



Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo



RESEARCH ARTICLE

Cover crops associated with quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in the Peruvian Altiplano: Erosion reduction, improved soil health and agricultural yield

Cultivos de cobertura asociados a quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el Altiplano peruano: Reducción de la erosión, mejora de la salud del suelo y rendimiento agrícola

Selima Salcedo-Mayta¹ ; Jorge Canihua-Rojas¹ ; Tomás Samaniego-Vivanco¹ 
Juancarlos Cruz-Luis² ; Wendy Pérez-Porras¹ ; Roberto Cosme-De La Cruz^{3,*} 

¹ Laboratorio Nacional de Suelos, Aguas y Foliars (LABSAF) del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Av. La Molina 1981, Lima 15024. Perú.

² Dirección de Supervisión y Monitoreo en las Estaciones Experimentales Agrarias del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Av. La Molina 1981, Lima 15024. Perú.

³ Programa Presupuestal 0089 "Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios" del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Av. La Molina 1981, Lima 15024. Perú.

* Corresponding author: rcosme@inia.gob.pe (R. Cosme-De La Cruz).

Received: 15 April 2022. Accepted: 6 September 2022. Published: 21 September 2022.

Abstract

The Peruvian Altiplano presents increasing fertility losses, being susceptible to natural erosion. For many years, conventional agricultural management has generated losses of the topsoil and deterioration of soil properties, impacting in crop yields and deepening the degradation of this vulnerable ecosystem. The aim of this research was to determine the benefits of cover crops against erosion, soil health and quinoa yield. The trial was carried out in Huancarani and Cahualla towns, Mañazo district, Puno; with a randomized complete block design (RCBD) with four treatments: without cover and with clover (*Medicago hispida* G.), vetch (*Vicia villosa*) and mulch covers. We evaluated the physical, chemical, and biological characteristics of soil, the biomass of the cover crops and the quinoa yield. The results showed that the treatments with clover, mulch and vetch covers reduced soil erosion by 59.61%, 51.87% and 49.50%, respectively. Likewise, the use of clover and vetch covers increased organic carbon (29.71% and 31.16%), nitrogen (36.94% and 48.65%), and available phosphorus with clover cover (26.11%). Finally, clover cover associated with quinoa increased the yield of quinoa grain by 17% and reduced soil erosion significantly. These results show that cover crops have great potential for restoring soil health and improving yield.

Keywords: erosion; soil organic carbon; cover crops; quinoa; soil fertility.

Resumen

El Altiplano peruano presenta pérdidas crecientes de fertilidad, siendo a su vez susceptible a una erosión natural. Durante muchos años, un manejo agrícola convencional ha generado pérdidas de la capa superficial del suelo y deterioro de sus propiedades, teniendo gran impacto en el rendimiento de los cultivos y profundizando la degradación de este ecosistema vulnerable. El propósito de esta investigación fue evaluar el uso de cultivos de cobertura frente a la erosión, salud del suelo y rendimiento del cultivo de quinua. El ensayo se realizó en las localidades Huancarani y Cahualla, distrito Mañazo, provincia y región Puno. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos: sin cobertura y con coberturas de trébol (*Medicago hispida* G.), vicia (*Vicia villosa*) y *mulch*. Los resultados mostraron que la quinua asociada con coberturas de trébol, *mulch* y vicia redujeron la erosión del suelo en 59,61%, 51,87% y 49,50%, respectivamente. Asimismo, el uso de coberturas de trébol y vicia aumentó el carbono orgánico (+29,71% y 31,16%) y nitrógeno (+36,94% y 48,65%), y con el trébol, el fósforo disponible (+26,11%). Finalmente, la cobertura de trébol aumentó en 17% el rendimiento de la quinua en grano y redujo significativamente la erosión del suelo. Estos resultados muestran que los cultivos de cobertura presentan gran potencial para el restablecimiento de la salud del suelo y mejora en el rendimiento.

Palabras clave: erosión; carbono orgánico del suelo; cultivos de cobertura; quinua; fertilidad de suelos.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.024>

Cite this article:

Salcedo-Mayta, S., Canihua-Rojas, J., Samaniego-Vivanco, T., Cruz-Luis, J., Pérez-Porras, W., & Cosme-De La Cruz, R. (2022). Cultivos de cobertura asociados a quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el Altiplano peruano: Reducción de la erosión, mejora de la salud del suelo y rendimiento agrícola. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 265-274.

1. Introducción

La erosión del suelo es un proceso natural de deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas; sin embargo, puede ser intensificado debido a un mal manejo, la alta intensificación productiva y el cambio climático (Borrelli et al., 2017; Feng et al., 2019; Pennock, 2019; Qiu et al., 2021). Es así como ha impactado más del 84% de la superficie terrestre, generando más de la tercera parte de la degradación de los suelos del mundo (Borrelli et al., 2017), y cobrando importancia debido al efecto directo sobre el medio ambiente y la producción de alimentos (Lal, 2015). En este sentido, Guo et al. (2021) señalaron que la productividad del suelo disminuye, entre 9% – 22% dependiendo del cultivo, cuando se pierde 20 cm de *top soil*, y otros autores estiman que la erosión del suelo podría ocasionar una disminución de hasta 50% el rendimiento (Eswaran et al., 2019). Los procesos de erosión incluyen el desprendimiento, transporte y depósito de partículas del suelo (Suárez, 2001); eliminando la capa superior, que posee la mayor cantidad de materia orgánica, afectando la actividad microbiana y los ciclos de nutrientes. Además, la exposición al impacto de las gotas de lluvia reduciría la permeabilidad del suelo y generaría sellos que reducen la infiltración y la densidad aparente, intensificando la escorrentía. Así también, este fenómeno es mayor cuando el suelo carece de cobertura vegetal (Indoria et al., 2020; Lima et al., 2018; Qiu et al., 2021; Vaezi et al., 2017). Rolando et al. (2017), comunicaron una correlación entre pendiente, cobertura vegetal y fracciones de carbono del suelo, en referencia a la importancia de la erosión en la degradación del suelo.

Por otra parte, la agricultura de conservación puede aumentar los retornos económicos, los rendimientos, reducir el potencial de erosión y mejorar la adaptación al cambio climático (Delgado et al., 2021). La práctica de implementación de cultivos de cobertura permite interceptar las gotas de lluvia, protegiendo el suelo; y también, reduciendo pérdidas por evaporación, lo que resulta en menos estrés durante los períodos cortos de sequía, además del control de malezas y, en consecuencia, reducción del uso de herbicidas (Durán & Rodríguez, 2008; Haruna et al., 2018; Lemessa & Wakjira, 2015; Qi et al., 2011; Mennan et al., 2020). Cuando se utiliza junto a sistemas tradicionales, se mejora la calidad del suelo, la eficiencia de fijación toma de nutrientes y transferencia a las capas superficiales, algunos ejemplos son la fijación biológica de N y provisión de fósforo disponible (Chieza et al., 2013; Isaac & Borden, 2019; Maetens et al., 2012; Rieger et al., 2016). Este aporte de nutrientes está en función de la especie de cobertura, el clima y su aporte de biomasa al suelo (Hansen et al., 2021); coberturas del tipo abono verde pueden incrementar el carbono (Amelung et al. 2020); y proporcionar condiciones ambientales favorables para los microorganismos del suelo, claves en la degradación de la materia orgánica y la dinámica de los nutrientes, actuando como sumideros (inmovilización) y fuentes (mineralización) de nutrientes vegetales (Kim et al., 2020).

