

Manual de fertilización de ajo y cebolla en Arequipa



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria





**MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESTRATÉGICOS AGRARIOS**

Manual de fertilización de ajo y cebolla en Arequipa



MANUAL DE FERTILIZACIÓN DE AJO Y CEBOLLA EN AREQUIPA

MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO

Ministro de Desarrollo Agrario y Riego

Angel Manuel Manero Campos

Viceministra de Políticas y Supervisión del Desarrollo Agrario

Carmen Inés Vegas Guerrero

Viceministro de Desarrollo de Agricultura Familiar e Infraestructura Agraria y Riego

Orlando Hernán Chirinos Trujillo

Presidente Ejecutivo del Instituto Nacional de Innovación Agraria

Jorge Juan Ganoza Roncal, M. Sc.

© Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

Primera edición digital:

Julio, 2025

Publicado:

Julio, 2025

Disponible en:

<https://repositorio.inia.gob.pe/>

ISBN:

978-9972-44-195-0

Editado por:

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

Av. La Molina 1981, Lima-Perú

Teléf. (511) 240-2400

www.gob.pe/inia

Equipo Técnico de Edición y Publicaciones:

Janet Flores / **Teléfono:** 964173509 / **Correo electrónico:** comite_publicaciones@inia.gob.pe

Todos los derechos reservados.

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2025-08012

Autores: Russell H. Poma Chamana, Martin J. C. Villalta Soto, Antony A. Quello Huamani, Rene S. Pumaleque Sucasaca, Cesar F. Vilca Gamarra, Elick M. Cama Moreno, Solmayra F. Linares Escapa / **Editor general:** Cinthia S. Quispe-Apaza / **Revisión de contenido:** Luis E. Gonzales, Héctor A. Ramírez Maguiña, Anthony L. Peralta-Guzmán, Cinthia S. Quispe-Apaza / **Diseño y diagramación:** Miguel Alvarez-Escalante

Tabla de contenido

Presentación	7
1. Introducción	9
2. Características de los cultivos	11
2.1. Ajo	11
2.1.1. Cultivares	11
2.1.2. Etapas fenológicas del cultivo de ajo	12
2.2. Cebolla	16
2.2.1. Cultivares	16
2.2.2. Etapas fenológicas del cultivo de cebolla	17
3. Nutrición vegetal	21
3.1. Clasificación basada en las funciones bioquímicas y fisiológicas	21
3.2. Clasificación de nutrientes vegetales esenciales según la movilidad de los nutrientes en el suelo	22
3.3. Clasificación según la movilidad dentro del sistema de la planta	22
3.4. Nutrientes esenciales y su rol en las plantas	23
3.4.1. Macronutrientes	23
3.4.2. Macronutrientes secundarios	29
3.4.3. Micronutrientes	32
4. Diagnóstico de la fertilidad del suelo	37
4.1. Muestreo de suelos	37
4.2. Interpretación del análisis de laboratorio	41
4.2.1. Tablas para interpretación de resultados	42
4.2.2. Interpretación de resultados	46
5. Cálculo de dosis de fertilización	49
5.1. Extracción o requerimiento nutricional del ajo y la cebolla	50
5.2. Disponibilidad de nutrientes en el suelo	51
5.2.1. Determinación del peso del suelo	51
5.2.2. Determinación del nitrógeno (N) asimilable a partir de la materia orgánica del suelo (MOS)	53
5.2.3. Determinación del contenido de fósforo (P) asimilable por hectárea	54
5.2.4. Determinación del contenido de potasio (K) asimilable en kg por hectárea	55
5.3. La eficiencia del fertilizante	55
5.4. Determinación de la dosis de fertilización	56
5.5. Elección de fertilizantes y determinación de la dosis	58
5.5.1. Cálculos de cantidades	59
5.5.2. Fraccionamiento de fertilizantes	60
6. Referencias bibliográficas	71
7. Anexos	79



Presentación

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) es un organismo técnico especializado adscrito al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), que desarrolla actividades de investigación, transferencia tecnológica, aprovechamiento y conservación de los recursos genéticos y producción de semillas, plántones y reproductores de alto valor genético.

El INIA, a través de la Dirección de Servicios Estratégicos Agrarios (DSEA), viene ejecutando el proyecto de inversión “Mejoramiento de los servicios de investigación y transferencia tecnológica en el manejo y recuperación de suelos agrícolas degradados y aguas para riego en la pequeña y mediana agricultura en los departamentos de Lima, Áncash, San Martín, Cajamarca, Lambayeque, Junín, Ayacucho, Arequipa, Puno y Ucayali”, con CUI N° 2487112, el cual tiene entre sus objetivos evaluar alternativas tecnológicas para el manejo de suelos y agua en la producción agrícola.

En ese contexto, dos de los cultivos más emblemáticos del departamento de Arequipa son el ajo y la cebolla, los cuales desempeñan un papel fundamental en la economía local y la seguridad alimentaria. La producción sostenible de estos cultivos depende en gran medida de un manejo adecuado de la fertilidad del suelo. Por ello, se elaboró el presente Manual para la fertilización del ajo y la cebolla, basado en experiencias de investigación desarrolladas en la Estación Experimental Agraria Arequipa, así como en información documentada en bibliografía especializada. Este documento aborda los principios fundamentales de la fertilización, desde el muestreo de suelos y la identificación de los requerimientos nutricionales, hasta la formulación y aplicación de planes de fertilización específicos, según el tipo de suelo determinado por su respectivo análisis.

Este manual está dirigido a técnicos, extensionistas, agricultores y demás actores involucrados en la cadena productiva de ajo y cebolla.

M. Sc. Jorge Juan Ganoza Roncal
Presidente Ejecutivo
Instituto Nacional de Innovación Agraria



1. Introducción

El ajo (*Allium sativum* L.) y la cebolla (*Allium cepa* L.) son dos de los cultivos hortícolas de importancia a nivel mundial, tanto por su valor nutricional y medicinal como por su papel en la gastronomía y la economía agrícola (Ekşi et al., 2020). Ambos cultivos pertenecen a la familia Amaryllidaceae (Angiosperm Phylogeny Group [APGIII], 2009), la cual está ampliamente distribuida en la región holártica, extendiéndose desde zonas secas de clima subtropical hasta las regiones frías del norte (Fritsch y Friesen, 2002).

En el Perú, los cultivos de ajo y cebolla son de gran importancia económica y social, ya que no solo constituyen pilares en la alimentación de las familias, sino que también son fuente de empleo para la población y generan ingresos para pequeños y medianos agricultores.

El ajo, ampliamente producido en la mayoría de los departamentos del país, tiene como principales zonas productoras a Arequipa, Cajamarca y Lima. Durante el período 2016-2024, la producción nacional promedio alcanzó las 93.7 mil toneladas, siendo Arequipa el departamento con mayor contribución (71 %), con un promedio anual de 66.7 mil toneladas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2025).

De manera similar, la cebolla es otro cultivo clave en el Perú, con amplias zonas de producción concentradas en Arequipa, Ica y La Libertad. Durante el mismo período, la producción nacional promedio fue de 614.1 mil toneladas, destacándose nuevamente Arequipa como el principal productor (61 %), con un promedio anual de 376.5 mil toneladas (MIDAGRI, 2025).

Las condiciones climáticas y edáficas de las regiones productoras de ajo y cebolla favorecen significativamente su desarrollo. No obstante, a pesar de estas ventajas, los agricultores enfrentan importantes desafíos en el manejo agronómico, siendo el manejo de la fertilización uno de los principales. En este sentido, una fertilización inadecuada puede ocasionar problemas como bajos rendimientos, productos de calidad deficiente y costos de producción elevados. Además, la necesidad de adoptar prácticas sostenibles ha cobrado mayor relevancia debido a la creciente preocupación por los riesgos de contaminación de suelos y aguas subterráneas y superficiales asociados al uso excesivo de fertilizantes sintéticos.

En este contexto, el objetivo de este manual es ofrecer herramientas prácticas y actualizadas para el manejo eficiente de la nutrición del ajo y la cebolla, con la finalidad de alcanzar altos rendimientos, asegurar la calidad comercial de los productos y reducir el impacto ambiental asociado al uso excesivo de fertilizantes.



2. Características de los cultivos

2.1. Ajo

El ajo (*Allium sativum*), se estima que su origen podría situarse entre el Mediterráneo y el sur de Asia Central. Su uso se remonta a tiempos antiguos, dificultando rastrear su ancestro silvestre o el área exacta de su domesticación. Es la segunda especie más relevante del género *Allium*, se cultiva globalmente en regiones templadas, subtropicales y áreas montañosas tropicales, valorado tanto como especia como por sus propiedades medicinales. El bulbo, compuesto por múltiples dientes alargados y compactos, es la parte de mayor interés económico. Además, las hojas frescas, los pseudotallos y los bulbillos también son consumidos (Fritsch y Friesen, 2002). La aliina, presente en todas las partes de la planta, se descompone enzimáticamente en alicina, un compuesto con actividad antibacteriana y antifúngica, responsable del aroma intenso y característico del ajo (Randle y Lancaster, 2002).

2.1.1. Cultivares

Los cultivares predominantes en el Perú según el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2020) son:

- **Ajo Morado:** ajo de alta demanda con un rendimiento de 7-10 t ha⁻¹ y un período vegetativo de 7 meses. Destaca por su color morado, alta pungencia y calidad comercial.
- **Ajo Criollo o Napurí:** reconocido por su calidad industrial y sabor picante, con un rendimiento de 10-12 t ha⁻¹ y un período vegetativo de 6 meses.
- **Ajo Barranquino:** bulbos desuniformes con rendimientos de 8-10 t ha⁻¹ y un ciclo vegetativo de 5.5-6 meses.
- **Ajo Massone:** ajo de mayor productividad, alcanzando 10-13 t ha⁻¹, pero sus bulbos son desuniformes, además, con un ciclo más largo de 7 meses.
- **Ajo Chino:** ajo de calidad inferior, menos picante, pero con el mayor rendimiento (hasta 16 t ha⁻¹) y mayor susceptibilidad a mermas en almacenamiento. Ciclo vegetativo de 5 - 5.5 meses (Figura 1).



Figura 1. Ajo cultivar Chino en el distrito de Santa Rita de Sigwas

2.1.2. Etapas fenológicas del cultivo de ajo

Para diseñar un plan de fertilización eficiente en la producción de ajo, es fundamental comprender sus etapas fenológicas. Este cultivo presenta dos fases principales: fase vegetativa y fase de bulbeo, no obstante, en variedades que poseen tallo floral, también presentan la fase de floración (Lopez-Bellido et al., 2016). Para los agricultores que no se enfocan en la producción de semillas, es importante centrarse en solo las dos primeras fases mencionadas.

En la fase vegetativa, la brotación y el desarrollo de la hoja (brote principal) son procesos importantes, ya que determinan el establecimiento y el crecimiento inicial de la planta. Posteriormente, en la fase de bulbeo, se produce la formación de brotes laterales y el desarrollo de las estructuras vegetativas cosechables (dientes) (Lopez-Bellido et al., 2016). Estas fases se ilustran en la Figura 2 y describen detalladamente en la Tabla 1.

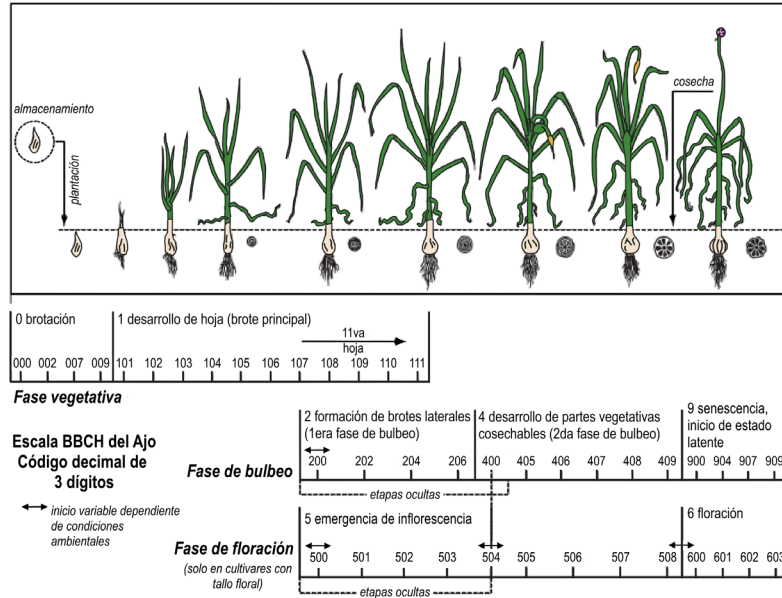


Figura 2. Etapas fenológicas del ajo según la escala Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie (BBCH). Adaptado de Lopez-Bellido et al. (2016)

Tabla 1. Descripción de las etapas fenológicas del ajo según la escala Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie (BBCH)

Código BBCH		
2 dígitos	3 dígitos	Descripción
Etapa principal de crecimiento 0: Brotación		
00	000	Bulbos y dientes en completa maduración después de la cosecha (latencia profunda): VID* ≤20-30 %.
01	001	Bulbos y dientes en completa maduración después de la cosecha (latencia profunda): VID ≤20-30 %.
02	002	Ruptura de latencia: VID ≥70 % (condiciones óptimas para la plantación).
03	003	La hoja germinada alcanzó la punta del diente: VID=100 %.
07	007	Sobresale la hoja germinal (sin lámina), que emerge de la punta del diente.
08	008	Brotan hojas/hojas (generalmente 1 o 2) que crecen hacia la superficie del suelo.
09	009	Las hojas geminadas rompen la superficie del suelo.
Etapa principal de crecimiento 1: Desarrollo de la hoja (brote principal)		
11	101	1ª hoja (lámina) plegada emergió de la/s hoja/s germinadas y es claramente visible (>3 cm).
12	102	2ª hoja (limbo) plegada claramente visible (>3 cm).
13	103	3ª hoja (lámina) plegada claramente visible (>3 cm).
14	104	4ª hoja (limbo) plegada claramente visible (>3 cm).
15	105	5ª hoja (lámina) plegada claramente visible (>3 cm); 1ª hoja desplegada.
16	106	6ª hoja (lámina) plegada claramente visible (>3 cm); hojas viejas desplegadas.
1.	10.	Etapas continuas hasta...
	112	O más hojas (lámina) claramente visibles (plegadas/desplegadas/dobladas/secas muertas).
Etapa principal de crecimiento 2: Formación de brotes laterales		
20	100	Comienzan a diferenciarse los brotes laterales en las axilas de las hojas más internas (secuencia centripeta).
21	201	1ª hoja sin limbo de cada yema comienza a cerrarse.
22	202	2ª estrella de hoja sin cuchillas para cerrar.
23	203	3ª estrella de hoja sin láminas para cerrar.
24	204	Las yemas laterales (2-3 hojas sin láminas y brotes en el interior) comienzan a agrandarse.
25	205	La longitud de las hojas externas sin limbo alcanza los 10 mm.
26	206	La longitud de las hojas externas sin limbo alcanza los 20 mm.
Etapa principal de crecimiento 4: Desarrollo de partes vegetativas cosechables		
40	400	Las hojas más internas (sin limbo) de cada diente-yema comienzan a hincharse.
45	501	Se alcanzó el 50 % del diámetro de bulbos esperado.
46	502	Se alcanzó el 60 % del diámetro de bulbos esperado.
48	503	Se alcanzó el 80 % del diámetro de bulbos esperado.
49	504	Alcanzó 100 % del diámetro esperado de bulbos. La planta aún está erecta y varias hojas (3-5) son verdes.

