-----------------	--

pH (1:1)	5.6	Ca	5.8
MO (%)	2.1	Mg	1.1
N (%)	0.1	K	0.2
P (ppm)	14.6	Na	0.1
K (ppm)	167.7	Al	0.4
CIC	7.5	H	0.1

MO: Materia orgánica, CIC: Capacidad de intercambio catiónico

2.4. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos fueron realizados mediante el programa InfoStat (Balzarini et al., 2008), donde se realizó un análisis descriptivo de las fracciones del suelo, la comparación de los diferentes regímenes de riego se realizó a través de un análisis de varianza, las diferencias significativas se realizó a través de la comparación de medias de la prueba de rango *post hoc* de Duncan y un *p-value* de 0,05.

3. Resultados y Discusión

3.1. Atributos químicos de los suelos influenciados por el régimen hídrico en los cultivos de maíz y quinua.

En relación a los regímenes hídricos mencionados se tuvo en cuenta la proporción de la necesidad hídrica para el cultivo quinua y maíz. La concentración total de agua empleada en la presente investigación fue de 1472,8 m³ por hectárea. Al respecto Mori (2015) evidenció que para cultivos de quinua se obtiene un adecuado rendimiento cuando se aplica un volumen total de agua de 1994,93 m³ por hectárea en el riego por goteo. En el caso del maíz, García Huatay et al. (2019) mencionaron que en promedio se requiere 5500 m³ por hectárea en riego por inundación, en la presente investigación se calculó un total de 2325,5 m³ por hectárea; en ambos casos la concentración de agua aplicada fueron restadas con la evapotranspiración potencial de la zona de investigación.

Bajo las diferentes condiciones de déficit hídrico (50 y 25%) en función a la capacidad de campo (CC). En los cultivos de quinua y maíz no hubo variación significativa (*p value* > 0,05) de minerales como nitrógeno, potasio, materia orgánica, entre otros (Tabla 2), a excepción de la concentración de fósforo en quinua (*p value* = 0,005) y maíz (*p value* = 0,027). Las diferencias significativas en la concentración de fósforo en suelos donde se cultivó quinua y maíz bajo los diferentes regímenes hídricos es probablemente debido a

lo mencionado por Song et al. (2012), donde señalan que la respuesta (del análisis químico) al estrés hídrico del maíz, podría ser manifestada por variación en la solubilidad de fósforo y potasio, alterando los niveles de macronutrientes con el déficit hídrico a nivel de raíz por la síntesis de ácido málico y cítrico.

Estudios realizados por Janampa et al. (2014) respecto a la calidad de suelos de la EEA – Santa Ana, El Tambo – Huancayo, evaluaron la variación de sustancias húmicas de abonos orgánicos en papa y maíz; los resultados del análisis químico coinciden con algunos parámetros químicos evaluados en la presente investigación, concluyendo que los suelos de la región central del Perú presentan variabilidad respecto a la descomposición de la materia orgánica producto de las condiciones climáticas (Tabla 2).

TABLA 2. Características químicas del suelo en cultivos de quinua y maíz sometidos a déficit hídrico.

Cultivo	Quinua			Maíz			(Janampa et al., 2014)
	100%	50%	25%	100%	50%	25%	
Régimen Hídrico							
pH (1:1)	5.4 ±0.10a	5.32 ±0.13a	5.18 ±0.05a	5.23 ±0.12a	5.16 ±0.04a	5.04 ±0.11a	6.0
MO (%)	2.3 ±0.11a	2.36 ±0.15a	2.3 ±0.06a	1.72 ±0.20a	2.18 ±0.15a	2.01 ±0.06a	1.70
N (%)	0.11 ±0.01a	0.12 ±0.01a	0.11 ±0.00a	0.09 ±0.01a	0.11 ±0.01a	0.1 ±0.00a	-
Macronutrientes							
P (ppm)	26.87 ±1.27a	19.77 ±1.78b	17.29 ±0.58b	19.21 ±1.88ab	25.38 ±3.15a	13.98 ±0.74b	23.97
K (ppm)	176 ±9.81a	168 ±10.50a	154 ±0.00a	174.3 ±8.65a	174.3 ±6.89a	168.3 ±13.84a	52.9
CIC	6.36 ±0.93a	6.94 ±0.69a	5.35 ±0.31a	6.04 ±0.58a	5.92 ±0.75a	6.35 ±0.55a	10.82
Cationes intercambiables (meq/100 g)							
Ca	5.36 ±0.71a	6.03 ±0.57a	4.66 ±0.30a	5.02 ±0.46a	5.07 ±0.66a	5.48 ±0.59a	8.53
Mg	0.94 ±0.18a	0.91 ±0.15a	0.69 ±0.02a	1.02 ±0.15a	0.85 ±0.09a	0.87 ±0.05a	1.57
K	0.04 ±0.04a	0.00 ±0.00a	0.00 ±0.00a	0.00 ±0.00a	0.00 ±0.00a	0.00 ±0.00a	0.18
Na	0.03 ±0.03a	0.00 ±0.00a	0.00 ±0.00a	0.00 ±0.00a	0.00 ±0.00a	0.00 ±0.00a	0.55
Al	0.10 ±0.05a	0.26 ±0.17a	0.19 ±0.02a	0.34 ±0.15a	0.22 ±0.01a	0.72 ±0.26a	
H	0.23 ±0.19a	0.05 ±0.03a	0.05 ±0.01a	0.07 ±0.03a	0.09 ±0.01a	0.15 ±0.08a	
% Bases intercambiables	94.31 ±3.89a	95.45 ±3.15a	95.66 ±0.51a	93.37 ±2.70a	94.82 ±0.90a	88.58 ±3.42a	
% Acidez interambiable	5.69 ±3.89a	4.55 ±3.15a	4.34 ±0.51a	6.63 ±2.70a	5.18 ±0.90a	11.42 ±3.42a	
% Saturación Aluminio	1.62 ±0.81a	3.86 ±2.73a	3.39 ±0.59a	5.49 ±2.34a	3.71 ±0.55a	9.36 ±2.89a	

100%: suelo sin déficit hídrico a 100% de capacidad de campo (CC), 50%: suelo con 50% de CC, 25%: suelo con riego de 25% de CC, MO: Materia Orgánica, CIC : Capacidad de Intercambio Catiónico, a y b: diferencias significativas en comparación de grupos (ANOVA).

