

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

TESIS:

**EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIENTES POR EL CULTIVO DE OCA
(*Oxalis tuberosa*. Molina) EN CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Presentada por:

M.Cs. SARA ESTHER GARCÍA ALVA

Asesor:

Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA

Cajamarca, Perú

2025



**Universidad
Nacional de
Cajamarca**
"Norte de la Universidad Peruana"



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Sara Esther García Alva
DNI: 26615951
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Doctorado en Ciencias, Mención: Gestión Ambiental y Recursos Naturales
 2. Asesora: Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
 3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☐ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☒ Doctor
 4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
 5. Título de Trabajo de Investigación:
Extracción de macronutrientes por el cultivo de oca (*Oxalis tuberosa*, Molina) en Cajamarca.
 6. Fecha de evaluación: **29/10/2025**
 7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
 8. Porcentaje de Informe de Similitud: **14%**
 9. Código Documento: **3117:520224354**
 10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ **APROBADO** ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO
- Fecha Emisión: **03/12/2025**

| |
|---|
| <small>Firma y/o Sello Emisor Constancia</small> |
|  Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia DNI: 26620894 |

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT@ 2025 by
SARA ESTHER GARCÍA ALVA
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Siendo las 16:05 horas, del día 24 de junio del año dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ**, **Dr. WILFREDO POMA ROJAS**, **Dr. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ** y en calidad de Asesor, el **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIENTES POR EL CULTIVO DE OCA (*Oxalis tuberosa* . Molina) EN CAJAMARCA**, presentada por la **Maestro en Ciencias Mención: Recursos Naturales, Línea: Recurso Vegetal, SARA ESTHER GARCÍA ALVA**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó aprobar con la calificación de dieciocho (18) la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Maestro en Ciencias Mención: Recursos Naturales, Línea: Recurso Vegetal, SARA ESTHER GARCÍA ALVA**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS, Mención GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES** de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Siendo las 17:15 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Asesor


.....
Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador


.....
Dr. Wilfredo Poma Rojas
Jurado Evaluador


.....
Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

DEDICATORIA:

A mi Amado padre ✠ Don Eloy García Guevara. Hubiese deseado compartir este momento contigo. Tu sonrisa orgullosa y tus palabras de felicitación resonarían en mi corazón. Sin embargo, estoy segura de que desde donde estás, estás sonriendo y celebrando este logro junto a mí.

A mi querida madre ✠ Doña Ana del Jesús Alva Loje Vda. de García, tu bendición a diario a lo largo de mi vida me ha protegido y me ha llevado por el camino del bien. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor madre mía, te amo.

A mis hermanos Socorro, Sonia, Marco y mi adorada Jessiquita, gracias por ser mis compañeros incondicionales de vida y por siempre estar ahí para mí.

AGRADECIMIENTO:

Con estima y reconocimiento, extendiendo mi más sincera gratitud a mi asesor de tesis, el Dr.

Edin Edgardo Alva Plasencia, su dedicación docente y su inestimable guía ha sido pilar fundamental en la dirección y enriquecimiento de esta investigación.

A mis compañeros de doctorado, por su invaluable apoyo y colaboración a lo largo del doctorado. Trabajar codo a codo con ustedes ha sido no solo una experiencia de aprendizaje enriquecedora, sino también una fuente de inspiración constante.

A:

Los sentimientos de valor sólo pueden florecer en un ambiente donde se aprecien las diferencias individuales, se toleren los errores, donde la comunicación sea abierta y las reglas sean flexibles, el tipo de ambiente que se encuentra en una familia cariñosa.