Tabla 1. Descripción de las etapas fenológicas del ajo según la escala Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie (BBCH)

Código BBCH		
2 dígitos	3 dígitos	Descripción
Etapa principal de crecimiento 5 (sólo tipos con tallo floral completo o incompleto): emergencia de la inflorescencia		
50	500	Tallo (escapo) ≤5 mm de longitud desde el disco basal del tallo.
51	501	Tallo (escapo) ≤5 mm de longitud desde el disco basal del tallo.
52	502	El tallo ha alcanzado el 50 % de la longitud total del pseudotallo.
53	503	El tallo ha alcanzado el 75 % de la longitud total del pseudotallo.
54	504	Punta del tallo claramente visible (>3 cm).
55	505	Nudo del tallo (punto de unión claramente visible > 3 cm).
56	506	Tallo con forma de 'coleta'.
57	507	Tallo con forma de 'cayado de obispo'.
58	508	El tallo comienza a erguirse; se alcanza el 100 % de la longitud esperada del tallo de la flor.
Etapa principal de crecimiento 6 (solo tipos con espigado completo): Floración		
60	600	Espata abierta; inflorescencia visible.
61	601	Los floretes se abren.
62	602	Los pétalos se secan o caen y los bulbillos alcanzan su tamaño definitivo.
63	603	Todas las flores caen y los bulbillos muestran una piel protectora seca.
Etapa principal de crecimiento 9: senescencia, comienzo de la latencia		
90	900	Las últimas 5-3 hojas comienzan dobladas.
91	901	Hojas secas y muertas; colapso del pseudotallo y caída de la planta (sólo tipos de cuello blando).
92	902	Cuello, últimas vainas que rodean los dientes, la piel del diente, el disco y el escapo comienzan a secarse.
94	904	Pérdida de bulbo 40 % de pérdidas de peso final hasta la madurez.
97	907	Pérdida del bulbo 70 % de pérdidas de peso final hasta la madurez.
99	909	Los bulbos alcanzan su peso final (maduración) y los dientes entran en estado latente.

* VID: índice visual de dormancia. Adaptado de López-Bellido et al. (2016).

2.2. Cebolla

La cebolla (*Allium cepa* L) es una de las hortalizas cultivadas más antiguas, con más de 4 000 años de historia. Sus primeros registros provienen del Antiguo Egipto, donde se cultivaba y se representaba en grabados en pirámides y tumbas desde el 2 700 a. C. (Hanelt, 1990). Este cultivo es una de las hortalizas más importantes a nivel mundial, tanto por su aporte al sabor de los alimentos como por sus beneficios para la salud. Consumida cruda, proporciona fitoquímicos con propiedades terapéuticas, lo que la hace valiosa para la industria alimentaria y farmacéutica (Pareek et al., 2017). Su futuro radica en el desarrollo de variedades con alto contenido de estos compuestos, como la quercetina, un flavonoide con potencial para el tratamiento del Alzheimer y otras enfermedades neurodegenerativas relacionadas con el estrés oxidativo (Ansari et al., 2009).

2.2.1. Cultivares

En el Perú existen un amplio número de cultivares de cebollas que se pueden clasificar según el color del bulbo, la forma, el tamaño, los usos y la precocidad (Tabla 2).

Tabla 2. Cultivares de cebolla en el Perú

Cultivar	Descripción	Citas
Granex 33	Híbrido de bulbo amarillo, con forma achatada y de tamaño mediano.	Portella-Vilca et al. (2021)
Roja Americana	Cultivar de planta bianual, herbácea, con hojas verde oscuro. Tiene un periodo vegetativo de 110 días. El bulbo es de forma globosa, con cuello muy cerrado, ideal para el curado. El diámetro ecuatorial del bulbo varía entre 6.15 y 10.05 cm.	Reynaldo-Rojas (2017)
Roja Arequipeña	Bulbo de color rojo/rosado de forma globo chato/aperado. Tiene una pungencia fuerte. Es una planta de fotoperiodo largo.	Ugás et al. (2000)
Century	Cebolla amarilla híbrida de día corto (105-120), tipo Granex. Bulbo café claro, de color uniforme interno y externo, cuello angosto, centro sencillo, tamaño jumbo y maduración temprana.	Llalui-León (2017)
Sweet Caroline	Cebolla híbrida de mayor vigor y precocidad. Bulbo globoso o ligeramente aplanado, de color amarillo claro.	Alva-Horna (2018)
Magnolia	Híbrido de bulbo amarillo, redondo y con tallo erguido. Periodo vegetativo entre 110 y 120 días. Bulbo tipo Granex, de sabor suave, dulce y no pungente.	Guerrero-Anchante y Perez-Huamantoma (2021)
Perilla	Cultivar de madurez media a tardía, con ciclo vegetativo de 120 días. Presenta bulbo de color rojo oscuro.	Reynaldo-Rojas (2017)
Roja Camaneja	Cultivar bianual, herbáceo, con hojas verde oscuro. Periodo vegetativo de 120 días. Bulbo rojo, redondo ligeramente achatado, de menor tamaño y mayor precocidad.	Reynaldo-Rojas (2017)
Sivan	Cultivar semidulce y suave, preferido para cosechas precoces (3 meses). Ideal para el mercado nacional. Bulbo rosado rojizo, buen sabor y baja pungencia. De ciclo precoz, con bulbos grandes, forma de globo a globo alargado.	Hernández-Gutiérrez (2014) y Bermúdez-Reyes (2019)

2.2.2. Etapas fenológicas del cultivo de cebolla

Para diseñar un plan de fertilización eficiente en la producción de cebolla, es también fundamental comprender sus etapas fenológicas. En la Figura 3 y Tabla 3 se pueden observar las etapas fenológicas desde la semilla sembrada en el suelo hasta la cosecha.

En la producción nacional, el crecimiento de la cebolla se divide en dos etapas de campo. La primera es la etapa de almácigo, que abarca desde la siembra de semillas hasta el arranque de las plántulas, con una duración de 50 a 80 días (Catacora-Pinazo y Tasayco-Carbajal, 2002). La segunda corresponde a la fase de producción propiamente dicha (Figura 4), que inicia con el trasplante y finaliza con la cosecha, con una duración aproximada de 75 a 120 días, dependiendo del cultivar y época de siembra (Zeballos-Cáceres, 2015, citando a Zeballos, 2010).

Tabla 3. Etapas fenológicas de la cebolla desde la siembra de semilla hasta la cosecha del bulbo

Etapas del crecimiento de la cebolla	Descripción
(A) Semilla en el suelo	Semilla en el suelo después de la siembra.
(B) Etapa de lazo	Después de la germinación subterránea, el cotiledón aparece en la superficie en forma de lazo o gancho.
(C) Primera hoja en la etapa de gancho o látigo	Aparece la primera hoja verdadera mientras el cotiledón aún está fuertemente curvado, formando una estructura similar al cayado de un pastor o un látigo.
(D) Senescencia del cotiledón	Tras la aparición de la segunda y tercera hojas verdaderas, el cotiledón se seca, marchita y cae.
(E) Cuarta hoja en la etapa de puerro	Aparece la cuarta hoja y el cuello de la planta comienza a engrosar mientras la primera hoja se marchita.
(F) Caída de la primera hoja	La primera hoja cae, y la segunda se desprende en la vaina y empieza a secarse desde la punta, mientras aparecen las hojas cinco, seis y siete.
(G) Inicio del bulbeo	Comienza la formación del bulbo; las hojas segunda y tercera se secan mientras aparecen las hojas ocho a trece. La planta alcanza su altura máxima.
(H) Crecimiento del bulbo	El bulbo crece rápidamente mientras las hojas cuatro a seis se secan progresivamente, junto con las puntas de las hojas más jóvenes. Las hojas pueden doblarse o plegarse bajo su propio peso. Pueden aparecer una o dos hojas cortas más. Se empieza a formar la piel seca externa del bulbo.
(I) Caída o cuello blando	El cuello o pseudotallo se vuelve hueco a medida que cesa el crecimiento de nuevas hojas en su interior, y los tejidos del cuello pierden turgencia y se ablandan, lo que provoca el colapso del follaje bajo su propio peso. El bulbo alcanza su tamaño final.
(J) Maduración del bulbo	Las capas externas del bulbo se secan, curan y se consolidan, mientras el follaje se seca y senesce por completo.

Adaptado de Brewster (2008), citando a Rey et al. (1974)

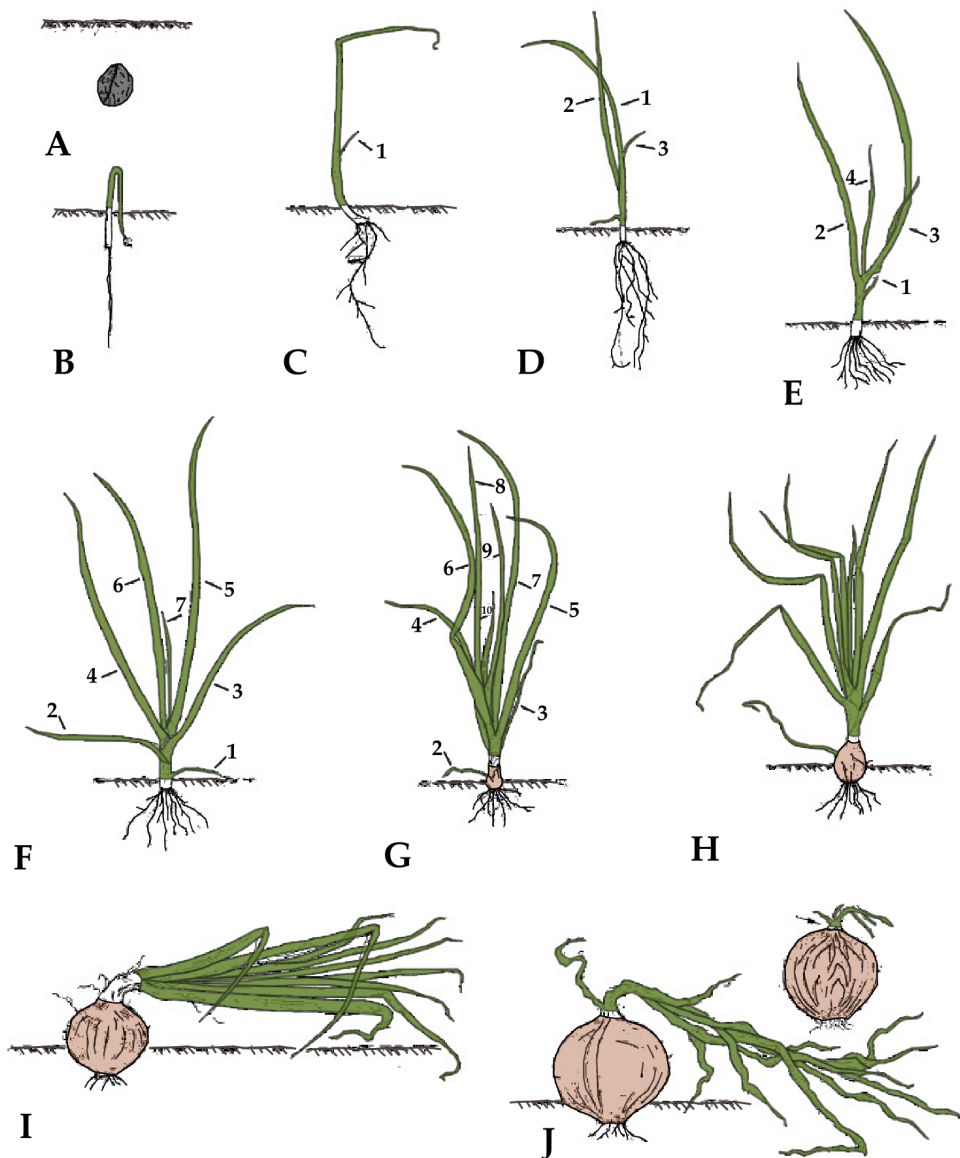


Figura 3. Etapas fenológicas de la fase vegetativa de la cebolla (adaptado de Brewster, 2008, citando a Rey et al., 1974)



Figura 4. Cebolla roja cultivar Perilla en el distrito de Santa Rita de Siguan



3. Nutrición vegetal

La nutrición vegetal es el proceso fisiológico mediante el cual las plantas absorben y utilizan elementos minerales y no minerales para su crecimiento y desarrollo. De los 118 elementos presentes en la Tierra, las plantas absorben alrededor de 60, pero solo 16 son esenciales. Este proceso involucra la adquisición de nutrientes orgánicos e inorgánicos, que participan en las funciones metabólicas y fisiológicas de las plantas. Además, la nutrición vegetal estudia las sustancias químicas necesarias para su desarrollo y tiene una estrecha relación con diversas especialidades, tales como anatomía vegetal, bioquímica vegetal, fisiología vegetal, ciencias del suelo, patología vegetal, entomología, entre otras (Baset-Mia, 2015).

