



RESEARCH ARTICLE



Use of cover crops for sustainable soil management associated with corn (*Zea mays* L.) cultivation

Uso de coberturas vegetales en el manejo sostenible del suelo asociado al cultivo de maíz amiláceo (*Zea mays* L.)

S. Sanabria Quispe¹ ; K. Mendoza Dávalos¹ ; S. Sangay-Tucto² ; R. C. Cosme De La Cruz^{2, 3, *} 

¹ Programa Presupuestal "Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios" Estación Experimental Agraria Canaán, Av. Abancay 299, Huamanga, Ayacucho, Ayacucho 050116. Peru.

² Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Av. La Molina 1981, Lima, Lima 15024. Peru.

³ Laboratorio Nacional de Suelos, Aguas y Foliáres-LABSAF, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Av. La Molina 1981, Lima, Lima 15024. Peru.

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

Received: 3 November 2020. Accepted: 7 June 2021. Published: 19 July 2021.

Abstract

Soil is a living, dynamic entity and at the same time vulnerable to degradation, if it is not managed with sustainable practices, causing low crop yields. The objective of this research was to determine the effects of plant cover associated with the cultivation of corn on soil properties: bulk density, gravimetric moisture, soil pH and electrical conductivity, organic matter, estimation of nitrogen supply when leaf biomass is incorporated, and finally corn yield. The study was conducted under a randomized complete block experimental design with five treatments: corn without cover crop (control), corn with clover cover crop; corn with vetch cover crop; corn with vetch + oats cover crop and corn with dead cover crop (mulch). The results showed that corn associated with clover, vetch and mulch (dead cover) increased grain yield ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) of corn by 44%, 37% and 38%, respectively, compared to planting corn without any type of cover. Likewise, the use of clover, vetch and vetch cover crops associated with oats increased soil organic matter and soil input by 253, 163 and 149 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ of nitrogen if the leaf biomass of the cover crops was incorporated into the soil. Therefore, the corn-clover association is the one that presents the best results to increase yields under sustainable soil management and agroecological principles.

Keywords: vegetative cover; soil management; *Trifolium* spp; sustainability.

Resumen

El suelo es un ente vivo, dinámico y a la vez vulnerable a la degradación, siempre y cuando no se maneje de manera sostenible ocasionando bajos rendimientos de los cultivos. El objetivo de la presente investigación fue determinar los efectos de las coberturas vegetales asociado al cultivo de maíz amiláceo en las propiedades del suelo: densidad aparente, humedad gravimétrica, pH y conductividad eléctrica del suelo, materia orgánica, estimación del aporte de nitrógeno cuando se incorpora la biomasa foliar y finalmente el rendimiento de maíz. El estudio se realizó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco tratamientos: *maíz sin cobertura (testigo)*, *maíz con cobertura de trébol*; *maíz con cobertura de vicia*; *maíz con cobertura de vicia + avena* y *maíz con cobertura muerta-mulch*. Los resultados demostraron que, el maíz asociado con coberturas de trébol, vicia y mulch (cobertura muerta) aumentó en 44%, 37% y 38% respectivamente el rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de grano de maíz amiláceo, comparados a la siembra de maíz sin ningún tipo de cobertura. Asimismo, el uso de coberturas de trébol, vicia y avena + vicia incrementan la materia orgánica del suelo y aporta al suelo 253; 163 y 149 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrógeno siempre y cuando la biomasa foliar de las coberturas se incorpora al suelo. Por lo tanto, la asociación maíz – trébol es la que presenta mejores resultados para incrementar los rendimientos bajo un manejo sostenible del suelo y bajo los principios de la agroecología.

Palabras clave: cobertura vegetal; manejo y conservación del suelo; *Trifolium* spp; sostenibilidad.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.036>

Cite this article:

Sanabria Quispe, S., Mendoza 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.

1. Introducción

El suelo es un recurso natural muy valioso para garantizar la seguridad alimentaria de la humanidad, presentando también un gran potencial en la mitigación del cambio climático (Adams et al., 2011; Lal, 2005; Perales et al., 2009). En este sentido, la calidad y salud de los suelos interviene significativamente en la productividad de la agricultura. Además, la presión demográfica y el uso de prácticas de manejo del suelo inadecuadas conllevan a su degradación física, química, biológica y ecológica (Lal, 2015), generando una disminución en su calidad y en su productividad. Se ha observado en suelos que han sufrido un proceso de degradación el contenido de materia orgánica se reduce (Fenton et al., 2005; Polyakov & Lal, 2004), esto genera una baja estabilidad y fertilidad de los mismos (Chappell et al., 2019). Adicionalmente, la reserva de carbono disminuye significativamente (Guo & Gifford, 2002; Lal, 2005; Olson et al., 2016); y lo mismo ocurre con la actividad microbiana (Kara et al., 2016; McCalla, 1950; Wu et al., 2018). Lo mencionado previamente reduce significativamente el rendimiento de los cultivos (Fenton et al., 2005). La reducción en la productividad genera también una reducción en los ingresos obtenidos de la producción agrícola, provocando el desplazamiento de la población rural a las ciudades, así como; la generación de trampas de pobreza especialmente en las poblaciones de la zona rural que dependen de las actividades agrícolas desarrolladas en suelos degradados o en proceso de degradación para subsistir (Barbier & Hochard, 2016; Barrett & Bevis, 2015; Hunter et al., 2015; Nario et al., 2001; Santillana, 2006). Sumado a esto, las familias que realizan agricultura de subsistencia obtienen la mayoría de su aporte nutricional de los alimentos que producen. Cuando los cultivos se desarrollan en suelos pobres, las dietas pueden ser deficientes, provocando problemas en la salud por deficiencia de ciertos minerales, como zinc, yodo o selenio (Bevis, 2015; Bouis & Welch, 2010; Chilimba et al., 2011). Por otro lado, la aplicación de prácticas de manejo adecuadas puede incrementar la productividad agrícola, permitiendo la reducción de las brechas existentes en los rendimientos, mejorando también la calidad del suelo, previniendo o reduciendo su degradación (Felipe-Morales, 2002; Fernández et al., 2017).

