



Siembra

ISSN: 1390-8928

ISSN: 2477-8850

xblastra@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador
Ecuador

Vargas Diaz, Ruy Edeymar; Wilches Ortiz, Wilmar Alexander; Espitia Malagón, Eduardo María

Efecto del establecimiento de sistemas de rotación para el cultivo
de la papa sobre las características químicas y físicas del suelo

Siembra, vol. 9, núm. 2, e4023, 2022, Julio-Diciembre
Universidad Central del Ecuador
Quito, Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.4023>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=653871546014>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

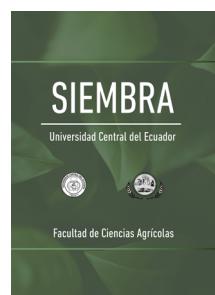
Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Efecto del establecimiento de sistemas de rotación para el cultivo de la papa sobre las características químicas y físicas del suelo

Effects of rotation systems for potato crop on chemical and physical characteristics of the soil

Ruy Edeymar Vargas Diaz¹, Wilmar Alexander Wilches Ortiz², Eduardo María Espitia Malagón³.



Siembra 9 (2) (2022): e4023

Recibido: 11/08/2022 Revisado: 27/09/2022 Aceptado: 09/11/2022

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, CP 250047. Mosquera, Cundinamarca, Colombia.
✉ rvargas@agrosavia.co
✉ https://orcid.org/0000-0003-2609-4087

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, CP 250047. Mosquera, Cundinamarca, Colombia.
✉ wwilches@agrosavia.co
✉ https://orcid.org/0000-0002-2905-3347

³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, CP 250047. Mosquera, Cundinamarca, Colombia.
✉ eespitia@agrosavia.co
✉ https://orcid.org/0000-0002-4690-393X

*Autor de correspondencia:
rvargas@agrosavia.co

Resumen

La implementación de rotación de cultivos puede modificar las características físicas y químicas de los suelos y ha sido recomendada para mejorar la calidad de este. En Colombia, algunos productores implementan diferentes sistemas de rotación en los cultivos de papa, siendo importante conocer el potencial que pueden aportar a estos sistemas productivos. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características físicas y químicas del suelo después de utilizar esquemas de rotación de cultivos. Se evaluaron tres sistemas de rotación (1. papa-papa-avena, 2. papa-avena-arveja, 3. papa-arveja-papa) en el lote 49 del Centro de Investigación Tibaitatá de Agrosavia (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), ubicado en el municipio de Mosquera, departamento de Cundinamarca (Colombia). Se tomaron muestras de suelo al inicio y final de cada sistema de rotación evaluado, realizando un análisis físico-químico en laboratorio. En los sistemas de rotación no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) en las propiedades físicas estudiadas, pero el sistema de rotación papa, avena y arveja, presentó un pH mayor ($p < 0,05$) en comparación con los otros tratamientos evaluados. Se destaca el aumento de la disponibilidad de nutrientes, como el fósforo, el boro y el zinc sin alterar las propiedades físicas del suelo al final de los ciclos de rotación, para que puedan ser aprovechados en el desarrollo de las plantas de papa que se establezcan.

Palabras clave: arveja, avena, conservación, fertilidad.

Abstract

Crop rotation implementation may change physical and chemical characteristics of the soil and has been recommended to improve soil quality. In Colombia, some producers implement different rotation systems in potato crops, and it is important to know the potential that they can bring to these production systems. The objective of this work was evaluating the physical and chemical characteristics of the soil after using crop rotation schemes. Three rotation systems were evaluated (1. potato-potato-oatmeal, 2. potato-oatmeal-pea, 3. potato-pea-potato) in lot 49 of research center Tibaitatá Agrosavia (Colombian Corporation of Agricultural Research), located in the municipality of Mosquera, department of Cundinamarca (Colombia). Soil samples were taken at the beginning and end of each evaluated rotation system, subsequently performing physical-chemical analysis in the laboratory. In the rotation systems, no statistically significant differences were observed ($p > 0.05$) in the physical properties studied, but the potato-oat-pea rotation system showed a higher pH ($p < 0.05$) compared to the other treatments evaluated. It is important to increase the availability of nutrients such as phos-



phorus, boron and zinc without altering the physical properties of the soil at the end of the rotation cycles, so they can be used in the development of potato plants subsequently planted.

Keywords: pea, oat, conservation, fertility.