3.1. Clasificación basada en las funciones bioquímicas y fisiológicas

Los nutrientes esenciales de las plantas se pueden clasificar según sus funciones bioquímicas y metabólicas tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Elementos esenciales clasificados en grupos según las funciones bioquímicas y metabólicas

Grupo	Elemento nutricional	Forma iónica de absorción	Funciones bioquímicas
Grupo A	C, H, N y S	Absorción de la solución del suelo como HCO_3^- , NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} y de la atmósfera como CO_2 .	Son los principales responsables de la construcción de órganos y orgánulos en las plantas y se asimilan mediante procesos de carboxilación y oxidación-reducción.
Grupo B	P y B	Absorción de la solución del suelo como H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , BO_3^{2-} .	Son responsables de la transferencia de energía, por ejemplo, la formación de ATP. Los elementos se esterifican con grupos alcohólicos en las plantas. Los ésteres de fosfato participan en la reacción de transferencia de energía.
Grupo C	K, Mg, Ca, Mn y Cl	Absorción de la solución del suelo como K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Cl^- .	Los elementos tienen funciones específicas, además son responsables de establecer potenciales osmóticos, las contribuciones específicas a la estructura y función de la proteína enzimática. Realiza el equilibrio con otros aniones en el citosol y la vacuola.
Grupo D	Fe, Cu, Zn y Mo	Absorción de la solución del suelo en forma iónica o como quelante como Fe-EDTA , Cu^{2+} , Zn^{2+} , MoO_4^{2-} .	Están presentes principalmente en grupos prostéticos en la enzima o proteína. Contribuye en el transporte de electrones mediante cambios de valencia.

Modificado de Mengel (2001).

3.2. Clasificación de nutrientes vegetales esenciales según la movilidad de los nutrientes en el suelo

Los nutrientes vegetales se pueden clasificar, según Baset-Mia (2015), en las siguientes categorías:

a. Nutrientes móviles

Los nutrientes de este grupo son altamente solubles, no se adsorben en complejos arcillosos y son muy móviles en el sistema del suelo. Existe la posibilidad de pérdida por lixiviación de estos elementos cuando se aplican al suelo como fertilizante químico, como ocurre con NO_3^- , SO_4^{2-} , BO_3^{2-} , Cl^- y Mn^{2+} .

b. Nutrientes menos móviles

Son solubles, pero son absorbidos por el complejo arcilloso, por lo que su movilidad está restringida hasta cierto punto. La pérdida por lixiviación es mínima cuando se aplica al suelo como fertilizante químico. Ejemplos de estos cationes incluyen NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} .

c. Nutrientes inmóviles

Estos iones de nutrientes son altamente reactivos y se fijan en el suelo tanto en condiciones ácidas como alcalinas. Entre ellos se encuentran H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , Zn^{2+} .

3.3. Clasificación según la movilidad dentro del sistema de la planta

Algunos elementos nutrientes pueden trasladarse de un órgano a otro dentro de la planta, es decir, desde hojas más viejas hacia hojas o brotes más jóvenes, mientras que otros permanecen fijados en un órgano específico. Según su movilidad en el sistema vegetal, los nutrientes se clasifican en cuatro categorías: aquellos con alta movilidad en el xilema y floema, como N, P, K y Cl; los moderadamente móviles a través del floema, como el Zn; los de menor movilidad en el floema, como S, Fe, Mn, Mo y Cu; y los inmóviles en el floema, como Ca y B (Baset-Mia, 2015).

3.4. Nutrientes esenciales y su rol en las plantas

3.4.1. Macronutrientes

a. Nitrógeno (N)

El nitrógeno es un elemento esencial en las plantas, ya que forma parte de los aminoácidos, ácidos nucleicos y la clorofila, fundamentales para los procesos biológicos y la fotosíntesis. También contribuye al uso de carbohidratos y favorece el crecimiento de las raíces y la absorción de nutrientes (Weil y Brady, 2017).

- **Deficiencia de nitrógeno**

Las plantas con deficiencia de nitrógeno presentan clorosis en las hojas más viejas, crecimiento reducido, tallos delgados y bajo contenido de proteínas (Figura 5). Debido a la movilidad del nitrógeno, este se transfiere a las hojas nuevas, causando el amarillamiento y caída prematura de las hojas viejas. Además, estas plantas tienen una baja relación entre la parte aérea y la raíz, maduran más rápido y muestran una notable reducción en tamaño y vigor (Weil y Brady, 2017).

- **El exceso de nitrógeno**

El exceso de fertilización nitrogenada en ajo puede aumentar el rendimiento, pero con temperaturas bajas o alta humedad del suelo, favorece el crecimiento de brotes laterales, lo que puede reducir o incluso anular la producción (de Oliveira et al. 2020).

Un suministro excesivo de nitrógeno en cebolla, especialmente cuando excede las necesidades de la planta, puede incrementar la formación de cuellos gruesos, estimular la brotación y reducir la vida útil de almacenamiento (Geisseler et al., 2022; Gebretsadik y Dechassa, 2018).

Además, el exceso de nitrógeno puede acumularse en las plantas en forma de nitratos perjudiciales para el ganado. Factores ambientales como sequía o frío pueden agravar esta acumulación. Finalmente, la lixiviación del nitrógeno contribuye a la contaminación del agua subterránea y de los estuarios (Weil y Brady, 2017).



Figura 5. Deficiencias de nitrógeno (N) en cebolla y ajo. A) Cebolla cultivar Century, B) cebolla cultivar Perilla, C) ajo cultivar Napurí y D) ajo cultivar Chino

b. Fósforo (P)

El fósforo es uno de los macronutrientes más importantes necesarios para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas cultivadas. Es un elemento clave en la fotosíntesis, la respiración y la biosíntesis de ácidos nucleicos y membranas. El fósforo es absorbido por la planta principalmente en forma de iones ortofosfato (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}), presentes en la solución del suelo, que dependen en gran medida del pH del suelo y de la cantidad presente en el mismo. El ion H_2PO_4^- se absorbe más rápido que el HPO_4^{2-} , y la principal zona de absorción de P y acumulación es en la punta de la raíz y en las zonas de elongación de las raíces. Las plantas también pueden absorber P orgánico como ácido nucleico y fitina en casos especiales. El fósforo se mueve desde el suelo hasta la superficie de la raíz a través de la difusión y el flujo de masa. Asimismo, este elemento estimula la germinación de las semillas, el desarrollo de las raíces, la formación de tallos más sólidos, así como la formación de flores y semillas, lo que impacta tanto en el rendimiento como en la calidad del cultivo. Por lo tanto, el fósforo es fundamental en todas las etapas del desarrollo, desde la germinación hasta la madurez (Baset-Mia, 2015).

- **Deficiencia de fósforo**

Las plantas con deficiencia de fósforo desarrollan hojas y tallos de color verde oscuro o morado. Este oscurecimiento o morado se debe a la acumulación de fotosintatos y antocianina, que se utilizan de manera ineficiente debido a la reducción del suministro de energía química en la planta. También, el crecimiento de las plantas es lento, presentan debilidad y atrofia. Las hojas tienen un color verde opaco y se secan desde las puntas sin presentar el color amarillo asociado a la deficiencia de nitrógeno y potasio (Jones, 2012). En la Figura 6 se muestran los síntomas típicos de la deficiencia de fósforo.

Al ser bastante móviles en la planta, los síntomas de deficiencia de P se presentan inicialmente en el tejido más viejo.

- **Exceso de fósforo**

Principalmente, se manifiesta como una deficiencia de micronutrientes, afectando primero al hierro (Fe) y al zinc (Zn). Además, un alto contenido de P puede interferir con el metabolismo normal de la planta, alterando sus funciones fisiológicas. Cuando

la concentración de P en las hojas supera el 1 %, se considera generalmente tóxica, lo que puede comprometer el desarrollo y rendimiento del cultivo (Jones, 2012).



Figura 6. Deficiencias de fósforo (P) en cebolla y ajo. A) Cebolla cultivar Century, B) cebolla cultivar Perilla, C) ajo cultivar Napurí y D) ajo cultivar Chino

c. Potasio (K)

En las plantas, el K es el catión más abundante presente en el citoplasma, aunque no forma parte de ninguna estructura o molécula orgánica, sino que se encuentra principalmente como un ion libre. Este hecho se debe a que el potasio forma complejos débiles, lo que permite su fácil intercambio dentro de las células. La función primaria del K en las plantas es la regulación de la homeostasis eléctrica y osmótica, tanto en el citosol como en otros compartimentos celulares. Además, el K es crucial para la activación de enzimas y la coordinación química dentro de las células, influyendo en una serie de procesos bioquímicos esenciales (Baset-Mia, 2015).

El requerimiento de K para un crecimiento y desarrollo óptimos de las plantas varía entre especies, pero generalmente se estima que las plantas requieren entre 20 y 50 mg g⁻¹ de peso seco de potasio (Hawkesford et al., 2023). Sin embargo, las respuestas de los cultivos a la fertilización con potasio no siempre son consistentes. En el caso de los cultivos de cebolla, por ejemplo, los efectos de la fertilización con potasio pueden no ser siempre significativos o pueden presentar respuestas divergentes. Esto se debe a la variabilidad en las dosis requeridas, las cuales dependen de factores como el cultivar específico, las condiciones del suelo y el clima de la región (Marrocos et al., 2018).

Este comportamiento variable en la respuesta de las plantas a la fertilización con potasio subraya la necesidad de considerar múltiples factores al determinar las dosis óptimas de fertilización para maximizar el rendimiento y la salud de los cultivos. A pesar de las diferencias observadas, es indiscutible que el potasio es un nutriente esencial para el mantenimiento de la homeostasis celular y el crecimiento de las plantas, y su manejo adecuado es clave para garantizar rendimientos óptimos (Baset-Mia, 2015).

- **Deficiencia de potasio**

La deficiencia de potasio (K) en los cultivos puede generar diversos efectos negativos. Los cultivos se vuelven más sensibles a las plagas que provocan enfermedades, mientras que el rendimiento y la calidad de los bulbos se ven reducidos. Dado que el K es un nutriente móvil dentro de la planta, los síntomas de su deficiencia aparecen primero en el tejido vegetal más viejo, manifestándose como una quemadura en los bordes de las hojas (Figura 7). Además, las plantas con bajos niveles de K pueden volverse más sensibles a la presencia de amonio (NH₄⁺), lo que agrava el estrés nutricional y fisiológico del cultivo (Jones, 2012).



Figura 7. Deficiencias de potasio (K) en cebolla y ajo. A) Cebolla cultivar Century, B) cebolla cultivar Perilla, C) ajo cultivar Napurí y D) ajo cultivar Chino

3.4.2. Macronutrientes secundarios

a. Azufre (S)

El azufre es absorbido como anión sulfato por las raíces, y se encuentra en las plantas en base a peso seco entre 0.2 a 0.5 %. Este es requerido para la síntesis de aminoácidos como cistina, cisteína y metionina, estos son esenciales componentes de las proteínas de las plantas. Los componentes volátiles de azufre son los responsables del olor característico en ajos y cebollas (Jones, 2012).

Las deficiencias de azufre se manifiestan en hojas jóvenes que son estrechas y cloróticas, con crecimiento lento y bulbos con bajo contenido de aliina; por el contrario, el exceso de azufre puede acidificar el suelo (Fageria y Moreira, 2011).

b. Calcio (Ca)

El calcio es absorbido como catión divalente y constituye entre el 0.2 % y 1 % del peso seco de la planta. Es fundamental para la estabilidad estructural de la membrana y la pared celular, regulando su permeabilidad. Además, el calcio neutraliza ácidos orgánicos del metabolismo, favorece la asimilación de nitrato y regula la absorción de cationes. También es esencial en la translocación de carbohidratos y nutrientes, en la división y elongación celular, y en la señalización intracelular como segundo mensajero (Havlin et al., 2016).

La deficiencia de calcio provoca que las partes superiores del brote adquieran un tono verde amarillento y las inferiores se mantengan verde oscuro. Incluso en condiciones de abundancia, ciertos tejidos u órganos pueden desarrollar desórdenes asociados a esta deficiencia. Además, bajo condiciones de salinidad, el incremento en la absorción de K^+ y Mg^{2+} restringe la absorción y distribución de Ca^{2+} , lo que aumenta la incidencia de pudrición apical (Pilbeam y Morley, 2007).



Figura 8. Deficiencias de calcio (Ca) en cebolla y ajo. A) Cebolla cultivar Century, B) cebolla cultivar Perilla, C) ajo cultivar Napurí y D) ajo cultivar Chino

c. Magnesio (Mg)

El magnesio es absorbido como catión Mg divalente, es el componente estructural de la clorofila, esencial para la fotosíntesis, el magnesio está contenido en la planta entre 0.1 a 0.4 % en base a peso seco, sirve como componente estructural en ribosomas estabilizándolas en su configuración para la síntesis de proteínas, en plantas deficientes se reduce el nitrógeno proteico y se incrementa el nitrógeno no proteico (Jones, 2012).