Respecto al pH del suelo, no se observan diferencias significativas en relación al déficit hídrico. Al respecto Kumar (2016) señala una variación del pH en función al contenido de humedad debido a la alteración a la química del suelo. Caso similar el del nitrógeno, en donde tampoco se evidencia variación como mayoría de macronutrientes. Para el caso del nitrógeno, este se asocia procesos de actividad microbiana, aportes de humedad en el suelo y fertilizantes (Blaya y García, 2003), pese a que su absorción por parte del maíz se ve limitada por la disponibilidad de agua en el suelo (Quintero y Graciela, 2017). Las diferencias no son significativas pero sí el efecto se evidencia en la eficiencia del rendimiento.

La materia orgánica, a diferencia de lo mencionado por Agricultura Sostenible y Conservación de Suelos «SOCO» (2009), donde se reporta que en condiciones de exceso o déficit hídrico la materia orgánica podría presentar condiciones variables en función al grado de humedad, en este caso no varió significativamente (Tabla 2). En este estudio, evaluaciones finales fueron recolectadas en un período de 8 meses donde al inicio de siembra el suelo tuvo humedad mínima (las lluvias inician entre setiembre y octubre) y durante el desarrollo de los cultivos se midió en promedio 610 mm de precipitación; por ello el riego empleado es menor que otras investigaciones. Según Haynes (2000) y Tan et al. (2007), en investigación de corto plazo, el estudio de la materia orgánica no tiene un aporte significativo y se requiere de varios años para evidenciar diferencias en la materia orgánica.

Los cambios y variaciones generados en cuanto al análisis químico en el suelo de ambos cultivos no se manifiestan de manera absoluta, probablemente debido al tiempo de sequía a la cual fueron sometidos. Resultados diferentes fueron observados por Zhang et al (2019) quienes evidenciaron que en suelos con estrés hídrico, existen efectos significativos en las propiedades químicas del suelo principalmente en los primeros 10cm en período de dos años que sin embargo no son absolutos en el conjunto de macronutrientes.

3.2. Variación de las fracciones orgánicas del suelo influenciados por el régimen hídrico en los cultivos de maíz y quinua.

a. Fraccionamiento químico

Las concentraciones de humina en quinua se encuentran en un rango de 0,65 – 0,83 (%C), asimismo no se encuentra diferencias estadísticamente significativas ($p\ value > 0,05$) entre los valores obtenidos a los diferentes regímenes hídricos. A diferencia del cultivo de maíz, en el cual se observa diferencia significativa ($p\ value = 0,017$) y una relación inversa entre el régimen hídrico y los niveles de humina, siendo el de menor régimen hídrico (25%) aquel que presenta un mayor contenido de esta fracción a diferencia de los regímenes hídricos de 50 y 100% (Tabla 3).

Los resultados referentes a la fracción de humina en quinua no se ve afectada por el déficit hídrico que, sin embargo, disminuye en relación al suelo muestreado antes de la siembra (suelo testigo al inicio del proyecto). Campos et al. (2013) y Araújo et al. (2014) reportaron que el porcentaje de humina disminuye ante diferentes regímenes hídricos en relación al COT (Tabla 3). Lo manifestado coincide con diversos estudios, que mencionan que la quinua es un cultivo que tolera el déficit hídrico, sin embargo, dicho estrés influye en su fisiología y disminuye su rendimiento (García et al., 2014a; Gómez y Aguilar, 2016; Sarmiento y Marilia, 2017). Los niveles de COT corroboran lo mencionado ya que este no varía hasta un 25% del volumen de agua empleado, por ende, el efecto del déficit hídrico en humina podría darse en mayor período de análisis.

En el cultivo del maíz la fracción de humina es mayor en el suelo que tuvo menor volumen de riego, ello probablemente debido a la naturaleza hidrofóbica de esta fracción. Hayes et al. (2017) refiere que esta fracción no intervendría en la retención de agua y por el contrario podría ser responsable del comportamiento no humectante en el suelo las cuales son favorecidas por poca concentración de agua (25%). En ambos cultivos se observa una relación inversa ya que a una mayor dosis de riego la concentración de humina disminuye evidenciando que se tiene una mayor movilidad del carbono en el perfil del suelo (Campos et al., 2013). Además, se debe tener en consideración la época lluviosa (610mm promedio durante los 8 meses), pues este suelo, al tener menor concentración de humina; su interacción con la fracción mineral del suelo será cada vez menor (Navarro, 2017). Asimismo el mayor contenido de agua en el suelo impide un adecuado desarrollo de microorganismos, los cuales reducen la capacidad de síntesis de humina a diferencia de una dosis adecuada de riego (R. Lal, 2004; Cortés et al., 2007; Lipczynska-Kochany, 2018).

TABLA 3. Resultados de fraccionamiento químico (humina, ácido húmico y fúlvico) y granulométrico (COP, COAM, COT) en suelos cultivados con quinua y maíz sometidos a déficit hídrico.

Cultivo	Régimen hídrico	Humina (% C)	Ac. Húmico (% C)	Ac. Fúlvico (% C)	COAM (% C)	COP (% C)	COT (% C)
Quinua	100%	0.65 ±0.07 a	0.07 ±0.01 a	0.77 ±0.01 a	1.33 ±0.00 a	0.07 ±0.00 a	1.40 ±0.00 ab
	50%	0.66 ±0.04 a	0.02 ±0.00 b	0.47 ±0.02 b	1.43 ±0.07 a	0.00 ±0.00 b	1.45 ±0.05 a
	25%	0.83 ±0.04 a	0.05 ±0.01 ab	0.49 ±0.01 b	1.30 ±0.00 a	0.00 ±0.00 b	1.30 ±0.00 b
Testigo (S/C)		0.81 ±0.06	0.02 ±0.00	0.50 ±0.07	1.20 ±0.00	0.00 ±0.00	1.20 ±0.00
Maíz	100%	0.28 ±0.03 b	0.03 ±0.01 a	0.71 ±0.05 a	1.08 ±0.11 a	0.02 ±0.01 a	1.10 ±0.10 a
	50%	0.35 ±0.01 b	0.07 ±0.02 a	0.59 ±0.06 a	1.35 ±0.05 a	0.00 ±0.00 a	1.35 ±0.05 a
	25%	0.48 ±0.01 a	0.05 ±0.00 a	0.67 ±0.01 a	1.19 ±0.00 a	0.01 ±0.00 a	1.20 ±0.00 a

COT: Carbono orgánico total, COAM: Carbono orgánico asociado a los minerales (< 53 micras - μ m), COP: Carbono orgánico particulado (> 53 μ m). Testigo (S/C): suelo que no recibió riego extra ni cultivo alguno. Las medias que tienen misma letra (a, b) no difieren según el test de Duncan ($P < 0.05$).

