

1 The Biologist (Lima), 2026, vol. 24 (1), XX-XX.

2 DOI: <https://doi.org/10.62430/rb20262412076>

3 Este artículo es publicado por la revista The Biologist (Lima) de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática,
4 Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los
5 términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
6 [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier
7 medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.



9 ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

10 ORGANIC AGRICULTURE AND SUSTAINABILITY: ANALYSIS OF
11 AGRONOMIC PRACTICES AND NUTRIENT AVAILABILITY AT CLARK FARM,
12 MASSACHUSETTS, USA

13 AGRICULTURA ORGÁNICA Y SOSTENIBILIDAD: ANÁLISIS DE PRÁCTICAS
14 AGRONÓMICAS Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN CLARK FARM,
15 MASSACHUSETTS, ESTADOS UNIDOS

16 Emerson Jaime-Huamán^{1*}

17 ¹Universidad Científica del Sur. Departamento de Ciencias de la Salud y de la
18 Vida. Escuela de Ingeniería Ambiental. Panamericana Sur km 19. Lima 42,
19 Perú.

20 *Corresponding author: escalaverde2021@gmail.com

21 Titulillo: Organic agriculture and sustainability

22 Emerson Jaime-Huaman:  <https://orcid.org/0000-0002-3832-5391>

23 **ABSTRACT**

24 This study evaluated crop diversity, agronomic practices, and soil chemical
25 properties at Clark Farm organic farm, Massachusetts, USA, to analyze their
26 contribution to a sustainable agricultural system. Seven agronomic management
27 components and various soil fertility parameters, including pH, cation exchange
28 capacity, macronutrients, and micronutrients, were analyzed. The results showed
29 that crop diversification and organic practices promote productive stability,
30 biological pest control, and agroecosystem sustainability. However, elevated
31 levels of phosphorus and calcium and marginal micronutrient availability were
32 identified, suggesting the need for balanced nutritional management.

33 **Keywords:** agroecosystem — organic agriculture — soil management —
34 sustainable production.

35 **RESUMEN**

36 Este estudio evaluó la diversidad de cultivos, las prácticas agronómicas y las
37 propiedades químicas del suelo en la granja orgánica Clark Farm,
38 Massachusetts, Estados Unidos, con el objetivo de analizar su contribución a un
39 sistema agrícola sostenible. Se analizaron siete componentes de manejo
40 agronómico y diversos parámetros de fertilidad del suelo, incluyendo pH,
41 capacidad de intercambio catiónico, macronutrientes y micronutrientes. Los
42 resultados evidenciaron que la diversificación de cultivos y las prácticas
43 orgánicas favorecen la estabilidad productiva, el control biológico de plagas y la
44 sostenibilidad del agroecosistema. Sin embargo, se identificaron niveles
45 elevados de fósforo y calcio y una disponibilidad marginal de micronutrientes, lo
46 que sugiere la necesidad de un manejo nutricional equilibrado.

47 **Palabras clave:** agricultura orgánica — agroecosistema — manejo de suelo —
48 producción sostenible.

49 **INTRODUCCIÓN**

50 La Agricultura Orgánica (AO) es un sistema integral de manejo de la producción
51 que considera los ciclos biológicos naturales y la actividad biológica del suelo,
52 reduciendo el uso de insumos externos, priorizando prácticas naturales y
53 evitando el empleo de fertilizantes y pesticidas sintéticos. Su objetivo principal
54 es optimizar la salud y productividad de las comunidades interdependientes que
55 conforman el sistema agrícola, promoviendo un equilibrio sostenible para las
56 generaciones presentes y futuras (Cidón *et al.*, 2021; Rempelos *et al.*, 2021;
57 Rahman *et al.*, 2021). Asimismo, diversos estudios destacan que la agricultura
58 orgánica contribuye a mejorar la salud del suelo, la biodiversidad y la
59 sostenibilidad de los agroecosistemas mediante prácticas enfocadas en el
60 reciclaje de nutrientes y el fortalecimiento de la actividad biológica del suelo (del
61 Pino, 2002; Scialabba & Hattam, 2002; Alföldi *et al.*, 2002; Montgomery & Biklé,
62 2021).

63 Desde hace 10 mil años, cuando inició la transición de sociedades, desde la
64 revolución neolítica hasta la revolución industrial de la segunda mitad del siglo
65 XX se ha practicado la AO (Salinas, 2014). Cuando surgió la producción agrícola
66 industrializada los insumos orgánicos han sido paso a paso reemplazados por
67 insumos químicos (fertilizantes, insecticidas y plaguicidas), y semillas criollas por
68 semillas híbridas y semillas transgénicas (Molina, 2021).

69 A pesar de que la AO fue relegada, a la fecha 188 países en el mundo practican,
70 en una extensión promedio de 98,9 millones de ha, por al menos 4,3 millones de
71 agricultores, y las ventas globales de alimentos y bebidas orgánicas superaron
72 los 136 millones de euros en 2023 (Willer *et al.*, 2025). En Estados Unidos, según
73 la encuesta del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, entre 2019
74 y 2021, el número de granjas orgánicas certificadas con producción orgánica
75 aumentó en un 5%, alcanzando 17.445 granjas, con una extensión total de 1,98
76 millones de has (USDA, 2020).