En ese sentido, el manejo sustentable de los suelos mediante diversas prácticas resulta prometedor (Dhakal & Nandwani, 2020; Teasdale et al., 2007). Una de ellas, el uso de la cobertura vegetal que ha brindado efectos específicos según especie en la estructura de la comunidad microbiológica (Buyer et al., 2017; Waymouth et al., 2020) y en la macrofauna del suelo (Roarty et al., 2017). De esta manera, se evidencia un incremento también en la reserva de carbono en el suelo y su fertilidad (Jarecki et al., 2018). Asimismo, es una práctica de manejo prometedora en la eficiencia hídrica cuando el agua no es limitante, pudiendo reducir en un 27% la escorrentía anual (Novara et al., 2021). También se ha observado que el manejo de cultivos con cobertura vegetal influye en la evaluación de la calidad visual del suelo (Mihelič et al., 2021).

Además, se ha observado que la cobertura vegetal puede reducir hasta un 97% en el desarrollo de malezas en

cultivos (Fracchiolla et al., 2020; Teasdale et al., 2007), incluido el cultivo de maíz (Yeganehpour et al., 2015). Según reportes, el uso de coberturas permite mejorar la productividad del cultivo de maíz bajo condiciones de bajas temperaturas en invierno (Marcillo & Miguez, 2017; Seman-Varner et al., 2017). A pesar del gran potencial que tiene el uso de cobertura vegetal asociada a cultivos, es necesario que se realice de manera planificada y específica para cada lugar, con el fin de maximizar sus beneficios (Alonso-Ayuso et al., 2018; Mirsky et al., 2011; Novara et al., 2021; Teasdale et al., 2007).

En los andes peruanos, el maíz es la base de la alimentación, siendo especialmente importante en la agricultura de subsistencia del poblador; sin embargo, en la sierra del Perú, el maíz generalmente se cultiva en zonas con pendientes de más del 50%, dejando al suelo expuesto a niveles extremadamente altos de erosión (Felipe-Morales, 2002), haciendo que la aplicación de prácticas comunes y erosivas aumenten su degradación (Felipe-Morales, 2002; Kuria et al., 2019). En ese contexto, es de gran importancia enfocar esfuerzos en la identificación de prácticas de manejo de cultivos de maíz que resulten en el incremento de la productividad, y al mismo tiempo, en una mejora en las propiedades del suelo. Es así, que el uso de cobertura vegetal asociada al cultivo de maíz tendría un gran potencial en lograr estos objetivos (Felipe-Morales, 2002). Así, el objetivo de este estudio fue determinar el beneficio del uso de las coberturas vegetales en el rendimiento de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) y las propiedades del suelo, en tres localidades de los distritos de Huanta y Huamanguilla, provincia de Huanta, Ayacucho, Perú.

2. Materiales y métodos

2.1 Zona de estudio

La investigación se realizó en la campaña agrícola 2018 - 2019, en las localidades de Yanapampa (con localización geográfica de 13° 0' 50,44" S y 74° 11'44,03" W, a 3033 m.s.n.m.), del distrito de Huamanguilla, provincia de Huanta, Pultunchara (con localización geográfica 12° 55' 7,24" S y 74° 13' 52,88" W, a 3119 m.s.n.m) y Patasucro (con localización geográfica 12° 54' 38,62" S y 74° 14' 5,58" W, 3335 msnm), ambos en el distrito de Huanta, provincia, Huanta, departamento de Ayacucho, ubicado dentro de la región quechua con una fisiografía de pendiente empinada (25 - 50%). El clima del lugar es templado con temperatura media anual de 15 °C y precipitación de 400 mm por año. Durante la conducción de la investigación se presentó una precipitación media de 94.65 mm, humedad relativa media de 77,17% y una temperatura media de 17,83 °C.

Características físico y químicas del suelo

Para conocer los parámetros físicos y químicos del suelo se realizó el análisis de suelos de las 3 localidades en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Foliar – LABSAF de la Estación Experimental Agraria de Canaán – Ayacucho. Los resultados del análisis de suelos de las 3 localidades se encuentran en la **Tabla 1**.

2.2 Tratamientos en estudio

Se utilizó el diseño experimental de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 5 tratamientos con 4

repeticiones por tratamiento. Los tratamientos resultaron del empleo de coberturas vegetales en cultivo de maíz (T1: Sin cobertura - testigo; T2: Con cobertura de trébol; T3: Con cobertura de vicia; T4: Con cobertura de vicia con avena y T5: Con cobertura muerta - mulch. Siendo en total 20 unidades experimentales, cada una estuvo constituida por parcelas de cinco surcos de 6 m. de largo y una separación entre surcos de 0,8 m., siendo el área de la unidad experimental 24 m²; donde se sembró 3 semillas de maíz por golpe, la variedad de semilla fue INIA 607-Chécche Andenes, adaptada para zonas maiceras desde los 2700 a 3500 msnm.

Las coberturas vegetales se sembraron al momento del segundo aporque entre el surco de riego. La cantidad de las semillas por cada tratamiento fue estimado en kg.ha⁻¹ de la siguiente manera: T2 se empleó 450 kg de fruto de trébol (*Medicago hispida*); T3 se empleó 75 kg de semilla de vicia (*Vicia sativa* L.); T4 se empleó 25 kg de vicia (*Vicia sativa* L.) y 75 kg de avena (*Avena sativa* L.); T5 se empleó 1200 kg de residuos de cosecha (mulch). Las semillas de las coberturas vegetales (trébol, vicia, avena) se sembraron al voleo. El manejo agronómico se efectuó en base a la guía de manejo del cultivo de quinua del Instituto de Nacional de Investigación Agraria. Los resultados obtenidos fueron sometidos al Análisis de Varianza para la comparación de medias y para las pruebas de comparación múltiple se utilizó la prueba de Tukey, ambas con un nivel de significancia del 5%.

2.3 Variables Evaluadas

Las variables en estudio o variables respuesta estuvieron agrupadas en evaluaciones agronómicas, evaluaciones de los suelos y evaluaciones de las coberturas. En las evaluaciones agronómicas se consideró el rendimiento;

en las evaluaciones físicas se consideró: Densidad aparente y humedad gravimétrica y en las evaluaciones químicas fueron: reacción de suelo, conductividad eléctrica, % de materia orgánica; en las evaluaciones de las coberturas se consideraron: peso seco de biomasa foliar y estimación de aporte de nitrógeno al suelo.