La fracción de ácido húmico en cultivos de quinua evidencian diferencias significativas estando en un rango de 0,02 – 0,07; este último valor se obtuvo bajo un requerimiento hídrico adecuado (100% de CC) en comparación con 50 y 25% (p value = 0,038). Sin embargo, se observa también que no se presentan diferencias significativas entre el control (100%) y el régimen a 25%; demostrando la tolerancia al déficit hídrico en la quinua ya que, como menciona Mostafa y Farag (2020), el ácido húmico puede contrarrestar este déficit de humedad en el suelo. Sin embargo, el rendimiento productivo disminuye (Figura 1). Ante ello, Delfine et al. (2005) menciona que el ácido húmico podría no compensar el desequilibrio de la nutrición de la planta. La reducción de ácido húmico evidenciado a 50% a causa del déficit hídrico, podría ser debido a pérdidas de polisacáridos, grupos carbonilo y carboxilo los cuales a su vez reducen el carácter alifático y la aromaticidad de los ácidos húmicos (Hueso et al., 2012).

Las concentraciones de ácido húmico en maíz sugieren un incremento en relación a los valores observados en el suelo testigo, sin embargo, en relación con el control (100%) las diferencias no son significativas (p value > 0,05), no obstante, la producción de maíz se ve influenciado al estrés abiótico por déficit de agua (Figura 1). En relación a ello, Kaya et al. (2020) evidencia que suelos con estrés hídrico en cultivos de maíz, afectan la disponibilidad de agua en las hojas y el rendimiento productivo. Respecto a los ácidos húmicos, éstos se consideran como un marcador natural del proceso de humificación (Janampa et al., 2014), es decir a mayor concentración de ácido húmico, mayor fertilidad del suelo. En este estudio sin embargo, la concentración de ácido húmico es inferior con respecto a las demás sustancias húmicas; esto evidencia que el suelo evaluado posee baja

fertilidad, además que la calidad del suelo se ve afectado ante los cambios de sequía (Hueso et al., 2012). Según Kaya et al. (2020) en un estudio de déficit hídrico y su relación con el ácido húmico, evidenciaron que niveles adecuados de esta fracción en el suelo, puede contrarrestar efectos negativos del cultivo de maíz recomendando la aplicación de ácidos húmicos como enmienda en suelos con deficiencia hídrica.

En el ensayo de quinua la concentración de ácido fúlvico evidencia diferencias estadísticamente significativas ($p\ value = 0,002$), en el cual el régimen hídrico control (100%) es mayor a los suelos con déficit (50% y 25%). Pettit (2004) menciona que en condiciones óptimas (100% de CC), los ácidos fúlvicos son excelentes fertilizantes foliares debido al transporte de minerales que participan en el metabolismo de la planta; probablemente esta afirmación demuestra que en nuestros resultados, se logra una mayor capacidad nutritiva con un requerimiento hídrico adecuado (100%), además se verifica que en cultivos de quinua la variación de la concentración de ácido fúlvico es sensible ante el déficit hídrico (Huamani, 2015). Sin embargo, contrario a lo que menciona Benites et al. (2003) la capacidad de intercambio catiónico en este caso, no es significativamente diferente (Tabla 2).

Los ácidos fúlvicos en suelo con cultivo de maíz presentan valores entre 0,59 – 0,71 (%C) siendo estadísticamente iguales ($p\ value > 0,05$) entre los regímenes de riego establecido, estas sustancias al poseer menor peso y tamaño molecular tienen una alta movilidad en el suelo, por el cual, a mayor ácido fúlvico se tiene una mayor capacidad de transporte de cationes (Navarro, 2017), que sin embargo en este caso no es significativo (Tabla 2). En concordancia con los resultados, en este estudio se evidencia que en cultivos de maíz los requerimientos hídricos no tienen influencia significativa en la concentración de ácido fúlvico en períodos cortos de déficit hídrico con excepción del suelo testigo en el cual no se tuvo cultivo alguno.

En consecuencia, los resultados del fraccionamiento químico en maíz, evidencian que el cultivo tiene respuesta adecuada a una dosificación de agua inferior a la aplicada en la presente investigación, fortaleciendo que el suelo arcilloso tiene capacidad de retención de agua (Eyhérbide, s. f.). Sin embargo, el rendimiento a un volumen del 100% de CC es relativamente inferior que 50%, ello podría ser debido a la presencia de especies reactivas de oxígeno (ROS) ya que la concentración de este se limita ante el exceso de agua en el suelo (De la Cruz Jiménez et al., 2013); considerando el suelo franco arcilloso de la zona de estudio y una precipitación de 610 mm. Las ROS tienen relación directa con

la variación de la concentración de las sustancias húmicas y las transformaciones biológicas ocurridas en el suelo (Schiavon et al., 2010; Cordeiro et al., 2011; Lipczynska-Kochany, 2018). En cultivos de maíz, las sustancias húmicas en mayores concentraciones, producen un efecto estimulante en este cultivo, beneficiando la altura de la planta, contenido de clorofila, diámetro de tallo y biomasa aérea y radicular (Lazo et al., 2014), estos datos se vieron manifestados en el rendimiento de la producción de grano en toneladas por hectárea (Figura 1).

El efecto de los diferentes regímenes hídricos los cuales fueron sometidos en los cultivos de maíz y quinua, evidencian diferencias significativas en las concentraciones de las sustancias húmicas evaluadas, indicando que el suelo no posee una fertilidad elevada, además el estrés hídrico evidencia que el suelo de la EEA Santa Ana se vería afectado ante un aparente cambio climático ya que las sustancias húmicas, de acuerdo al nivel de estrés se ve influenciada significativamente en cultivos de quinua y en menor grado en los cultivos de maíz. Gavaldón y Albarracín, (s. f.) no encontraron diferencias significativas de las sustancias húmicas (ácidos húmico, fúlvico y humina) en suelos franco-arcillosos, en la cual el suelo evaluado tenía concentraciones de sustrato orgánico elevados y suelos muy fértiles, contrario a ello, la presente investigación evidencian variación en las sustancias húmicas probablemente debido a la poca fertilidad y pérdida de calidad. Por ello, al considerar que las sustancias húmicas tienen la capacidad de estimular el desarrollo de las plantas (Lazo et al., 2014; Fawy et al., 2017), éstas sustancias se ven influenciadas por la disponibilidad de agua en el suelo en cultivos andinos (Tabla 3). Actualmente, es evidente la alteración climática principalmente por variaciones en la precipitación, los resultados obtenidos en la presente investigación simulando los efectos de déficit de precipitación coinciden con lo mencionado por Lal (2004) quien menciona que estas alteraciones disminuyen la acumulación del carbono orgánico del suelo y estabilidad estructural, el cual logra aumentar la susceptibilidad del suelo afectando la productividad, rendimientos de cultivo y el medio ambiente.

b. Fraccionamiento granulométrico

Respecto al fraccionamiento granulométrico, la concentración de COAM en cultivos de quinua y maíz, no se observa diferencias estadísticas ($p \text{ value} > 0.05$) entre los distintos regímenes hídricos, demostrando así la tolerancia de quinua ante el déficit hídrico (Gómez y Aguilar, 2016). Respecto a la concentración de COAM en maíz, Studdert et al. (2015) concluye que la variación del carbono orgánico asociado a la fracción mineral puede

variar en períodos prolongados de sequía, probablemente debido a ello, en este caso no se evidencia diferencias significativas, sin embargo el rendimiento productivo en ambos cultivos si muestran variaciones.