Los cultivos de cobertura pueden contribuir a aumentar los rendimientos y beneficios económicos en las zonas altoandinas (Barrera et al., 2019). En Perú, la mayoría de los estudios refieren el uso de leguminosas tropicales, evaluaciones de extracción de nutrientes, porcentaje de cobertura y biomasa generada (Hall et al., 2010; Puertas et al.,

2008; Solis et al., 2019). Sin embargo, en cultivos como el maíz de zonas altoandinas, se han observado incrementos de hasta un 44% del rendimiento (Sanabria-Quispe et al. 2021). A pesar de ello, la gran variabilidad de ecosistemas altoandinos y la especificidad de las prácticas de manejo (Amelung et al., 2020), hace imprescindible evaluar variados cultivos de cobertura bajo diferentes condiciones edafoclimáticas y ecológicas.

El objetivo de esta investigación fue evaluar trébol andino (*Medicago hispida* G.), vicia (*Vicia villosa*) y rastrojo como cobertura muerta (*mulch*), en asociación con quinua como cultivo principal, en la reducción de la erosión del suelo y mejora de diversas propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos en el Altiplano peruano.

2. Materiales y métodos

2.1. Zona de estudio

La investigación se realizó en la campaña agrícola 2019 - 2020, en las localidades Cahualla (15° 49' 09" S, 70° 20' 41" W, 3953 m.s.n.m.) y Huancarani (15° 45' 51,77" S, 70° 20' 41,93" W, 3907 m.s.n.m) del distrito Mañazo, provincia y región Puno (Figura 1). Presenta una fisiografía ligeramente inclinada (0% - 4%), temperatura media anual de 9 °C y precipitación de 600 mm por año. Durante el período de evaluación se presentó una precipitación media de 91,63 mm, humedad relativa media de 72,39% y temperatura media de 10,29 °C (SENAMHI, 2021).

Material vegetal

Se empleó la especie de quinua variedad INIA - 420 "Negra collana", de la Estación Experimental Agraria (EEA) Illpa-Puno del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

Características fisicoquímicas del suelo

Antes de la instalación, los parámetros fisicoquímicos del suelo de ambas localidades fueron analizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Foliar (LABSAF - EEA Illpa). Los resultados se presentan en la Tabla 1.

2.2. Tratamientos en estudio

Se utilizó un diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 4 tratamientos (a. Quinua sin cobertura (testigo), b. Quinua con cobertura de trébol, c. Quinua con cobertura de vicia y d. Quinua con *mulch*) y 4 repeticiones por tratamiento, en parcelas experimentales de 32 m², 5 surcos de 8 m de largo y una separación entre surcos de 0,8 m. La densidad de siembra fue de 450 kg ha⁻¹ de fruto de trébol (cápsulas); 50 kg ha⁻¹ de semilla de vicia y para el *mulch*, residuos de cosecha hasta una capa de 2 cm de espesor. La siembra de semillas fue al voleo.

2.3. Variables Evaluadas

Las variables se agruparon en físicas: humedad gravimétrica (SEMARNAT, 2002), CIC (relación con estructura) (SEMARNAT, 2002), densidad aparente (Campbell & Henshall, 1991) y erosión de suelo (Vázquez & Tapia, 2011); relativas a la fertilidad: pH (USEPA, 2004), conductividad eléctrica (ISO, 1994), nitrógeno (SEMARNAT, 2002), fósforo disponible (SEMARNAT, 2002) y potasio disponible (Bazán, 2017); biológicas: carbono orgánico (SEMARNAT, 2002) y población de bacterias totales (Sylvia et al., 2005); y agronómicas: biomasa seca de las coberturas y rendimiento de quinua.

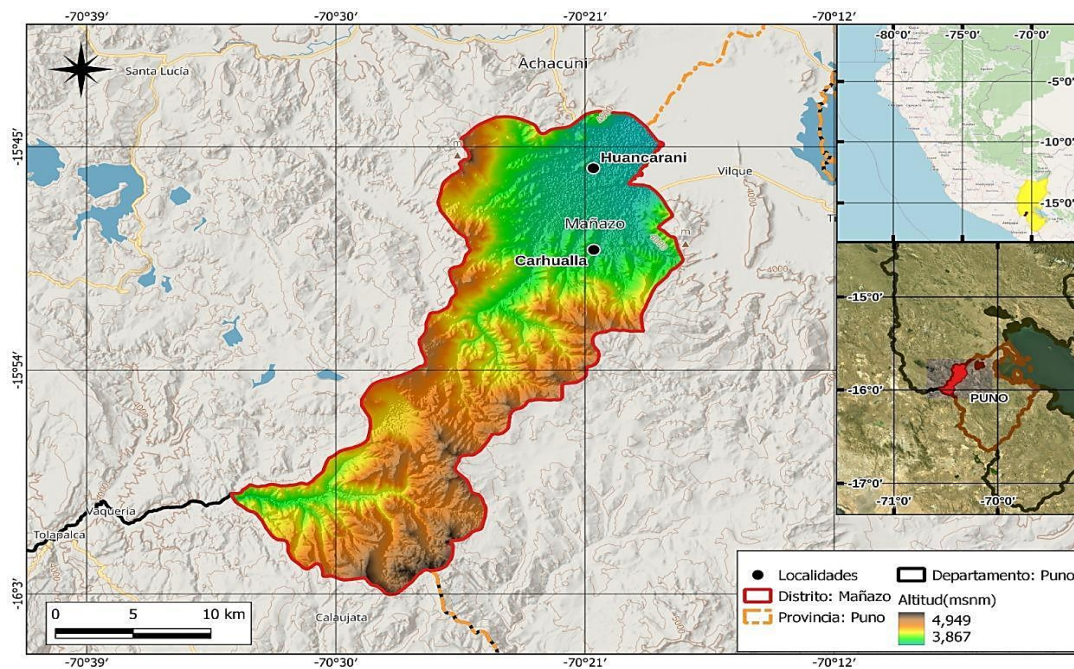


Figura 1. Mapa de la zona de estudio.