3. Resultados y discusión

3.1. Efecto de las coberturas vegetales sobre el rendimiento de grano (kg.ha⁻¹)

En la **Tabla 2**, para la variable rendimiento (kg.ha⁻¹), se observa que existe diferencias estadísticas altamente significativas para la fuente de variación localidad, tratamiento e interacción, esto indica que hubo diferencias de rendimiento en las tres localidades y que existen diferencias significativas de rendimiento entre tratamientos. Asimismo, la interacción tratamiento* localidad mostró que, el efecto de las coberturas vegetales sobre el rendimiento de grano fue diferente entre los cinco tratamientos y que estas diferencias se mantuvieron al pasar de una localidad a otra.

En la **Tabla 3**, sobre comparación de medias entre tratamiento, se muestra que el tratamiento con cobertura de trébol logró el mayor rendimiento de grano con 3748,84 kg.ha⁻¹ superando en 1646 kg.ha⁻¹ al rendimiento del testigo control que solamente llegó a 2102,83 kg.ha⁻¹, seguido de los tratamientos con mulch y con vicia que superan al testigo en 1304 y 1234 kg.ha⁻¹ respectivamente. Mientras que el tratamiento de vicia con avena disminuyó el rendimiento de grano cerca de 200 kg.ha⁻¹ respecto al testigo. Lo que se ratifica en la **Tabla 5** en la comparación de medias según Tukey para tratamiento.

Tabla 1

Análisis de caracterización de suelos de cada localidad - Inicial (T6 = Pre tratamiento)

Localidad	Cod. Trat.	pH (1:1)	CE (1:1) dS/m	MO %	P ppm	K ppm	Clase textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de cationes	Suma de bases	% Sat. de bases
									Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
									meq/100g							
Yanapampa	T6	6,38	0,450	1,09	7,39	232,00	Ar.	27,47	21,97	3,96	0,48	0,06	0,10	26,57	26,47	96
Pultunchara	T6	5,68	0,290	2,73	4,88	174,50	Fr.	6,16	4,00	1,20	0,25	0,06	0,50	6,01	5,51	89
Patasucro	T6	6,60	0,840	1,70	7,89	159,00	Fr.Ar.	12,88	10,16	1,47	0,18	0,07	0,50	12,38	11,88	92

Tabla 2

Análisis de varianza combinado, para rendimiento de grano, densidad aparente y humedad gravimétrica, de suelo con cultivo de maíz asociado con coberturas vegetales, en condiciones de suelo de tres localidades

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios					
		Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	Densidad aparente (g/cm ³)	Humedad gravimétrica (%)			
Localidad	2	4813534,67	**	0,1889	**	55,4857	*
Block*Loc.	9	181119,13	*	0,0184	**	8,8429	ns
Tratamiento	4	8085235,32	**	0,0025	ns	65,2892	**
Trat. * Loc.	8	254414,89	**	0,0046	ns	4,0370	ns
Error	36	73138,81		0,0062		13,4725	
Total, corregido	59						
Promedio		2,910,00		1,14		5,48	
CV (%)		9,29		6,89		3,82	
R ² corregido		0,91		0,73		0,80	

Tabla 3

Efecto de las coberturas vegetales sobre el rendimiento de grano, densidad aparente y humedad gravimétrica, de suelo con cultivo de maíz asociado con coberturas vegetales, en condiciones de suelo de tres localidades

Localidad	Tratamiento	Cod. Trat.	Rendimiento de Grano (kg/ha)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Humedad Gravimétrica (%)
Yanapampa	Testigo Control	T1	2011,91	1,22	15,56
	Cobertura Trébol	T2	3706,64	1,23	20,24
	Cobertura Vicia	T3	3107,63	1,19	19,33
	Cobertura Vicia + Avena	T4	2136,64	1,25	18,74
	Cobertura Muerta	T5	3312,29	1,26	21,47
Pultunchara	Testigo Control	T1	2534,68	1,05	17,41
	Cobertura Trébol	T2	4457,69	1,06	25,28
	Cobertura Vicia	T3	4123,64	1,07	24,49
	Cobertura Vicia + Avena	T4	2033,56	1,00	21,35
	Cobertura Muerta	T5	3979,24	1,02	22,59
Patasucro	Testigo Control	T1	1761,90	1,13	16,65
	Cobertura Trébol	T2	3082,19	1,14	21,77
	Cobertura Vicia	T3	2777,72	1,11	20,59
	Cobertura Vicia + Avena	T4	1695,73	1,17	19,18
	Cobertura Muerta	T5	2928,56	1,20	20,43
Media General	Testigo Control	T1	2102,83	1,13	16,54
	Cobertura Trébol	T2	3748,84	1,14	22,43
	Cobertura Vicia	T3	3336,33	1,12	21,47
	Cobertura Vicia + Avena	T4	1955,31	1,14	19,76
	Cobertura Muerta	T5	3406,70	1,16	21,50

Es decir, la variable rendimiento de grano tuvo un incremento con respecto al testigo control de un 44%, 38% y 37% para cobertura de trébol, cobertura muerta y cobertura de vicia respectivamente. Y una disminución de 8% para cobertura de vicia con avena. En todas las localidades en estudio, el rendimiento de grano fue muy superior con la cobertura de trébol respecto al rendimiento del testigo control y de la cobertura de vicia con avena. Estos resultados concuerdan con estudios anteriores donde afirman que el uso del trébol como cultivo de cobertura asociado al maíz permite una mejora en su rendimiento, debido a la preservación de la humedad y descenso de la temperatura del suelo; así como el aporte de nitrógeno al suelo por las leguminosas (Arone et al., 2014).

Sin embargo, los resultados encontrados por (De Sa Pereira et al., 2014) no va acorde con lo encontrado en nuestro estudio, ya que el rendimiento de grano de maíz bajo cobertura de vicia como antecesor, obtuvo valores superiores comparados al tratamiento en presencia de avena. Siendo los valores promedio de 8603 y de 5022 kg.ha⁻¹ para los tratamientos bajo cobertura de vicia y avena; respectivamente. De esta manera, se podría inducir que el cultivo de maíz bajo coberturas mixtas de vicia con avena no resultaría trabajar en sinergia. Por el contrario, en presencia exclusiva del cultivo de vicia, como cultivo de cobertura antecesor, el rendimiento en grano de maíz es significativamente superior.