(Virginia Satir)

CONTENIDO

| Ítem | Página |
|--|--------|
| Dedicatoria | v |
| Agradecimiento | vi |
| Epígrafe | vii |
| Contenido | viii |
| Índice de Tablas | xii |
| Índice de Figuras | xiii |
| Resumen | xvi |
| Abstract | xvii |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 4 |
| 2.1. Antecedentes de la Investigación | 4 |
| 2.2. Bases teóricas | 8 |
| 2.2.1. Historia del cultivo..... | 8 |
| 2.2.2. Origen | 10 |
| 2.2.3. Nombres comunes por regiones o lugares, sinónimos | 10 |
| 2.2.4. Clasificación taxonómica | 10 |
| 2.2.5. Distribución geográfica..... | 12 |
| 2.2.6. Morfología de la oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina) | 12 |
| 2.2.7. Adaptación y resiliencia climática | 13 |
| 2.2.8. Valor Nutritivo..... | 14 |
| 2.2.9. Potencial económico | 15 |
| 2.2.10. Variedades de ocas | 15 |

| | |
|---|----|
| 2.2.11. Cultivo | 18 |
| 2.2.12. Elección y preparación de suelo | 19 |
| 2.2.12.1. Elección del terreno | 19 |
| 2.2.12.2. Preparación del suelo | 20 |
| 2.2.12.3. Arada | 20 |
| 2.2.12.4. Rastrada | 20 |
| 2.2.12.5. Drenajes | 21 |
| 2.2.12.6. Elaboración de surcos | 21 |
| 2.2.12.7. Desinfección del suelo | 21 |
| 2.2.13. Siembra | 21 |
| 2.2.13.1. Sistemas de siembra | 21 |
| 2.2.13.2. Preparación de la semilla para la siembra | 22 |
| 2.2.13.3. Distancias y densidades de siembra | 23 |
| 2.2.13.4. Abonado de fondo | 24 |
| 2.2.13.5. Siembra y Tape | 24 |
| 2.2.13.6. Manejo del cultivo | 24 |
| 2.2.13.6.1. Deshierbas y aporques | 24 |
| 2.2.13.6.2. Rascadillo | 25 |
| 2.2.13.6.3. Fertilización complementaria | 25 |
| 2.2.13.6.4. Riegos | 26 |
| 2.2.13.6.5. Rotación y asociación de cultivos | 27 |
| 2.2.13.7. Cosecha | 27 |
| 2.3. Función de los macronutrientes en la Planta | 28 |
| 2.3.1 Nitrógeno | 28 |
| 2.3.2. Fósforo | 31 |
| 2.3.3. Potasio | 34 |
| 2.3.4. Calcio | 36 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.5. Magnesio | 38 |
| 2.3.6. Azufre..... | 39 |
| 2.3.7. Forma de absorción de nutrientes | 40 |
| 2.4.Índice de cosecha de macronutrientes en el cultivo de oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina) | 41 |
| 2.5.Definición de términos básicos | 42 |
| CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS | 44 |
| 3.1. Ubicación Geográfica del Ámbito de Estudio | 44 |
| 3.2. Características climáticas y geológicas | 47 |
| 3.2.1. Clima | 47 |
| 3.2.2. Geológicas | 47 |
| 3.3. Equipos y Materiales..... | 48 |
| 3.3.1. Equipo de campo..... | 48 |
| 3.3.2. Laboratorio y gabinete..... | 49 |
| 3.3.3 Fertilizantes..... | 49 |
| 3.4. Metodología | 49 |
| 3.4.1. Fase de Campo | 49 |
| 3.4.2. Fase de Laboratorio | 50 |
| 3.4.3. Fase de gabinete final | 51 |
| 3.5. Características del campo experimental | 51 |
| 3.5.1. Diseño experimental | 52 |
| 3.5.2. Tratamientos en estudio | 52 |
| 3.5.3. Descripción de los tratamientos en estudio..... | 53 |
| 3.5.4. Distribución de tratamientos..... | 53 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 57 |
| 4.1. Concentración de macronutrientes (N, P, K Ca, Mg) en el cultivo de oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina) | 57 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.1. Concentración de macronutrientes en la raíz del cultivo de oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina) | 57 |
| 4.1.2. Concentración de macronutrientes en el tallo del cultivo de oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina) | 63 |
| 4.1.3. Concentración de macronutrientes en la hoja del cultivo de oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina) | 69 |