77 A pesar de que el porcentaje de AO va aumentando, las limitaciones como la
78 falta de investigación, acceso a la ciencia y tecnología por los pequeños y
79 medianos agricultores, mercado y conciencia social han sido las principales
80 debilidades (Lamichhane *et al.*, 2022; Ochieng *et al.*, 2022; Ayaz *et al.*, 2023).
81 Los análisis de las propiedades del suelo en un laboratorio son fundamentales
82 (Krauss *et al.*, 2020). Según Valenzuela & Visconti (2018) y Batis *et al.* (2020),
83 las propiedades químicas del suelo, como pH, CIC (Capacidad de Intercambio
84 Catiónico) y saturación de bases intercambiables, son las ideales para interpretar
85 las condiciones del suelo como medio químico. Conociendo las condiciones
86 físicas del suelo se puede controlar el desarrollo y rendimiento de los cultivos; ya
87 que se pueden interpretar los procesos químicos y microbiológicos de la planta,
88 y conocer mejor las actividades agrícolas a desarrollar (Escobar-Perea, 2021).

89 El objetivo del presente trabajo de investigación es analizar las propiedades
90 químicas del suelo, la saturación de bases intercambiables, así como la
91 disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes, con el fin de clasificar las
92 parcelas según su estado de equilibrio (equilibrado, moderadamente equilibrado
93 o desequilibrado). Asimismo, se determina el Índice de Fertilidad del Suelo
94 Orgánico (IFSO) como una herramienta integral para evaluar la capacidad real

95 del suelo de una granja orgánica ubicada en el estado de Massachusetts,
96 Estados Unidos.

97

98 MATERIAL Y MÉTODOS

99 El trabajo de investigación se llevó a cabo en la granja orgánica Clark Farm,
100 ubicada en Carlisle, condado de Middlesex, estado de Massachusetts, en las
101 coordenadas geográficas 42.524427° N y 71.353628° W, a una altitud promedio
102 de 60 msnm. Esta granja cuenta con certificación del Departamento de
103 Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y del Real Organic Project
104 (<https://realorganicproject.org/>), organismos que promueven la idea de que la
105 salud humana y la salud ambiental están intrínsecamente ligadas. En sus más
106 de 32 acres de extensión, la granja produce alimentos orgánicos mediante
107 prácticas de cultivo sostenibles que favorecen la salud del suelo, del medio
108 ambiente y de la comunidad.



110 **Figura 1.** Mapa de ubicación de la granja orgánica Clark Farm, pueblo de
111 Carlisle, Condado de Middlesex, estado de Massachusetts, Estados Unidos.

112 Esta granja cuenta con varias parcelas, en las que se implementan prácticas
113 agroecológicas; de ellas, cuatro parcelas principales fueron seleccionadas para

114 el presente trabajo de investigación (Figura 1). Se inició con un análisis
115 exploratorio de los datos de las parcelas, incluyendo la variedad de cultivos
116 sembrados en la temporada anterior, manejo del suelo, fertilización orgánica,
117 control de plagas y enfermedades, control de malezas (hierbas), semillas y
118 material vegetal, manejo del agua, biodiversidad y equilibrio ecológico, manejo
119 postcosecha y bienestar animal; posteriormente, se realizaron los muestreos de
120 suelo y el análisis de sus propiedades químicas en laboratorio.

121 **Muestreo de suelo**

122 Se utilizó un muestreo compuesto de suelo por parcela al inicio de la temporada
123 2025, antes de la instalación de cultivos. En cada una de las cuatro parcelas
124 (acre cada una), se recolectaron submuestras de suelo en puntos seleccionados
125 de manera aleatoria. Las submuestras fueron homogeneizadas para obtener una
126 muestra compuesta representativa por parcela. No se consideró una profundidad
127 específica de muestreo, siguiendo el protocolo de muestreo compuesto (MCSE,
128 2023).

129 **Análisis de laboratorio**

130 Los análisis de suelo fueron realizados por el Soil and Plant Nutrient Testing
131 Laboratory de la Universidad de Massachusetts Amherst (UMass Amherst),
132 Estados Unidos, utilizando el método de relación suelo:solución (1:1) para el pH
133 y el método Modified Morgan Extractable para los micronutrientes y
134 macronutrientes del suelo.

135 Los valores de pH, capacidad de intercambio catiónico, acidez intercambiable,
136 macronutrientes y micronutrientes fueron interpretados utilizando rangos de
137 referencia establecidos para suelos agrícolas de clima templado húmedo de
138 Nueva Inglaterra, debido a que las condiciones edafoclimáticas regionales
139 influyen en la disponibilidad y dinámica de nutrientes del suelo. Los criterios de
140 interpretación fueron tomados de las guías del Soil and Plant Nutrient Testing
141 Laboratory de la University of Massachusetts Amherst (2025).