3.2. Efecto de las coberturas vegetales sobre las propiedades físicas del suelo

3.2.1. Densidad aparente

El análisis de varianza combinado para densidad aparente del suelo (g.cm⁻³), mostró que hubo diferencias estadísticas altamente significativas para la fuente de variación localidad, y diferencias estadísticas no significativas para tratamiento e interacción. Esto quiere decir que hubo diferencias de densidad aparente entre el suelo de Yanapampa, Pultunchara y Patasucro; sin embargo, entre tratamientos con coberturas vegetales no

hubo diferencias significativas para esta propiedad del suelo. Asimismo, en la **Tabla 3** se observa que los valores de densidad aparente del suelo de los tratamientos con coberturas vegetales no difieren entre sí; es decir, la densidad aparente del suelo con coberturas vegetales no aumenta ni disminuye significativamente con respecto al testigo control. Esto indica que, las coberturas vegetales no mejoraron ni afectaron la densidad aparente del suelo, por lo que estas mantuvieron condiciones adecuadas para el desarrollo del cultivo de maíz.

Asimismo, los valores promedio de densidad aparente del suelo de la localidad de Yanapampa, Pultunchara y Patasucro con textura arcilloso, franco y franco arcilloso respectivamente, fueron 1,23; 1,04 y 1,15 g.cm⁻³. Esto se podría deber, a la labranza mecánica del suelo que se realizó al momento de la preparación del terreno, pues la labranza tiende a disminuir la densidad aparente en el corto plazo (Alves et al., 2007).

3.2.2. Humedad gravimétrica

En el análisis de varianza para humedad gravimétrica del suelo (%), se observó diferencias estadísticas altamente significativas para la fuente de variación localidad y tratamiento, lo que indica que hubo diferencias de humedad gravimétrica entre el suelo de Yanapampa, Pultunchara y Patasucro, y que existen diferencias significativas de humedad gravimétrica de los suelos entre los tratamientos con coberturas vegetales. Según los resultados en la **Tabla 3**, el suelo desnudo perdió humedad de 25,9%, 23,1%, 22,5% y 16,2% respecto a la cobertura de trébol, cobertura muerta-mulch, cobertura de vicia y cobertura de vicia con avena respectivamente. Estos porcentajes de ahorro de agua se deberían a la disminución de la escorrentía y de la evaporación del agua por las coberturas vegetales. Estos resultados concuerdan con el estudio realizado por Capurro et al. (2020) donde encontraron que, las pérdidas totales de agua por escurrimiento superficial mostraron efectos de tratamientos y ambientes altamente significativos.

Las pérdidas fueron menores en las parcelas con coberturas vegetales con una media de 24% de agua total perdida, mientras que en las parcelas sin coberturas los valores fueron de 38% en promedio. La significativa disminución de los escurrimientos superficiales, en las parcelas con coberturas vegetales respecto de las parcelas sin coberturas en cada ambiente, pudo generarse por el efecto de la cobertura vegetal, que incrementaron la retención superficial del agua, mejorando su infiltración en el suelo. Al respecto de la disminución de la evaporación del agua, **Gómez et al. (2001)**, en un estudio realizado concluyeron que la humedad era mayor en las parcelas con coberturas, debido a que las coberturas vegetales al frenar las corrientes de aire y producir un sombreado de la superficie, provocan un descenso en la evapotranspiración de agua desde la superficie del suelo. Las coberturas utilizadas en nuestro ensayo, debido a sus curvas típicas de crecimiento, podrían competir por el recurso agua en el momento crítico del cultivo principal, por ejemplo, en el período de crecimiento y maduración del fruto. Sin embargo, en ningún momento el suelo con cobertura tuvo menor contenido hídrico que el suelo del testigo control, probablemente debido a la menor evaporación directa del suelo (**Baigorria & Cazoria, 2010**).

3.3. Efecto de las coberturas vegetales sobre las propiedades químicas del suelo

3.3.1. pH del suelo

En la **Tabla 4** se observa que después de 5 meses de la instalación de las diferentes coberturas vegetales, en la localidad de Yanapampa y Pultunchara el valor del pH se redujo escasamente sin mostrar una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos, pero ubicándose en pH moderadamente ácido; y en la localidad de Patasucro el valor del pH aumento ligeramente sin mostrar una diferencia significativa entre tratamientos, pero manteniéndose en pH neutro. La reducción del pH en todos los tratamientos de la localidad

de Yanapampa y Pultunchara se debería a la aplicación del guano de islas. Lo corrobora, **Zeballos (2015)** quien evaluó el efecto de un biomejorador de suelos y de fertilizantes orgánicos sobre la calidad de suelo.

3.3.2. Conductividad eléctrica

En la **Tabla 4** observamos que, después de 5 meses de la instalación de las diferentes coberturas vegetales, en todas las localidades en estudio los valores de conductividad eléctrica se redujeron ligeramente entre 0,132 dS/m – 0,589 dS/m sin mostrar una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos. Con respecto a la disminución de la conductividad eléctrica de los suelos en todos los tratamientos de la localidad de Yanapampa, Pultunchara y Patasucro, **Wolf & Snyder (2003)** señalan que la materia orgánica ayuda a reducir las sales de los fertilizantes ayudando en su drenaje manteniendo los suelos abiertos; en ese sentido la acción del guano de islas empleado en la siembra del experimento estaría disminuyendo la conductividad eléctrica del suelo ya que este contiene alrededor de 65,2% de materia orgánica.

3.3.3. Materia orgánica

En la **Tabla 4** se muestran resultados contrastantes, sobre todo en la localidad de Pultunchara, ya que el contenido de materia orgánica del suelo de todos los tratamientos disminuyó, tal es así que en relación al análisis inicial del suelo (pre tratamiento) el testigo control tuvo la mayor pérdida de materia orgánica, concretamente perdió 52%, seguido por la cobertura muerta-mulch y la cobertura de vicia con avena con 33% y 32% respectivamente, y en último lugar está la cobertura de trébol 26% y la cobertura de vicia 16%. Estas grandes pérdidas de materia orgánica se deberían más que nada al contenido de arcilla del suelo (franco) y la pendiente empinada del terreno (> 40%), pero aun así la cobertura de trébol y la cobertura de vicia disminuyeron estas pérdidas de materia orgánica en un 48% 65% respecto al testigo control.