En el cultivo de quinua, los valores de COP presentan diferencias significativas ($p\ value = 0,00$); se tiene mayor concentración de COP a 100% de requerimiento hídrico e inferiores a 50% y 25%; estos últimos estadísticamente son iguales. De acuerdo a lo evidenciado por Franzluebbbers y Arshad, (1997), la fracción de COP en suelos de textura fina, como el caso de suelos franco arcillosos, tiene una tasa de mineralización rápida. Además, esta fracción es utilizada como indicador de la salud del suelo en función a su manejo (Studdert et al., 2015), debido a que es de rápida descomposición y más activo (Franzluebbbers y Arshad, 1997). Esto sugiere que a una dosis adecuada de agua para el cultivo de la quinua (100% de CC) se tiene incremento de producción en comparación con las demás sometidas a estrés hídrico. En el cultivo de maíz no se evidencia diferencias significativas ($p\ value > 0,05$) en el cual el rango de COP muestra valores entre 0,004 – 0,02 con relación a los requerimientos hídricos sometidos y el suelo testigo, a pesar de haber un incremento con un requerimiento adecuado del 100%.

Estos resultados indican que se tiene mayor variabilidad de esta fracción en cultivos de quinua ya que se produce un incremento, distinto a ello en suelos con cultivos de maíz, en el cual se mantiene estadísticamente igual. San-Emeterio (2016), manifiesta que la fracción soluble incrementa generalmente en suelos con cubierta vegetal, nuestros resultados evidencian que en cultivos de quinua, se puede tener variación de la fracción de COP con el grado de humedad del suelo, el cual puede ser debido probablemente a la interacción de microorganismos del suelo con el requerimiento hídrico adecuado (Siebielec et al., 2020).

De acuerdo a lo mencionado por Lal (2018), la relación del clima con el secuestro de carbono se ve influenciada por el grado de humedad y temperatura del suelo. Teniendo en cuenta los resultados del fraccionamiento granulométrico en cultivos de quinua y maíz, se tiene que el COT en cultivos de quinua disminuye de manera significativa cuando se emplea un 25% de necesidad hídrica, las mayores concentraciones de COT se presenta en un régimen hídrico de 100% y 50% de agua requerida durante el periodo vegetativo de la quinua, es importante mencionar que el contenido de COT es cambiante principalmente en la capa más superficial del suelo (Studdert et al., 2015); probablemente atribuido al aporte de materia orgánica como residuos de plantas, malezas, yerbas, etc.

Los cambios manifestados a las distintos volúmenes de agua afectan las reservas de carbono orgánico del suelo así como sus propiedades; esto debido a que el carbono orgánico es un indicador de calidad y salud del suelo (Reeves, 1997; Bünemann et al., 2018), el cual evidencia que un eventual cambio climático puede afectar la composición del suelo, la producción agrícola y la contribución de gases de efecto invernadero al ambiente (Lal, 2004). Siendo el COT un atributo del carbono orgánico del suelo, los resultados evidencian que en cultivos de maíz, no se presentan diferencias significativas en COT, esto coincide con lo mencionado por Schlesinger y Andrews (2000) quienes mencionan que cambios con respecto a la respiración del suelo puede manifestar efectos momentáneos en la liberación de CO₂ en la atmósfera, al respecto Siebielec et al. (2020) evidenciaron que en condiciones de saturación la tasa de mineralización del carbono se incrementa afectando el rendimiento del grano. Por otro lado, a menores volúmenes de agua en el suelo empleado en esta investigación, no se evidencia diferencia significativa entre los requerimientos hídricos inferiores y la concentración de materia orgánica como se evidencia en la tabla 2, según lo evidenciado por Minasny y Mcbratney (2017), sustentan que el cambio climático provoca pérdida de carbono del suelo, afectando el rendimiento del cultivo (Figura 1).

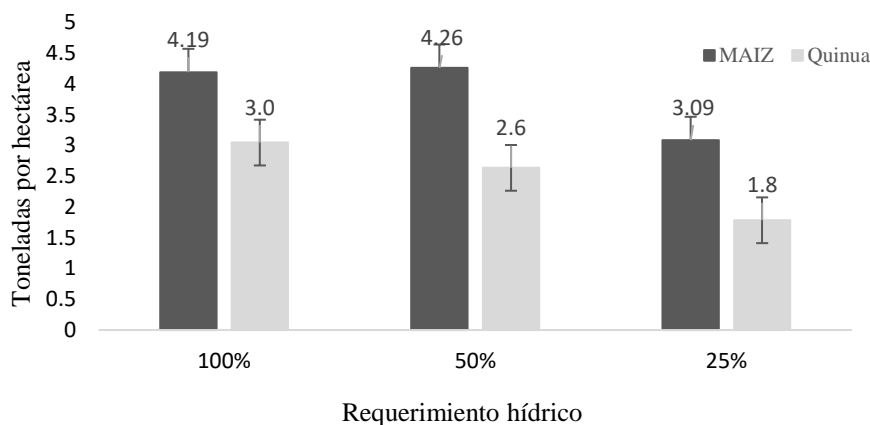


FIGURA 1. Rendimiento de grano de quinua y maíz (toneladas por hectárea) y su relación con los tratamientos hídricos sometidos; 100%: suelo control con dosis de agua normal; 50, 25%: suelos sometidos a déficit hídrico.