142 **Aspectos éticos:** El estudio se desarrolló siguiendo principios éticos de
143 investigación científica, asegurando la correcta recolección, análisis e

144 interpretación de los datos, así como el respeto por el medio ambiente y las
145 actividades productivas de la granja evaluada.

146 RESULTADOS

147 En la granja orgánica Clark Farm se cultivan más de cincuenta variedades
148 agrícolas por temporada, hierbas aromáticas y flores. El análisis de la diversidad
149 de cultivos muestra un predominio de especies pertenecientes a las familias
150 Solanaceae (27,45 %), Brassicaceae (25,49 %), Asteraceae (11,76 %) y
151 Apiaceae (7,84 %), las cuales representan la mayor proporción del total de
152 cultivos registrados (Tabla 1).

153 **Tabla 1.** Variedades de cultivos de la granja orgánica Clark Farm,
154 Massachusetts, Estados Unidos.

N°	Variedades	Nombre científico	Familia
1	Lechuga dragón	<i>Lactuca sativa</i>	Asteraceae
2	Zanahoria roja	<i>Daucus carota</i>	Apiaceae
3	Zanahoria naranja	<i>Daucus carota</i>	Apiaceae
4	Lechuga romana verde	<i>Lactuca sativa</i>	Asteraceae
5	Lechuga romana morada	<i>Lactuca sativa</i>	Asteraceae
6	Betarraga morada	<i>Beta vulgaris</i>	Amaranthaceae
7	Betarraga amarilla	<i>Beta vulgaris</i>	Amaranthaceae
8	Pak choi Repollo	<i>Brassica rapa chinensis</i>	Brassicaceae
9	Coliflor	<i>Brassica oleracea var. Botrytis</i>	Brassicaceae
10	Brócoli	<i>Brassica oleracea var. Italica</i>	Brassicaceae
11	Espinaca	<i>Spinacia oleracea</i>	Amaranthaceae
12	Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i>	Lamiaceae
13	Diente de león	<i>Taraxacum officinale</i>	Asteraceae
14	Culantro	<i>Coriandrum sativum</i>	Apiaceae
15	Col o repollo caraflex	<i>Brassica oleracea var. Botrytis</i>	Brassicaceae
16	Col o repollo redondo	<i>Brassica oleracea var. Capitata</i>	Brassicaceae
17	Kale crespo verde	<i>Brassica oleracea var. Sabellica</i>	Brassicaceae
18	Kale italiana o clásica	<i>Brassica oleracea var. Sabellica</i>	Brassicaceae
19	Kale crespo morada	<i>Brassica oleracea var. Sabellica</i>	Brassicaceae

20	Calabaza zucchini	<i>Cucurbita pepo</i>	Cucurbitaceae
21	Calabacín amarillo	<i>Cucurbita pepo</i>	Cucurbitaceae
22	Berengena	<i>Solanum melongena</i>	Solanaceae
23	Pimiento amarillo	<i>Capsicum annuum</i>	Solanaceae
24	Pimiento anaranjado	<i>Capsicum annuum</i>	Solanaceae
25	Pimiento rojo	<i>Capsicum annuum</i>	Solanaceae
26	Aji poblano	<i>Capsicum annuum</i>	Solanaceae
27	Aji jalapeño	<i>Capsicum annuum</i>	Solanaceae
28	Ají cayena	<i>Capsicum annuum</i>	Solanaceae
29	Aji cuerno de toro	<i>Capsicum annuum</i>	Solanaceae
30	Aji chichito	<i>Capsicum annuum</i>	Solanaceae
31	Girasoles	<i>Helianthus annuus</i>	Asteraceae
32	Brocolini	<i>Brassica oleracea var. Italica</i>	Brassicaceae
33	Tomate cherry	<i>Solanum lycopersicum</i>	Solanaceae
34	Tomate red beef	<i>Solanum lycopersicum</i>	Solanaceae
35	Tomate gigante Moon	<i>Solanum lycopersicum</i>	Solanaceae
36	Tomate gigante Harvest	<i>Solanum lycopersicum</i>	Solanaceae
37	Rabanito	<i>Raphanus sativus</i>	Brassicaceae
38	Vainitas o frejoles verdes	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Fabaceae
39	Arveja	<i>Pisum sativum</i>	Fabaceae
40	Ajos	<i>Allium sativum</i>	Alliaceae
41	Cebolla	<i>Allium cepa</i>	Alliaceae
42	Lechuga mesclun	<i>Lactuca sativa</i>	Asteraceae
43	Fresa	<i>Fragaria vesca</i>	Rosaceae
44	Aguaymanto	<i>Physalis peruviana</i>	Solanaceae
45	Arándano	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Ericaceae
46	Orégano	<i>Origanum vulgare</i>	Lamiaceae
47	Hinojo	<i>Foeniculum vulgare</i>	Apiaceae
48	Perejil	<i>Petroselinum crispum</i>	Apiaceae
49	Repollo chino napa	<i>Brassica rapa</i>	Brassicaceae
50	Rábano de pulpa roja	<i>Raphanus sativus</i>	Brassicaceae
51	Rábano daikon morado	<i>Raphanus sativus</i>	Brassicaceae

155

156 Las principales prácticas agronómicas aplicadas durante las diferentes fases del
 157 sistema productivo de la granja Clark Farm se presentan en la Tabla 2.