Tabla 1

Análisis de caracterización fisicoquímica de suelos de cada localidad

Características	Unidad	Localidades	
		Cahualla	Huancarani
Clase textural	--	Fr.L	Fr.L
pH (1:2.5) _{H2O}	--	6,65	6,28
C.E. _(1:2.5)	dS m ⁻¹	0,052	0,258
Carbono orgánico	%	1,41	1,46
Nitrógeno	%	0,1	0,1
Fósforo disponible	mg kg ⁻¹	10,4	5,6
Potasio disponible	mg kg ⁻¹	260,00	120,22
CIC	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	10,0	20,0
Ca	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	5,60	13,20
Mg	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	3,00	6,80
K	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	0,30	0,34
Na	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	0,39	0,34
Suma de cationes	cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	9,29	20,68
Sat. Bases	%	100	100

La implementación de las coberturas se realizó en el primer aporque (60 días después de la siembra). La erosión del suelo se evaluó mediante el método de varillas de erosión (Vázquez & Tapia, 2011), instaladas después del aporque y evaluadas a los 180 días después de la siembra (dds). El análisis de humedad se realizó a los 90 dds, colectando hasta los 10 cm de suelo. La densidad aparente se evaluó a los 180 dds mediante el método del cilindro (Agostini et al., 2014) en los primeros 15 cm de suelo. El muestreo para los análisis fisicoquímicos y de población microbiana se realizaron a los 180 dds hasta los primeros 15 cm de suelo. La biomasa foliar de los cultivos de cobertura se evaluó a los 120 dds tomándose con un cuadrante de 0,50 m². Para cálculo del rendimiento se realizó corte, arqueado, secado, trillado y pesado por tratamiento.

Análisis estadístico

Se realizó un ANOVA para la comparación de medias, y la prueba de Tukey para la comparación múltiple, ambas con un nivel de significancia del 5%, para lo cual se utilizó el software estadístico R (R Core Team, 2021).

3. Resultados y discusión

3.1. Variables físicas

Las coberturas aumentaron significativamente la humedad del suelo respecto al testigo, sin embargo, este aumento es pequeño según lo observado en Cahualla, donde no se presentaron diferencias entre el testigo y las coberturas (Figura 1). Gabriel et al. (2019) observaron una mayor retención de humedad, debido a un desarrollo equilibrado de macro y microporos por la mejora en la estructura del suelo, sumada a una reducción por evaporación, al cubrir el suelo de eventos climáticos. El suelo en Huancarani fue significativamente más húmedo que Cahualla; sin embargo, es necesario considerar que, a una temperatura baja, de forma natural el suelo no pierde humedad fácilmente.

Respecto a la CIC, fue mayor en el tratamiento con vicia y estadísticamente más alta que el tratamiento testigo (+65,20%) (Figura 1). Si bien los tratamientos con *mulch* y trébol presentaron valores superiores al testigo, no fueron significativos. Comparando las localidades, el suelo de Huancarani tuvo mayor CIC que Cahualla, aunque, con mayor variabilidad (34,9 ± 12,29 y 11,41 ± 2,20, respectivamente). La CIC es generadora de estructura en el suelo y puede dar indicios del tipo de minerales que lo conforman (Saidian et al., 2016), lo que explicaría la gran diferencia entre las localidades a pesar de presentar la misma clase textural (Tabla 1). Asimismo, está influenciada por la materia orgánica, por tanto, las coberturas vegetales tienen un impacto directo en esta variable.

En cuanto a la densidad aparente, no se encontraron diferencias significativas, sin embargo, en tres años de estudio **Chalise et al. (2019)**, observaron una reducción en la densidad aparente con la incorporación de residuos y el uso de cultivos de cobertura. El suelo en Cahualla presentó mayor densidad aparente que Huancarani, la diferencia entre ambas pudo deberse, como se observó en el análisis de la CIC (**Figura 2**), a la estructura del suelo y composición mineralógica diferenciada.

La pérdida de suelo por erosión (**Figura 2**) osciló en un rango promedio de 142,78 a 353,53 kg ha⁻¹año⁻¹. El análisis estadístico mostró que todos los tratamientos redujeron significativamente la pérdida de suelo respecto al testigo (353,53±22,31). La cobertura con trébol la disminuyó en mayor medida, seguida del *mulch* y la vicia, reduciendo la pérdida en 59,61%, 51,87% y 49,50%, respectivamente. Si bien el periodo de evaluación de esta variable fue 180 días, la pérdida de suelo se considera mínima.

En ambas localidades, las coberturas utilizadas reducían significativamente la pérdida de suelo, sin embargo, los resultados mostraron que en el suelo de Cahualla se produjo significativamente mayor pérdida que en Huancarani y no se hallaron diferencias entre coberturas.

Variables de fertilidad del suelo

El análisis estadístico demostró que los tratamientos no produjeron cambios significativos de pH, los valores estuvieron en el rango de 6,43 a 6,57. Aunque, el suelo de Huancarani tiene un pH significativamente más ácido que el de Cahualla, categorizándose como ligeramente ácido y neutro, respectivamente.

Por otro lado, los valores de conductividad eléctrica estuvieron entre el rango de 0,133 a 0,209 dS.m⁻¹ siendo valores considerados bajos, y por ende de suelos no salinos. Los tratamientos no produjeron cambios significativos en la conductividad eléctrica, dada la alta variabilidad de los datos. Sin embargo, Huancarani tiene valores significativamente más altos que Cahualla. **Sharma et al. (2018)** refieren un comportamiento similar de pH y conductividad eléctrica, no obteniendo diferencias significativas por el uso de cobertura en los primeros centímetros del perfil de suelo, esto en un estudio realizado por dos años.

Referente al nitrógeno, los resultados se encontraron en el rango de 0,111% y 0,165%. Los tratamientos con vicia y trébol fueron estadísticamente diferentes a los de *mulch* y el Testigo, aumentando el contenido respecto al Testigo en 48,65% y 36,94%, respectivamente. En este caso, no se obtuvieron diferencias significativas de N entre las localidades. Autores como **Shelton et al. (2018)** estudiaron las leguminosas como coberturas y su impacto en el ciclo del nitrógeno, encontrando una mayor pérdida inicial de este nutriente la cual se compensa con una mayor liberación, pero de forma lenta para los cultivos subsecuentes.

En fósforo disponible, se obtuvieron valores promedio entre 8,69 y 11,76 mg kg⁻¹, (contenido medio). Se determinó que el tratamiento con trébol tuvo cantidades de fósforo disponible significativamente más altas que el tratamiento testigo (26,11% más altos); además, la vicia y el *mulch* mostraron valores superiores al testigo, pero no significativos (**Figura 3**). La localidad de Cahualla presentó un mayor contenido de fósforo disponible que Huancarani.

Para potasio disponible, la alta variabilidad de datos no produjo resultados significativos obteniéndose valores promedio entre 211,50 y 226,14 mg kg⁻¹ (contenido alto). Al comparar localidades, los suelos de Cahualla tuvieron significativamente más contenido de potasio disponible que Huancarani. Las coberturas no mostraron tener una acción directa en la disponibilidad del potasio, a pesar de estimular la actividad de los microorganismos del suelo, entre ellos especies solubilizadoras de potasio que aumentarían su disponibilidad para las plantas (**Etesami et al., 2017**).

3.2. Variables biológicas

La actividad biológica está estrechamente relacionada con el carbono orgánico del suelo, dado que las comunidades microbianas intervienen en la descomposición, almacenamiento y mineralización de compuestos orgánicos (**Trivedi et al., 2018**). Con respecto al carbono orgánico, los resultados se encontraron entre 1,38% y 1,81%. Los tratamientos con vicia y trébol fueron estadísticamente diferentes, con un 31,16% y 29,71% más que el Testigo, respectivamente; sin embargo, no hubo diferencia estadística entre las dos localidades.