En relación al rendimiento final de los cultivos de quinua y maíz se puede evidenciar que en cultivos de quinua se obtiene mejor rendimiento a una dosis de riego del 100%, esto indica que el déficit de agua puede influenciar sustancialmente el rendimiento del cultivo

(Steduto et al., 2012b), esto también concuerda con lo mencionado por Gómez y Aguilar (2016) ya que la quinua es un cultivo que se desarrolla adecuadamente en suelos aireados, siendo susceptible al exceso de agua y al déficit significativo pues, este influye directamente en la productividad de la quinua (García et al., 2014b), verificando los resultados mostrados respecto del fraccionamiento granulométrico y químico en la tabla 3, se sustenta lo mencionado sobre la limitada tolerancia al déficit hídrico de cultivos de quinua y en menor grado del maíz (Badiane et al., 2012). En el cultivo de maíz se observa la misma tendencia ya que a mayor déficit, el rendimiento disminuye, los resultados corroboran lo mencionado por Giménez (2012), en donde al evaluar la producción de maíz con déficit hídrico concluyó que el estrés hídrico provoca la pérdida del rendimiento de grano. Así también, la aplicación correcta de la dosis de agua es importante tanto como la adición de fertilizantes y estiércol en el suelo, esto debido a que en suelos propensos a sequía la dosis correcta de agua puede mejorar la producción de biomasa, mejorando con ella la concentración de carbono orgánico del suelo (Lal, 2004; Giménez, 2012). En ambos cultivos sometidos al déficit hídrico, los resultados evidenciaron menor vigorosidad fisiológica (altura de planta, longitud de raíz, peso de biomasa, etc.) el cual se manifiesta con el déficit hídrico, estos resultados también fueron parte de la presente investigación, sin embargo los datos no son presentados en este documento debido a que es parte de una investigación fisiológica del mismo proyecto (PIP N° 306260). Lo encontrado coincide con Psarras y Merwin, (2000) quienes al realizar un estudio con déficit hídrico identificó los mismos resultados, demostrando que la respuesta de cultivos que toleran el estrés hídrico, como el caso de quinua, también es afectado en su producción por el déficit de agua.

4. Conclusión

Los suelos evaluados en la EEA – Santa Ana se ven influenciados en su calidad ya que sufren cambios significativos en las fracciones orgánicas de la materia orgánica a raíz de déficit hídrico en cultivos de quinua y maíz. Lo que pone de manifiesto el riesgo y la vulnerabilidad de sus propiedades químicas y capacidad productiva de este suelo ante un aparente cambio climático en la región central del Perú.

Los resultados obtenidos en un periodo corto de déficit hídrico denotan la susceptibilidad del suelo, por ello se requiere realizar investigaciones en un período más prolongado a fin

de evidenciar y modelar la influencia del cambio climático en las fracciones orgánicas y la calidad del suelo.

Agradecimientos

Al Estado peruano por el otorgamiento de una beca completa para realizar mis estudios en la Universidad Científica del Sur, a la EEA – Santa Ana por la utilización de sus instalaciones y equipos, al Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto PIP N° 306260 “Instalación del servicio de investigación tecnológica agraria especializada en cambio climático para el sector agrario”.

Referencias bibliográficas

- Agencia Europea del Medio Ambiente. (2015). El suelo y el cambio climático. 2015. <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/el-suelo-y-el-cambio-climatico>
- Angella, G., Frías, C., & Salgado, R. (2016). *Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta*. <https://www.researchgate.net/publication/322888562>.
- Araújo, L. G., Figueiredo, C. C. de, Borges, I. B., Ramos, M. L. G., Rocha, O. C., & Guerra, A. F. (2014). Organic matter fractions in soil under coffee with split applications of phosphorus and water regimes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(10), 1017-1022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1017-1022>
- Badiane, A., Ndour, Y., Guèye, F., Faye, S., Ndoye, I., & Masse, D. (2012). Effects of different inputs of organic matter on the response of plant production to a soil water stress in Sahelian region. *Natural Science*, 04, 969-975. <https://doi.org/10.4236/ns.2012.412125>
- Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J., & Robledo, C. (2008). Infostat: Manual del usuario. En *Córdoba: Editorial Brujas*.
- Bazán Tapia, R. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/504>
- Benites, V., Madari, B., & Machado, P. (2003). Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo. *Extração E Fracionamento Quantitativo De Substâncias Húmicas Do Solo: Um Procedimento Simplificado De Baixo Custo*.
- Blaya, S. N., & García, G. N. (2003). *Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Mundi-Prensa.
- Bongiorno, G., Bünemann, E. K., Oguejiolor, C. U., Meier, J., Gort, G., Comans, R., Mäder, P., Brussaard, L., & de Goede, R. (2019). Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecological Indicators*, 99, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.008>
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Cambardella, C. A., & Elliott, E. T. (1992). Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), 777-783. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>

- Campos, L. P., Leite, L. F. C., Maciel, G. A., Brasil, E. L., & Iwata, B. de F. (2013). Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(3), 304-312. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000300009>
- Caviglia, O., Wingeyer, A. B., & Novelli, L. (2016). *El rol de los suelos agrícolas frente al cambio climático*. INTA. <https://inta.gob.ar/documentos/el-rol-de-los-suelos-agricolas-frente-al-cambio-climatico>
- (CEPAL), C. E. para A. L. y el C. (2015). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/37310-la-economia-cambio-climatico-america-latina-caribe-paradojas-desafios-desarrollo>
- Cordeiro, F. C., Santa-Catarina, C., Silveira, V., & Souza, S. R. de. (2011). Humic Acid Effect on Catalase Activity and the Generation of Reactive Oxygen Species in Corn (*Zea mays*). *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 75(1), 70-74. <https://doi.org/10.1271/bbb.100553>
- Cortés, H. E., Ballesteros, M. I., & Zamudio, A. M. (2007). Optimization of a methodology for the humin extraction of an colombian oxisol. Fractionation and physicochemical characterization. *Revista Colombiana de Química*, 36(3), 335-348.
- Cotler, H. (2014). *Conservación de suelos y adaptación al cambio climático*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.
- Dascal, G. (2012). La vulnerabilidad de las tierras desertificadas frente a escenarios de cambio climático en América Latina y el Caribe. En *Documentos de Proyectos* (N.º 496; Documentos de Proyectos). Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://ideas.repec.org/p/ecr/col022/4001.html>
- De la Cruz Jiménez, J., Moreno, L., & Magnitskiy, S. (2013). Respuesta de las plantas a estrés por inundación. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6, 96-109. <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i1.1287>
- Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E., & Alvino, A. (2005). Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2005017>, 25. <https://doi.org/10.1051/agro:2005017>
- Eyhérabide, G. (s. f.). *Bases para el manejo del cultivo de maíz* (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).
- Fahramand, M., Moradi, H., Noori, M., Sobhkhizi, A., Adibian, M., Abdollahi, S., & Rigi, K. (2014). *Influence of humic acid on increase yield of plants and soil properties*. 339-341.
- Fawy, H., Attia, M., & Hegab, R. (2017). Effect of nitrogen fertilization and organic acids on grains productivity and biochemical contents of quinoa plant grown under soil conditions of ras sader-sinaï. *Egyptian Journal of Desert Research*, 67, 169-183. <https://doi.org/10.21608/ejdr.2017.5851>
- Franzluebbers, A., & Arshad, M. (1997). Particulate Organic Carbon Content and Potential Mineralization as Affected by Tillage and Texture. *Soil Science Society of America Journal - SSSAJ*, 61. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100050014x>
- Gaboury, S., Boucher, J.-F., Villeneuve, C., Lord, D., & Gagnon, R. (2009). Estimating the net carbon balance of boreal open woodland afforestation: A case-study in Québec's closed-crown boreal forest. *Forest Ecology and Management*, 257, 483-494. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.037>
- Galantini, J. A., & Suñer, L. (2008). Las fracciones orgánicas del suelo: Análisis en los suelos de la Argentina. *AgriScientia*, 25(1), 41-55. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v25.n1.2740>
- Galicia, L. (2014). El cambio de uso de suelo: Consecuencias en el ciclo hidrológico y la disponibilidad de agua. *AZ Revista de Educación y Cultura*, 82, 15-18.
- García Huatay, M. K., Guerrero Padilla, A. M., & Cabrera Carranza, C. F. (2019). Evapotranspiración y requerimientos de agua para la programación de riego de los cultivos *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) «caña de azúcar», *Zea mays* L. (Poaceae) «maíz» y *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) «espárrago» en el valle Chicama, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 793-814. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26218>
- García, M., Miranda, R., & Fajardo, H. (2014a). *Manual de manejo de la fertilidad de suelo bajo riego deficitario para el cultivo de la quinua en el altiplano boliviano.pdf*.