1. Introducción

En Colombia, el aumento de la erosión, incorrecto manejo del suelo y la no adopción de prácticas sostenibles son factores que pueden degradar los terrenos, en especial los de ladera (Bernal *et al.*, 2008). Algunos sistemas productivos contribuyen a esta problemática, como el caso del cultivo de papa. Ciertas labores de este cultivo pueden intensificar los problemas: perturban las características del suelo, lo degradan y lo erosionan, y promueven saturación con nitratos. Durante la preparación del suelo se afloja la capa superficial y, en ocasiones, se pulveriza para evitar que se formen grumos en las camas donde se siembran las semillas, dejándolo susceptible a las condiciones ambientales (Osman, 2014). Además, es frecuente realizar las labores de cultivo usando maquinaria pesada. Un caso común es el de realizar un pase profundo con arado de discos y dos pasos de rotocultivador en el sentido de la pendiente. Este tipo de preparación ocasiona cambios en los componentes químicos y físicos de la capa arable del suelo (Gómez-Calderón y Estrada-León, 2020).

Una posible mitigación a estos problemas en el suelo es la implementación de sistemas de rotación de cultivos (Silva *et al.* 2015). La rotación consiste en la sucesión de diferentes cultivos en el mismo lote a través del tiempo y busca maximizar la productividad por unidad de superficie, optimizando el uso de los recursos (Coronato *et al.*, 2018). Estos sistemas le dan, entre otros, sustentabilidad a la producción agrícola. En los objetivos de la rotación de cultivos se pueden clasificar tres categorías principales, que incluyen ganancias financieras, maximización agrícola del rendimiento y la ambiental para reducir los efectos adversos de los insumos agrícolas en el ambiente (Tariq *et al.*, 2019). La inclusión de diferentes tipos de cultivos es el mejor y más efectivo control de enfermedades y plagas, puesto que puede romper los ciclos de vida de insectos y patógenos presentes en el área (Tariq *et al.*, 2019; Wilches Ortiz, 2019). La magnitud de la mejora del rendimiento y otros beneficios asociados de la rotación de cultivos puede variar, pero sin duda, en los escenarios actuales y de cambio climático, tienden a resolver problemas como el estancamiento del rendimiento, el agotamiento de los recursos y la reducción de la dependencia de insumos sintéticos (Yu *et al.*, 2022).

Una de las limitantes que presentan los cultivos de papa en Colombia es la complejidad de la siembra, puesto que requiere de múltiples adecuaciones que solventen la acidez y la pobreza de nutrientes de los suelos (González Briceño, 2016). Aunque existen dinámicas de descanso en los cultivos de papa, el deterioro provocado por las prácticas agrícolas convencionales es mayor que la velocidad de recuperación de los suelos (López Garrido, 2010). La intensificación del uso del suelo producto de la tendiente reducción de los tiempos de descanso supone interrogantes sobre los efectos de este fenómeno y demandan la implementación de un sistema de manejo alternativo que sea acorde con la sostenibilidad (González Briceño, 2016). Algunos agricultores que producen papa en Colombia en el altiplano cundiboyacense rotan este cultivo con pastos, forrajes u otro tipo de cultivo. Por esto, se planteó como objetivo evaluar tres diferentes tipos de rotaciones que usan los productores colombianos, y así establecer qué beneficios, en cuanto a condiciones químicas y físicas del suelo, tiene la implementación de este tipo de prácticas.

2. Materiales y Métodos

Se estableció el ensayo en el municipio de Mosquera del departamento de Cundinamarca (Colombia). En el Centro de Investigación Tibaitatá de Agrosavia (lote 49), ubicado en 4°41'18,84" latitud N y 74°12'22,67" longitud oeste, con una altitud de 2.560 m s.n.m., precipitación anual promedio de 668,7 mm, humedad relativa promedio de 80 % y temperatura promedio 13-13,5 °C (Santos Rivera y Morales Aguas, 2018). Los suelos en el área de estudio pertenecen al complejo RMQa (Figura 1) integrado por Pachic Haplustands en una proporción del 35 %, Humic Haplustands en un 35 % y Fluventic Dystrustepts en el 30 % restante. Estos suelos, en su gran mayoría, evolucionaron a partir de cenizas volcánicas, son profundos a muy profundos, bien a moderadamente drenados con texturas finas a moderadamente gruesas, reacción mediana a ligeramente ácida y fertilidad moderada a alta (Villamizar Quesada y Calderón, 2005).