158

159

Tabla 2. Las prácticas agronómicas aplicadas.

N°	Componentes	Prácticas agronómicas
1	Manejo del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Rotación de cultivos. • Uso de abonos orgánicos (compost, estiércol, humus de lombriz). • Incorporación de materia orgánica. • Labranza controlada. • Uso de cultivos de cobertura (gramíneas).
2	Fertilización orgánica	<ul style="list-style-type: none"> • Compost y compostaje en la granja. • Uso de minerales naturales permitidos (roca fosfórica, cal agrícola).
3	Control de plagas y enfermedades	<ul style="list-style-type: none"> • Control biológico (uso de insectos benéficos). • Manejo integrado de plagas (MIP). • Diversificación de cultivos para romper ciclos de plagas. • Triturado de plantas enfermas para romper ciclos de plagas. • Planificación del calendario de siembra. • Eliminación de residuos o plantas enfermas que puedan albergar vectores de enfermedad. • Fomentar insectos benéficos.
4	Control de malezas (hierbas)	<ul style="list-style-type: none"> • Control manual o mecánico. • Aplicación de mulch (paja y rastrojos). • Rotación de cultivos. • Uso de tela y/o geotextil.
5	Semillas y material vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación y compra de semillas orgánicas certificadas. • Conservación de semillas nativas. • Propagación vegetativa de plantas.
6	Manejo del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Riego eficiente por goteo y aspersor programado. • Conservación de fuentes de agua. • Nivelación de parcelas para evitar escorrentía. • Planificación de riego con climograma, para aprovechar aguas de lluvia.
7	Biodiversidad y equilibrio ecológico	<ul style="list-style-type: none"> • Parcelación de cultivos para parecerse a policultivos y asociaciones de cultivos. • Cercos vivos. • Conservación de áreas naturales. • Producción de flores que atraigan abejas, mariposas (refugio de fauna benéfica). • Inclusión de polinizadores.
8	Manejo postcosecha	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza sin químicos sintéticos. • Almacenamiento natural (control de humedad y temperatura). • Uso de métodos físicos para conservación. • Etiquetado y documentación de cada lote desde la cosecha hasta su venta.

9	Bienestar animal	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación orgánica. • Manejo sanitario preventivo. • Acceso al aire libre y pastoreo según necesidades de la especie. • Limpieza y desinfección regulares de instalaciones, comederos y bebederos. • Control de acceso (limitación de visitas externas, desinfección de ropa/herramientas antes de entrar). • Separación de animales según edad y estado de salud. • Ventilación adecuada, control de temperatura y humedad para reducir estrés y enfermedades respiratorias. • Eliminación rápida de cadáveres y animales enfermos para cortar ciclos de infección.
---	------------------	--

161

162 Los valores de pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), acidez
 163 intercambiable, así como las concentraciones de macro y micronutrientes, se
 164 encuentran en su mayoría dentro de los rangos óptimos establecidos para suelos
 165 de clima templado húmedo de Nueva Inglaterra (Tabla 3).

166 **Tabla 3.** Resultados de laboratorio del análisis de pH, capacidad de intercambio
 167 catiónico, acidez intercambiable, macronutrientes y micronutrientes.

Parámetros	Parcela 1 P1	Parcela 2 P2	Parcela 3 P3	Parcela 4 P4	Rango óptimo
pH del suelo (1:1, H ₂ O)	6,50	6,50	6,60	6.60	7
Fósforo (P) mg/kg o ppm	14,80	34,50	24,30	19.60	4-14
Potasio (K) mg/kg o ppm	68,00	190,00	176,00	108.00	100-160
Cálcio (Ca) mg/kg o ppm	1213,00	2218,00	1781,00	1865,00	1000-1500
Magnesio (Mg) mg/kg o ppm	70,00	201,00	115,00	108,00	50-120
Azufre (S) mg/kg o ppm	12,30	1,50	14,60	13,60	>10
Boro (B) mg/kg o ppm	0,20	0,40	0,30	0,20	0,1-0,5
Manganeso (Mn) mg/kg o ppm	2,40	2,20	2,30	2,60	1,1-6,3
Zinc (Zn) mg/kg o ppm	1,50	2,30	1,30	1,20	1,0-7,6

Cobre (Cu) mg/kg o ppm	0,10	0,10	0,10	0,10	0,3-0,6
Hierro (Fe) mg/kg o ppm	2,70	2,30	2,60	2,30	2,7-9,4
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) cmol/kg o meq/100 g	9,30	16,10	12,30	12,30	30-50
Acidez intercambiable cmol/kg o meq/100 g	2,50	2,90	2,00	1,90	2-4

168 El pH del suelo en las cuatro parcelas evaluadas presenta un rango estrecho,
169 con valores comprendidos entre 6,5 y 6,6. Asimismo, la capacidad de
170 intercambio catiónico (CIC) oscila entre 9,3 y 16,1 cmol/kg, mientras que la
171 acidez intercambiable varía entre 1,9 y 2,9 cmol/kg, ubicándose estos
172 parámetros cercanos al límite inferior del rango óptimo establecido (Figura 2).