En lo que respecta a la población bacteriana, a fin de disminuir la influencia de valores atípicos (**Quinn & Keough, 2002**), los valores de unidades formadoras de colonias (UFC) fueron transformados usando el log₁₀, obteniendo resultados entre 6,10 y 6,46. El tratamiento con vicia reportó poblaciones significativamente más altas a los tratamientos de *mulch* y Testigo, el tratamiento con trébol obtuvo poblaciones más altas, aunque no de manera significativa.

La localidad Cahualla obtuvo una significativa mayor población que Huancarani. **Kim et al. (2020)** realizaron un metaanálisis y señalaron un aumento tanto en la abundancia y actividad, y en menor medida, de diversidad en las poblaciones microbianas con el uso de coberturas. Los tratamientos que obtuvieron las mayores poblaciones bacterianas coincidieron con los de significativa mayor cantidad de carbono orgánico, esta relación es explicada por **Babur & Dindaroglu (2020)** y **Kallenbach et al. (2016)**, resaltando la gran influencia de los microorganismos del suelo en el ciclo del carbono (**Figura 4**).

3.3. Variables agronómicas

La biomasa nos permite evaluar el comportamiento de los cultivos de cobertura en las condiciones propuestas, a medida que las coberturas se desarrollan bien, cumplen de mejor manera su función de protección del suelo y aporte de nutrientes, que en última instancia se traducirá en un mejor rendimiento del cultivo principal. Los resultados promedio de biomasa generada por las coberturas son 15375 y 11775 kg ha⁻¹ para el trébol y vicia, respectivamente, siendo la del trébol significativamente mayor. Cahualla fue la que produjo significativamente más biomasa que Huancarani.

En cuanto al rendimiento de quinua, los resultados se encuentran entre el rango de 1722,67 a 2015,64 kg ha⁻¹, donde el análisis estadístico determinó que el tratamiento con trébol fue superior a los demás, con un 17% más que el testigo. El tratamiento con *mulch* fue el segundo con mejor rendimiento, aunque apenas superior al de vicia, teniendo en comparación con el testigo, 16,66% y 9,30% adicional, respectivamente. El Testigo obtuvo rendimientos significativamente más bajos. Por otra parte, no hubo diferencia estadística entre las dos localidades. Adicional-

mente, recomendamos que estudios futuros consideren un mayor tiempo de evaluación, a fin de determinar la influencia de las coberturas en campañas sucesivas.

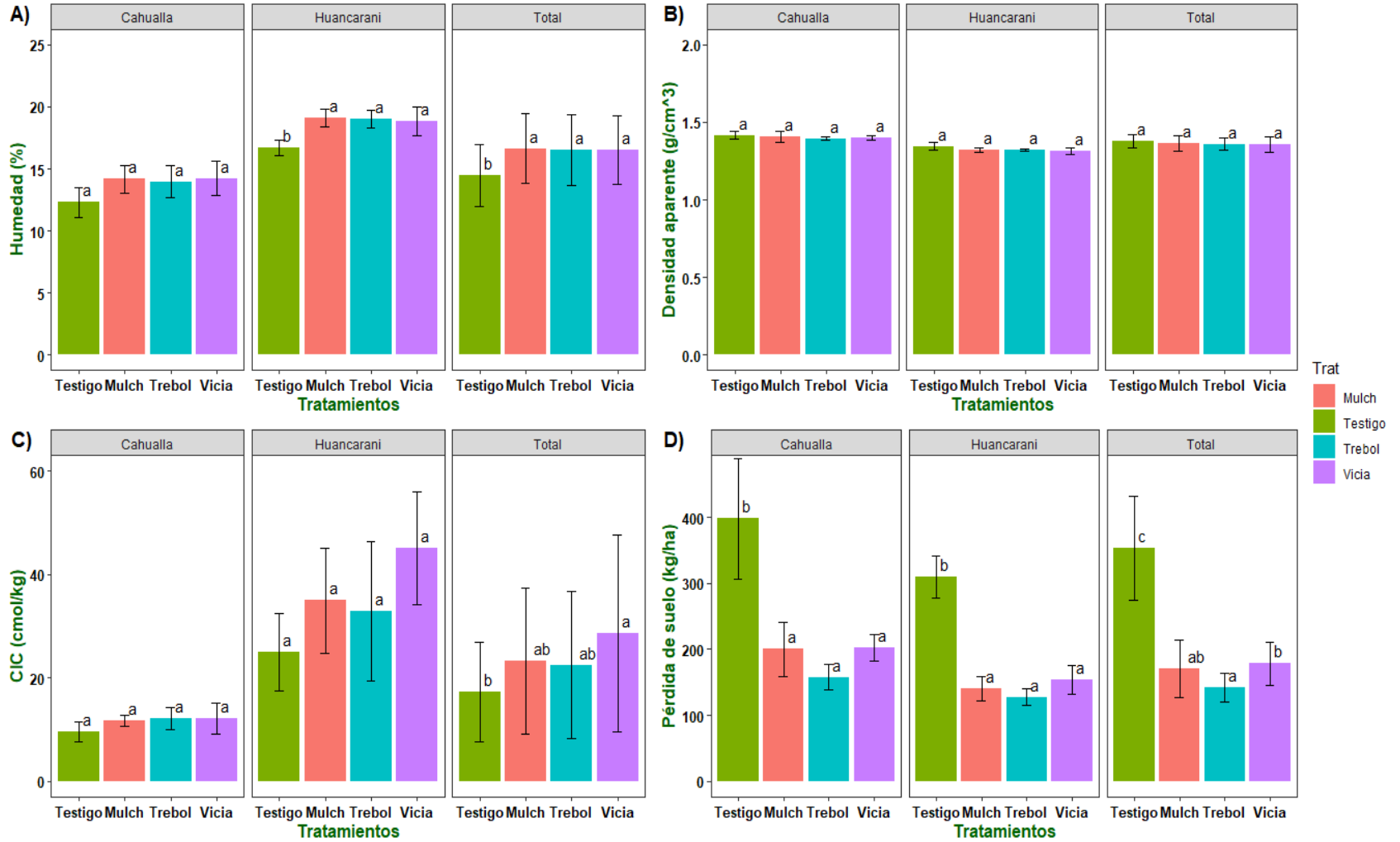


Figura 2. Efecto de los cultivos de cobertura sobre: A) La humedad gravimétrica; B Densidad aparente); C) CIC y D) la pérdida de suelo, en las dos localidades.