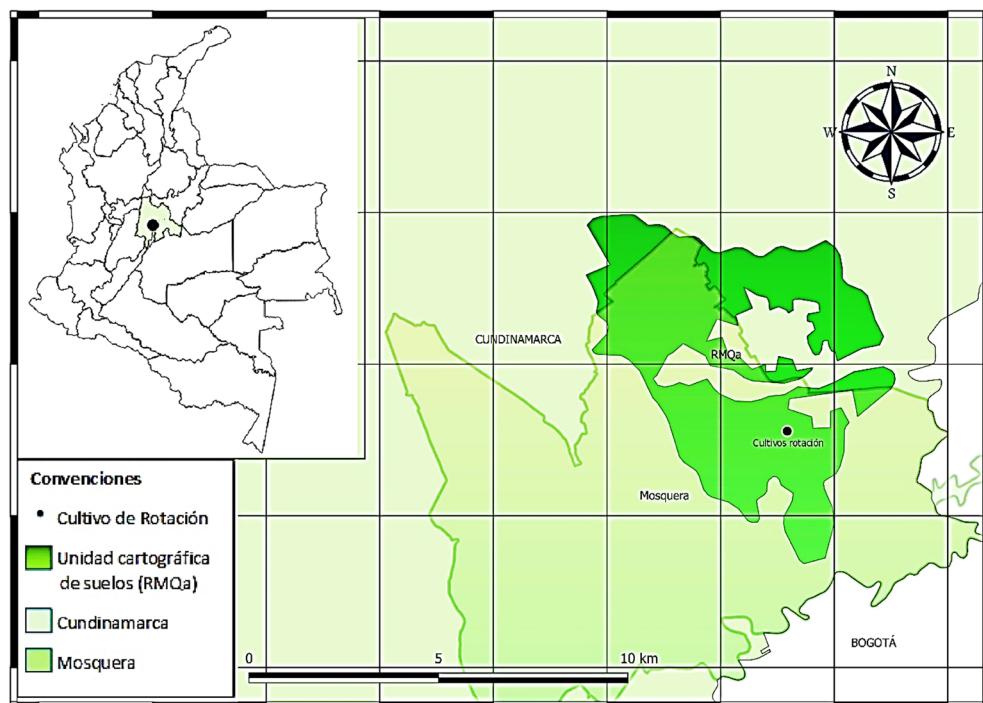


Figura 1. Localización de ensayos de rotación para el cultivo de papa en suelo de unidad cartográfica RMQa. Elaboración propia a partir de datos abiertos de levantamiento de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi del 2021 (IGAC, 2021).

Figure 1. Location of rotation trials for potato cultivation in soil of the RMQa cartographic unit. Own elaboration based on open soil survey data from the Agustín Codazzi Geographical Institute of 2021 (IGAC, 2021).

Se establecieron tres esquemas de rotación, cada uno con la sucesión de tres ciclos de cultivo, entre los períodos de noviembre de 2016 a julio de 2017 (Tabla 1). Los esquemas de rotación se evaluaron en un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con cuatro repeticiones por tratamiento, para un total de 12 unidades experimentales (UE). Cada UE tuvo un área de 204 m². El lote es ligeramente plano y se encontraba con más de cinco años en pastoreo de ganado vacuno, las unidades experimentales se bloquearon de acuerdo con la topografía del terreno. Para el establecimiento inicial de los cultivos de rotación se utilizó desbrozadora para cortar pastos y malezas presentes, luego se realizaron cuatro pasos de cincel rígido, dos pasos de rastra de discos excéntrica y, por último, con un surcador se crearon los surcos para la posterior siembra. En los siguientes ciclos la preparación del suelo se realizó de forma manual usando azadón.

Tabla 1. Descripción de tratamientos evaluados.

Table 1. Description of evaluated treatments.

Tratamiento	Descripción
T1	ciclo 1 (papa) - ciclo 2 (papa) - ciclo 3 (avena)
T2	ciclo 1 (papa) - ciclo 2 (avena) - ciclo 3 (arveja)
T3	ciclo 1 (papa) - ciclo 2 (arveja) - ciclo 3 (papa)

En Colombia, es común que los requerimientos de cal sean de 500 hasta 5.000 kg ha⁻¹, cabe resaltar que este rango es bastante amplio, razón por la cual su aplicación se define de acuerdo al análisis de suelo y del cultivo a implementar (Osorno Henao, 2012). De acuerdo con la recomendación incluida en el análisis del suelo, se aplicó una enmienda de 800 kg ha⁻¹ de cal dolomita [CaMg (CO₃)₂] antes de establecer el cultivo inicial de papa en los tres tratamientos. Cabe resaltar que esta práctica agronómica es realizada por los agricultores antes del establecimiento del cultivo. Las UE se sembraron con semilla de papa de calidad certificada de la variedad comercial Diacol Capiro, la fertilización se realizó de forma convencional a la aplicada por los agricultores de la zona (NO₃ 234 – P₂O₅ 486 – K₂O 240 – MgO 23 kg ha⁻¹). El cultivo de avena (*Avena sativa L.*) se sembró con la variedad comer-

cial tipo forrajera Cayuse con la técnica “al voleo” y a una densidad de siembra de 88 kg ha⁻¹. Para el cultivo de la arveja (*Pisum sativum* L.) se empleó la variedad comercial tipo Santa Isabel con un hábito de crecimiento voluble (Buitrago *et al.*, 2006; Ligarreto y Ospina, 2009). En la avena y arveja no se utilizó fertilización.