Tabla 4

Análisis de caracterización - Inicial (Pre tratamiento) - Final (Después Tratamientos) - Cultivo de Maíz

Localidad	Tratamiento	Cod. Trat.	pH CE		MO	N	P	K	Clase textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de cationes	% Sat. de bases
			(1:1)	(1:1)							Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺		
			dS/m	%	%	ppm	ppm	meq/100g									
Yanapampa	Testigo	T1	5,73	0,589	1,03	0,05	16,71	160,4	Ar.	52	46,29	4,69	0,37	0,05	0,6	52	99
	Trébol	T2	5,96	0,244	1,17	0,06	11,76	159,42	Ar.	58,36	45,26	4,67	0,28	0,05	8,1	58,36	86
	Vicia	T3	5,91	0,392	1,28	0,06	14,36	126,24	Ar.	49,47	43,79	4,68	0,36	0,04	0,6	49,47	99
	Vicia + Avena	T4	5,75	0,419	1,17	0,06	12,75	122,93	Ar.	49,52	43,71	4,68	0,28	0,05	0,8	49,52	98
	Mulch	T5	6,04	0,178	1,72	0,09	13,02	78,47	Ar.	47,76	46,28	1,01	0,33	0,04	0,1	47,76	100
	Pretratamiento	T6	6,38	0,450	1,09	0,09	7,39	232,00	Ar.	27,47	21,97	3,96	0,48	0,06	0,1	26,57	96
Pultunchara	Testigo	T1	5,41	0,192	1,31	0,07	12,41	82,55	Fr.	9,76	7,24	1,43	0,16	0,03	0,9	9,76	91
	Trébol	T2	5,35	0,279	2,03	0,05	13,47	103,4	Fr.	11,6	9,34	1,47	0,16	0,03	0,6	11,6	95
	Vicia	T3	5,65	0,185	2,28	0,11	9,76	97,04	Fr.	16,99	14,16	1,57	0,12	0,03	1,1	16,98	93
	Vicia + Avena	T4	5,52	0,198	1,86	0,09	10,61	89,27	Fr.	11,39	9,08	1,32	0,45	0,03	0,5	11,38	96
	Mulch	T5	5,41	0,214	1,83	0,04	11,74	69,40	Fr.	21,93	18,59	1,92	0,2	0,03	1,2	21,94	95
	Pretratamiento	T6	5,68	0,290	2,73	0,14	4,88	174,50	Fr.	6,16	4,00	1,2	0,25	0,06	0,5	6,01	89
Patasucro	Testigo	T1	6,64	0,135	2,34	0,12	4,3	70,81	Fr.Ar.A.	51,46	46,03	1,53	0,25	0,05	3,6	51,46	93
	Trébol	T2	6,68	0,225	3,38	0,17	15,11	124,85	Fr.Ar.A.	48,79	43,78	1,52	0,44	0,05	3	48,79	94
	Vicia	T3	6,73	0,172	2,69	0,13	17,37	97,46	Fr.Ar.A.	45,71	37,46	1,32	0,2	0,04	6,7	45,72	85
	Vicia + Avena	T4	7,09	0,132	2,90	0,14	7,27	106,46	Fr.Ar.A.	49,36	46,25	1,3	0,25	0,05	1,5	49,35	97
	Mulch	T5	7,17	0,138	1,03	0,05	7,05	69,53	Fr.Ar.A.	47,45	45,09	1,48	0,34	0,04	0,5	47,45	99
	Pretratamiento	T6	6,60	0,840	1,70	0,08	7,89	159,00	Fr.Ar.A.	12,88	10,16	1,47	0,18	0,07	0,5	12,38	92

Tabla 5

Efecto de las coberturas vegetales sobre el aporte de materia orgánica y de nitrógeno en suelo cultivado con maíz amiláceo, variedad Checche INIA, en tres localidades diferentes

Localidad	Tratamiento	Cod. Trat.	Coberturas Vegetales	
			Peso seco de biomasa Foliar (kg. ha ⁻¹)	Aporte de nitrógeno (kg. ha ⁻¹)
Yanapampa	Testigo Control	T1	0,00	0,00
	Cobertura Trébol	T2	6400,40	272,88
	Cobertura Vicia	T3	7425,38	290,09
	Cobertura Vicia + Avena	T4	10045,00	215,04
Pultunchara	Testigo Control	T1	0,00	0,00
	Cobertura Trébol	T2	5225,18	201,15
	Cobertura Vicia	T3	2565,38	112,99
	Cobertura Vicia + Avena	T4	4509,13	154,09
Patasucro	Testigo Control	T1	0,00	0,00
	Cobertura Trébol	T2	6529,83	284,90
	Cobertura Vicia	T3	2094,45	86,87
	Cobertura Vicia + Avena	T4	3839,60	76,52
Media General	Testigo Control	T1	0,00	0,00
	Cobertura Trébol	T2	6051,80	252,98
	Cobertura Vicia	T3	4028,40	163,32
	Cobertura Vicia + Avena	T4	6131,24	148,55

Sin embargo, no sucedió lo mismo con el contenido de materia orgánica del suelo de todos los tratamientos en la localidad de Yanapampa y Patasucro, que aumentaron el contenido de materia orgánica del suelo, a pesar de que la localidad de Yanapampa presenta una pendiente < 5% y posee una textura de suelo arcilloso el contenido de materia orgánica subió ligeramente. En cambio, en la localidad de Patasucro a pesar de contar con una pendiente entre 25% y poseer una textura franca arcillo arenoso, el contenido de materia orgánica aumenta fuertemente. En este sentido se podría decir que las condiciones climáticas que afectaron la zona de estudio durante el desarrollo del experimento han tenido mayor importancia en la evolución de la materia orgánica del suelo que sus características edafológicas. Estos resultados concuerdan con **Márquez (2017)** quien encontró que, la capacidad de almacenar materia orgánica de los suelos depende principalmente de las condiciones climáticas y edafológicas. Asimismo, el mismo autor encontró una correlación positiva entre el contenido de arcilla y la cantidad de materia orgánica del suelo.