| 4.1.4. Concentración de macronutrientes en el tubérculo del cultivo de oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina) | 75 |
| 4.2. Índice de cosecha de macronutrientes en el cultivo de oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina) | 87 |
| 4.3. Concentración de macronutrientes en el suelo antes y después del cultivo de oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina) | 90 |
| 4.3.1. Análisis del suelo antes de la siembra..... | 90 |
| 4.3.2. Análisis del suelo después de la siembra | 91 |
| CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 96 |
| CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 97 |
| CAPÍTULO VII. ANEXOS | 106 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|--|---------------|
| Tabla 1. <i>Composición química de la oca (% de materia grasa)</i> | 14 |
| Tabla 2. <i>Características y rendimiento de variedades de oca en el altiplano de Bolivia, en dos zonas: a orillas del lago Titicaca y en la cordillera</i> | 16 |
| Tabla 3. <i>Secuencia del manejo del cultivo de oca (Oxalis tuberosa. Molina)</i> | 18 |
| Tabla 4. <i>Aplicación foliar complementaria de abonos foliares en el cultivo de oca</i> | 26 |
| Tabla 5. <i>Tratamientos en estudio</i> | 52 |
| Tabla 6. <i>Distribución de tratamientos en el campo experimental</i> | 53 |
| Tabla 7. <i>Concentración de macronutrientes en la raíz del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento</i> | 57 |
| Tabla 8. <i>Concentración de macronutrientes en el tallo del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina)</i> | 63 |
| Tabla 9. <i>Concentración de macronutrientes en la hoja del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento</i> | 69 |
| Tabla 10. <i>Concentración de nutrientes en el tubérculo del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento</i> | 75 |
| Tabla 11. <i>Índice de cosecha de macronutrientes (ICN) en el cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina) en cada tratamiento</i> | 87 |
| Tabla 12. <i>Análisis químico del suelo antes de la siembra</i> | 90 |
| Tabla 13. <i>Análisis químico del suelo después de la cosecha</i> | 91 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1. Ubicación de la Parcela Experimental | 45 |
| Figura 2. Croquis de la Ubicación de la parcela experimental..... | 46 |
| Figura 3. <i>Precipitación y temperatura en el área de estudio</i> | 47 |
| Figura 4. <i>Pesado de fertilizantes</i> | 54 |
| Figura 5. <i>Siembra del cultivo de Oca (Oxalis tuberosa. Molina) Inicio</i> | 54 |
| Figura 6. <i>Siembra del cultivo de Oca (Oxalis tuberosa. Molina) Final</i> | 55 |
| Figura 7. <i>Deshierbo del cultivo de Oca (Oxalis tuberosa. Molina</i> | 56 |
| Figura 8. <i>Concentración de N (%) en la raíz según tratamiento</i> | 58 |
| Figura 9. <i>Concentración de P (mg kg⁻¹) en la raíz según tratamiento</i> | 59 |
| Figura 10. <i>Concentración de K (mg kg⁻¹) en la raíz según tratamiento</i> | 60 |
| Figura 11. <i>Concentración de Ca (mg kg⁻¹) en la raíz según tratamiento</i> | 61 |
| Figura 12. <i>Concentración de Mg (mg kg⁻¹) en la raíz según tratamiento</i> | 62 |
| Figura 13. <i>Concentración de N (%) en el tallo de oca (Oxalis tuberosa Molina) según tratamiento</i> | 64 |
| Figura 14. <i>Concentración de P (mg kg⁻¹) en el tallo de oca (Oxalis tuberosa Molina) según tratamiento</i> | 65 |
| Figura 15. <i>Concentración de K (mg kg⁻¹) en el tallo de oca (Oxalis tuberosa Molina) según tratamiento</i> | 66 |
| Figura 16. <i>Concentración de Ca (mg kg⁻¹) en el tallo de oca (Oxalis tuberosa Molina) según tratamiento</i> | 67 |
| Figura 17. <i>Concentración de Mg (mg kg⁻¹) en el tallo de oca (Oxalis tuberosa Molina) según tratamiento</i> | 68 |