Al inicio y final de cada ciclo de cultivo, en cada tratamiento, se muestreó el suelo para evaluar propiedades físicas como: la capacidad de retención de agua (CRA) por el método de succión con cámaras de presión, la densidad aparente (DA) por el método del volumen conocido, la densidad real (DR) por el método del picnómetro y el diámetro medio ponderado (DMP) de los agregados por el método de Yoder. Las propiedades químicas evaluadas fueron: pH por el método de potenciometría, conductividad eléctrica (CE) por el método NTC 5596:2008, materia orgánica (MO) por el método Walkley & Black, calcio intercambiable (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na) intercambiables por el método NTC 5349:2008. Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) por el método de suma de cationes, azufre (S) por el método de fosfato monobásico de calcio, fósforo (P) por el método NTC 5350:2005, hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu) por el método NTC 5526:2007 y boro (B) por el método de fosfato monobásico de calcio, disponibles en el suelo. En los análisis mencionados se utilizó la guía para métodos analíticos del laboratorio de suelos descritos en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en 2006.

Al conjunto de datos de la información se le realizó análisis de varianza (ANOVA), para establecer si se presentaron diferencias en los tratamientos al final de los ciclos evaluados. Se verificó la normalidad e igualdad de varianza en los residuos del modelo. Para la comparación entre tratamientos se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). En los análisis se usó el software estadístico R® (R Core Team, 2020).

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 2 se indica que en general las propiedades correspondientes a pH, P, Zn, B, CRA y DMP aumentaron sus valores en todos los tratamientos evaluados al final del experimento. Cabe destacar que el área de implementación de las rotaciones se caracteriza por presentar suelos derivados de cenizas volcánicas, principalmente andisoles en una proporción del 70 % (Pachic Haplustands 35 % y Humic Haplustands 35 %). Los andisoles son considerados los suelos más productivos, pero tienen como limitante la alta capacidad de inmovilizar (fijar) fósforo (P) y la fuerte acidez que pueden presentar (Vargas-Barrantes y Castro-Barquero, 2019). En las regiones andinas donde se cultiva la papa, los suelos son fuertemente ácidos con niveles de pH bajos (< 6) y con el nivel de P fijo, lo que disminuye su disponibilidad (Castro *et al.*, 2013). Debido a esta acidez propia del suelo, se aplicó enmienda al inicio del experimento, por tanto, se puede afirmar que la aplicación inicial de cal dolomita y las rotaciones de cultivo permiten mejorar la acidez propia del suelo y se confirma la alta capacidad de fijar fósforo (P) en suelos andisoles, destacándose que el sistema de rotaciones entre cultivos de arveja, avena y papa no presentó deficiencias de este nutriente, además de mostrar un beneficio en la aptitud del suelo para el cultivo de papa, dado que en todos los ciclos al final se aumentó la cantidad de P (60 a 104 mg kg⁻¹), cuyos valores aproximados al inicio fueron de 41 a 45 mg kg⁻¹ mejorando los niveles críticos de P en el suelo reportados para el cultivo de papa que son de 30-60 mg kg⁻¹ (Muñoz, 1998; Rios Quinchao *et al.*, 2010).

El boro (B) es un micronutriente esencial necesario para el crecimiento y productividad de las plantas. Desempeña un papel importante en la fisiología y eventos bioquímicos que ocurren en las plantas (Mora Ce-rezo, 2019). El contenido de boro en el suelo, mediante la enmienda inicial y todas las rotaciones de cultivo, obtuvo un aumento al final de los ciclos representando un beneficio para posteriores siembras de papa, puesto que autores como Wadas y Dziugieł (2015) destacan que el contenido de boro (B) en el suelo puede influir en la materia seca y el contenido de ácido ascórbico en el tubérculo de papa.

El valor de la estabilidad del suelo (DMP) fue incrementado en todos los tratamientos, clasificando el suelo como moderadamente estable (Gómez Giraldo, 2013). El mismo comportamiento se presentó en la capacidad de retención de agua (CRA), aunque se presentaron valores bajos menores al 15 % (Montenegro González y Malagón Castro, 1990). Se coincide con Yu *et al.* (2022), quienes afirman que la rotación de cultivos genera un mayor almacenamiento de agua en el suelo y mayor eficiencia en el uso del agua en los cultivos. En los valores de densidad aparente y real no se presentaron alteraciones al implementar los tres tratamientos de rotación. Las características del suelo correspondientes a CE, MO, Ca, Mg, K, Na, CICE y Fe disminuyeron sus valores al final de los ciclos de rotación. La aplicación inicial de cal dolomita en conjunto con la rotación de cultivo papa, avena, arveja presentó la mayor corrección de acidez del suelo (pH: 5,32 a 6,04) respecto a los demás tratamientos (Tabla 2). Cabe resaltar que la enmienda inicial fue la misma en todos los tratamientos y el primer ciclo correspondió a cultivo de papa.