Un estudio en Argentina, realizado durante cuatro años en un huerto orgánico de manzano demostró que las coberturas permanentes de festuca (*Festuca arundinacea*) y alfalfa (*Medicago sativa*) incrementan los niveles de MO, N, P, Ca⁺² y Mg⁺² (**Aruani et al., 2006**).

3.4. Biomasa foliar de las coberturas vegetales

Según el análisis de varianza combinado para peso seco de biomasa de las coberturas vegetales en kg.ha⁻¹, mostró que, en la fuente de variación localidad y tratamiento, existió diferencia estadística altamente significativa.

En la **Tabla 5** se observa que no existe diferencia estadística entre el peso promedio de la materia seca de la biomasa foliar del trébol con la vicia asociado con avena, mientras que con la vicia sola si existe diferencia estadística. El peso promedio de materia seca de la cobertura de trébol, cobertura de vicia y cobertura de vicia asociado con avena fue de 6052; 4028 y 6131 kg.ha⁻¹ respectivamente; es decir, el peso promedio de la materia seca de la biomasa foliar del trébol supera en un 33% al

de la vicia. La producción de materia seca en kg.ha⁻¹ de la cobertura trébol y vicia, fue inferior al de la (vicia + avena), lo mismo fue observado por (**Ruffo & Parsons, 2004**), quienes reportan una producción de biomasa foliar de 4000 kg ha⁻¹ para avena y 3000 kg.ha⁻¹ para vicia, cuando cada cultivo se realiza en forma pura. El potencial productivo de la asociación (vicia + avena), en materia seca puede variar de 500 a 7200 kg.ha⁻¹ (**Vanzolini et al., 2009**). Lo cual concuerda con el presente trabajo donde el aporte de materia seca de la biomasa de la cobertura vicia + avena es de 6131 kg.ha⁻¹.

Por otro lado, estudios realizados concluyen que la incorporación de la biomasa de gramíneas y leguminosas genera un efecto positivo en la fertilidad física y química del suelo, ya que se relaciona con una mayor disponibilidad de nitrógeno aportado por la leguminosa y por una mejora del estado físico del suelo asociado a los aportes orgánicos (**Galantini et al., 1992**).

El peso seco de biomasa foliar, como se aprecia en la **Tabla 5**, obtuvo resultados bien diferenciados. Aquellas coberturas vegetales constituidas principalmente por especies de hoja ancha (trébol y vicia) tuvieron un peso seco de biomasa foliar media de (6000 y 4000 kg.ha⁻¹ respectivamente). Estos valores son similares a los obtenidos por **Repullo et al. (2012)** que en condiciones similares obtuvo entre 4500 y 3500 kg.ha⁻¹. Las coberturas formadas principalmente por gramíneas (avena) tuvieron mucho más peso seco de biomasa foliar, alrededor de 10000 kg.ha⁻¹ en Yanapampa y 4500 kg.ha⁻¹ en Pultunchara y unos 3800 kg.ha⁻¹ en Patasucro. Estos valores son comparables a los 5000 a 10000 kg. ha⁻¹ de peso seco de biomasa foliar de avena generada en viñedos californianos medidos por **Bugg et al. (1996)**.

3.5. Estimación de aporte de nitrógeno de las coberturas vegetales

En la **Tabla 5** de la comparación de promedios se observa que, el aporte promedio de nitrógeno de la biomasa foliar de la cobertura de trébol, cobertura de vicia, cobertura de vicia con avena fue 253; 163 y 149 kg.ha⁻¹ respectivamente; es decir, cuando se incorpore al suelo la biomasa foliar de

las coberturas el aporte de nitrógeno de la cobertura de trébol supera en 36% y 41% al aporte promedio de nitrógeno de la cobertura de vicia y de la vicia asociado con avena, respectivamente. Estos resultados concuerdan con otras investigaciones respecto al nitrógeno aportado por la descomposición de los cultivos de cobertura; ya que compararon los aportes de nitrógeno de arveja (*Pisum sativum* L.) y centeno (*Secale cereale*), teniendo 3% de nitrógeno en la materia seca de la arveja, en el centeno fue 2% en la etapa de alargamiento del tallo y 1% en la etapa de crecimiento de la espiga. También se estimó el de las brassicas, como *Sinapis alba*, que durante la floración aportan cerca de 2% de nitrógeno en materia seca (Sullivan et al., 2020). Asimismo, Capurro et al. (2012) compararon un suelo sin cobertura con otro con cultivos de cobertura de Vicia villosa y otro utilizando Vicia villosa + Avena Sativa, donde el contenido de nitrógeno en la materia seca fue mayor para la cobertura solo con Vicia villosa (2,33 - 3,29%), respecto a la mezcla de avena + vicia (1,14 - 1,6%). La liberación del nitrógeno contenido en la materia seca está relacionada a la descomposición y lo hacen disponible para el siguiente cultivo en forma nitrógeno disponible para las plantas (amonio + nitrato). La cantidad de nitrógeno disponible liberado está relacionado a los tejidos de las plantas, cuando estas están con tejidos más verdes existe mayor contenido nitrógeno disponible, comparado con tejidos más maduros que los contenidos son bajos e incluso pueden llegar a ser negativos (se inmoviliza). Esto ocurre principalmente en cereales ya que una vez que alcanzan la etapa de crecimiento de espiga, el nitrógeno disponible se inmoviliza y el contenido de nitrógeno del cultivo es inferior al requerido para construir la materia orgánica durante la descomposición del cultivo (Sullivan et al. 2020).

4. Conclusiones

El uso de las coberturas vegetales como trébol, vicia y mulch (cobertura muerta) asociado al cultivo de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) demostraron tener una mejor respuesta al incremento del rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en 44%, 37% y 38% respectivamente, en relación a la siembra de maíz sin ningún tipo de cobertura. Las coberturas mantienen también la humedad del suelo, más aún cuando los patrones de lluvia se ven afectados por los veranillos prolongados. Asimismo, el uso de coberturas de trébol, vicia y avena asociado con vicia incrementan la materia orgánica del suelo y aportan en promedio 253, 163 y 149 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrógeno, siempre y cuando la biomasa foliar de las coberturas se incorpora al suelo. En futuros trabajos de investigación se debe medir el aporte de carbono orgánico de suelos (COS) en los sistemas de cobertura de trébol y vicia asociados con cultivos de quinoa, maíz y otras especies de frutales, para observar el cambio en las propiedades físicas del suelo, en por lo menos con 3 campañas agrícolas.