- García, M., Miranda, R., & Fajardo, H. (2014b). *Manual de manejo de la fertilidad de suelo bajo riego deficitario para el cultivo de la quinua en el altiplano boliviano.pdf*.
- Gavaldón, L., & Albarracin, M. (s. f.). Efecto de la aplicación foliar y al sustrato con productos a base de sustancias húmicas, en el cultivo de maíz dulce (*Zea mays* var. Sacharata), bajo ambiente protegido | Request PDF. *ResearchGate*. Recuperado 11 de agosto de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/48222281_Efecto_de_la_aplicacion_foliar_y_al_sustrato_con_productos_a_base_de_sustancias_humicas_en_el_cultivo_de_maiz_dulce_Zea_mays_var_sacharata_bajo_ambiente_protegido
- Giménez, L. (2012). Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas de desarrollo. *Agrociencia Uruguay*, 16(2), 92-102.
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua* (Segunda Edición). Universidad Nacional Agraria La Molina - Programa de Investigación y proyección Social de Cereales y Granos Nativos - Facultad de Agronomía.
- Hayes, M. H. B. (1998). HUMIC SUBSTANCES: PROGRESS TOWARDS MORE REALISTIC CONCEPTS OF STRUCTURES. En G. Davies & E. A. Ghabbour (Eds.), *Humic Substances* (pp. 1-27). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85573-806-5.50005-8>
- Hayes, M. H. B., Mylotte, R., & Swift, R. S. (2017). Chapter Two - Humin: Its Composition and Importance in Soil Organic Matter. En D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 143, pp. 47-138). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.01.001>
- Haynes, R. J. (2000). Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(2), 211-219. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00148-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00148-0)
- Huamani, G. E. A. (2015). *Efecto de la aplicación de cinco ácidos húmicos comerciales en dos variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en Magollo Tacna 2015*.
- Hueso, S., Brunetti, G., Senesi, N., Farrag, K., Hernández, T., & García, C. (2012). Semiarid soils submitted to severe drought stress: Influence on humic acid characteristics in organic-amended soils. *Journal of Soils and Sediments*, 12(4), 503-512. <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0482-4>
- IPCC. (2013). *Climate change 2013: The physical Science Basis*. (p. 222) [Summary for Policymakers.]. Intergovernmental Panel on climate change.
- Janampa, N., Quiñones, A., Suarez-Salas, L., & Chalco, Y. (2014). Variación De Sustancias Húmicas De Abonos Orgánicos En Cultivos De Papa y Maíz. *Ciencia del Suelo*, 32, 139-147.
- Jien, S.-H., Chen, T.-H., & Chiu, C.-Y. (2011). Effects of afforestation on soil organic matter characteristics under subtropical forests with low elevation. *Journal of Forest Research*, 16(4), 275-283. <https://doi.org/10.1007/s10310-010-0231-8>
- Kaya, C., Şenbayram, M., Akram, N. A., Ashraf, M., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). Sulfur-enriched leonardite and humic acid soil amendments enhance tolerance to drought and phosphorus deficiency stress in maize (*Zea mays* L.). *Scientific Reports*, 10(1), 6432. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62669-6>
- Kleber, M., & Johnson, M. G. (2010). Chapter 3 - Advances in Understanding the Molecular Structure of Soil Organic Matter: Implications for Interactions in the Environment. En D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 106, pp. 77-142). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)06003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)06003-7)
- Kumar, A. (2016, octubre 21). *Differences in the chemical parameters of soil in dry and wet samples and its significance?* ResearchGate. https://www.researchgate.net/post/Differences_in_the_chemical_parameters_of_soil_in_dry_and_wet_samples_and_its_significance
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>
- Lal, R. (2018, julio 11). *Carbono del suelo y cambio climático, conferencia Dr Lal 2018* [Conferencia]. <https://www.youtube.com/watch?v=PZprhwtISk>
- Lazo, J., Ascencio, J., Ugarte, & Yzaguirre, L. (2014). Efecto del humusbol (humato doble de potasio y fósforo) en el crecimiento del maíz en fase vegetativa. *Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado Venezuela*, 26, 143-152.