173 En cuanto a los macronutrientes, el fósforo presenta valores que oscilan entre
174 14,8 y 34,5 mg/kg, ubicándose por encima del rango óptimo. El potasio muestra
175 concentraciones entre 68 y 190 mg/kg, con la parcela P1 por debajo del rango
176 óptimo, las parcelas P2 y P3 por encima, y la parcela P4 dentro del rango
177 recomendado. El magnesio varía entre 68 y 201 mg/kg, registrándose en la
178 parcela P2 valores superiores al rango óptimo. El azufre presenta
179 concentraciones entre 12,3 y 17,5 mg/kg, las cuales se mantienen dentro del
180 rango óptimo. Finalmente, el calcio oscila entre 1 213 y 2 218 mg/kg,
181 observándose valores superiores al rango óptimo en las parcelas P2, P3 y P4
182 (Tabla 1).

183 En relación con los micronutrientes, el boro presenta valores entre 0,2 y 0,4
184 mg/kg, ubicándose dentro del rango óptimo. El manganeso registra
185 concentraciones entre 2,3 y 2,6 mg/kg, igualmente dentro del rango
186 recomendado. El zinc varía entre 1,2 y 2,3 mg/kg, manteniéndose también en
187 niveles óptimos. En contraste, el cobre presenta un valor constante de 0,1 mg/kg
188 en las cuatro parcelas evaluadas, situándose por debajo del rango óptimo.
189 Finalmente, el hierro oscila entre 2,3 y 2,7 mg/kg, valores que se encuentran por
190 debajo del límite inferior del rango óptimo establecido (Tabla 1).

191 **DISCUSIÓN**

192 El análisis de las variedades de cultivo producidas en la granja orgánica Clark
193 Farm evidenció la relevancia de la diversificación agrícola como estrategia clave
194 dentro de sistemas productivos sostenibles. La diversificación de variedades no
195 solo amplía la base productiva de los cultivos, sino que también contribuye a
196 diversificar las dietas, incrementar la disponibilidad de nutrientes y fortalecer la
197 seguridad alimentaria. Asimismo, puede mejorar la estabilidad productiva y las
198 condiciones ambientales del agroecosistema (Luna-González & Sørensen, 2018;
199 FAO, 2018; Puneeth *et al.*, 2024). Por otro lado, la diversificación varietal
200 favorece una mayor abundancia y diversidad de enemigos naturales, lo que
201 contribuye al control biológico de plagas dentro de los agroecosistemas. Este
202 equilibrio ecológico permite mantener las poblaciones de plagas en niveles bajos
203 sin depender de insumos externos, reforzando así los principios de la agricultura
204 orgánica (Lenné & Wood, 2024).

205 Las prácticas agronómicas aplicadas en el sistema productivo de la granja
206 orgánica Clak Farm, estructuradas en siete componentes, constituyen un modelo
207 de producción saludable tanto para la salud humana como para el medio
208 ambiente. En este contexto, la agricultura orgánica es considerada más
209 respetuosa con el entorno que la agricultura convencional y capaz de contribuir
210 al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible mediante el uso de
211 tecnologías verdes, generando beneficios económicos, sociales y ecológicos
212 (Cidón *et al.*, 2021). Asimismo, este enfoque productivo favorece la abundancia
213 y riqueza biótica, incrementa el carbono del suelo y mejora la rentabilidad del
214 sistema agrícola (Smith *et al.*, 2019). De igual manera, se ha reportado que la
215 agricultura orgánica incrementa la concentración de metabolitos secundarios
216 beneficiosos y reduce la presencia de metales pesados y residuos de pesticidas
217 en los cultivos (Bhattacharya *et al.*, 2024).

218 Los valores de pH y acidez intercambiable registrados en las cuatro parcelas de
219 la granja se encuentran dentro de rangos adecuados para la mayoría de los
220 cultivos, evidenciando una baja acidez que no interfiere de manera significativa
221 en el desarrollo vegetal. La adecuada gestión de la acidez del suelo permite
222 mantener proporciones equilibradas en la relación de saturación de cationes

223 base, favoreciendo condiciones químicas óptimas para la nutrición vegetal
224 (Culman *et al.*, 2021). En cuanto a la CIC, los resultados sugieren que el suelo
225 presenta una limitada capacidad para retener y suministrar nutrientes de manera
226 eficiente. Una CIC baja, junto con un posible desequilibrio en los cationes
227 intercambiables, puede afectar negativamente el crecimiento de las plantas al
228 reducir la disponibilidad efectiva de nutrientes esenciales (Yang *et al.*, 2024). En
229 contraste, suelos con una CIC adecuada contribuyen a minimizar la pérdida de
230 nutrientes por lixiviación y mejoran su disponibilidad para las plantas (Ćirić *et al.*,
231 2023).