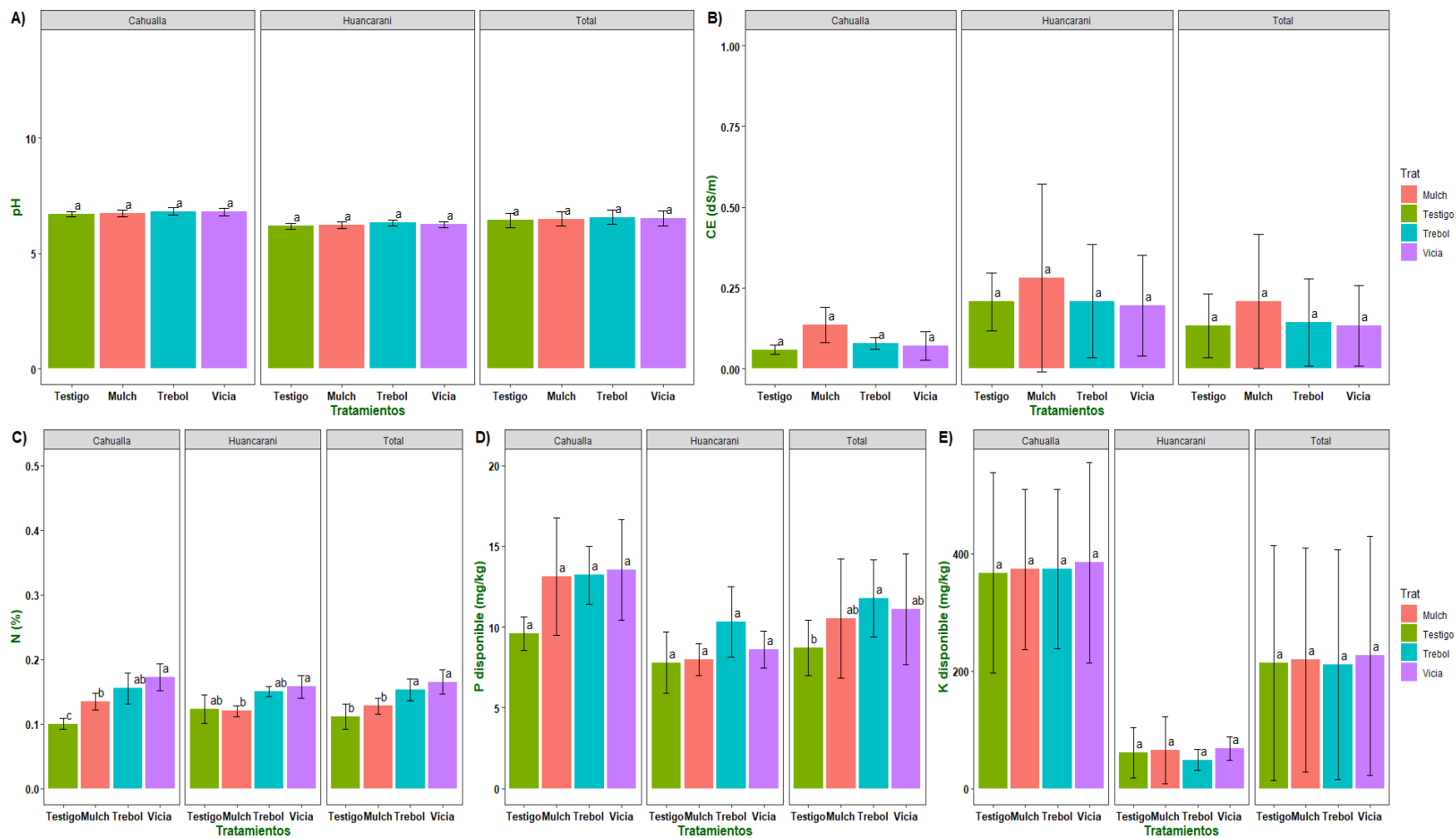


Figura 3. Efecto de los cultivos de cobertura sobre: a) pH; b) Conductividad eléctrica; c) Nitrógeno en el suelo; d) Fósforo disponible y e) Potasio disponible en las dos localidades.

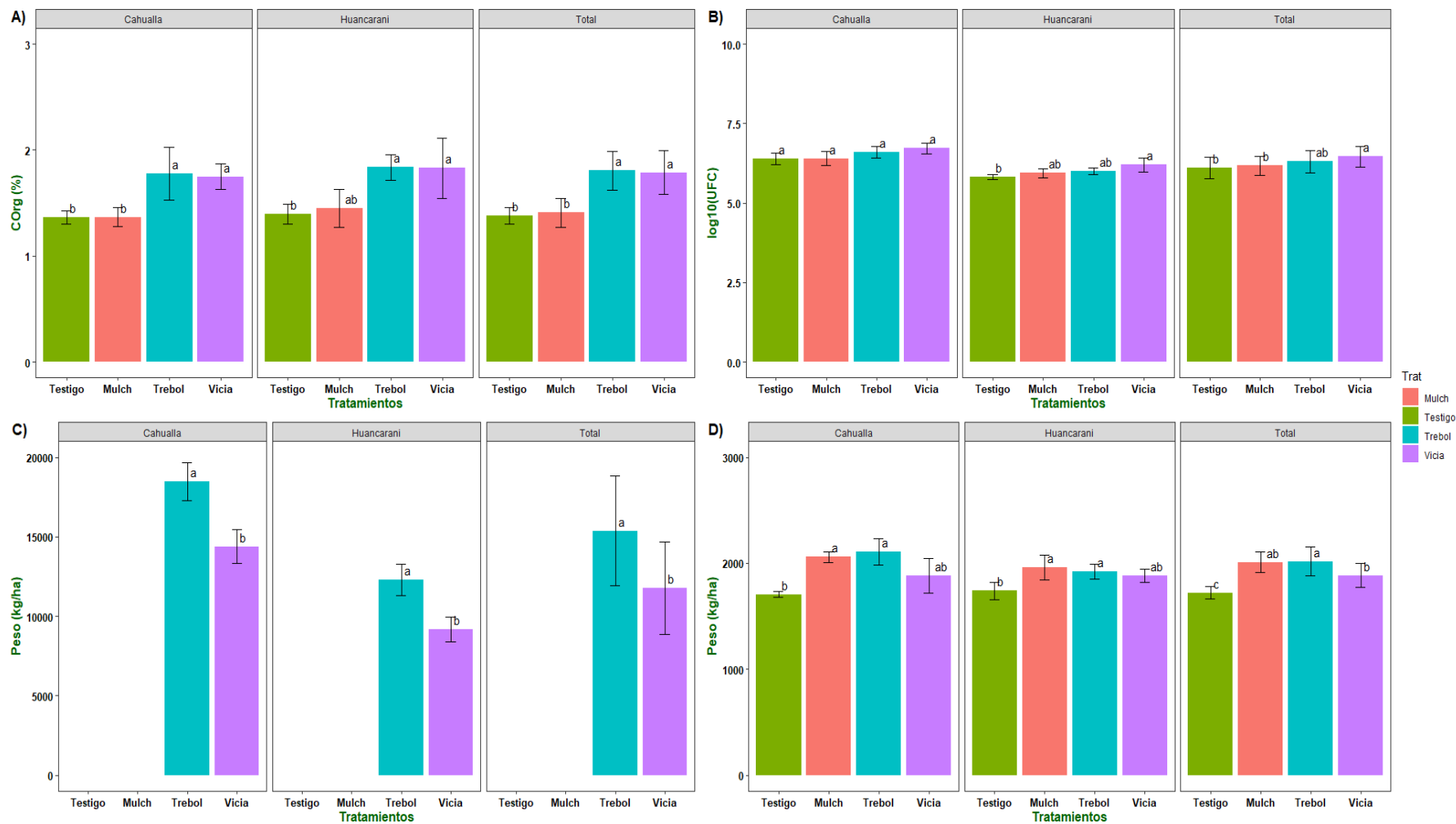


Figura 4. Efecto de los cultivos de cobertura sobre: A) Carbono orgánico; B) Población de bacterias; C) Producción de biomasa foliar; D) Rendimiento del cultivo de quinua.