Tabla 2. Valores promedio y desviación estándar de las propiedades físicas y químicas disponibles en el suelo al inicio y final de los tratamientos.

Table 2. Average values and standard deviation of the physical and chemical properties available in the soil at the beginning and end of the treatments.

Propiedad	Tratamiento					
	T1 Inicial	T1 Final	T2 Inicial	T2 Final	T3 Inicial	T3 Final
pH	5,34±0,09	5,43±0,15	5,32±0,06	6,04±0,15	5,4±0,09	5,63±0,19
CE (dS m ⁻¹)	2,62±1,04	1,44±0,41	2,58±0,42	0,82±0,12	2,52±0,19	1,51±0,49
MO (%)	10,19±0,78	9,18±0,24	10,45±0,51	8,1±1,28	10,1±1,01	8,55±1,49
P (mg kg ⁻¹)	45,47±7,97	104,09±49,10	41,33±10,73	76,61±9,07	44,58±15,19	59,76±12,06
S (mg kg ⁻¹)	45,15±20,04	65,87±10,98	46,26±28,19	23,66±1,47	48,64±15,53	32,19±6,39
Ca (cmol kg ⁻¹)	14,44±0,84	9,89±0,80	14,71±0,55	11,34±0,26	14,28±0,27	10,57±0,94
Mg (cmol kg ⁻¹)	3,65±0,49	2,79±0,22	3,63±0,26	3,44±0,34	3,6±0,39	3,21±0,11
K (cmol kg ⁻¹)	1,29±0,69	1,21±0,76	1,17±0,54	0,94±0,67	1,25±0,61	1±0,60
Na (cmol kg ⁻¹)	1,04±0,07	0,88±0,05	1,24±0,58	0,91±0,19	1,27±0,38	0,8±0,06
CICE (cmol kg ⁻¹)	20,59±1,76	14,93±0,78	20,9±1,33	16,62±1,32	20,51±1,27	15,62±0,50
Fe (mg kg ⁻¹)	1156±303,86	944,35±76,54	1132,36±317,81	691,98±59,70	1014,27±78,58	907,23±121,07
Mn (cmol kg ⁻¹)	12,53±1,44	16,29±7,76	13,03±2,04	3,25±0,48	11,77±3,27	4,5±1,04
Zn (mg kg ⁻¹)	58,54±8,64	69,36±5,99	55,87±4,91	92,31±12,84	55,74±8,69	85,21±5,76
Cu (mg kg ⁻¹)	3±1,37	2,55±0,49	3,66±0,38	2,19±0,15	3,39±0,33	2,4±0,28
B (mg kg ⁻¹)	0,39±0,20	1,59±0,12	0,45±0,05	1,02±0,12	0,5±0,18	0,83±0,11
DA (g cm ⁻³)	0,9±0,02	0,98±0,02	0,97±0,09	0,92±0,09	0,97±0,08	1,04±0,07
DR (g cm ⁻³)	2,2±0,02	2,18±0,01	2,19±0,04	2,25±0,23	2,23±0,02	2,2±0,01
CRA (%)	4,16±1,81	8,58±1,19	3,8±0,25	7,7±0,74	4,21±0,94	7,22±1,25
DMP (mm)	2,18±0,22	2,49±0,10	2,25±0,34	2,31±0,40	2,11±0,19	2,93±0,31

Se observa en la Tabla 3 que las propiedades físicas no tuvieron diferencias ($p > 0,05$) en los tratamientos evaluados. Esto indica que la implementación de cualquiera de las rotaciones establecidas no afecta las características físicas del suelo evaluadas.

Por otro lado, la aplicación inicial de cal dolomita en conjunto con las rotaciones mostró diferencias ($p < 0,05$) en las características químicas del pH, S, Mg, Fe, Mn, Zn y B. El pH en el T2 fue el más alto (Tabla 3) en comparación con las otras rotaciones, y además se evidenció un incremento al valor inicial que se tenía en el establecimiento del primer ciclo de rotación, lo que demuestra que la aplicación de la enmienda inicial en conjunto de la rotación papa, avena, arveja se convierte en una alternativa para la reducción de la acidez en suelos paperos de la zona.

El S es fundamental para la asimilación del nitrógeno en la planta y es un constituyente esencial de las proteínas, afectando el crecimiento de tallos y hojas (Jiménez, 2017). El S en el T1 se observa con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), con valores de más del doble de los otros tratamientos. Esto puede explicarse porque el T1 tiene dos ciclos seguidos de papa, y la fertilización que se realiza a este cultivo es más alta que los otros cultivos que se usaron en las rotaciones (avena y arveja).