- Lipczynska-Kochany, E. (2018). Humic substances, their microbial interactions and effects on biological transformations of organic pollutants in water and soil: A review. *Chemosphere*, 202, 420-437. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.104>
- Lizcano Toledo, R., Olivera Viciado, D., Saavedra Mora, D., Machado Cuellar, L., Rolando Valencia, E., Moreno Pérez, M., & Fidel Flórez, M. (2017). *Muestreo de Suelos, Técnicas de Laboratorio e Interpretación de Análisis de Suelos*. https://www.researchgate.net/publication/323823646_Muestreo_de_Suelos_Tecnicas_de_Laboratorio_e_Interpretacion_de_Analisis_de_Suelos
- M. San-Emeterio, L. (2016). *Fraccionamiento de carbono orgánico y caracterización biológica de suelos en cultivos subtropicales bajo restos de poda*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14251.03361>
- Medina González, H., García Coronado, J., & Núñez Acosta, D. (2007). El método del hidrómetro: Base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3), 19-24.
- Minasny, B., & Mcbratney, A. (2017). Limited effect of organic matter on soil available water capacity: Limited effect of organic matter on soil water retention. *European Journal of Soil Science*, 69. <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>
- Mori, A. (2015). *Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd), mediante el riego por goteo* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1850/F06.M6755-%20T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mostafa, H., & Farag, A. (2020). Effects of irrigation systems and water stress with low water and soil quality on quinoa yield in arid conditions. *Misr Journal of Agricultural Engineering*. <https://doi.org/10.21608/mjae.2020.50455.1015>
- Navarro Vásquez, L. (2017). Influencia del sistema de manejo del suelo y el carbono orgánico de las fracciones húmicas sobre la estabilidad de agregados en la ciudad de Jaboticabal, Brasil. *Repositorio Institucional - UNAS*. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1249>
- Oñate Gil. (1975). *Métodos de análisis de suelos y aguas*. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1976-6778
- Pettit, R. (2004). *Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: Their importance in soil fertility and plant health*. 1-17.
- Pitois, A., Abrahamsen, L. G., Ivanov, P. I., & Bryan, N. D. (2008). Humic acid sorption onto a quartz sand surface: A kinetic study and insight into fractionation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 325(1), 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.05.031>
- Psarras, G., & Merwin, I. A. (2000). Water Stress Affects Rhizosphere Respiration Rates and Root Morphology of Young 'Mutsu' Apple Trees on M.9 and MM.111 Rootstocks. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(5), 588-595. <https://doi.org/10.21273/JASHS.125.5.588>
- Quintero, C., & Graciela, B. (2017). *Eficiencia de uso del Nitrógeno en Trigo y Maíz en la Región Pampeana Argentina*. https://www.researchgate.net/profile/Cesar-Quintero-4/publication/266357692_Eficiencia_de_uso_del_Nitrogeno_en_Trigo_y_Maiz_en_la_Region_Pampeana_Argentina/links/58e3c7c0458515b725b038bf/Eficiencia-de-uso-del-Nitrogeno-en-Trigo-y-Maiz-en-la-Region-Pampeana-Argentina.pdf
- Raij, B., Cantarella, H., Quaggio, J., & Cangiani, Á. (1997). *RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA O ESTADO DE SÃO PAULO. 2.a edicao*, 285.
- Reeves, D. W. (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 43(1), 131-167. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00038-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00038-X)
- Ritson, J. P., Graham, N. J. D., Templeton, M. R., Clark, J. M., Gough, R., & Freeman, C. (2014). The impact of climate change on the treatability of dissolved organic matter (DOM) in upland water supplies: A UK perspective. *Science of The Total Environment*, 473-474, 714-730. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.095>
- Sarmiento, C., & Marilia, E. (2017). Efecto de cinco niveles de ácido húmico en el rencimiento de grano de quinua (chenopodium quinoa willd), variedad salcedo inia Cerro Blanco-Calana, Tacna – 2015.

- Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3094>
- Schiavon, M., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vaccaro, S., Francioso, O., & Nardi, S. (2010). High Molecular Size Humic Substances Enhance Phenylpropanoid Metabolism in Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Chemical Ecology*, 36(6), 662-669. <https://doi.org/10.1007/s10886-010-9790-6>
- Schlesinger, W. H., & Andrews, J. A. (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, 48(1), 7-20. <https://doi.org/10.1023/A:1006247623877>
- Senamhi - Perú. (2020). *Mapa Climático del Perú*. Clima/Mapa Climático del Perú. <https://senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Siebielec, S., Siebielec, G., Klimkowicz-Pawlas, A., Gałązka, A., Grządziel, J., & Stuczyński, T. (2020). Impact of Water Stress on Microbial Community and Activity in Sandy and Loamy Soils. *Agronomy*, 10(9), 1429. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091429>
- Song, F., Han, X., Zhu, X., & Herbert, S. J. (2012). Response to water stress of soil enzymes and root exudates from drought and non-drought tolerant corn hybrids at different growth stages. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(3), 501-507. <https://doi.org/10.4141/CJSS2010-057>
- Steduto, P., C. Hsiao, T., Fereres, E., Raes, D., & Land and Water Division. (2012a). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. FAO. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/e1976ecb-fb63-4ba1-b533-261bab1fde40/>
- Steduto, P., C. Hsiao, T., Fereres, E., Raes, D., & Land and Water Division. (2012b). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. FAO. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/e1976ecb-fb63-4ba1-b533-261bab1fde40/>
- Studdert, G., Dominguez, G., Zagame, M. C., & Carabaca, J. C. (2015). *Seasonal variation of particulate organic carbon and anaerobic nitrogen*. 33, 65-77.
- Sustainable agriculture and soil conservation «SOCO». (2009). *Organic matter decline*. European Comission. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/SOCO/FactSheets/ENFactSheet-03.pdf>
- Swift, R. S. (1996). Organic Matter Characterization. En *Methods of Soil Analysis* (pp. 1011-1069). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c35>
- Tan, Z., Lal, R., Owens, L., & Izaurralde, R. C. (2007). Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil and Tillage Research*, 92(1), 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.003>
- Veobides, H., Guridi, F., & Vázquez, V. (2018). *Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental*. 39, 102-109.
- Yeomans, J. C., & Bremner, J. M. (1988). A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19(13), 1467-1476. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>
- Zhang, Q., Shao, M., Jia, X., & Wei, X. (2019). Changes in soil physical and chemical properties after short drought stress in semi-humid forests. *Geoderma*, 338, 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.11.051>

Figuras y tablas

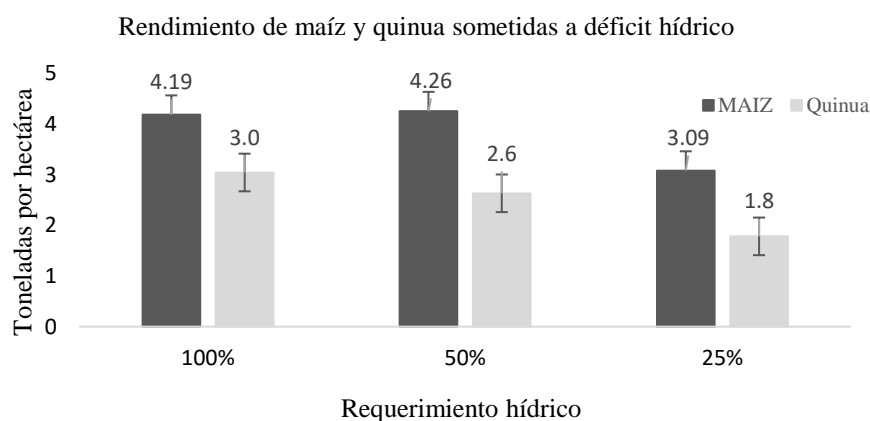


FIGURA 1. Rendimiento de grano de quinua y maíz (toneladas por hectárea) y su relación con los tratamientos hídricos sometidos; 100%: suelo control con dosis de agua normal; 50, 25%: suelos sometidos a déficit hídrico.