La deficiencia de Mg interrumpe la síntesis de proteínas y clorofila, manifestándose visualmente con moteado y raquitismo en hojas viejas. El exceso de Mg no presenta síntomas específicos, pero puede inhibir competitivamente la absorción de Ca y K, generando síntomas de deficiencia de estos cationes (Merhaut, 2007). Los síntomas típicos de deficiencia de Mg en la cebolla y ajo se observan en la Figura 9.





Figura 9. Deficiencias de Magnesio (Mg) en cebolla y ajo. A) Cebolla cultivar Century, B) cebolla cultivar Perilla, C) ajo cultivar Napurí y D) ajo cultivar Chino

3.4.3. Micronutrientes

Los micronutrientes son tan esenciales como los macronutrientes en la nutrición de las plantas, aunque están presentes en menores concentraciones en suelos y tejidos vegetales. Su deficiencia reduce la productividad de las plantas de manera similar a la falta de macronutrientes. En el suelo, los micronutrientes se encuentran en minerales, adsorbidos en superficies, incorporados en materia orgánica y microorganismos, o en solución (Havlin et al., 2016).

a. Hierro (Fe)

El hierro es importante para la síntesis de RNA, y el descenso de su concentración se asocia con una fuerte disminución de la síntesis de proteínas (Broadley et al., 2012, citando a Nishio et al., 1985), esto también puede causar la disminución de la fotosíntesis, al reducir la concentración de la Rubisco (Broadley et al., 2012, citando a Larbi et al., 2004, 2006; Timperio et al., 2007). En cebolla, su deficiencia se manifiesta mediante hojas completamente cloróticas (Manthey et al., 1996). En exceso, puede causar daño metabólico, aumentando las aberraciones cromosómicas en los meristemos radiculares,

la peroxidación lipídica y disminuyendo la actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD) (Gantayat et al., 2020).

b. Zinc (Zn)

El zinc actúa como cofactor en diversas enzimas que intervienen en múltiples procesos metabólicos (Vallee y Auld, 1990). En cebolla, su deficiencia reduce la elongación de brotes y el tamaño de las hojas; durante el crecimiento, se observan hojas de color verde claro con manchas necróticas marrones en las láminas foliares (Rafique et al., 2008). En exceso, disminuye la acumulación de peso seco, reduce la tasa absoluta de crecimiento y el área foliar específica (Casierra-Posada y Trujillo-Niño, 2024).

c. Manganeso (Mn)

El manganeso cumple un rol importante en numerosos procesos metabólicos, incluyendo la fotosíntesis, la respiración, la síntesis de proteínas y la activación hormonal (Burnell, 1988). Su deficiencia en cebolla y ajo se manifiesta con un crecimiento reducido y un desarrollo deficiente de las plantas (Pandey, 2017). En muchas especies vegetales, los síntomas de toxicidad por Mn incluyen manchas marrones en hojas maduras (Wissemeier y Horst, 1987).

d. Boro (B)

El boro participa principalmente en la biosíntesis y estructura de la pared celular (Broadley et al., 2012). Se encuentra en la solución del suelo como ácido bórico o borato, dependiendo del pH (Wimmer et al., 2015). Su deficiencia causa cese del crecimiento terminal, hojas jóvenes pálidas y retorcidas, y afecta principalmente el crecimiento reproductivo causando esterilidad masculina en gramíneas (Havlin et al., 2016). La toxicidad, por su parte, se manifiesta como quemaduras en hojas, manchas cloróticas y/o necróticas, generalmente en los márgenes (Nable et al., 1997).

e. Cobre (Cu)

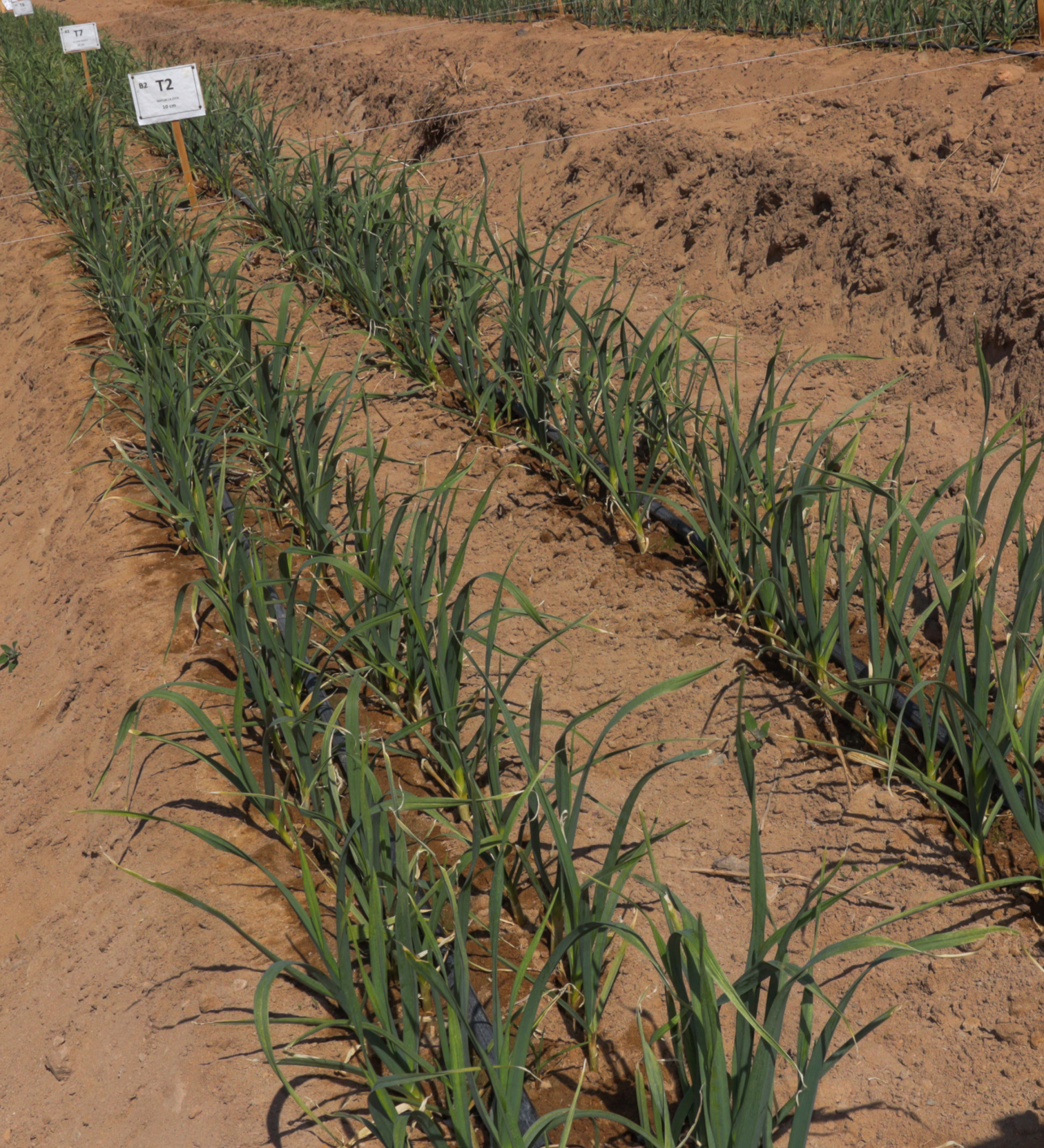
La disponibilidad de cobre es fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Yruela, 2015). Es un elemento redox-activo crucial en la fotosíntesis, respiración, metabolismo del carbono y nitrógeno, así como en la defensa contra el estrés oxidativo (Broadley et al., 2012). La deficiencia de Cu se manifiesta con puntas de hojas blancas y curvadas, clorosis y necrosis foliar; en cebolla, provoca maduración temprana y bulbos de color bronce verdoso (Gupta, 1997). La toxicidad por Cu reduce notablemente el índice mitótico e incrementa la frecuencia de anomalías celulares (Escobedo-Paredes et al., 2020).

f. Molibdeno (Mo)

El molibdeno actúa como cofactor de enzimas que catalizan reacciones redox, estrechamente vinculado al metabolismo del nitrógeno. Participa en enzimas como la reductasa de nitratos, xantina deshidrogenasa, aldehído oxidasa y reductasa de sulfito (Kopsell et al., 2015; Broadley et al., 2012). Su deficiencia se expresa en hojas verde pálido con regiones necróticas en los márgenes y crecimiento reducido (Kaiser et al., 2005). Aunque raramente tóxico en condiciones normales (Fageria y Moreira, 2011), su exceso puede provocar malformaciones en tejidos foliares, decoloración amarillo-dorada de los brotes y restricción del crecimiento de raíces y brotes, aunque estos casos son poco comunes en condiciones de campo (Kevresan et al., 2001).

T7

82 T2
10 cm





4. Diagnóstico de la fertilidad del suelo

El diagnóstico de fertilidad del suelo es un proceso importante para garantizar una nutrición adecuada en los cultivos de ajo y cebolla. Para obtener un diagnóstico preciso, es necesario realizar un muestreo adecuado del suelo y, complementariamente el análisis foliar que proporcione información adicional sobre el estado nutricional de los cultivos. En esta sección, se detallan los pasos para la toma de muestras de suelo y su interpretación respectiva.

4.1. Muestreo de suelos

El muestreo adecuado del suelo es crucial para obtener resultados precisos y representativos, que permitan tomar decisiones informadas sobre la fertilización y el manejo de los cultivos. Para obtener un diagnóstico fiable de la fertilidad del suelo, es necesario seguir un protocolo riguroso en la toma de muestras.

El procedimiento del muestreo de suelos se explica a continuación:

a. Selección de la zona de muestreo

Se debe realizar un muestreo representativo del área a evaluar. Es recomendable dividir la parcela en subzonas homogéneas según características como el tipo de suelo, pendiente, pedregosidad, drenaje, salinidad, el historial de cultivos y las variaciones en el riego o fuente de agua. Las muestras deben tomarse de áreas que presenten características físicas homogéneas similares.

b. Herramientas y equipo

Se debe utilizar una pala o barreno para la toma de muestras, un recipiente plástico para recolectar las muestras de suelo y una manta o balde donde se pueda mezclar las muestras. Es fundamental que las herramientas y recipientes estén limpios, libres de contaminantes para que no alteren la composición del suelo. Adicionalmente, se debe contar con etiquetas y lápices para identificar las muestras.

c. Profundidad de toma de muestras

La profundidad de muestreo depende del cultivo. Para el ajo y la cebolla y la mayoría de cultivos anuales, la profundidad habitual es de 0 a 20 cm, porque la mayoría de estos cultivos tienen su mayor densidad radicular en este segmento del suelo (Mendoza y Espinoza, 2017).

d. Número de muestras

Se debe tomar entre 15 y 20 muestras por hectárea para obtener un promedio representativo. Las muestras deben tomarse de manera aleatoria dentro de la zona seleccionada, evitando áreas que puedan ser atípicas, como cerca de caminos o zonas donde se mezclan fertilizantes o se realizan quemas recientes. Si el terreno presenta topografía diversa no debe mezclarse la muestra de diversas zonas que no sean homogéneas. La Figura 10A muestra la subdivisión según zonas homogéneas y el movimiento en zigzag cubre toda el área de muestreo para una zona específica. En la Figura 10B se evidencia el corte con lampa en un punto determinado.

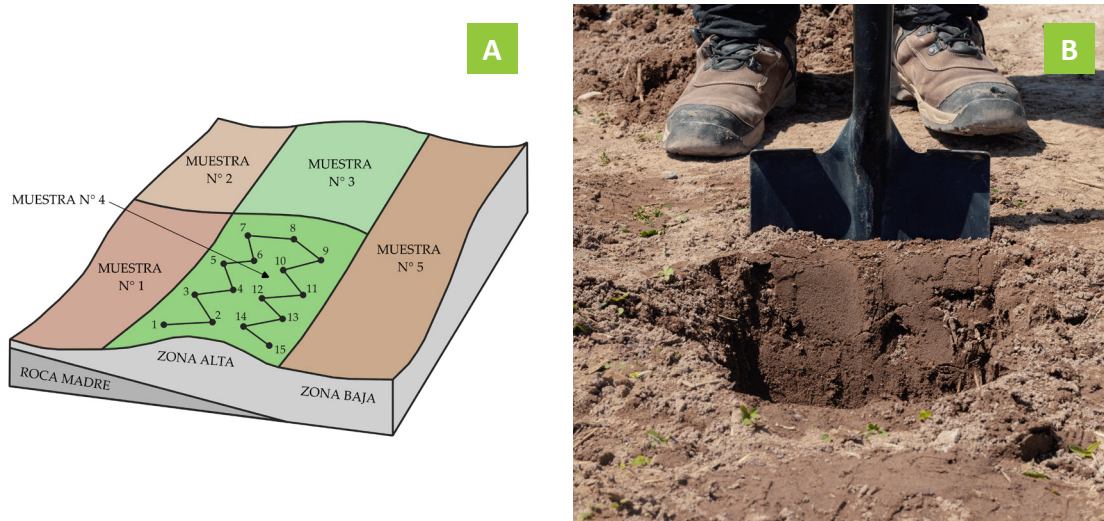


Figura 10. Representación del procedimiento de muestreo de suelos. A) Subdivisión según zonas homogéneas y B) corte de muestreo individual

e. Mezcla de muestras

Cada muestra individual antes de incorporar al recipiente debe cortarse sólo la columna del centro como lo evidencia la Figura 11 (A y B), la longitud de la columna obedece a los 20 cm considerados y el ancho será de 5 cm aproximadamente con el mismo espesor en los extremos de la columna 2 a 3 cm, es importante mantener el mismo corte en todas las muestras individuales. Una vez tomadas todas las muestras, deben mezclarse cuidadosamente para obtener una muestra compuesta que represente la totalidad del área de interés (Figura 11C).