El T1 en el caso del Mg presentó menores valores (2,79 cmol kg⁻¹) comparado con los otros tratamientos. Este elemento es importante puesto que la papa, al sufrir deficiencias de Mg, puede tener una disminución en el contenido de almidón de los tejidos de almacenamiento (tubérculos) y esto puede disminuir el rendimiento de la cosecha (Jiménez, 2017). En Colombia la disponibilidad de Mg para suelos cultivados con papa, son clasificados como bajos a muy bajos (Jiménez, 2017) y tener un sistema de rotación que mantenga o aumente los valores de Mg en el suelo puede ser provechoso para el cultivo de la papa.

Se considera que el Fe es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, después del Si, O y el Al, y su contenido en suelo se estima en un 3,8 % (Juárez Sanz et al., 2007). El T2 presentó diferencias con respecto a los otros tratamientos. La disponibilidad de Fe depende, entre otros factores, del pH: a valores por encima de 7,8 afectan la biodisponibilidad de los cationes metálicos (Sierra, 2016). Por tanto, en los tratamientos evaluados ($pH < 7,8$) no se observó ninguna restricción en la disponibilidad de Fe para el cultivo de papa. El Mn presenta valores por debajo de 10 mg kg⁻¹ al final de los ciclos en T2 y T3, clasificándolos como suelos

Tabla 3. Valores promedio y resultados prueba de comparación múltiple (Tukey) de los diferentes tratamientos de las propiedades físicas y disponibles en el suelo de los tratamientos.

Table 3. Average values and results of the multiple comparison test (Tukey) of the different treatments of the physical properties and available in the soil of the treatments.

Propiedad	Tratamiento		
	T1	T2	T3
pH	5,43 b	6,04 a	5,63 b
CE (dS m ⁻¹)	1,44 a	0,82 a	1,51 a
MO (%)	9,18 a	8,10 a	8,55 a
P (mg kg ⁻¹)	104,08 a	76,61 a	59,76 a
S (mg kg ⁻¹)	65,87 a	23,66 b	32,19 b
Ca (cmol kg ⁻¹)	9,89 a	11,34 a	10,57 a
Mg (cmol kg ⁻¹)	2,79 b	3,44 a	3,20 ab
K (cmol kg ⁻¹)	1,21 a	0,94 a	1,00 a
Na (cmol kg ⁻¹)	0,88 a	0,90 a	0,80 a
CICE (cmol kg ⁻¹)	14,93 a	16,62 a	15,62 a
Fe (mg kg ⁻¹)	944,35 a	691,98 b	907,23 a
Mn (cmol kg ⁻¹)	16,30 a	3,25 b	4,50 b
Zn (mg kg ⁻¹)	69,34 b	92,31 a	85,21 ab
Cu (mg kg ⁻¹)	2,55 a	2,19 a	2,40 a
B (mg kg ⁻¹)	1,59 a	1,02 b	0,83 b
DA (g cm ⁻³)	0,98 a	0,92 a	1,04 a
DR (g cm ⁻³)	2,18 a	2,25 a	2,20 a
CRA (%)	8,58 a	7,70 a	7,22 a
DMP (mm)	2,45 a	2,31 a	2,93 a

Nota: Valores promedio con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Note: Average values with the same letter are not statistically different ($p < 0,05$).

con bajos niveles de este elemento (Gómez, 2005). El Mn es fundamental en el proceso de respiración, síntesis de proteínas, metabolismo de nitrógeno y azúcares en las plantas (López Rodríguez, 2019). Al igual que el S, la fertilización de dos ciclos seguidos en papa se puede apreciar con el mayor contenido de Mg en el T1, comparado con T2 y T3. Los cultivos del T2 y T3 no muestran una diferencia significativa en los valores de Mg al final de los ciclos productivos.

En cuanto al B, el tratamiento 1 presentó el mayor valor ($1,59 \text{ mg kg}^{-1}$) siendo valores altos que pueden afectar el rendimiento de las categorías con mayor valor comercial, puesto que si el contenido en el suelo es de $0,28 \text{ mg kg}^{-1}$ no se recomienda realizar ninguna aplicación de este elemento para la variedad Diacol Capiro (Tabares Patiño *et al.*, 2009).

Sobre la MO, en los tres tratamientos no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas, mostrando que los sistemas de rotación evaluados no afectaron esta propiedad. El contenido de MO se encontró entre 8,1 y 9,2 al final de los ciclos de rotación, los cuales son favorables para disminuir el riesgo de erosión e incentivar la actividad biológica del suelo (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015; Núñez-López, 2020).