| | |
|--|----|
| Figura 18. <i>Concentración de N (%) en la hoja del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento.....</i> | 70 |
| Figura 19. <i>Concentración de P (mg kg⁻¹) en la hoja del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento</i> | 71 |
| Figura 20. <i>Concentración de K (mg kg⁻¹) en la hoja del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento</i> | 72 |
| Figura 21. <i>Concentración de Ca (mg kg⁻¹) en la hoja del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento</i> | 73 |
| Figura 22. <i>Concentración de Mg (mg kg⁻¹) en la hoja del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento</i> | 74 |
| Figura 23. <i>Concentración de N (%) en el tubérculo del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento</i> | 75 |
| Figura 24. <i>Concentración de P (mg kg⁻¹) en el tubérculo del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento</i> | 76 |
| Figura 25. <i>Concentración de K (mg kg⁻¹) en el tubérculo del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento</i> | 78 |
| Figura 26. <i>Concentración de Ca (mg kg⁻¹) en el tubérculo del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento</i> | 79 |
| Figura 27. <i>Concentración de Mg (mg kg⁻¹) en el tubérculo del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento.</i> | 80 |
| Figura 28. <i>Concentración de N (%) en cada parte de la planta de oca (Oxalis tuberosa Molina) según tratamiento</i> | 81 |
| Figura 29. <i>Concentración de P (mg kg⁻¹) en cada parte de la planta de oca (Oxalis tuberosa Molina) según tratamiento</i> | 82 |

| | |
|--|----|
| Figura 30. <i>Concentración de K (mg kg^{-1}) en cada parte de la planta de oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina) según tratamiento</i> | 84 |
| Figura 31. <i>Concentración de Ca (mg kg^{-1}) en cada parte de la planta de oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina) según tratamiento.....</i> | 85 |
| Figura 32. <i>Concentración de Mg (mg kg^{-1}) en cada parte de la planta de oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina) según tratamiento.....</i> | 86 |
| Figura 33. <i>Concentración de Nt (%) en el suelo, antes y después de la cosecha en cada tratamiento.....</i> | 91 |
| Figura 34. <i>Concentración de P (ppm) en el suelo: antes y después de la cosecha en cada tratamiento.....</i> | 92 |
| Figura 35. <i>Concentración de K (ppm) en el suelo: antes y después de la cosecha en cada tratamiento.....</i> | 93 |
| Figura 36. <i>Concentración de Ca (mg kg^{-1}) en el suelo: antes y después de la cosecha en cada tratamiento</i> | 94 |
| Figura 37. <i>Concentración de Mg (mg kg^{-1}) en el suelo: antes y después de la cosecha en cada tratan</i> | 95 |