Agradecimientos

A los productores de las comunidades Yanapampa, Pultunchara y Patasucro, distrito de Huanta y Huamanguilla, Ayacucho; por su apoyo y entusiasmo durante la investigación participativa.

Asimismo, se agradece al Programa Presupuestal "Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios" por el financiamiento otorgado para la ejecución del presente estudio y al Proyecto Ros Suelos y Aguas del Instituto Nacional de Innovación Agraria.

ORCID

- S. Sanabria Quispe: <https://orcid.org/0000-0001-5329-1778>
 K. Mendoza Dávalos: <https://orcid.org/0000-0001-7511-4617>
 S. Sangay-Tucto: <https://orcid.org/0000-0001-9457-4838>
 R. C. Cosme De La Cruz: <https://orcid.org/0000-0002-5774-9325>

Referencias bibliográficas

- Adams, M., Crawford, J., & Field, D., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., McBratney, A., Remy de Courcelles, V. de, Singh, K., Stockmann, U., & Wheeler, I. (2011). Managing the soil-plant system to mitigate atmospheric CO₂. *The United States Studies Centre at the University of Sydney*, 55.
- Alonso-Ayuso, M., Gabriel, J. L., García-González, I., Del Monte, J. P., & Quemada, M. (2018). Weed density and diversity in a long-term cover crop experiment background. *Crop Protection*, 112, 103-111.
- Alves, M. C., Sanches, L. G. A., & Sanches, L. E. A. (2007). Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31(1), 617-625.
- Arone, G. & Calderon, C., Moreno, S., & Bedmar, E. (2014). Identification of Ensifer strains isolated from root nodules of *Medicago hispida* grown in association with *Zea mays* in the Quechua region of the Peruvian Andes. *Biology and fertility of soils*, 50, 185-190.
- Aruani, M., Sánchez, E., & Reeb, P. (2006). Cambios en las propiedades de un suelo franco bajo producción orgánica de manzano utilizando coberturas vegetales. *Ciencia del Suelo*, 24(2), 131-137.
- Baigorria, T.; Cazorla, C. (2010). Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. EEA INTA Marcos Juárez.
- Barbier, E. B., & Hochard, J. P. (2016). Does Land Degradation Increase Poverty in Developing Countries? *PLoS One*, 11(5), e0152973.
- Barrett, C. B., & Bevis, L. E. M. (2015). The self-reinforcing feedback between low soil fertility and chronic poverty. *Nature Geoscience*, 8, 907-912.
- Bevis, L. E. M. (2015). Soil-to-Human Mineral Transmission with an Emphasis on Zinc, Selenium, and Iodine. *Springer Science Reviews*, 3(1), 77-96.
- Bouis, H. E., & Welch, R. M. (2010). Biofortification-A Sustainable Agricultural Strategy for Reducing Micronutrient Malnutrition in the Global South. *Crop Science*, 50, S-20-S-32.
- Bugg, R., Sarrantonio, M., Lanini, W., & Bartolucci, R. (1996). Comparison of 32 cover crops in an organic vineyard on the north coast of California. *Biological Agricultural Horticulturae*, 13, 63-81.
- Buyer, J. S., Baligar, V. C., He, Z., & Arévalo-Gardini, E. (2017). Soil microbial communities under cacao agroforestry and cover crop systems in Peru. *Applied Soil Ecology*, 120, 273-280.
- Capurro, J., Dickie, M., Ninfi, D., Zazzarini, A., Tosi, E., & Gonzáles, M. (2012). Vicia y avena como cultivos de cobertura en maíz. Trabajo presentado en: XXIII Congreso Argentino y IXX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata 2012.
- Capurro, J., & Montico, S. (2020). Efecto de los cultivos de cobertura sobre las pérdidas de agua y suelo por erosión hídrica. *Cuadernos del CURIHAM*, 26, 41-47.
- Chappell, A., Webb, N., Leys, J., Waters, C., Orgill, S., & Eyres, M. (2019). Minimising soil organic carbon erosion by wind is critical for land degradation neutrality. *Environmental Science & Policy*, 93, 43-52.
- Chilimba, A. D., Young, S. D., Black, C. R., Rogerson, K. B., Ander, L., et al. (2011). Maize grain and soil surveys revealsuboptimal dietary selenium intake iswidespread in Malawi. *Scientific Reports*, 1, 72.
- De Sa Pereira, E., Galantini, J., Quiroga, A. R., & Landriscini, M. R. (2014). Efecto de los cultivos de cobertura otoño invernales sobre el rendimiento y acumulación de N en maíz en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, 32(2), 219-231.
- Dhakal, K., & Nandwani, D. (2020). Evaluation of row covers for yield performance of the leafy green vegetables in organic management system. *Organic Agriculture*, 10(S1), 27-33.
- Felipe-Morales, C. (2002). Manejo Agroecológico del suelo en sistemas andinos en Agroecología, el camino hacia una agricultura sustentable. Ediciones Científicas Sudamericanas. Buenos Aires.
- Fenton, T., Kazemi, M., & Lauterbachbarrett, M. (2005). Erosional impact on organic matter content and productivity of selected Iowa soils. *Soil and Tillage Research*, 81(2), 163-171.
- Fernández, R., Frasier, I., Noellemeyer, E., & Quiroga, A. (2017). Soil quality and productivity under zero tillage and grazing on Mollisols in Argentina – A long-term study. *Geoderma Regional*, 11, 44-52.
- Fracchiolla, M., Renna, M., D'Imperio, M., Lasorella, C., Santamaría, P., & Cazzato, E. (2020). Living Mulch and Organic Fertilization to Improve