4. Conclusiones

A pesar de no presentarse diferencias en cuanto a propiedades físicas del suelo al final de los ciclos de rotación planteados, se observó que los sistemas de rotación mejoraron el valor de la estabilidad del suelo (DMP) y la capacidad de retención de agua (CRA). Esto mejora el crecimiento radicular y la emergencia de las plantas, siendo importante para el posterior establecimiento de cultivo. La fertilidad del suelo

después de la implementación de diferentes ciclos de rotación se vio favorecida para algunas de sus características químicas.

La aplicación inicial de enmiendas acompañado de la rotación de cultivos de papa, avena y finalmente arveja representa beneficios con respecto a las demás rotaciones implementadas para el establecimiento de un nuevo cultivo de papa. Mediante este sistema de rotación se logra incrementar el pH del suelo, aumentando la disponibilidad de nutrientes como el fósforo, el boro y el zinc, además de mejorar la retención de humedad y estabilidad del suelo.

Las condiciones en que terminan las rotaciones abren la posibilidad para establecer sistemas de producción intensiva sostenible donde se continúe el proceso productivo en contraste con largos períodos de descanso que suelen tener los lotes en las fincas de producción de papa.

Agradecimientos

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia - MADR, por la financiación y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), por la ejecución del producto: “Estrategias de producción sostenible de papa en el altiplano Cundiboyacense y Nariño, que permitan la obtención de un producto inocuo y de mínimo impacto”.

Financiamiento

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia - MADR

Contribuciones de los autores

- Ruy Edeymar Vargas Diaz: redacción – borrador original, investigación, curación de datos, análisis formal, visualización, redacción – revisión y edición.
- Wilmar Alexander Wilches Ortiz: redacción – borrador original, investigación, curación de datos, redacción – revisión y edición
- Eduardo María Espitia Malagón: redacción – revisión y edición.

Referencias

- Bernal, N., Montealegre, G., Ipaz, S., Chaparro Anaya, O., y Ramírez, L. (2008). Efecto de cuatro métodos de labranza sobre las propiedades físicas y la pérdida de suelo en la rotación papa-pastos en áreas de ladera en una región alto andina de Colombia. *Acta Agronómica*, 57(1), 35-42. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/1053
- Buitrago, J. Y., Duarte, C. J., y Sarmiento, A. (2006). *El cultivo de la arveja en Colombia*. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas-FENALCE y Fondo Nacional Cerealista.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). *Manual Papa*. Cámara de Comercio de Bogotá. <http://hdl.handle.net/11520/14306>
- Castro, H., Gómez, M. I., Burbano, O. H., y Silva, M. F. (2013). Fertilidad y fertilizantes. En H. Burbano Orjuela y F. Silva Mojica (eds.), *Ciencia de Suelo. Principios Básicos* (2^a ed.) (pp. 231–304). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Coronato, M. L., Minoldo, G., y Galantini, J. A. (2018). Cambios en algunas propiedades químicas edáficas y en productividad de la cebada en rotación con arveja. En J. A. Galantini (ed.), *Siembra directa en el SO Bonaerense* (pp. 89–98). Universidad Nacional del Sur. <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/8744>
- Gómez Giraldo, J. C. (2013). *Manual de Prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos*. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). <https://hdl.handle.net/11404/2785>