RESUMEN

El trabajo de investigación titulado: Extracción de macronutrientes por el cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) en Cajamarca, tuvo como objetivo general: Determinar la extracción de macronutrientes por el cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) en Cajamarca y como objetivos específicos: a) Determinar la concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en hoja, raíz, tallo y tubérculos del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) en el Caserío La Victoria, La Encañada – Cajamarca, b) Índice de cosecha de macronutrientes en el cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) y c) Determinar la concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en el suelo antes de la siembra y después de la cosecha del cultivo de (*Oxalis tuberosa* Molina) en el Caserío La Victoria, La Encañada – Cajamarca. El diseño experimental de bloque completo alzar con cuatro (4) tratamientos: T₀: testigo; T₁ = 80-60-40; T₂ = 60-120-80; T₃ = 240-180-120 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O respectivamente. Los resultados muestran que la mayor concentración de N fue: en la raíz, el T₀ con 7,38%; en el tallo, el T₃ con 4,19%; en la hoja, el T₁ con 8,69% y en el tubérculo el T₁ con 4,5 %. De fósforo: en la raíz, el T₀ con 4468,7 ppm; en el tallo, el T₀ con 3357,6 ppm; en la hoja, el T₂ con 1854,0 ppm y en el tubérculo el T₂ con 2775,6 ppm. En cuanto al K: en la raíz, el T₃ con 16952,6 ppm; en el tallo, el T₂ con 57486,9 ppm; en la hoja, el T₃ con 27631,2 ppm y en el tubérculo el T₂ con 21081,1 ppm. El Ca: en la raíz, el T₁ con 33784,1 ppm; en el tallo, el T₁ con 54116,1 ppm; en la hoja, el T₃ con 51511,3 ppm y en el tubérculo el T₀ con 25361,1 ppm. En el Mg, en la raíz, el T₀ con 3369,3 ppm; en el tallo, el T₀ con 3452,3 ppm ; en la hoja, el T₁ con 3497,3 ppm y en el tubérculo el T₃ con 1017,3 ppm. El índice de cosecha de macronutrientes (ICN) fue: para N; más alto 21,7 (T₀) y más bajo 13,3 (T₃); para P: más alto 39,47 (T₃) y más bajo 9,95 (T₀); para K: más alto 15,5 (T₀) y más bajo 15,2 (T₂); para Ca: más alto 2,1 (T₃) y más bajo 1,8 (T₁); para Mg: más alto 20,2 (T₃) y más bajo 13,6 (T₁). La concentración de elementos en el suelo comparando después de la cosecha y con antes de la siembra fue: el N incrementó en 0,42% en el T₂; el P se incrementó en 37,52 ppm en el T₂; el K se incrementó en 3470,08 ppm en el T₃; el Ca se incrementó en 11996,0 ppm en el T₂; finalmente el Mg disminuyó en 140,7 ppm en el T₀, 134,3 ppm en el T₁, 112,8 ppm en el T₂ y 127,2 ppm en el T₃.

Palabras clave:

Oca, absorción de nutrientes, índice de cosecha de nutrientes.

ABSTRACT

The research work entitled: Extraction of macronutrients by the cultivation of oca (*Oxalis tuberosa* Molina) in Cajamarca, had as general objective: Determine the extraction of macronutrients by the cultivation of oca (*Oxalis tuberosa* Molina.) in Cajamarca and, as specific objectives: a) Determine the concentration of macronutrients (N, P, K, Ca and Mg) in the leaf, root, stem and tubers of the oca crop (*Oxalis tuberosa* Molina) in the La Victoria Caserío, La Encañada – Cajamarca, b) Macronutrient harvest index in the oca crop (*Oxalis tuberosa* Molina) and c) Determine the concentration of macronutrients (N, P, K, Ca and Mg) in the soil before sowing and after harvesting the cultivation of (*Oxalis tuberosa* Molina) in the Caserío La Victoria, La Encañada – Cajamarca. The randomized complete block experimental design was used with four (4) treatments: T₀: control; T₁= 80-60-40; T₂= 60-120-80; T₃= 240-180-120 kg ha⁻¹ of N-P₂O₅-K₂O respectively. The results show that the highest concentration of N was: in the root, T₀ with 7.38%; in the stem, T₃ with 4.19%; in the leaf, T₁ with 8.69% and in the tuber T₁ with 4.5%. Phosphorus: in the root, T₀ with 4468.7 ppm; in the stem, T₀ with 3357.6 ppm; in the leaf, T₂ with 1854.0 ppm and in the tuber T₂ with 2775.6 ppm. As for K: at the root, T₃ with 16952.6 ppm; in the stem, T₂ with 57486.9 ppm; in the leaf, T₃ with 27631.2 ppm and in the tuber T₂ with 21081.1 ppm. Ca: in the root, T₁ with 33784.1 ppm; in the stem, T₁ with 54116.1 ppm; in the leaf, T₃ with 51511.3 ppm and in the tuber T₀ with 25361.1 ppm. In Mg, in the root, T₀ with 3369.3 ppm; in the stem, T₀ with 3452.3 ppm; in the leaf, T₁ with 3497.3 ppm and in the tuber, T₃ with 1017.3 ppm. The macronutrient harvest index (MCI) was: for N; highest 21.7 (T₀) and lowest 13.3 (T₃); for P: highest 39.47 (T₃) and lowest 9.95 (T₀); for K: highest 15.5 (T₀) and lowest 15.2 (T₂); for Ca: highest 2.1 (T₃) and lowest 1.8 (T₁); for Mg: highest 20.2 (T₃) and lowest 13.6 (T₁). The concentration of elements in the soil compared after with before sowing was: N increased by 0.42% in T₂; P increased by 37.52 ppm in T₂; K increased by 3470.08 ppm in T₃; Ca increased by 11996.0 ppm in T₂; Finally, Mg decreased by 140.7 ppm in T₀, 134.3 ppm in T₁, 112.8 ppm in T₂ and 127.2 ppm in T₃.