Figura 11. Obtención de la muestra compuesta. A) Obtención de muestra individual, B) columna de muestra a incorporarse al recipiente y C) mezcla de muestras de un área determinado

f. Cuarteo

El cuarteo consiste en dividir en cuatro partes la muestra mezclada, como se ve en la Figura 12 (A y B), los cuartos de la fracción 3 y 2 se eliminan y el 1 y 4 se vuelven a mezclar, esta operación se vuelve a repetir para reducir el volumen de la muestra hasta 1.5 kg aproximadamente.



Figura 12. Cuarteo de muestra mezclada. A) Imagen real de cuarteo y B) cuarteo de muestra mezclada enumeradas con fines explicativos

g. Etiquetado

La muestra compuesta es embolsada (Figura 13A) y se coloca dentro de otra bolsa plástica, con la etiqueta ubicada entre ambas (Figura 13B). La etiqueta debe incluir un código único de lote o parcela, ubicación, fecha, profundidad de muestreo, uso del suelo (cultivo anterior y cultivo a instalar) y datos del responsable, garantizando su correcta identificación y trazabilidad. Finalmente, la muestra se envía al laboratorio para su análisis.



Figura 13. Preparación de muestras de suelo. A) Embolsado y B) etiquetado de muestra compuesta

4.2. Interpretación del análisis de laboratorio.

Una vez realizado el muestreo y enviado al laboratorio, se obtienen los resultados del análisis de suelo, que incluyen parámetros clave que indican el estado de fertilidad del suelo. Existen varios tipos de análisis de suelos, la elección dependerá del interesado. En caso de tener problemas con sales se recomienda que realicen el análisis de salinidad dado que ofrece más información química del suelo, específicamente detalla la presencia de los iones (cationes y aniones) solubles que generan la conductividad eléctrica del suelo. Entre los diferentes tipos de análisis de suelo se tienen:

- **Análisis de fertilidad:** N, P, K, MO, CE, pH, textura.
- **Análisis de caracterización:** análisis de fertilidad más, CIC, cationes cambiables, carbonatos de calcio.
- **Análisis de salinidad:** análisis de caracterización más, cationes solubles, aniones solubles, boro, yeso.
- **Análisis de acidez:** análisis de caracterización más la acidez cambiante.

Todo análisis, tiene su razón de ser, y se necesitan según el criterio del técnico (asesor de manejo de cultivo).

4.2.1. Tablas para interpretación de resultados

A continuación, se muestran las tablas para la interpretación de los resultados con los cuales trabaja el INIA (Tabla 5 a 12), según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2002):

Tabla 5. Clasificación de pH del suelo

pH (1:1)	Evaluación	Efectos
< 5.0	Fuertemente ácido	Condiciones muy desfavorables.
5.1-6.5	Moderadamente ácido	Deficiente asimilación de algunos elementos.
6.6-7.3	Neutro	Efectos tóxicos mínimos.
7.4-8.5	Medianamente alcalino	Existencia de carbonato cálcico. Deficiente asimilación de algunos nutrientes.
> 8.5	Alcalino	Presencia de carbonato sódico. Poca asimilación de algunos nutrientes.

SEMARNAT (2020).

Tabla 6. Clasificación de conductividad eléctrica (CE) del suelo

Clasificación	CEe (mS/m)	Efectos
Normal	<100	Efecto despreciable de la salinidad. No existe restricción para ningún cultivo, aunque algunos cultivos muy sensibles pueden ser afectados en sus rendimientos.
Muy ligeramente salino	110-200	Los rendimientos de cultivos sensibles pueden verse afectados en sus rendimientos.
Moderadamente salino	210-400	Los rendimientos de cultivos pueden verse afectados en sus rendimientos.
Suelo salino	410-800	El rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad.
Fuertemente salino	810-1600	Solo los cultivos muy resistentes a la salinidad pueden crecer en estos suelos.
Muy fuertemente salino	> 1600	Prácticamente ningún cultivo convencional puede crecer económicamente en estos suelos.

Nota: 1 dS/m = 100 mS/m. CEe = conductividad eléctrica en extracto de pasta saturada. SEMARNAT (2020).

Tabla 7. Clasificación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo

Clasificación	CIC (Cmol/Kg suelo)	Efectos
Muy Bajo	< 5.0	Suelo muy pobre
Bajo	5.0-15	Suelo pobre
Medio	15-25	Suelo medio
Alto	25-40	Suelo rico
Muy Alto	> 40	Suelo muy rico

Nota: 1 Cmol/Kg = mEq/100 g.

Tabla 8. Clasificación de cationes intercambiables (Ca, Mg y K en cmol/kg)

Clase	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Potasio (K)
Muy Baja	<2.0	<0.5	<0.2
Baja	2.0-5.0	0.5-1.3	0.2-0.3
Media	5.0-10	1.3-3.0	0.3-0.6
Alta	>10	>3.0	>0.6

Nota: 1 cmol/Kg = mEq/100 g. SEMARNAT (2020).

Tabla 9. Clasificación de la materia orgánica (MO) del suelo

Clasificación	% MO
Muy Bajo	<0.5
Bajo	0.6-1.5
Medio	1.6-3.5
Alto	3.6-6.0
Muy Alto	>6.0

SEMARNAT (2020).

Tabla 10. Clasificación del fósforo (P) disponible del suelo

Clasificación	mg/kg o ppm de P
Bajo	<5.5
Medio	5.5-11
Alto	>11

SEMARNAT (2020).

Tabla 11. Clasificación de potasio (K) disponible del suelo

Clasificación	mg/Kg o ppm de K
Bajo	<120
Medio	120-240
Alto	>240

SEMARNAT (2020).

Tabla 12. Clasificación de nitrógeno (N) del suelo

Clasificación	% N
Bajo	< 0.1
Medio	0.1-0.2
Alto	> 0.2

SEMARNAT (2020).

Las tablas de interpretación nos servirán para interpretar los resultados del análisis de suelos obtenidos en el laboratorio (Tabla 13). También, la experiencia del técnico es clave para una buena interpretación. A continuación, se presenta un ejemplo de cómo interpretar estos resultados.

Tabla 13. Resultados de análisis de caracterización de suelos agrícolas

Ensayo	Unidad	LC	Resultados
pH (1:1)	pH	0.1	7
Conductividad Eléctrica (1:5)	mS/m	1.0	37
Materia Orgánica	%	0.5	0.5
Fósforo Disponible	mg/kg	0.8	90.9
Potasio Disponible	mg/kg	4	413.2
Carbonatos de calcio equivalente	%	0.5	1.8
Calcio intercambiable	cmol/kg	0.2	12.79
Magnesio intercambiable	cmol/kg	0.1	2.23
Sodio intercambiable	cmol/kg	0.1	3.72
Potasio intercambiable	cmol/kg	0.1	1.03
Análisis de Textura			
Arena	%	-	79
Limo	%	-	11
Arcilla	%	-	10

LC: límite de cuantificación.

4.2.2. Interpretación de resultados

A continuación, se presenta la interpretación de los resultados de las Tabla 13:

- a. **pH:** Se observa que el pH del suelo es 7, el cual de acuerdo con la Tabla 5 nos indica que es un suelo neutro con efectos tóxicos mínimos, dado que en el rango de 6.6-7.3 de pH, la mayoría de los nutrientes están disponibles en el suelo.
- b. **CE:** El valor observado es de 37 mS/m, no obstante, este resultado se midió en una relación suelo agua de 1:5 (CE 1:5) y, la tabla de clasificación con que contamos es de medición en extracto de pasta saturada (CEe). Por lo que no se puede interpretar con la Tabla 6 sin previa transformación del resultado. La fórmula para transformar de CE 1:5 a CEe es la siguiente (Hazelton y Murphy, 2016):

$$ECe = EC_{1:5} \left(\frac{mS}{m} \right) \times \text{factor de conversión} \quad \dots \text{Ecuación 1}$$

El factor de conversión se da de acuerdo con la textura del suelo, en el caso de suelos franco arenosos es 14. Los factores para cada clase textural se pueden observar en el Anexo 1.

Reemplazando la fórmula se obtiene que la CEe es igual a 518 mS/m, este nuevo valor de acuerdo a la Tabla 6 nos indica que el suelo es salino y por ende el rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad. Por lo tanto, se recomienda lavado de sales a través de láminas de riego adicionales y siembra de cultivos tolerantes.

- c. **Materia orgánica (MO).** La tabla 13 muestra que la MO es de 0.5 %, esto de acuerdo a la Tabla 9 está clasificado como un suelo con muy bajo % de MO. Mantener la MO del suelo es clave porque es fuente de nutrientes (principalmente del nitrógeno), incrementa la capacidad de intercambio catiónico, mejora la estructura, mejora la capacidad retentiva de humedad, entre otras condiciones.

- d. Fósforo disponible (P).** El valor del fósforo en la Tabla 13 es de 90.9 mg/kg o ppm y, éste de acuerdo a la Tabla 10 es alto, debido a que suelos con valores mayores a 11 ppm son considerados suelos ricos en fósforo. Tener en cuenta que en este tipo de suelos se recomendaría aplicar fósforo solo para mantenimiento del nivel actual.
- e. Potasio disponible (K).** La Tabla 13 muestra el valor 413.20 mg/kg o ppm y, de acuerdo con la Tabla 11 este valor está muy por encima del valor considerado alto (> a 240 es alto en K). En este sentido, la fertilización con potasio no es prioritaria en la mayoría de los casos. Sin embargo, la decisión final dependerá del tipo de cultivo, la extracción esperada y las condiciones específicas del suelo. Se recomienda un análisis de monitoreo foliar para ajustar el manejo nutricional.



5. Cálculo de dosis de fertilización

La ecuación para el cálculo de dosis de fertilización proviene del método racional, donde la dosis de fertilización es el resultado de la extracción del cultivo, la disponibilidad del suelo y la eficiencia del fertilizante (Rodríguez et al., 2001).

La dosis de fertilización (DF) se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$DF = \frac{(EC - DS)}{EF} \quad \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- **Extracción del cultivo (EC):** Cantidad de nutrientes que el cultivo necesita.
- **Disponibilidad en suelo (DS):** Valores del análisis de suelo.
- **Eficiencia del fertilizante (EF):** Porcentaje del fertilizante que la planta realmente aprovecha (depende de la fuente y del manejo).

5.1. Extracción o requerimiento nutricional del ajo y la cebolla

Cada cultivo tiene un requerimiento específico de nutrientes. En las siguientes tablas se muestran valores de extracción de nutrientes para el ajo y la cebolla.

Los valores que se ven en la Tabla 14 representan a los valores que se obtuvieron en la EEA Arequipa - Anexo Santa Rita durante el año 2023.

Tabla 14. Extracción de nutrientes para ajo y cebolla determinados en el INIA

Cultivo	Densidad de plantación (plantas ha ⁻¹)	Nivel de cosecha (t)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
Cebolla variedad Century	300 000	1.00	1.76	0.6	1.74
		80.00	141.00	48.00	139.00
Cebolla variedad Perilla	300 000	1.00	2.01	0.67	2.24
		70.00	141.00	47.00	157.00
Ajo variedad Napurí	400 000	1.00	12.08	4.42	15.25
		12.00	145.00	53.00	183.00
Ajo variedad Chino	400 000	1.00	7.35	2.65	8.76
		17.00	125.00	45.00	149.00

5.2. Disponibilidad de nutrientes en el suelo

En la tabla 13 se presentan el porcentaje de MO y los miligramos por kilogramo (mg/kg) de P y K disponible que tiene el suelo. Estos tienen que ser transformados a kilogramos por hectárea de la siguiente manera. No obstante, primero se tiene que calcular cuánto pesa el suelo seco.

5.2.1. Determinación del peso del suelo

El peso del suelo se determina despejando la siguiente fórmula:

$$Dap = \frac{Pss \text{ (g)}}{Vt \text{ (cm}^3\text{)}} \quad \dots\text{Ecuación 3}$$

Donde:

Dap = Densidad aparente (g/ cm³)

Pss = Peso del suelo seco (gramos)

Vt = Volumen total (cm³)

$$Vt = \text{Área (m}^2\text{)} \times \text{Profundidad (m)} \quad \dots\text{Ecuación 4}$$

Para el caso de un área de una hectárea y una profundidad de 0.2 m, el cálculo se realizaría de la siguiente manera:

$$Vt = (10\,000 \text{ m}^2) \times (0.2 \text{ m}) = 2\,000 \text{ m}^3$$

En este ejemplo trabajaremos con la textura franca arenosa, según se muestra en la Tabla 13. La densidad aparente (Dap) que teóricamente correspondería a esta clase textural es de aproximadamente 1.35 g/cm³ (ver Tabla 15). Para convertir este valor a kg/m³, se multiplica por 1 000.

$$Dap = 1.35 \text{ (g/cm}^3\text{)} \times 1\,000 = 1\,350 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{ss} = D_{ap} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times V_t (\text{m}^3) \quad \dots \text{Ecuación 5}$$

Reemplazando la ecuación se tendría que el peso del suelo seco es:

$$P_{ss} = (2\,000 \text{ m}^3) \times (1\,350 \text{ kg/m}^3) = 2\,700\,000 \text{ kg}$$

Tabla 15. Relación general entre densidad aparente (Dap) del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo

Textura del suelo	Densidad aparente ideales (g/cm ³)
Arena, areno-franco	< 1.60
Franco-arenosa, franco	< 1.40
Franco-arcilla-arenosa, franco, franco-arcillosa	< 1.40
Limosa, franco-limosa	< 1.30
Franco-limosa, francoarcillo-limosa	< 1.40
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, algunas franco-arcillosas (35-45 % de arcilla)	< 1.10
Arcillosa (>45 % de arcilla)	< 1.10

Doran (1999)

5.2.2. Determinación del nitrógeno (N) asimilable a partir de la materia orgánica del suelo (MOS)

Paso 1: determinación de la cantidad de MOS en kg. Según la tabla 13, el porcentaje de MOS es de 0.5 %.

$$\begin{array}{r} 100 \text{ kg de suelo} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 0.5 \text{ kg MO} \\ 2\,700\,000 \text{ kg de suelo} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad X \end{array}$$

$$X = 13\,500 \text{ kg MO}$$

Paso 2: determinación del nitrógeno total. Se asume que la MOS contiene aproximadamente 5 % de nitrógeno (Havlin et al., 2016).

$$\begin{array}{r} 13\,500 \text{ kg MO} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 100 \% \\ X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 5 \% \end{array}$$

$$X = 675 \text{ kg nitrógeno total}$$

Paso 3: determinación del nitrógeno asimilable. No todo el N total en la MO está disponible inmediatamente para las plantas. Se asume que 1 a 3 % del nitrógeno total se mineraliza anualmente (García-Serrano et al., 2009), dependiendo de la textura y el clima. En un suelo franco arenoso generalmente se usa un valor de 2%.

$$\begin{array}{r} 675 \text{ kg nitrógeno total} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 100 \% \\ X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 2 \% \end{array}$$

$$X = 13.5 \text{ kg nitrógeno asimilable ha/año}$$

Se estima que la MOS aporta aproximadamente 13.5 kg de N disponible por hectárea al año por mineralización natural. Sin embargo, la etapa fenológica promedio del ajo es 6 meses y de la cebolla 4 meses, en ese sentido 13.5 kg de N tendría que dividirse entre 2 y 3 para el ajo y cebolla, respectivamente. Por lo tanto, el N disponible por hectárea al año por mineralización natural para ajo sería 6.75 kg y para cebolla 4.5 kg.