De manera general, se ha considerado realizar una comparación de los resultados obtenidos con otros trabajos relacionados, en la **Tabla 2** se pueden apreciar las variables que presentaron un efecto significativo con la aplicación de los tratamientos.

El aumento en la CIC y su relación con un incremento de la materia orgánica mediante las coberturas fue reportado por **Haruna & Nkongolo (2019)** durante dos años de evaluación.

En cuanto a la pérdida de suelo, resultados similares fueron encontrados por **Zuazo et al. (2012)**, usando de cobertura el tomillo (*Thymbra capitata*); sin embargo, mayor pérdida con otra especie de vicia (*Vicia sativa*). Otros estudios indican reducción de esta pérdida con *Brachypodium* (*Brachypodium distachyon*) y centeno (*Secale cereale*) (**Ruiz-Colmenero et al., 2013**).

Referente al carbono orgánico, los resultados difieren con **Ladoni et al. (2016)**, que evaluaron el impacto de las coberturas (incluido el trébol) en las fracciones de carbono, no encontrando un gran impacto en el carbono total, pero sí en las fracciones lábiles. **Sharma et al. (2018)**, reportaron un ligero aumento del carbono orgánico especialmente en el *top soil* (0 – 5 cm) con el aporte de una mezcla de coberturas en un estudio de dos años. En cuanto al nitrógeno del suelo, **Rolando et al. (2018)** hallaron en los andes peruanos, mayor cantidad de

nitrógeno con uso de pasturas cultivadas como *ryegrass* y trébol blanco, frente al pasto nativo, y **Ojiem et al. (2007)** mencionan fijación de nitrógeno de hasta 250 kg ha⁻¹ por asociación con el género *Rhizobium*, Asimismo, **Soltangheisi et al. (2020)** observaron que las coberturas (entre ellas una especie de vicia) aumentaron la cantidad de fósforo disponible, además de acumular fósforo orgánico debido a los residuos generados. La población bacteriana es comparable con **Patkowska & Konopiński (2013)**, que indicaron un aumento mediante coberturas de avena y vicia en comparación al manejo tradicional, mencionando que este incremento pudo deberse al aporte de compuestos orgánicos a través de los exudados radiculares y por la incorporación de las coberturas como abonos verdes.

Por lo concerniente a producción de biomasa y rendimiento; la biomasa del trébol y vicia fueron superiores a lo comunicado por **Mauro et al. (2014)** y **Bamford & Entz (2016)**; respectivamente. A pesar de ello, no es idóneo realizar comparaciones por la cantidad de factores intervinientes. Sobre los rendimientos de quinua, todos los tratamientos fueron superiores al promedio nacional, establecido en 1,2 Mg ha⁻¹ (**MINAGRI, 2018**); aunque este cultivo posee mayor producción potencial (**Soto Pardo et al., 2019**), por lo cual, el uso de cultivos de cobertura es una práctica promisoría para incrementarla.



Tabla 2
Comparación de resultados obtenidos con estudios relacionados

Variables	Resultados obtenidos	Resultados comparativos	Referencias	
CIC (Cmol/kg)	Mulch	23,33±14,09 ab	13,95 a (cobertura de centeno); 13,10 b (sin cobertura)	Haruna & Nkongolo (2019)
	Trébol	22,53±14,27 ab		
	Vicia	28,63±19,12 a		
	Testigo	17,33±9,67 b		
Pérdida de suelo (kg ha ⁻¹)	Mulch	170,13±25,50 ab	1,46 a 6,81 Mg ha ⁻¹ año ⁻¹ (<i>Brachypodium distachyon</i>) 0,8 Mg ha ⁻¹ año ⁻¹ y 1,3 Mg ha ⁻¹ año ⁻¹ (<i>Secale cereale</i>)	Zuazo et al. (2012) Ruiz-Colmenero et al. (2013)
	Trébol	142,78±15,28 a		
	Vicia	178,53±18,34 b		
	Testigo	353,53±22,31 c		
Nitrógeno en el suelo (%)	Mulch	0,128±0,01 b	5 - 253 kg ha ⁻¹ de nitrógeno fijado 0,48±0,02 a (pastura cultivada); 0,43±0,04 a (pasto nativo)	Ojiem et al. (2007) Rolando et al. (2018)
	Trébol	0,152±0,02 a		
	Vicia	0,165±0,02 a		
	Testigo	0,111±0,02 b		
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	Mulch	10,54±3,69 ab	50 – 67 mg kg ⁻¹ (vicia) 49 – 69 mg kg ⁻¹ (<i>White lupin</i>)	Soltangheisi et al. (2020)
	Trébol	11,76±2,40 a		
	Vicia	11,08±3,42 ab		
	Testigo	8,69±1,71 b		
Carbono orgánico (%)	Mulch	1,41±0,14 b	1,0±0,06% de C (trébol-centeno) 1,89% – 2,03% de C (varias coberturas juntas)	Ladoni et al. (2016) Sharma et al. (2018)
	Trébol	1,81±0,18 a		
	Vicia	1,79±0,21 a		
	Testigo	1,38±0,08 b		
Población de bacterias (log10 UFC)	Mulch	6,17±0,30 b	3,55 – 6,16 ln(UFC) (diferentes coberturas)	Patkowska & Konopiński (2013)
	Trébol	6,30±0,35 ab		
	Vicia	6,46±0,33 a		
	Testigo	6,10±0,33 b		
Producción de biomasa foliar	Trébol	15375,0±3439,58 a	2810 – 3840 kg ha ⁻¹ (trébol) 1578 a 7081 kg ha ⁻¹ (vicia)	Mauro et al. (2014) Bamford & Entz (2016)
	Vicia	11775,0±2907,01 b		
Rendimiento del cultivo de quinua	Mulch	2009,77±98,41 ab	1200 kg ha ⁻¹ (promedio nacional peruano) 2530 kg ha ⁻¹ (variedad INIA 420 negra Collana)	MINAGRI (2018) Soto Pardo et al. (2019)
	Trébol	2015,64±136,82 a		
	Vicia	1882,86±113,27 b		
	Testigo	1722,67±61,32 c		

4. Conclusiones

A fin de proteger el suelo de la erosión, se evidenció que el uso de coberturas disminuyó la pérdida de suelo. Sin embargo, en cuanto a su fertilidad, las coberturas no tuvieron un impacto significativo en los parámetros evaluados, a excepción del contenido de nitrógeno, donde el uso de las leguminosas trébol y vicia, reportaron cantidades significativamente superiores. En referencia a las variables biológicas, las leguminosas promovieron mayor cantidad de carbono orgánico y población microbiana. Con respecto al desarrollo agronómico, tanto de las coberturas y quinua, el trébol produjo significativamente mejores resultados. A nivel de localidad, Huancarani presentó mejores características físicas frente a la potencial pérdida de suelo, pero Cahualla mostró buenas características de fertilidad. En general, los resultados indican que el uso de leguminosas como cobertura tiene un impacto integral en gran variedad de parámetros importantes para el desarrollo del cultivo, en ese marco se recomienda que, en posteriores investigaciones se evalúen este tipo de coberturas, donde la pérdida de suelo sea superior, las condiciones ambientales más adversas y las pendientes más pronunciadas.