232 En cuanto a los macronutrientes evaluados en el suelo de la granja, los valores
233 de azufre (S), potasio (K) y magnesio (Mg) se encuentran dentro de rangos
234 adecuados para el desarrollo de los cultivos. No obstante, el potasio en la parcela
235 P1 requiere regulación, ya que un desbalance en su disponibilidad podría
236 incrementar la susceptibilidad de las plantas a enfermedades, plagas y
237 condiciones de estrés como sequía o bajas temperaturas. El potasio es un
238 macronutriente esencial involucrado en múltiples procesos fisiológicos
239 determinantes para el crecimiento vegetal (Mishra *et al.*, 2025). Su adecuada
240 disponibilidad contribuye a mitigar el estrés abiótico, incluyendo altas
241 temperaturas y alteraciones osmóticas asociadas a sequía o salinidad
242 (Hernández, 2025; Zhu *et al.*, 2025). Asimismo, mejora la estabilidad de los
243 pigmentos fotosintéticos e incrementa la tolerancia al déficit hídrico (Bhardwaj,
244 2025). Además, un adecuado estado nutricional de potasio favorece la
245 resistencia frente a estreses bióticos, como enfermedades y plagas (Wang *et al.*,
246 2013).

247 Por otro lado, el fósforo (P) y el calcio (Ca) se encuentran por encima de los
248 rangos adecuados para el desarrollo de los cultivos, por lo que su manejo
249 requiere regulación para evitar efectos de antagonismo nutricional. Altos niveles
250 de fósforo pueden reducir la absorción de zinc (Zn) en suelos calcáreos debido
251 a fenómenos de antagonismo y a complejas interacciones entre el suelo, la
252 microbiota y la planta (Yang *et al.*, 2025). Asimismo, aplicaciones excesivas de
253 fósforo pueden influir negativamente en la disponibilidad de micronutrientes
254 como hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn) (Jin *et al.*, 2023).

255 Los micronutrientes boro (B), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu) y hierro (Fe)
256 se encontraron en el límite inferior del rango óptimo, lo que indica una
257 disponibilidad marginal para el desarrollo de los cultivos. La baja disponibilidad
258 de micronutrientes en el suelo puede afectar la productividad de los cultivos, la
259 salud del suelo y la calidad nutricional de los productos agrícolas (Andersen,
260 2007; Shukla *et al.*, 2021). Asimismo, deficiencias de micronutrientes como Zn y
261 B han sido reportadas como factores que limitan el rendimiento de los cultivos y
262 la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Rahman *et al.*, 2020; Goodarzi *et al.*,
263 2025).

264 En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que la granja orgánica Clark
265 Farm presenta características propias de un sistema agrícola diversificado y
266 sostenible, sustentado en prácticas agronómicas integrales que favorecen la
267 producción de alimentos en armonía con el medio ambiente. La diversificación
268 de cultivos y la implementación de prácticas propias de la agricultura orgánica
269 contribuyen a fortalecer la base productiva del sistema, promover el control
270 biológico de plagas y mejorar las condiciones ecológicas del agroecosistema.
271 Asimismo, los parámetros químicos del suelo muestran condiciones
272 generalmente adecuadas para el desarrollo de los cultivos, particularmente en
273 relación con el pH, la acidez intercambiable y algunos macronutrientes
274 esenciales como azufre, potasio y magnesio.

275 No obstante, el análisis también revela ciertos aspectos que requieren manejo y
276 monitoreo, como los niveles elevados de fósforo y calcio, que podrían generar
277 antagonismos nutricionales y afectar la disponibilidad de micronutrientes. De
278 igual manera, la presencia de micronutrientes como B, Mn, Zn, Cu y FE en el
279 límite inferior del rango óptimo sugiere la necesidad de estrategias de manejo
280 que permitan mantener un equilibrio nutricional adecuado en el suelo. En este
281 sentido, la evaluación integral de las prácticas agronómicas y de los parámetros
282 de fertilidad del suelo confirma que Clark Farm constituye un modelo de
283 producción orgánica con potencial para contribuir a sistemas agrícolas más
284 saludables, productivos y sostenibles, siempre que se mantenga un manejo
285 equilibrado de la fertilidad del suelo y de la disponibilidad de nutrientes.

286

287 **Author contributions: CRediT (Contributor Roles Taxonomy)**

288 **EJH** = Emerson Jaime-Huamán

289

290 **Conceptualization:** EJH

291 **Data curation:** EJH

292 **Formal Analysis:** EJH

293 **Funding acquisition:** EJH

294 **Investigation:** EJH

295 **Methodology:** EJH

296 **Project administration:** EJH

297 **Resources:** EJH

298 **Software:** EJH

299 **Supervision:** EJH

300 **Validation:** EJH

301 **Visualization:** EJH

302 **Writing – original draft:** EJH

303 **Writing – review & editing:** EJH

304

305 **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

306 Alföldi, T., Fliessbach, A., Geier, U., Kilcher, L., Niggli, U., Pfiffner, L., Stolze, M.,
307 & Willer, H. (2002). Organic agriculture, environment, and food security.
308 Environment and Natural Resources Series No. 4.