Keywords:

Oca, nutrient absorption, nutrient harvest index.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La nutrición vegetal es un conjunto de procesos mediante los cuales los arbustos, árboles, cultivos, forrajes y plantas toman sustancias para sintetizar sus componentes celulares o usarlos como fuente de energía (Mengel y Kirkby, 2000). Las hojas son el órgano que permite evaluar el estado nutricional de la planta, dado que los macro y micronutrientes se movilizan en esta estructura para participar de múltiples funciones, por lo que, dependiendo de la concentración presente, se puede establecer si se encuentran en un exceso o déficit (Salcedo, 2013). Los resultados de un muestreo de este componente por las características de las variables pueden oscilar dependiendo la edad, estado nutricional y nivel de conservación del ecosistema.

La nutrición de las plantas se relaciona con la provisión de nutrientes para las plantas, así como la absorción de nutriente y su distribución en las plantas. Así en un sentido más amplio la asimilación de nutrientes, sus funciones metabólicas y su contribución al crecimiento y producción de rendimientos también puede considerarse como parte de la nutrición vegetal. El lado práctico de la nutrición vegetal es aplicación de fertilizantes (Mengel y Kirkby, 2000).

Las plantas, no pueden vivir solamente con el aire y el agua, sino que también necesitan cierto número de elementos químicos, que, por lo general, le son proporcionados a expensas de las sustancias minerales del suelo y a través del sistema radicular. Aunque estos elementos constituyen solo una pequeña porción del peso anhidro de la planta, frecuentemente del orden del 2-10%, no dejan por ello de ser fundamentales para el bienestar del vegetal, lo que explica sean considerados como elementos esenciales para la nutrición. El estudio de la nutrición mineral de las plantas trata de conocer su composición química, cuyo

objetivo se puede alcanzar utilizando los dos métodos siguientes: El análisis elemental, que determina la naturaleza y las proporciones en que se encuentran los elementos minerales en los tejidos vegetales y el análisis inmediato, que trata de reconocer la naturaleza de los compuestos orgánicos que existen en las diversas partes de la planta. Así mismo, es recomendable saber las proporciones de humedad y de materia seca en los órganos sometidos al análisis. La determinación del peso seco es indispensable, ya que el contenido de agua de los órganos vegetales está entre 6 y 90%; aunque para un órgano determinado puede variar también dependiendo de su estado de desarrollo. (Pérez, 2017).

La región Andina ha sido el centro de domesticación de muchos cultivos, entre ellos se encuentran las tuberosas andinas: la papa (siete especies de *Solanum*), la oca (*Oxalis tuberosa*), el olluco (*Ullucus tuberosus*) y el isaño (*Tropaeolum tuberosum*). Hoy en día, una especie de papa, *Solanum tuberosum*, es uno de los cultivos más importantes del mundo por lo que ha sido el tema de mucha investigación. Las demás tuberosas andinas han sido poco estudiadas y valorizadas en el mundo agronómico (Tapia, 1997).