ORCID

S. Salcedo-Mayta  <https://orcid.org/0000-0002-3032-6015>
 J. Canihua-Rojas  <https://orcid.org/0000-0002-7236-2225>
 T. Samaniego-Vivanco  <https://orcid.org/0000-0003-0897-4814>
 J. Cruz-Luis  <https://orcid.org/0000-0003-1169-440X>
 W. Pérez-Porras  <https://orcid.org/0000-0002-0755-0502>
 R. Cosme-De La Cruz  <https://orcid.org/0000-0002-5774-9325>

Referencias bibliográficas

- Agostini, M. de los Á., Monterubbianesi, M. G., Studdert, G. A., & Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia Del Suelo*, 32(2), 171–176.
- Amelung, W., Bossio, D., de Vries, W., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., et al. (2020). Towards a global-scale soil climate mitigation strategy. *Nature Communications*, 11(1), 1–10.
- Babur, E., & Dindaroglu, T. (2020). Seasonal Changes of Soil Organic Carbon and Microbial Biomass Carbon in Different Forest Ecosystems. *Environmental Factors Affecting Human Health*, 1–21.
- Bamford, K. C., & Entz, M. H. (2016). Management of organic hairy vetch (*Vicia villosa*) cover crops in establishment year. *Canadian Journal of Plant Science*, 97(1), 1–5.
- Barrera, V. H., Delgado, J. A., Alwang, J. R., Escudero, L. O., Cartagena, Y. E., Domínguez, J. M., & D'adamo, R. (2019). Conservation agriculture increases yields and economic returns of potato, forage, and grain systems of the andes. *Agronomy Journal*, 111(6), 2747–2753.
- Bazán, R. (2017). Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego. Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA. Instituto de Nacional de Innovación Agraria.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., et al. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*, 8(1), 1–13.
- Campbell, D. J., & Henshall, J. K. (1991). Bulk Density. En: K.A. Smith & C.E. Mullins (Eds). *Soil Analysis* (pp. 329–366). Marcel Decker Inc.
- Chalise, K. S., Singh, S., Wegner, B. R., Kumar, S., Pérez-Gutiérrez, J. D., et al. (2019). Cover crops and returning residue impact on soil organic carbon, bulk density, penetration resistance, water retention, infiltration, and soybean yield. *Agronomy Journal*, 111(1), 99–108.
- Chieza, E. D., Lovato, T., Araújo, E. D. S., & Tonin, J. (2013). Propriedades físicas do solo em área sob milho em monocultivo ou consorciado com leguminosas de verão. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 37(5), 1393–1401.
- Delgado, J. A., Barrera, V. H., Alwang, J. R., Villacis-Aveiga, A., Cartagena, Y. E., et al. (2021). Potential use of cover crops for soil and water conservation, nutrient management, and climate change adaptation across the tropics. In *Advances in Agronomy* (1st ed., Vol. 165). Elsevier Inc.
- Durán, V. H., & Rodríguez, C. R. (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 65–86.
- Eswaran, H., Lal, R., & Reich, P. F. (2019). Land degradation: an overview. Response to land degradation, 20–35. Elsevier.
- Etesami, H., Emami, S., & Alikhani, H. A. (2017). Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects - a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(4), 897–911.
- Feng, S., Wen, H., Ni, S., Wang, J., & Cai, C. (2019). Degradation Characteristics of Soil-Quality-Related Physical and Chemical Properties Affected by Collapsing Gully: The Case of Subtropical Hilly Region, China. *Sustainability*, 11(12), 3369.
- Gabriel, J. L., Quemada, M., Martín-Lammerding, D., & Vanclooster, M. (2019). Assessing the cover crop effect on soil hydraulic properties by inverse modelling in a 10-year field trial. *Agricultural Water Management*, 222(February), 62–71.
- Guo, L., Yang, Y., Zhao, Y., Li, Y., Sui, Y., Tang, C., Jin, J., & Liu, X. (2021). Reducing topsoil depth decreases the yield and nutrient uptake of maize and soybean grown in a glacial till. *Land Degradation & Development*, 32, 2849–2860.
- Hall, H., Li, Y., Comerford, N., Gardini, E. A., Cernades, L. Z., Baligar, V., & Popenoe, H. (2010). Cover crops alter phosphorus soil fractions and organic matter accumulation in a Peruvian cacao agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 80(3), 447–455.
- Hansen, V., Eriksen, J., Jensen, L. S., Thorup-Kristensen, K., & Magid, J. (2021). Towards integrated cover crop management: N, P and S release from aboveground and belowground residues. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 313, 107392.
- Haruna, S. I., Nkongolo, N. V., Anderson, S. H., Eivazi, F., & Zaibon, S. (2018). In situ infiltration as influenced by cover crop and tillage management. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(2), 164–172.
- Haruna, Samuel I., & Nkongolo, N. V. (2019). Tillage, cover crop and crop rotation effects on selected soil chemical properties. *Sustainability (Switzerland)*, 11(10), 1–11.
- Indoria, A. K., Sharma, K. L., & Reddy, K. S. (2020). Hydraulic properties of soil under warming climate. In *Climate Change and Soil Interactions*. LTD.
- Isaac, M., & Borden, K. (2019). Nutrient acquisition in agroforestry systems. *Plant and Soil*, 444(1–2), 1–19.
- Kallenbach, C. M., Frey, S. D., & Grandy, A. S. (2016). Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls. *Nature Communications*, 7, 1–10.
- Kim, N., Zabaloy, M. C., Guan, K., & Villamil, M. B. (2020). Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. *Soil Biology and Biochemistry*, 142, 107701.
- Ladoni, M., Basir, A., Robertson, P. G., & Kravchenko, A. N. (2016). Scaling-up: Cover crops differentially influence soil carbon in agricultural fields with diverse topography. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 225, 93–103.
- Lal, R. (2015). Soil carbon sequestration and aggregation by cover cropping. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(6), 329–339.
- Lemessa, F., & Wakjira, M. (2015). Cover crops as a means of