309 Andersen, P. (2007). A review of micronutrient problems in the cultivated soil of
310 Nepal. *Mountain research and development*, 27, 331-335.

- 311 Ayaz, M., Rehman, A., Shah, T. T., & Javeed, S. A. (2023). Organic agriculture:
312 A fountain of alternative innovations for social, economic, and
313 environmental challenges of conventional agriculture in a developing
314 country context. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100101.
- 315 Batis, B. V., Perea, Y. E., Fonseca, R. R., García, Y. M. R., Suárez, E. J. R., &
316 Miranda, O. F. (2020). Propiedades químicas del suelo en cuatro fincas de
317 la agricultura suburbana en Santiago de Cuba. *Agrisost*, 26, 1-10.
- 318 Bhardwaj, S., Kapoor, B., Kapoor, D., Thakur, U., Dolma, Y., & Raza, A. (2025).
319 Manifold roles of potassium in mediating drought tolerance in plants and its
320 underlying mechanisms. *Plant Science*, 351, 112337.
- 321 Bhattacharya, D., Tripathy, S., Swain, D. K., & Mitra, A. (2024). Can organic
322 farming improve the soil properties, food quality and human health?. *Food
323 and Humanity*, 3, 100398.
- 324 Cidón, C.F., Figueiró, P. S., & Schreiber, D. (2021). Benefits of organic agriculture
325 under the perspective of the bioeconomy: A systematic review.
326 *Sustainability*, 13(12), 6852.
- 327 Ćirić, V., Prekop, N., Šeremešić, S., Vojnov, B., Pejić, B., Radovanović, D., &
328 Marinković, D. (2023). The implication of cation exchange capacity (CEC)
329 assessment for soil quality management and improvement. *Agriculture and
330 Forestry*, 69, 113-133.
- 331 Culman, S. W., Brock, C., Doohan, D., Jackson-Smith, D., Herms, C., Chaganti,
332 V. N., Kleinhenz, M., Sprunger, C.D. & Spargo, J. (2021). Base cation
333 saturation relationships versus nutrient sufficiency level: a false dichotomy
334 in practice. *Agronomy Journal*, 113, 5623-5634.
- 335 del Pino, M. (2002). La agricultura orgánica. *Agroecología. El camino hacia una
336 agricultura sustentable* 7, 177-188.
- 337 Escobar-Perea, Y., Vargas-Batis, B., Ramos-García, Y. M., Rodríguez-Suárez,
338 E. J., Osoria, O. R., & Fonseca, R. R. (2021). Propiedades físicas del suelo
339 en cuatro fincas suburbanas de Santiago de Cuba. *Centro Agrícola*, 48, 74-
340 78.
- 341 FAO (2018). *El trabajo de la FAO sobre agroecología. Una vía para el logro de
342 los ODS*. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i9021es>.
- 343 Goodarzi, S., Tavanmand, A., & Shajari, H. (2025). Efecto de la diferente
344 concentración y método de aplicación del zinc sobre el rendimiento de
345 garbanzos (*Pisum sativum* L.). *Preprint arXiv:2505.23855*.

- 346 Hernández, A.M.P. (2025). *Modulación del ácido abscísico en plantas de tomate:*
347 *respuesta integral a la combinación de estreses abióticos* (Tesis doctoral,
348 Universidad de Murcia).
- 349 Jin, Y., Zhang, N., Chen, Y., Wang, Q., Qin, Z., Sun, Z., & Zhang, S. (2023).
350 Quantitative evaluation of the crop yield, soil-available phosphorus, and
351 total phosphorus leaching caused by phosphorus fertilization: A meta-
352 analysis. *Agronomy*, *13*, 2436.
- 353 Krauss, M., Berner, A., Perrochet, F., Frei, R., Niggli, U. y Mäder, P. (2020).
354 Enhanced soil quality with reduced tillage and solid manures in organic
355 farming – a synthesis of 15 years. *Scientific Report*, *10*, 4403.
- 356 Lamichhane, J. R., Reay-Jones, F. P. F., & Kudsk, P. (2022). Climate change
357 adaptation in smallholder agriculture: Adoption, barriers, determinants, and
358 policy implications. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*,
359 *27*(7), 52.
- 360 Lenné, J., & Wood, D. (2024). Crop diversity in agroecosystems for pest
361 management and food production. *Plants*, *13*, 1164.
- 362 Luna-González, D. V., & Sørensen, M. (2018). Higher agrobiodiversity is
363 associated with improved dietary diversity, but not child anthropometric
364 status, of the Mayan Achí people of Guatemala. *Public Health Nutrition*, *21*,
365 2128-2141.
- 366 Main Cropping System Experiment (MCSE). (2023). *Composite Soil Sampling*
367 *Protocol*. Michigan State University.
- 368 Mishra, S., Bisht, D., Amtmann, A., Srivastava, A. K., & Pandey, G. K. (2025).
369 Potassium Deficiency and Hormone Signalling in Plants. *Plant, Cell &*
370 *Environment*, *8*, e2020EA001619.
- 371 Molina, J. E. (2021). La revolución verde como revolución tecnocientífica:
372 artificialización de las prácticas agrícolas y sus implicaciones. *Revista*
373 *Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, *21*, 175-204.
- 374 Montgomery, D. R., & Biklé, A. (2021). Soil health and nutrient density: beyond
375 organic vs. conventional farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *5*,
376 699147.
- 377 Ochieng, J., Kirimi, L., & Mathenge, M. (2022). Small-scale farming: A review of
378 challenges and potential opportunities offered by technological
379 advancements. *Sustainability*, *15*, 15478.