5.2.3. Determinación del contenido de fósforo (P) asimilable por hectárea

Paso 1: en la tabla 13 nos muestra que el P asimilable es de 90.90 mg/kg. Tener en cuenta que 1 mg/kg = 1 ppm.

$$\begin{array}{r} 90.90 \text{ kg P} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 1\ 000\ 000 \text{ kg suelo} \\ X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 2\ 700\ 000 \text{ kg suelo} \end{array}$$

$$X = 245.43 \text{ kg P}$$

Paso 2: Conversión de P a P_2O_5 . Para esto solo se necesita multiplicar al resultado anterior por un factor (2.29).

$$X = 245.43 \text{ kg P} \times 2.29$$

$$X = 562.03 \text{ kg } P_2O_5 \text{ asimilable}$$

5.2.4. Determinación del contenido de potasio (K) asimilable en kg por hectárea

Paso 1: en la tabla 13 nos muestra que el K asimilable es de 413.20 mg/kg.

$$\begin{array}{r} 413.20 \text{ kg} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 1\ 000\ 000 \text{ kg de suelo} \\ X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 2\ 700\ 000 \text{ kg de suelo} \end{array}$$

$$X = 1\ 115.64 \text{ kg de K/ha}$$

Paso 2: Conversión de K a K_2O . Para esto solo se necesita multiplicar al resultado anterior por un factor (1.3).

$$X = 1\ 115.64 \text{ kg K} \times 1.3$$

$$X = 1\ 450.33 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$$

5.3. La eficiencia del fertilizante

Para determinar la eficiencia de los fertilizantes se recomienda utilizar los valores que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 16. Comparación de rangos de eficiencia aproximada de uso de los nutrientes en fertirriego respecto de fertilización tradicional

Nutriente	Fertilización tradicional (%)	Fertirriego (%)
(%)	15-50	50-80
Fósforo	5-30	30-40
Potasio	30-40	40-60
Azufre	20-50	50-80
Calcio	30-40	40-60
Magnesio	30-40	40-60
Micronutrientes	5-50	30-60

Ulloa (2016).

5.4. Determinación de la dosis de fertilización

Una vez conseguido los valores para determinar la dosis de fertilización, se pasa a remplazar la fórmula para cada nutriente y cada cultivo.



Nota:

Si el resultado sale negativo quiere decir que ya no se debe fertilizar. En estos casos se recomienda aplicar una dosis de mantenimiento que sería el 25 % de la extracción del cultivo.

Tabla 17. Determinación de dosis de fertilización de NPK para cebolla amarilla cultivar Century

Nutriente	Extracción del cultivo	Disponibilidad en suelo	Eficiencia del fertilizante	DF= (EC - DS)/EF	Dosis de mantenimiento
N	141.00	4.75	0.70	194.64	-
P ₂ O ₅	48.00	562.03	0.40	-1285.07	12
K ₂ O	139.00	1 450.33	0.50	-2622.66	35

De acuerdo con los cálculos realizados en la tabla se determinó que la dosis de fertilización para cebolla amarilla cultivar Century para este ejemplo es de 195-12-35 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

Tabla 18. Determinación de dosis de fertilización de NPK para cebolla roja cultivar Perilla

Nutriente	Extracción del cultivo	Disponibilidad en suelo	Eficiencia del fertilizante	DF= (EC - DS)/EF	Dosis de mantenimiento
N	141	4.75	0.7	194.64	-
P ₂ O ₅	47	562.03	0.4	-1287.58	12
K ₂ O	157	1 450.33	0.5	-2586.06	39

De acuerdo con los cálculos realizados en la tabla se determinó que la dosis de fertilización para cebolla roja cultivar Perilla para este ejemplo es de 195-12-39 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

Tabla 19. Determinación de dosis de fertilización de NPK para ajo cultivar Napurí

Nutriente	Extracción del cultivo	Disponibilidad en suelo	Eficiencia del fertilizante	DF= (EC -DS)/EF	Dosis de mantenimiento
N	145.00	4.75	0.70	200.36	-
P ₂ O ₅	53.00	562.03	0.40	-1272.58	13
K ₂ O	183.00	1 450.33	0.50	-2534.66	46

De acuerdo con los cálculos realizados en la tabla se determinó que la dosis de fertilización para ajo cultivar Napurí para este ejemplo es de 200-13-46 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

Tabla 20. Determinación de dosis de fertilización de NPK para ajo cultivar Chino

Nutriente	Extracción del cultivo	Disponibilidad en suelo	Eficiencia del fertilizante	DF= (EC -DS)/EF	Dosis de mantenimiento
N	125.00	4.75	0.70	171.76	-
P ₂ O ₅	45.00	562.03	0.40	-1292.58	11
K ₂ O	149.00	1 450.33	0.50	-2602.66	37

De acuerdo con los cálculos realizados en la tabla se determinó que la dosis de fertilización para ajo cultivar Chino es de 170-11-37 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

5.5. Elección de fertilizantes y determinación de la dosis

Una vez determinada las dosis de fertilización se procede a elegir los fertilizantes más apropiados para fertirriego. En el mercado local los fertilizantes más comunes se mencionan en la Tabla 21. Donde se pueden ver que cada fertilizante tiene una concentración de determinada para cada nutriente.

Tabla 21. Fertilizantes para fertirriego más comunes en Arequipa

Nutriente	Riqueza				
	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	S (%)
Nitrogenados					
Urea	46	-	-	-	-
Nitrato de amonio	33	-	-	-	-
Nitrato de calcio	15.5	-	-	26.5	-
Fosfatados					
Ácido fosfórico	-	61	-	-	-
fosfato monoamónico	12	61	-	-	-
Potásicos					
Nitrato de potasio	13	-	46	-	-
Sulfato de potasio	-	-	51	-	18
Cloruro de potasio	-	-	60	-	-

Para este ejemplo elegiremos al nitrato de amonio como fuente de nitrógeno, al ácido fosfórico como fuente de fósforo y al nitrato de potasio como fuente de potasio.

5.5.1. Cálculos de cantidades

Como ejemplo calcularemos la cantidad de fertilizantes para el cultivo de cebolla roja variedad Perilla de acuerdo con los resultados que se obtuvo anteriormente (195-12-39 kg/ha de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente).



Nota:

El cálculo se inicia con los fertilizantes que poseen dos nutrientes.

En este caso el cálculo se iniciará en el siguiente orden:

- Nitrato de potasio tiene 13 % de N y 46 % de K_2O .
- Nitrato de amonio tiene solo N y su concentración es de 33 %.
- Ácido fosfórico contiene solo fósforo (P_2O_5) y su concentración es de 61 %.

Paso 1: determinación de cantidad de nitrato de potasio para suplir la dosis de fertilización (195-12-39 kg/ha de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente).

$$\begin{array}{r} 100 \text{ kg de nitrato de potasio} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 46 \text{ kg de } K_2O \\ X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 39 \text{ kg de } K_2O \end{array}$$

$$X = 85 \text{ kg de nitrato de potasio}$$

Los 85 kg de nitrato de potasio aparte de aportar potasio, también aporta cierta cantidad de nitrógeno, para ello se necesita realizar el siguiente cálculo.

$$\begin{array}{r} 100 \text{ kg de nitrato de potasio} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 13 \text{ kg de N} \\ 85 \text{ kg de nitrato de potasio} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad X \end{array}$$

$$X = 11 \text{ kg de N}$$

Paso 2: determinación de cantidad de nitrato de amonio para suplir la dosis de fertilización (195-12-39 kg/ha de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente).

La dosis de fertilización que se necesita es de 195 kg, pero el nitrato de potasio aportó 11 kg de N. Por lo tanto, se resta a la cantidad inicial y la cantidad neta a suministrar sería 184 kg de N.

$$\begin{array}{r} 100 \text{ kg de nitrato de amonio} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 33 \text{ kg de N} \\ X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 184 \text{ kg de N} \end{array}$$

$$X = 558 \text{ kg de nitrato de amonio}$$

Paso 3: determinación de cantidad de ácido fosfórico para suplir la dosis de fertilización (195-12-39 kg/ha de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente).

$$\begin{array}{r} 100 \text{ kg de ácido fosfórico} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 61 \text{ kg de } P_2O_5 \\ X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 12 \text{ kg de } P_2O_5 \end{array}$$

$$X = 20 \text{ kg de ácido fosfórico}$$

En resumen, para cubrir 195-12-39 kg/ha de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente, se necesita 85 kg de nitrato de potasio, 558 kg de nitrato de amonio y 20 kg de ácido fosfórico. Recordar que la fertilidad del suelo varía de acuerdo al lugar y al manejo, y la extracción del cultivo es diferente en cada especie y dentro de este también difieren de acuerdo al cultivar. Para ello es fundamental el análisis de suelos y conocer las necesidades nutricionales del cultivar en específico a manejar.

5.5.2. Fraccionamiento de fertilizantes

Una vez calculada la cantidad de fertilizantes a aplicar, es necesario fraccionarlos según las curvas de absorción de nutrientes de cada cultivo. En la Figura 14 se presentan las curvas de absorción donde se observan patrones diferenciados de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en los cuatro cultivos evaluados. La cebolla amarilla Century (Figura 14A) presenta absorción gradual y sostenida de N y K hasta los 90 días, alcanzando alrededor de 140 kg/ha, mientras que la cebolla roja Perilla (Figura 14B) exhibe un patrón similar, pero con absorción

más acelerada entre los 30-75 días. Por su parte, el ajo Napurí (Figura 14C) muestra absorción lineal y constante de N y K hasta los 180 días con valores equilibrados (~160 kg/ha), mientras que el ajo Chino (Figura 14D) presenta el patrón más uniforme con absorción casi lineal hasta alcanzar ~140 kg/ha a los 180 días. En todos los cultivos evaluados, el fósforo mantiene niveles considerablemente menores (20-25 kg/ha) comparado con el nitrógeno y potasio, evidenciando que estos últimos constituyen los nutrientes de mayor demanda durante el desarrollo de estos cultivos de bulbo. Estos patrones de absorción permiten establecer programas de fertilización fraccionada que se ajusten a las demandas específicas de cada cultivo en sus diferentes etapas fenológicas.

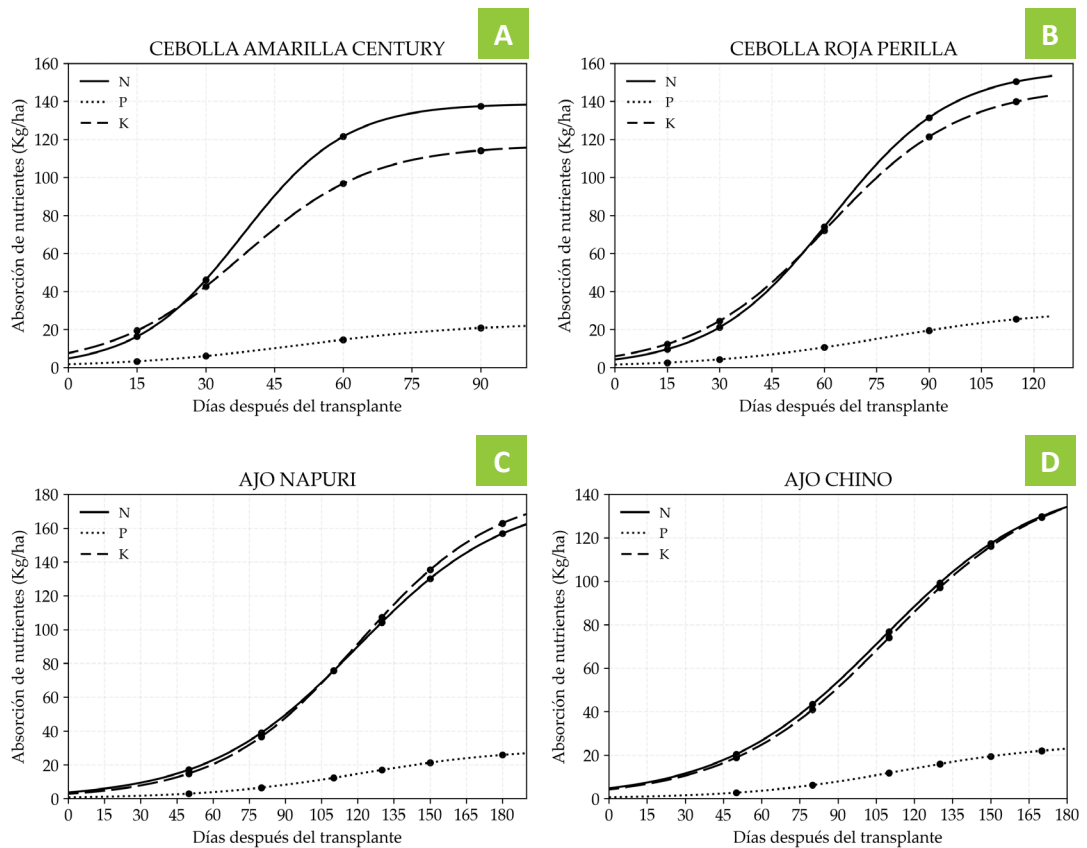


Figura 14. Curvas de absorción de N, P y K en ajo y cebolla determinados en el EEA Arequipa - anexo Santa Rita . A) Cebolla cultivar Century, B) cebolla cultivar Perilla, C) ajo cultivar Napurí y D) ajo cultivar Chino

El fraccionamiento de nutrientes y fertilizantes se realiza considerando las diferentes etapas fenológicas del cultivo a lo largo de las semanas. Se distribuye la aplicación de Nitrógeno (N), Fósforo (P_2O_5) y Potasio (K_2O) en función de los requerimientos nutricionales del ajo y cebolla en cada fase de su desarrollo. Para ello se siguió los siguientes pasos:

Primer paso: distribución porcentual de los nutrientes.