La oca (*Oxalis tuberosa*) es un tubérculo nativo de las zonas altas de la cordillera Andina, pertenece a la familia botánica de las *Oxalidáceas*. Su origen se establece según la variación genética y genotipos de la especie, lo cual podría ser originario de la región altiplánica peruano-boliviana del *Oxalis*. Como cultivo generalmente se encuentra distribuido y cultivado a largo de la región andina de América se adaptan a terrenos entre los 2 000 y 3 800 msnm, el mismo que también se encuentran asociados a la papa, mellocos entre otros en los Andes de Perú, Bolivia y Ecuador a mayores pisos climáticos (INIAP et al., 2003). Trabajos de fertilización realizados en el Perú indican que la oca responde a niveles medios de nitrógeno, muestra una alta respuesta al fósforo y al potasio. Un nivel de fertilización adecuado para las condiciones del Cusco es de 60-120-120 de N-P-K. (Gómez et al., 1997).

La oca (*Oxalis tuberosa* Molina) pertenece al género *Oxalis* y es considerada la especie, dentro de este género, de mayor importancia económica debido a su alto contenido de proteínas, carbohidratos, minerales y oxalatos (Talledo y Escobar, 1995). La oca es el tercer tubérculo más cultivado de los Andes después de la papa y el olluco (MINAGRI, 2013) caracterizándose por su rusticidad, tolerancia a climas adversos y tener poca incidencia de plagas y enfermedades; además se cultiva en terrenos y en altitudes donde otros cultivos alimenticios difícilmente prosperan, es de fácil manejo agronómico y no utiliza químicos (National Research Council, 1989).

La escasa información publicada sobre el efecto de la fertilización en la productividad de la oca es contradictoria, en parte porque las condiciones en las diferentes zonas de producción no son las mismas. Ante ello se formuló la siguiente pregunta: ¿Cuál es la Extracción de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) por el cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) en el Caserío La Victoria, La Encañada – Cajamarca?

Los objetivos formulados para la presente investigación son:

Objetivo general:

- Determinar la extracción de macronutrientes por el cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) en Cajamarca.

Objetivos específicos.

- Determinar la concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en hoja, raíz, tallo y tubérculos del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) en el Caserío La Victoria, La Encañada – Cajamarca.
- Determinar el índice de cosecha de macronutrientes en el cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) en el Caserío La Victoria, La Encañada – Cajamarca.
- Determinar la concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en el suelo antes de la siembra y después de la cosecha del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) en el Caserío La Victoria, La Encañada – Cajamarca.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Khushaba, et al. (2022) en su investigación, efecto de los medios, bencil adenina y fertilizante NPK sobre el crecimiento y desarrollo de la planta oxalis (*Oxalis triangularis*), estudió el efecto de diferentes factores incluye sustratos (suelo de río, turba y suelo de río + turba 1:1), Bencil Adenina (BA) (0 y 500 mg.l⁻¹), fertilizante NPK (0, y 200 mg.l⁻¹) por maceta sobre el crecimiento de la planta oxalis (*Oxalis triangularis*). Los resultados mostraron que la turba mejoró significativamente todos los parámetros estudiados en comparación con la mezcla y el suelo de río. Similarmente, La benciladenina a (500 mg.l⁻¹) aumenta la mayoría de los caracteres del estudio, excepto el número de rizomas, rizoma único. volumen y peso fresco de un solo rizoma. Sin embargo, el fertilizante NPK a concentración (200 mg.l⁻¹) por maceta la longitud de la hoja mejoró. Las interacciones entre turba y (500 mg.l⁻¹) BA se registraron significativamente a lo largo las mediciones de crecimiento excluyen el número de rizomas, el volumen de un solo rizoma y el peso fresco de un solo rizoma. Considerando que las interacciones entre turba y sin fertilizante NPK mejoraron positivamente el número de hojas, peso seco vegetativo, número de rizomas y volumen de rizoma único, así como las interacciones de (500 mg.l⁻¹) BA más (200 mg.l⁻¹) NPK que favorece la mayoría de los parámetros en la investigación, y la triple interacción entre la turba, (200 mg.l⁻¹) NPK y (500 mg.l⁻¹) BA registraron mejores resultados en la mayoría de los parámetros estudiados.