- 380 Puneeth, G. M., Gowthami, R., Katral, A., Laxmisha, K. M., Vasudeva, R., Singh,
381 G. P., & Archak, S. (2024). On-farm crop diversity, conservation, importance
382 and value: A case study of landraces from Western Ghats of Karnataka,
383 India. *Scientific Report*, *14*, 10712.
- 384 Rahman, R., Sofi, J. A., Javeed, I., Malik, T. H., & Nisar, S. (2020). Papel de los
385 micronutrientes en la producción de cultivos. *Revista Internacional de*
386 *Microbiología Actual y Ciencias Aplicadas*, *8*, 2265-2287.
- 387 Rempelos, L., Baranski, M., Wang, J., Adams, T. N., Adebusuyi, K., Beckman, J.
388 J. & Leifert, C. (2021). Integrated soil and crop management in organic
389 agriculture: a logical framework to ensure food quality and human health?.
390 *Agronomy*, *11*, 2494.
- 391 Salinas, E. (2014). La agricultura orgánica como modelo alternativo. M. Ramos,
392 M. Tavera, J. Quintanilla, G. Chaparro. Y. F. Iglesias (Eds.), *Desarrollo*
393 *Sustentable y Finanzas*, pp. 90-105. Editorial Ecorfan.
- 394 Scialabba, N., & Hattam, C. (Eds.). (2002). *Organic agriculture, environment, and*
395 *food security*. Vol. 4. Food & Agriculture Org.
- 396 Shukla, A. K., Behera, S. K., Prakash, C., Tripathi, A., Patra, A. K., Dwivedi, B.
397 S., Trivedi, V., Rao, S., Chaudhari, S.K., Das, S., & Singh, A. K. (2021).
398 Deficiency of phyto-available sulfur, zinc, boron, iron, copper, and
399 manganese in the soils of India. *Scientific Report*, *11*, 19760.
- 400 Smith, O. M., Cohen, A. L., Rieser, C. J., Davis, A. G., Taylor, J. M., Adesanya,
401 A. W., & Crowder, D. W. (2019). Organic farming provides reliable
402 environmental benefits but increases variability in crop yields: A global
403 meta-analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *3*, 82.
- 404 University of Massachusetts Amherst. Soil and Plant Nutrient Testing Laboratory,
405 (2025). *Interpretation of Soil Test Results for Agronomic Crops*. Amherst,
406 Massachusetts, Estados Unidos.
- 407 USDA (U.S. Department of Agriculture) (2020). *National Agricultural Statistics*
408 *Service*. Organic survey 2019.
409 https://www.nass.usda.gov/Data_and_Statistics/
- 410 Valenzuela, I. G., & Visconti, E. F. (2018). Influencia del clima, uso del suelo y
411 profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos
412 altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia.
413 *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *12*, 233-243.

414 Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium
415 in plant stress response. *International journal of molecular sciences*, *14*,
416 7370-7390.

417 Willer, Helga; Trávníček, Jan y Schlatter, Bernhard (eds.) (2025). *El mundo de la*
418 *agricultura ecológica. Estadísticas y tendencias emergentes 2025*. Instituto
419 de Investigación de Agricultura Ecológica FiBL e IFOAM - Organics
420 International, Frick y Bonn.

421 Yang, J., Wang, R., Xu, J., Guo, Z., Liu, C., Chen, Y., & Wang, Z. (2025).
422 Mitigating phosphorus–zinc antagonism in calcareous soils through the
423 interaction of high–zinc wheat and the rhizospheric microbiome. *Field Crops*
424 *Research*, *322*, 109762.

425 Yang, M., Zhou, D., Hang, H., Chen, S., Liu, H., Su, J., & Zhao, G. (2024). Effects
426 of balancing exchangeable cations Ca, Mg, and K on the growth of tomato
427 seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) based on increased soil cation
428 exchange capacity. *Agronomy*, *14*, 629.

429 Zhu, L., Sun, Y., Wang, R., Zeng, J., Li, J., Huang, M., Wang, M., Shen, Q., &
430 Guo, S. (2025). Applied potassium negates osmotic stress impacts on plant
431 physiological processes: a meta-analysis. *Horticulture Research*, *12*,
432 uhae318.

433 Received Mar 27, 2026.

434 Accepted May 23, 2026.

435

436

437