Cada nutriente se fracciona en porcentajes (%) a lo largo del ciclo del cultivo, asegurando que el ajo y la cebolla reciban la cantidad óptima de nutrientes en cada etapa. La distribución se realiza de acuerdo a las curvas de absorción, además se le hace un ajuste guiado por la teoría y la experiencia en el manejo de estos cultivos. Los cálculos se realizaron a partir de las dosis de fertilización determinadas en el punto 5.4 “Determinación de dosis de fertilización”

Segundo paso: cálculo de la cantidad de nutrientes (kg/ha).

Una vez realizado el fraccionamiento en porcentaje, se calcula la cantidad de cada nutriente en kilogramos por hectárea (kg/ha) y luego se distribuye proporcionalmente en cada semana según el porcentaje asignado.

Tercer paso: conversión a fertilizantes comerciales.

Para traducir los kilogramos de nutrientes en kilogramos de fertilizante comercial, se utiliza la composición de cada fertilizante, tal como se realizó en el punto “5.5.1. Cálculos de cantidades” solo que en este caso se realiza para cada semana. Este procedimiento se repite para cada fertilizante.

Cuarto paso: suma total de nutrientes y fertilizantes.

Finalmente, se suman todas las cantidades aplicadas en cada etapa para obtener el total de nutrientes y fertilizantes utilizados a lo largo del ciclo del cultivo.

A continuación, se presenta los fraccionamientos de fertilizantes para el ajo y la cebolla (Tabla 22).

Tabla 22. Fraccionamiento de los fertilizantes en kilogramos para cebolla amarilla cultivar Century para una dosis de 195-12-35 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente

Etapa fenológica de cebolla Century	N° Semanas	Semanas	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Nitrato de amonio (kg/ha)	Ácido fosfórico (kg/ha)	Nitrato de potasio (kg/ha)
Establecimiento	3	1	6	13	5	11.7	1.6	1.8	34.0	2.6	3.8
		2	6	13	5	11.7	1.6	1.8	34.0	2.6	3.8
		3	6	13	5	11.7	1.6	1.8	34.0	2.6	3.8
Crecimiento vegetativo	3	4	12	10	7	23.4	1.2	2.5	68.8	2.0	5.3
		5	12	10	7	23.4	1.2	2.5	68.8	2.0	5.3
		6	12	10	7	23.4	1.2	2.5	68.8	2.0	5.3
Inicio de bulbeo	2	7	9	8	9	17.6	1.0	3.2	50.5	1.6	6.8
		8	9	8	9	17.6	1.0	3.2	50.5	1.6	6.8
Crecimiento de bulbo	3	9	6	5	12	11.7	0.6	4.2	31.9	1.0	9.1
		10	6	5	12	11.7	0.6	4.2	31.9	1.0	9.1
		11	6	5	12	11.7	0.6	4.2	31.9	1.0	9.1
Maduración de bulbo	2	12	5	0	5	9.8	0.0	1.8	28.0	0.0	3.8
		13	5	0	5	9.8	0.0	1.8	28.0	0.0	3.8
TOTAL	13	13	100	100	100	195.0	12.0	35.0	560.9	19.7	76.1



Nota:

En las tablas 22, 23, 24 y 25 se observan que las cantidades de fósforo a ser aplicado vía fertirriego son pequeñas cantidades. Todas están alrededor de 20 kilogramos de ácido fosfórico por hectárea. En estos casos se recomienda aplicar solo una vez por cada etapa fenológica. Por ejemplo, en la Tabla 22 en la etapa de establecimiento se tiene que aplicar 2.6 kilogramos por semana de ácido fosfórico por hectárea. Como la cantidad es pequeña se sugiere juntar las cantidades de las tres semanas y aplicarlo todo junto (7.8 kilogramos) en la primera semana. Esto se repite en cada etapa fenológica.

Tabla 23. Fraccionamiento de los fertilizantes en kilogramos para cebolla roja cultivar Perilla para una dosis de 195-12-39 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente

Etapa fenológica de cebolla Perilla	N° Semanas	Semanas	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Nitrato de amonio (kg/ha)	Ácido fosfórico (kg/ha)	Nitrato de potasio (kg/ha)
Establecimiento	3	1	5	12	3	9.8	1.4	1.2	28.5	2.4	2.5
		2	5	12	3	9.8	1.4	1.2	28.5	2.4	2.5
		3	5	12	3	9.8	1.4	1.2	28.5	2.4	2.5
Crecimiento vegetativo	4	4	9	9	5	17.6	1.1	2.0	51.5	1.8	4.2
		5	9	9	5	17.6	1.1	2.0	51.5	1.8	4.2
		6	9	9	5	17.6	1.1	2.0	51.5	1.8	4.2
		7	9	9	5	17.6	1.1	2.0	51.5	1.8	4.2
Inicio de bulbeo	2	8	8	6	8	15.6	0.7	3.1	44.6	1.2	6.8
		9	8	6	8	15.6	0.7	3.1	44.6	1.2	6.8
Crecimiento de bulbo	4	10	6	4	10	11.7	0.5	3.9	32.1	0.8	8.5
		11	6	4	10	11.7	0.5	3.9	32.1	0.8	8.5
		12	6	4	10	11.7	0.5	3.9	32.1	0.8	8.5
		13	6	4	10	11.7	0.5	3.9	32.1	0.8	8.5
Maduración de bulbo	3	14	3	0	5	5.9	0.0	2.0	16.1	0.0	4.2
		15	3	0	5	5.9	0.0	2.0	16.1	0.0	4.2
		16	3	0	5	5.9	0.0	2.0	16.1	0.0	4.2
TOTAL	16	16	100	100	100	195.0	12.0	39.0	557.5	19.7	84.8

Tabla 24. Fraccionamiento de los fertilizantes en kilogramos para ajo cultivar Napurí para una dosis de 200-13-46 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente

Etapa fenológica de ajo Napurí	N° Semanas	Semanas	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Nitrato de amonio (kg/ha)	Ácido fosfórico (kg/ha)	Nitrato de potasio (kg/ha)
Emergencia	2	1	2.5	5	3	5.0	0.7	1.4	14.0	1.1	3.0
		2	2.5	5	3	5.0	0.7	1.4	14.0	1.1	3.0
Crecimiento vegetativo inicial	5	3	4	7	3	8.0	0.9	1.4	23.1	1.5	3.0
		4	4	7	3	8.0	0.9	1.4	23.1	1.5	3.0
		5	4	7	3	8.0	0.9	1.4	23.1	1.5	3.0
		6	4	7	3	8.0	0.9	1.4	23.1	1.5	3.0
		7	4	7	3	8.0	0.9	1.4	23.1	1.5	3.0
Formación de brotes laterales	7	8	6	4	4	12.0	0.5	1.8	34.8	0.9	4.0
		9	6	4	4	12.0	0.5	1.8	34.8	0.9	4.0
		10	6	4	4	12.0	0.5	1.8	34.8	0.9	4.0
		11	6	4	4	12.0	0.5	1.8	34.8	0.9	4.0
		12	6	4	4	12.0	0.5	1.8	34.8	0.9	4.0
		13	6	4	4	12.0	0.5	1.8	34.8	0.9	4.0
		14	6	4	4	12.0	0.5	1.8	34.8	0.9	4.0
Inicio de bulbeo - Crecimiento bulbo	9	15	3	3	5	6.0	0.4	2.3	16.2	0.6	5.0
		16	3	3	5	6.0	0.4	2.3	16.2	0.6	5.0
		17	3	3	5	6.0	0.4	2.3	16.2	0.6	5.0
		18	3	3	5	6.0	0.4	2.3	16.2	0.6	5.0
		19	3	3	5	6.0	0.4	2.3	16.2	0.6	5.0
		20	3	3	5	6.0	0.4	2.3	16.2	0.6	5.0
		21	3	3	5	6.0	0.4	2.3	16.2	0.6	5.0
		22	3	3	5	6.0	0.4	2.3	16.2	0.6	5.0
		23	3	3	5	6.0	0.4	2.3	16.2	0.6	5.0
Fin de bulbificación	3	24	2	0	2	4.0	0.0	0.9	11.3	0.0	2.0
		25	2	0	2	4.0	0.0	0.9	11.3	0.0	2.0
		26	2	0	2	4.0	0.0	0.9	11.3	0.0	2.0
TOTAL	26	26	100	100	100	200.0	13.0	46.0	566.7	21.3	100.0

Tabla 25. Fraccionamiento de los fertilizantes en kilogramos para ajo cultivar Chino para una dosis de 170-11-37 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente

Etapa fenológica de ajo Chino	N° Semanas	Semanas	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Nitrato de amonio (kg/ha)	Ácido fosfórico (kg/ha)	Nitrato de potasio (kg/ha)
Emergencia	2	1	3	6	2	5.1	0.7	0.7	14.8	1.1	1.6
		2	3	6	2	5.1	0.7	0.7	14.8	1.1	1.6
Crecimiento vegetativo inicial	5	3	5	8	3	8.5	0.9	1.1	24.8	1.4	2.4
		4	5	8	3	8.5	0.9	1.1	24.8	1.4	2.4
		5	5	8	3	8.5	0.9	1.1	24.8	1.4	2.4
		6	5	8	3	8.5	0.9	1.1	24.8	1.4	2.4
		7	5	8	3	8.5	0.9	1.1	24.8	1.4	2.4
Formación de brotes laterales	6	8	6	4	4	10.2	0.4	1.5	29.6	0.7	3.2
		9	6	4	4	10.2	0.4	1.5	29.6	0.7	3.2
		10	6	4	4	10.2	0.4	1.5	29.6	0.7	3.2
		11	6	4	4	10.2	0.4	1.5	29.6	0.7	3.2
		12	6	4	4	10.2	0.4	1.5	29.6	0.7	3.2
		13	6	4	4	10.2	0.4	1.5	29.6	0.7	3.2
Inicio de bulbeo - Crecimiento bulbo	8	14	3	3	6	5.1	0.3	2.2	13.6	0.5	4.8
		15	3	3	6	5.1	0.3	2.2	13.6	0.5	4.8
		16	3	3	6	5.1	0.3	2.2	13.6	0.5	4.8
		17	3	3	6	5.1	0.3	2.2	13.6	0.5	4.8
		18	3	3	6	5.1	0.3	2.2	13.6	0.5	4.8
		19	3	3	6	5.1	0.3	2.2	13.6	0.5	4.8
		20	3	3	6	5.1	0.3	2.2	13.6	0.5	4.8
		21	3	3	6	5.1	0.3	2.2	13.6	0.5	4.8
Fin de bulbificación	3	22	3	0	3	5.1	0.0	1.1	14.5	0.0	2.4
		23	3	0	3	5.1	0.0	1.1	14.5	0.0	2.4
		24	3	0	3	5.1	0.0	1.1	14.5	0.0	2.4
Total	24	24	100	100	100	170.0	11.0	37.0	483.5	18.0	80.4

La fertilización es un factor importante para la productividad de los cultivos, ya que proporciona los nutrientes esenciales para su desarrollo. Sin embargo, no es el único aspecto a considerar. Otros factores también influyen significativamente en el rendimiento, como el riego, que garantiza una disponibilidad adecuada de agua; la época de siembra, que debe ajustarse a las condiciones climáticas óptimas; el control de plagas y enfermedades, que protege el cultivo de daños; y la calidad de la semilla, que determina el potencial productivo desde el inicio. Además, el manejo del suelo y las prácticas agrícolas sostenibles también juegan un papel fundamental en la eficiencia de la fertilización y en la salud general del sistema productivo.