- Weed Management, Yield and Quality of Broccoli Raab in Organic Farming. *Plants*, 9(2), 177.
- Galantini, J. (1992). Rotación y fertilización en sistemas de producción de la región semiárida Bonaerense. *Rev. Fac. Agronomía. UBA*, 13(1), 67-75.
- Gómez, J. A., Giráldez, J. V., & Ferrer, E. (2011). Analysis of infiltration and runoff in an olive orchard under no-till. *Soil Science Society of America Journal*, 65, 291-299.
- Guo, L., & Gifford, R. (2002). Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis. *Global Change Biology*, 8(4), 345-360.
- Hunter, L. M., Luna, J. K., & Norton, R. M. (2015). Environmental Dimensions of Migration. *Annual Review of Sociology*, 41(1), 377-397.
- Jarecki, M., Grant, B., Smith, W., Deen, B., Drury, C., et al. (2018). Long-term Trends in Corn Yields and Soil Carbon under Diversified Crop Rotations. *Journal of Environmental Quality*, 47(4), 635-643.
- Kara, O., Babur, E., Altun, L., & Seyis, M. (2016). Effects of afforestation on microbial biomass C and respiration in eroded soils of Turkey. *Journal of Sustainable Forestry*, 35(6), 385-396.
- Kuria, A. W., Barrios, E., Pagella, T., Muthuri, C. W., Mukuralinda, A., & Sinclair, F. L. (2019). Farmers' knowledge of soil quality indicators along a land degradation gradient in Rwanda. *Geoderma Regional*, 16, e00199.
- Lal, R. (2005). Soil erosion and carbon dynamics. *Soil and Tillage Research*, 81(2), 137-142.
- Lal, R. (2015). Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, 7, 5875-5895.
- Marcillo, G. S., & Miguez, F. E. (2017). Corn yield response to winter cover crops: An updated meta-analysis. *Journal of Soil and Water Conservation*, 72(3), 226-239.
- Márquez, G. (2017). Capacidad de las cubiertas vegetales para mitigar y adaptar el cambio climático en olivares semiáridos. Tesis Doctoral. Programa de Ingeniería Agraria, alimentaria, Forestal y de Desarrollo Rural. Universidad de Córdoba. Córdoba – España.
- McCalla, T. M. (1950). Microorganisms and Soil Structure. *Transactions of the Kansas Academy of Science*, 53(1), 91-100.
- Mihelič, R., Pečnik, J., Glavan, M., & Pintar, M. (2021). Impact of Sustainable Land Management Practices on Soil Properties: Example of Organic and Integrated Agricultural Management. *Land*, 10(1), 8.
- Mirsky, S. B., Curran, W. S., Mortensen, D. M., Ryany, M. R., & Shumway, D. L. (2011). Timing of Cover-Crop Management Effects on Weed Suppression in No-Till Planted Soybean using a Roller-Crimper. *Weed Science*, 59(3), 380-389.
- Nario, M. A., Pino, N. I., Parada, C. A. M., Rouanet, M. J. L., Barrientos, L., & Montenegro, A. (2001). Efecto de rotación de cultivos en el balance de nitrógeno (15N), en labranza conservacionista. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 1(2), 42-48.
- Novara, A., Cerda, A., Barone, E., & Gristina, L. (2021). Cover crop management and water conservation in vineyard and olive orchards. *Soil and Tillage Research*, 208, 104896.
- Olson, K. R., Al-Kaisi, M., Lal, R., & Cihacek, L. (2016). Impact of soil erosion on soil organic carbon stocks. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71(3), 61A-67A.
- Perales, A., Loli, O., Alegre, J., & Camarena, F. (2009). Indicadores de sustentabilidad del manejo de suelos en la producción de arveja (*Pisum sativum* L.). *Ecología Aplicada*, 8(1-2), 47.
- Polyakov, V., & Lal, R. (2004). Modeling soil organic matter dynamics as affected by soil water erosion. *Environment International*, 30(4), 547-556.
- Repullo, M., Carbonell, R., Alcántara, C., Rodríguez, A., & Ordóñez, R. (2012). Carbon sequestration potential of residues of different types of cover crops in olive groves under Mediterranean climate. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10, 649-661.
- Roarty, S., Hackett, R. A., & Schmidt, O. (2017). Earthworm populations in twelve cover crop and weed management combinations. *Applied Soil Ecology*, 114, 142-151.
- Ruffo, M., & Parsons, A. (2004). Cultivos de Cobertura en Sistemas Agrícolas. *Informaciones agronómicas del cono sur*, 21, 1-8.
- Santillana, V. N. (2006). Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomonas* sp. *Ecología Aplicada*, 5, 87-91.
- Seman-Varner, R., Varco, J., & O'Rourke, M. (2017). Nitrogen benefits of winter cover crop and fall-applied poultry litter to corn. *Agronomy Journal*, 109(6), 2881-2888.
- Sullivan, D., Andrews, N., & Brewer, L. (2020). Estimating plant-available nitrogen release from cover crops. *A pacific northwest extension publication*, 2020, 1-20.
- Teasdale, J. R., Brandsaeter, L. O., Calegari, A., & Skora Neto, F. (2007). Cover crops and weed management. *Non-chemical weed management*, Cap. 4, 49-64.
- Vanzolini, J., Galantini, J., Agamennoni, R., & Reinoso, O. (2009). Momento de control de cultivos de cobertura de *Vicia villosa* Roth. y su efecto sobre la producción de biomasa. Jornadas Nacionales Sistemas Productivos Sustentables, Comisión Química de Suelos. AACs. Bahía Blanca, Bs.As. pp 279.
- Waymouth, V., Miller, R. E., Ede, F., Bissett, A., & Aponte, C. (2020). Variation in soil microbial communities: Elucidating relationships with vegetation and soil properties, and testing sampling effectiveness. *Plant Ecology*, 227(9), 837-851.
- Wolf, B., & Snyder, G. H. (2003). Sustainable Soils: The place of organic matter in sustaining soils and their productivity. Food Products Press. Binghamton, NY.
- Wu, H., Xiong, D., Xiao, L., Zhang, S., Yuan, Y., et al. (2018). Effects of vegetation coverage and seasonal change on soil microbial biomass and community structure in the dry-hot valley region. *Journal of Mountain Science*, 15(7), 1546-1558.
- Yeganehpour, F., Salmasi, S. Z., Abedi, G., Samadiyan, F., & Beyginiya, V. (2015). Effects of cover crops and weed management on corn yield. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(2), 178-181.
- Zeballos, O. (2015). Calidad Físico - Química de suelo árido en cebolla (*Allium cepa* L.) con fertilizantes orgánicos, en la Irrigación Majes. Tesis para optar el grado académico de Doctoris Philosophiae. UNALM. Lima, Perú.