- ecological weed management in agroecosystems. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 18(2), 133–145.
- Lima, P. L. T., Silva, M. L. N., Quinton, J. N., Batista, P. V. G., Cândido, B. M., & Curi, N. (2018). Relationship among crop systems, soil cover, and water erosion on a typic Hapludox. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 42, 1–16.
- Maetens, W., Poesen, J., & Vanmaercke, M. (2012). How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean? *Earth-Science Reviews*, 115(1–2), 21–36.
- Mauro, R. P., Sortino, O., Dipasquale, M., & Mauromicale, G. (2014). Phenological and growth response of legume cover crops to shading. *Journal of Agricultural Science*, 152(6), 917–931.
- Mennan, H., Jabran, K., Zandstra, B. H., & Pala, F. (2020). Non-chemical weed management in vegetables by using cover crops: A review. *Agronomy*, 10(2), 1–16.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2018. Manejo agronómico, prácticas de conservación de suelos, producción, comercialización y perspectivas de granos andinos. Dirección General de Políticas Agrarias. Dirección general de políticas agrarias. Lima, Perú. 88p.
- Ojiem, J. O., Vanlauwe, B., De Ridder, N., & Giller, K. E. (2007). Niche-based assessment of contributions of legumes to the nitrogen economy of Western Kenya smallholder farms. *Plant and Soil*, 292(1–2), 119–135.
- Organización Internacional de Normalización, ISO. (1994). Soil Quality. Determination of the Specific Electrical Conductivity-Technical Corrigendum 1 (ISO 11265).
- Patkowska, E., & Konopiński, M. (2013). Effect of cover crops on the microorganisms communities in the soil under scorzonera cultivation. *Plant, Soil and Environment*, 59(10), 460–464.
- Pennock, D. (2019). Soil erosion: The greatest challenge for sustainable soil management. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Puertas, F., Arévalo, E., Zúñiga, L., Alegre, J., Loli, O., Soplin, H., & Baligar, V. (2008). Establecimiento de cultivos de cobertura y extracción total de nutrientes en un suelo de trópico húmedo en la Amazonia peruana. *Ecología Aplicada*, 7(1–2), 23–28.
- Rolando, J. L., Dubeux Jr, J. C., Perez, W., Ramirez, D. A., Turin, C., et al. (2017). Soil organic carbon stocks and fractionation under different land uses in the Peruvian high-Andean Puna. *Geoderma*, 307, 65–72.
- Rolando, J. L., Dubeux Jr, J. C., Ramirez, D. A., Ruiz-Moreno, M., Turin, C., et al. (2018). Land Use Effects on Soil Fertility and Nutrient Cycling in the Peruvian High-Andean Puna Grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, 82(2), 463–474.
- Qi, Z., Helmers, M. J., & Kaleita, A. L. (2011). Soil water dynamics under various agricultural land covers on a subsurface drained field in north-central Iowa, USA. *Agricultural Water Management*, 98(4), 665–674.
- Qiu L, Zhang Q, Zhu H, Reich PB, Banerjee S, van der Heijden MGA, Sadowsky MJ, Ishii S, Jia X, Shao M, Liu B, Jiao H, Li H, Wei X. (2021). Erosion reduces soil microbial diversity, network complexity and multifunctionality. *ISME J.*, 15(8), 2474–2489.
- Quinn, G. P., & Keough, M. J. (2002). Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press, Cambridge
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Rieger, F. A., Zolin, C. A., Paulino, J., de Souza, A. P., Matos, E. da S., de Souza Magalhães, C. A., & de Farias Neto, A. L. (2016). Water erosion on an Oxisol under integrated Crop-Forest systems in a transitional area between the Amazon and cerrado biomes. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 40, 1–12.
- Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., Eldridge, D. J., & Marques, M. J. (2013). Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain. *Catena*, 104, 153–160.
- Saidian, M., Godinez, L. J., & Prasad, M. (2016). Effect of clay and organic matter on nitrogen adsorption specific surface area and cation exchange capacity in shales (mudrocks). *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 33, 1095–1106.
- Sanabria, S., Dávalos, K., Sangay-Tucto, S., & Cosme De la Cruz, R. C. (2021). Uso de coberturas vegetales en el manejo sostenible del suelo asociado al cultivo de maíz amiláceo (*Zea mays* L.). *Scientia Agropecuaria*, 12(3), 329–336.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y Análisis. México, D. F.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). 2021. Datos Histórico. Consultado 15 Ago 2021. Disponible en http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi
- Sharma, V., Irmak, S., & Padhi, J. (2018). Effects of cover crops on soil quality: Part I. Soil chemical properties-organic carbon, total nitrogen, pH, electrical conductivity, organic matter content, nitrate-nitrogen, and phosphorus. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(6), 637–651.
- Shelton, R. E., Jacobsen, K. L., & McCulley, R. L. (2018). Cover crops and fertilization alter nitrogen loss in organic and conventional conservation agriculture systems. *Frontiers in Plant Science*, 8(January), 1–14.
- Solis, R., Pezo, M., Arévalo, L., Lao, C., Alegre, J., & Pérez, K. (2019). Evaluation of leguminous species as cover crops associated with sacha inchi. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 49, 1–8
- Soltangheisi, A., Teles, A. P. B., Sartor, L. R., & Pavinato, P. S. (2020). Cover Cropping May Alter Legacy Phosphorus Dynamics Under Long-Term Fertilizer Addition. *Frontiers in Environmental Science*, 8(February), 1–12.
- Soto Pardo, M., Allende Burga, R., & Romero, V. L. (2019). Estudio comparativo en rendimiento y calidad de 12 variedades de quinua orgánica en la comunidad campesina de San Antonio de Manallasac, Ayacucho. *Campus*, 25(29), 57–65.
- Suárez, J. (2001). Control de erosión en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre erosión y Deslizamientos. Universidad Distrital Santander. Bucaramanga, Colombia.
- Sylvia, D. M., Fuhrmann, J. J., Hartel, P. G., & Zuberer, D. A. (2005). *Principles and applications of soil microbiology* (No. QR111 S674 2005). Pearson.
- Trivedi, P., Wallenstein, M. D., Delgado-Baquerizo, M., & Singh, B. K. (2018). Microbial modulators and mechanisms of soil carbon storage. In *Soil Carbon Storage: Modulators, Mechanisms and Modeling*.
- United States Environmental Protection Agency, USEPA. (2004). Soil and Waste pH (9045 D).
- Vaezi, A. R., Ahmadi, M., & Cerdà, A. (2017). Contribution of raindrop impact to the change of soil physical properties and water erosion under semi-arid rainfalls. *Science of the Total Environment*, 583, 382–392.
- Vázquez, A., & Tapia, M. (2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semi áridas de la Sierra Peruana. *Revista Ingeniería UC*, 18(3), 42–50.
- Zuazo, V. H. D., Martínez, J. R. F., Tejero, I. G., Panadero, L. A., & Raya, A. M. (2012). Mitigación de la erosión de suelos en plantaciones de almendro por cubiertas vegetales: implicaciones para la agricultura sostenible de montaña (SE España). *Comunicata Scientiae*, 3(2), 123–129.