6. Referencias bibliográficas

- Alva-Horna, M. A. (2018). *Manejo del cultivo de cebolla amarilla (Allium cepa L.) en Villacurí, Ica, Perú* [Trabajo de suficiente profesional para optar el grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3803>
- Angiosperm Phylogeny Group. (2009). An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 105-121. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
- Ansari, M. A., Abdul, H. M., Joshi, G., Opii, W. O., y Butterfield, D. A. (2009). Protective effect of quercetin in primary neurons against A β (1-42): relevance to Alzheimer's disease. *The Journal of nutritional biochemistry*, 20(4), 269-275. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2008.03.002>
- Baset-Mia, M. A. (2015). *Nutrition of crop plants*. Nova Science Publishers, Incorporated. <https://novapublishers.com/shop/nutrition-of-crop-plants/>
- Bermúdez-Reyes, T. F. (2019). *Estructura productiva-económica, comercial externa y nivel de competitividad de la cebolla fresca de bulbo: 1990-2015* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3929>
- Brewster, J. L. (2008). *Onions and other vegetable alliums* (2.^a ed.). CABI.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., y Zhao, F. (2012). Function of nutrients: Micronutrients. En P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3.^a ed., pp. 191-248). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8>
- Burnell, J. N. (1988). The Biochemistry of Manganese in Plants. En Graham, R.D., Hannam, R.J., Uren, N.C. (eds.) *Manganese in Soils and Plants* (pp. 125-137). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2817-6_10
- Casierra-Posada, F., y Trujillo-Niño, L. M. (2024). Excess of zinc reduces the growth of bulb onion plants (*Allium cepa* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 18(2). <https://doi.org/10.17584/rcch.2024v18i2.17400>

- Catacora-Pinazo, E., y Tasayco-Carbajal, J. (2002). *Manejo de almácigos para cebolla amarilla de exportación*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/904>
- de Oliveira, J. T., de Oliveira, R. A., Puiatti, M., Teodoro, P., y Montanari, R. (2020). Spatial analysis and mapping of the effect of irrigation and nitrogen application on lateral shoot growing of garlic. *HortScience*, 55(5), 664-665. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14881-20>
- Doran, D. C. (1999). *Guía para la evaluación de calidad y salud del suelo*. Departamento de Agricultura de los Estado Unidos de Norteamérica. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>
- Ekşi, G., Özkan, A. M. G., y Koyuncu, M. (2020). Garlic and onions: An eastern tale. *Journal of Ethnopharmacology*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112675>
- Escobedo-Paredes, C. R., Rodríguez-Soto, J. C., Contreras-Quiñones, M. Aspajo-Villalaz, C., Calderón-Peña, A., León-Alcántara, E., Cornejo-Roque, B. E., Aldama-Reyna, C. W., Agreda-Delgado, J., y Valverde-Alva, M. (2020). Citotoxicidad y genotoxicidad de nanopartículas de cobre sobre *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae). *Arnaldoa*, 27(1), 181-190. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.271.27110>
- Fageria, N. K., y Moreira, A. (2011). The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. *Advances in agronomy*, 110, 251-331. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385531-2.00004-9>
- Fritsch, R. M., y Friesen, N. (2002). Evolution, domestication and taxonomy. En R. M. Fritsch y N. Friesen (Eds.), *Allium crop science: Recent advances* (pp. 5-30). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851995106.0005>
- Gantayat, S., Nayak, S. P., Badamali, S. K., Pradhan, C., y Das, A. B. (2020). Analysis on cytotoxicity and oxidative damage of iron nano-composite on *Allium cepa* L. root meristems. *Cytologia*, 85(4), 325-332. <https://doi.org/10.1508/cytologia.85.325>
- García-Serrano Jiménez, P., Lucena-Marotta, J. J., Ruano-Criado, S. y Nogales-García, M., (2009). *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Parte I: El suelo, los nutrientes, los fertilizantes y la fertilización*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. <https://www.lgseeds.es/media/guia-practica-fertilizacion-cultivos-i.pdf>

- Gebretsadik, K., y Dechassa, N. (2018). Response of onion (*Allium cepa* L.) to nitrogen fertilizer rates and spacing under rain fed condition at Tahtay Koraro, Ethiopia. *Scientific Reports*, 8, 9495. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27762-x>
- Geisseler, D., Ortiz, R. S., y Diaz, J. (2022). Nitrogen nutrition and fertilization of onions (*Allium cepa* L.)—A literature review. *Scientia Horticulturae*, 291. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110591>
- Guerrero-Anchante, M. A., y Perez-Huamantoma, F. A. (2021). *Los bioestimulantes orgánicos como promotores nutricionales en el cultivo de cebolla amarilla (Allium cepa L.) variedad sweet magnolia en Ica* [Tesis de grado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. Repositorio de la Universidad Nacional de Ica. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/4534>
- Gupta, U. C. (1997). Copper in crop and plant nutrition. En H. W. Richardson (Ed.), *Handbook of copper compounds and applications* (pp. 203-229). Marcel Dekker.
- Hanelt, P. (1990) Taxonomy, evolution, and history. En H. D. Rabinowitch y J. L. Brewster (eds.), *Onions and allied crops: Vol. I. Botany, physiology, and genetics* (pp. 1-26). CRC Press. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781351075169-1/taxonomy-evolution-history-peter-hanelt>
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., y Beaton, J. D. (2016). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management* (8.ª ed.). Pearson Education India. https://www.researchgate.net/publication/366175716_Soil_Fertility_and_Fertilizers_by_John_L_Havlin
- Hazelton, P., y Murphy, B. (2016). *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?*. CSIRO publishing.
- Hawkesford, M. J., Cakmak, I., Coskun, D., De Kok, L. J., Lambers, H., Schjoerring, J. K., y White, P. J. (2023). Functions of macronutrients. En Z. Rengel., I. Cakmak., y P. J. White (Eds.), *Marschner's mineral nutrition of plants* (pp. 201-281). London Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-00491-8>

- Hernández-Gutiérrez, J. D. (2014). *Influencia de una fertilización NPK y tres abonos orgánicos en la producción de cebolla (Allium cepa L.), cv "Sivan" en el valle de Chao-La Libertad* [Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio de la Universidad Privada Antenor Orrego. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/867> https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/2020/04/El_Ajo_MercadoMundial.pdf
- Jones Jr, J. B. (2012). *Plant nutrition and soil fertility manual* (2.^a ed.). CRC Press.
- Kaiser, B. N., Gridley, K. L., Ngaire Brady, J., Phillips, T., y Tyerman, S. D. (2005). The role of molybdenum in agricultural plant production. *Annals of botany*, 96(5), 745-754. <https://doi.org/10.1093/aob/mci226>
- Kevresan, S., Petrovic, N., Popovic, M. y Kandrak, J. (2001). Metabolismo del nitrógeno y las proteínas en plantas jóvenes de guisantes afectado por diferentes concentraciones de níquel, cadmio, plomo y molibdeno. *Journal of Plant Nutrition*, 24 (10), 1633-1644. <https://doi.org/10.1081/PLN-100106026>
- Kopsell, D. A., Kopsell, D. E., y Hamlin, R. L. (2015). Molybdenum. En A. V. Barker y D. J. Pilbeam (Eds.), *Handbook of plant nutrition* (2.^a ed., pp. 487-510). CRC Press.
- Llaiqui-León, D. R. (2017). *Comportamiento de seis cultivares de cebolla amarilla (Allium cepa L.) poco pungentes para exportación, en zona árida* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6857>
- Lopez-Bellido, F. J., Lopez-Bellido, R. J., Muñoz-Romero, V., Fernandez-Garcia, P., y Lopez-Bellido, L. (2016). New phenological growth stages of garlic (*Allium sativum*). *Annals of Applied Biology*, 169(3), 423-439. <https://doi.org/10.1111/aab.12312>
- Manthey, J. A., Tisserat, B., y Crowley, D. E. (1996). Root responses of sterile-grown onion plants to iron deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 19(1), 145-161. <https://doi.org/10.1080/01904169609365113>
- Marrocos, S. D. T., Grangeiro, L. C., Lima de Sousa, V. de F., Ribeiro, R. M. P., y Cordeiro, C. J. (2018). Potassium fertilization for optimization of onion production. *Revista Caatinga*, 31(2), 379-384. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n214rc>

- Mendoza, R. B., y Espinoza, A. (2017). *Guía técnica para muestreo de suelos*. Universidad Nacional Agraria <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/3613>
- Mengel, K., y Kirkby, E. A. (2001). *Principles of plant nutrition* (5.ª ed.). Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2>
- Merhaut, D. J. (2007). Magnesium. En A. V. Barker y D. J. Pilbeam (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition* (pp. 145-182). CRC Press.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2025). *Perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector*. Sistema de Información de Estadísticas Agrarias (SIEA). Revisado el 4 de marzo de 2025 de <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYjYwYTk5MDgtM2M0MS00NDMyLTgzNDUtMjNhNjEzYWQyOTNliiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2020). *El ajo en el contexto mundial y nacional: El COVID19 una oportunidad para las exportaciones de ajo en el Perú*. Nota Técnica N° 02-2020. https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/2020/04/El_Ajo_MercadoMundial.pdf
- Nable, R. O., Bañuelos, G. S., y Paull, J. G. (1997). Boron toxicity. *Plant and soil*, 193, 181-198. <https://doi.org/10.1023/A:1004272227886>
- Pandey, M. (2017). Effect of FYM and manganese on yield and uptake of nutrients by onion (*Allium cepa* L.) in an alluvial soil. *Annals of Plant and Soil Research*, 19(2), 180-184. <https://www.gkvsociety.com/control/uploads/MANOJ%20PANDEY.pdf>
- Pareek, S., Sagar, N. A., Sharma, S., y Kumar, V. (2017). Onion (*Allium cepa* L.). En W. Yahia (ed.), *Fruit and vegetable phytochemicals: Chemistry and human health* (2.ª ed., pp. 1145-1162). Wiley-Blackwell.
- Pilbeam, D. J., y Morley, P. S. (2007). Calcium. En A. V. Barker y D. J. Pilbeam (Eds.), *Handbook of plant nutrition* (pp. 121-144). CRC Press.
- Portella-Vilca, G., Palomares-Anselmo, E. G., Sánchez-Calle, M. T., Campos-Julca, A. P., y Montemayor-Mantilla, J. M. (2021). Selección de variedades de cebolla amarilla para la costa central del Perú.

Revista Investigación Agraria, 3(3), 30-36. <https://doi.org/10.47840/ReInA.3.3.1317>

- Rafique, E., Mahmood-ul-Hassan, M., Khokhar, K. M., Nabi, G., y Tabassam, T. (2008). Zinc nutrition of onion: Proposed diagnostic criteria. *Journal of Plant Nutrition*, 31(2), 307-316. <https://doi.org/10.1080/01904160701853902>
- Randle, W. M., y Lancaster, J. E. (2002). Sulphur compounds in alliums in relation to flavour quality. En H. D. Rabinowitch y L. Currah (eds.), *Allium crop science: Recent advances* (pp. 330-350). Wallingford, UK: CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851995106.03>
- Reynaldo-Rojas, J. M. (2017). *Comparativo de rendimiento de ocho cultivares de Allium cepa L. "cebolla roja" en el Valle de Huaral* [Tesis de grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/2080>
- Rodríguez, J., Pinochet, D. y Matus, F. J. 2001. *Fertilización de los cultivos*. Editorial LOM.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos. Diario Oficial de la Federación (31 de diciembre de 2002). <https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Slavich, P. y Petterson, G. (1993). Estimating the electrical conductivity of saturated paste extracts from 1:5 soil, water suspensions and texture. *Soil Research*, 31, 73-8. <https://doi.org/10.1071/sr9930073>
- Ugás, R., Siura, S., Delgado, F., Casas, A., y Toledo, J. (2000). *Hortalizas. Datos básicos*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://lamolina.edu.pe/hortalizas/Datosbasicos.html>
- Ulloa, M. C. (2016). Fertilización en Ecuador, presente y futuro [ponencia]. X Congreso Ecuatoriano de las Ciencias del Suelo, Quito, Ecuador.
- Vallee, B. L., y Auld, D. S. (1990). Zinc coordination, function, and structure of zinc enzymes and other proteins. *Biochemistry*, 29(24), 5647-5659. <https://doi.org/10.1021/bi00476a001>

- Weil, R. R. y Brady, N. C. (2017). *The nature and properties of soils* (15.^a ed.). Pearson.
- Wimmer, M. A., Goldberg, S., y Gupta, U. C. (2015). Boron. En A. V. Barker y D. J. Pilbeam (Eds.), *Handbook of plant nutrition* (2.^a ed., pp. 305-345). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18458>
- Wissemeier, A. H., y Horst, W. J. (1987). Callose deposition in leaves of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) as a sensitive response to high Mn supply. *Plant and Soil*, 102(2), 283-286. <https://doi.org/10.1007/BF02370718>
- Yruela, I. (2015). Copper. En A. V. Barker y D. J. Pilbeam (Eds.), *Handbook of plant nutrition* (2.^a ed., pp. 367-398). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420014877.ch10>
- Zeballos-Cáceres, O. J. (2015). *Calidad físico-química de suelo árido en cebolla (Allium cepa L.) con Nutrabiota (R) Plus y fertilizantes orgánicos, en la Irrigación Majes* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2091>



7. Anexos

Anexo 1. Factor de conversión de CE (1:5) a CE_e de acuerdo a la textura del suelo.

Tabla 26. Factores multiplicadores para convertir CE 1:5 (dS/m) a un valor aproximado de CE_e (dS/m)

Textura del suelo	Factor multiplicador
Arena, arena franca, arena arcillosa	23
Franca arenosa, franca limosa fina, franca arcillosa ligera	14
Franco, franco limoso fino, franco limoso, franco arcilloso	9.5
Franco arcilloso, franco arcilloso limoso, franco arcilloso arenoso fino, arcilla arenosa, arcilla limosa, arcilla ligera	8.6
Arcilla media ligera	8.6
Arcilla media	7.5
Arcilla pesada	5.8
Turba*	4.9

* Basado en la ecuación 4 de Slavich y Petterson (1993). $CE_e = f CE_{1:5}$, donde $f = 2.46 + 3.03/\theta_{SP}$, y θ_{SP} es el contenido de agua a saturación. El θ_{SP} para turba se asume como 1.25 con una densidad aparente de 0.8 t/m³ para un suelo de turba. Adaptado de Slavich and Petterson (1993).



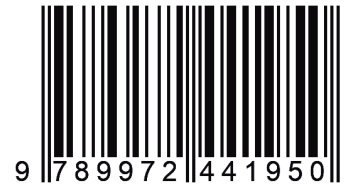
Instituto Nacional de Innovación Agraria





D. : Av. La Molina 1981, La Molina
T. : (511) 240-2400
www.gob.pe/inia

ISBN: 978-9972-44-195-0



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