- Gómez, M. (2005). Análisis de suelos como herramienta de diagnóstico en la evaluación química de la fertilidad en el cultivo de papa. En *Memorias I Taller Nacional sobre Suelos, Fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa* (pp. 78-90). Centro virtual de investigación de la cadena agroalimentaria de la papa (CE-VIPAPA). Bogotá. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/17441/41887_44470.pdf?sequence=1#page=89
- Gómez-Calderón, N., y Estrada-León, R. J. (2020). Conservación de suelos mediante la modificación de la frecuencia de labranza: Un caso en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 123-139. <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.7>
- González Briceño, F. H. (2016). *Caracterización físico-química y microbiológica de suelos paramunos del P.N.N. Sumapaz sometidos al cultivo convencional y orgánico de papa post-descanso de actividad agrícola*. Universidad Distrital de Colombia. <http://hdl.handle.net/11349/7152>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2021). *Datos Abiertos Agrología*. Mapas levantamiento de Suelos del Territorio Colombiano a escala 1:100.000. Departamento: Cundinamarca. <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>
- Jiménez, F. (2017). La importancia de la nutrición con magnesio y azufre en el cultivo de la papa. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 26(3), 30-34. [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2D071476E9B2B1B80325815D00646E09/\\$FILE/30.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2D071476E9B2B1B80325815D00646E09/$FILE/30.pdf)
- Juárez Sanz, M., Cerdán, M., y Sánchez Sánchez, A. (2007). *Hierro en el sistema suelo-planta*. Universidad de Alicante. <http://hdl.handle.net/10045/1845>
- Ligarreto, G. A., y Ospina, A. R. (2009). Análisis de parámetros heredables asociados al rendimiento y precocidad en arveja voluble (*Pisum sativum L.*) tipo Santa Isabel. *Agronomía Colombiana*, 27(3), 333-339. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/13276>
- López Garrido, R. (2010). *Laboreo de Conservación: Efectos a corto y largo plazo sobre la calidad del suelo y el desarrollo de los cultivos*. Universidad de Sevilla. <http://hdl.handle.net/10261/52891>
- López Rodríguez, M. M. (2019). *Compuestos fenólicos, carotenoides y actividad antioxidante en papa diploide con fertilización foliar de magnesio y manganeso*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69813>
- Montenegro González, H., y Malagón Castro, D. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Mora Cerezo, B. J. (2019). *El boro como elemento multifuncional en cultivos de ciclo corto*. Universidad Técnica de Babahoyo. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6686>
- Muñoz, R. (1998). Fertilización de la papa en Antioquia. En R. Guerrero (ed.) *Fertilización de cultivos en clima frío* (pp. 43-61). Monómeros Colombo Venezolanos.
- Nústez-López, C. E. (ed.) (2020). *Papa de año (Solanum tuberosum Grupo Andigenum): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Corredor Tecnológico Agroindustrial, CTA-2, Universidad Nacional de Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36818>
- Osman, K. T. (2014). *Soil degradation, conservation and remediation*. Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7590-9>
- Osorno Henao, H. (2012). *Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9810>
- R Core Team. (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rios Quinchao, J. Y., Jaramillo Villegas, S. del C., González Santamaría, L. H., y Cotes Torres, J. M. (2010). Determinación del Efecto de Diferentes Niveles de Fertilización en Papa (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigena*) DIACOL Capiro en un Suelo con Propiedades Ándicas de Santa Rosa de Osos, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(1), 5225-5237. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24943>
- Santos Rivera, P. V. de S., y Morales Aguas, D. A. (2018). *Determinación del riesgo por exposición a insecticidas en el acuífero de Tibaitatá-Mosquera mediante un modelo hidrogeológico y estrategias preventivas*. Universidad de La Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/808
- Sierra, C. (2016). *Una relación intensa: El hierro, el suelo y las plantas*. El Mercurio. <https://www.elmercurio.com/campo/noticias/analisis/2016/02/02/una-relacion-intensa-el-hierro-el-suelo-y-las-plantas.aspx>
- Silva, P., Vergara, W., y Acevedo, E. (2015). Rotación de cultivos. En C. Ruiz Sánchez (ed.), *Rastrojo de cultivos y residuos forestales. Programa de transferencia de prácticas alternativas al uso del fuego en la*

- región del Bío-Bío (pp. 48-67). INIA Quilamapu. Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 308. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7856>
- Tabares Patiño, E. D., Jaramillo Villegas, S., González Santamaría, L. H., y Cotes Torres, J. M. (2009). Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum L.*) variedad DIACOL CAPIRO a la fertilización en un Andisol del Oriente Antioqueño, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(2), 5099–5110. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24922>
- Tariq, M., Ali, H., Hussain, N., Nasim, W., Mubeen, M., Ahmad, S., y Hasanuzzaman, M. (2019). Fundamentals of Crop Rotation in Agronomic Management. En M. Hasanuzzaman (ed.) *Agronomic Crops: Volume I: Production Technologies* (pp. 545-559). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9151-5_24
- Vargas-Barrantes, P., y Castro-Barquero, L. (2019). Aislamiento y evaluación de microorganismos solubilizadores de fósforo de Andisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 43(1), 47-68. <https://doi.org/10.15517/rac.v43i1.35649>
- Villamizar Quesada, G., y Calderón, Y. (2005). *Proyecto compilación y levantamiento de la información geomecánica. Desarrollo cartografía edáfica aplicado a la ingeniería en la Sabana de Bogotá. Volumen V.* Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).
- Wadas, W., y Dziugieł, T. (2015). Effect of complex fertilizers used in early crop potato culture on loamy sand soil. *Journal of Central European Agriculture*, 16(1), 23-40. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/16.1.1536>
- Wilches Ortiz, W. A. (2019). *Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) para una mayor seguridad alimentaria de pequeños productores en el Altiplano Cundiboyacense, Colombia.* Universidad Abierta y a Distancia de México. <http://www.repository.unadmexico.mx:8080/xmlui/handle/123456789/393>
- Yu, T., Mahe, L., Li, Y., Wei, X., Deng, X., y Zhang, D. (2022). Benefits of crop rotation on climate resilience and its prospects in China. *Agronomy*, 12(2), 436. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020436>