TABLA 3. Resultados de fraccionamiento químico y granulométrico en suelos de quinua y maíz sometidos a déficit hídrico.

Cultivo	Régimen hídrico	Humina	Ac. Húmico	Ac. Fúlvico	COAM	COP	COT
Quinoa	100%	0.65 ±0.07 a	0.07 ±0.01 a	0.77 ±0.01 a	1.33 ±0.00 a	0.07 ±0.00 a	1.40 ±0.00 ab
	50%	0.66 ±0.04 a	0.02 ±0.00 b	0.47 ±0.02 b	1.43 ±0.07 a	0.00 ±0.00 b	1.45 ±0.05 a
	25%	0.83 ±0.04 a	0.05 ±0.01 ab	0.49 ±0.01 b	1.30 ±0.00 a	0.00 ±0.00 b	1.30 ±0.00 b
Blanco		0.81 ±0.06	0.02 ±0.00	0.50 ±0.07	1.20 ±0.00	0.00 ±0.00	1.20 ±0.00
Maíz	100%	0.28 ±0.03 b	0.03 ±0.01 a	0.71 ±0.05 a	1.08 ±0.11 a	0.02 ±0.01 a	1.10 ±0.10 a
	50%	0.35 ±0.01 b	0.07 ±0.02 a	0.59 ±0.06 a	1.35 ±0.05 a	0.00 ±0.00 a	1.35 ±0.05 a
	25%	0.48 ±0.01 a	0.05 ±0.00 a	0.67 ±0.01 a	1.19 ±0.00 a	0.01 ±0.00 a	1.20 ±0.00 a

COT: Carbono orgánico total, COAM: Carbono orgánico asociado a los minerales (< 53 micras - um), COP: Carbono orgánico particulado (> 53um). Testigo (S/C): suelo que no recibió riego extra ni cultivo alguno. Las medias que tienen misma letra (a, b) no difieren según el test de Duncan (P < 0.05).

ANEXOS

Evidencia del envío a revista científica

[DMA] Agradecimento pela submissão

Copia de documento de aprobación de comité de ética (DGIDI)

**COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN
INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y
BIODIVERSIDAD**



Constancia N° 50-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2019

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro: **057-2019-PRE11**
 Título: **Calidad del suelo y fracciones orgánicas de la materia orgánica influenciados bajo un escenario de cambio climático en cultivos de maíz y quinua**
 Investigador(a): **Marco Antonio Medina Solano**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 22 de octubre del 2020**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 23 de abril de 2019


 Méd. Vet. Gianmarco Paolo Rojas Morena
 Presidente
 Comité Institucional de Ética en Investigación
 con Animales y Biodiversidad



T. / (51) 610 6400
 opción 3
www.cientifica.edu.pe

Campus
 Panamericano Sur
 km 19 - Lima 42

Copia de resolución de aprobación del proyecto de tesis (Carrera)



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°103-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 28 de junio de 2019

VISTO:

El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Calidad del suelo y fracciones orgánicas de la materia orgánica influenciados bajo un escenario de cambio climático en cultivos de maíz y quinua**, presentado por:

- **Marco Antonio Medina Solano**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Calidad del suelo y fracciones orgánicas de la materia orgánica influenciados bajo un escenario de cambio climático en cultivos de maíz y quinua** con N° de registro: **057-2019-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Dr. José Eloy Cuellar Bautista** como asesor para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
 Director Académico de Carrera
 Ingeniería Ambiental

Resolución de Co – asesoría



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 206-2021-DACIA-DAFCA-U.CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 10 de septiembre del 2021

VISTO:

La Resolución Directoral Académica de Carrera N°103-2019-CIEI-AB-CIENTIFICA de aprobación del proyecto de tesis titulado: **Calidad del suelo y fracciones orgánicas de la materia orgánica influenciados bajo un escenario de cambio climático en cultivos de maíz y quinua**, con N° de registro: **057-2019-PRE11**, presentado por:

- Marco Antonio Medina Solano

asesorado por:

- José Eloy Cuellar Bautista

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Nombrar al docente/colaborador **Llermé Navarro Vasquez** como Co-asesor para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental

Instrumentos usados en la investigación y demás información de utilidad

Registro fotográfico



Figura 1: Preparación, delimitación e inicio de siembra de quinua y maíz.



Figura 2: Instalación del sistema de riego por goteo en los surcos preparados para siembra.



Figura 3: Verificación de siembra y porcentaje de germinación.



Figura 4: Desarrollo de cultivos de quinua y maíz.



Figura 5: Desarrollo de quinua y aplicación de dosis de riego.



Figura 6: Inicio de muestreo de suelos en la EEA – Santa Ana.



Figura 7: Muestras de suelo recolectadas de la siembra de quinua y maíz.



Figura 8: Inicio de pesaje para la determinación de fracciones físico-químicas de acuerdo a la metodología mencionada



Figura 9: Suelo de 4g más 40ml de NaOH a centrifuga por 20 minutos y 5000rpm para fracción de HUM, AH y AF



Figura 10: Adición de 15ml de NaOH para separación de fracciones de AF y AH. (Metodología de la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas).



Figura 11: Adición de Hexametáfosfato de sodio (60ml) para agitación por 15h a 150 rpm (Fraccionamiento físico según Cambardella & Elliot 1992)

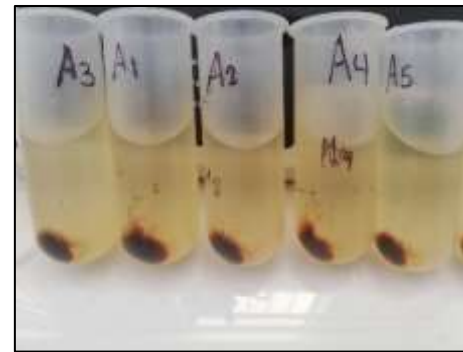


Figura 12: Fracción de HUM (precipitado) y AF más AH (líquido) previo a la separación.



Figura 13: Tamiz de 53 μ m para separación de COP del COAM.