Valdivia, et al. (2016). Realizaron la investigación: “Desarrollo y Producción de Oca (*Oxalis tuberosa*) e Isaño (*Tropaeolum tuberosum*) bajo dos niveles de fertilización”.

Cochabamba, Bolivia, se estudió la influencia de la fertilización mineral sobre el desarrollo y la producción de oca e isañó con niveles de N P K de 80-160-80 kg ha⁻¹, frente a un testigo sin fertilización. En ambas especies, se observó un efecto marcado de la fertilización sobre el índice de área foliar, cobertura foliar, duración de follaje y sobre la acumulación de biomasa. Los rendimientos de los tratamientos con fertilización fueron de 23 t ha⁻¹ para la oca y 36 t ha⁻¹ para el isañó, siendo de 25% (isaño) a 80% (oca) superiores a los tratamientos sin fertilización. En isañó, hubo una diferencia en la respuesta a la fertilización según las variedades. Hubo una alta correlación entre acumulación de materia seca y la radiación interceptada por el follaje. En suelos relativamente pobres, sobre todo en nitrógeno y fósforo, la fertilización mineral puede generar un incremento fuerte de los rendimientos de estos cultivos "rústicos".

Ayrton, et al. (2018). Evaluaron el comportamiento agronómico de tres ecotipos de oca (*Oxalis tuberosa*) y la revalorización de las prácticas alimenticias ancestrales en la comunidad de Huatapampa del Municipio de Tito Yupanqui, con el fin de enriquecer la información del cultivo de oca y todo lo que conlleva la producción del tubérculo, así también como conocer las prácticas alimenticias que usan los pobladores de la comunidad y conocer acerca de la transformación del tubérculo de la oca en sus diferentes derivados y la distribución geográfica durante la gestión agrícola 2017 –2018. Se encuestaron a 10 familias que cultivaban el cultivo de oca en diferentes zonas que tiene la comunidad de la gestión 2017 –2018, se pudo observar que usan los diferentes ecotipos de oca en la alimentación tanto como los rituales e enfermedades que usan para subsanar, los conocimientos que tienen son muy amplios pero ya no practicados por los pobladores por la migraciones definitivas,

mientras que los pobladores tienen a tener terrenos extensos hasta minifundios y surco fundíos que afectan a la producción de oca.

Kalliola, et al. (1990). Realizaron el trabajo de investigación: “Influencia del fotoperíodo en el crecimiento y formación de tubérculos de ulluco (*Ullucus tuberosus*, Basellaceae), Oca (*Oxalis tuberosa*, Oxalidaceae) y Añu (*Tropaeolum tuberosum*, Tropaeolaceae)”. San José (Costa Rica). Se analizó la influencia del fotoperiodo en el crecimiento y formación de tubérculos de las plantas andinas ulluco, oca y ñu, al cultivar estas especies bajo diversas proporciones de luz y oscuridad. Las plantas de ulluco sometidas a las condiciones de día corto (SD) (< a 12 h) desarrollan estolones aéreos, hojas más largas, anchas y gruesas, un mayor número de ápices vegetativos; pero vástagos más bajos y decumbentes, con respecto a las plantas cultivadas bajo condiciones de día largo (LD) > 12 h). Algunos clones de ulluco en LD presentaron un gran desarrollo de tubérculos, lo cual se correlacionó positivamente con la longitud del vástago, exhuberancia, así como longitud y ancho de las hojas. La floración de las plantas en SD parece estar inhibida. La oca presenta una mayor longitud de las hojas bajo condiciones de SD. En cambio, en el ñu, el fotoperiodo no influye en las características del vástago estudiadas. Todas las especies desarrollar un mayor número de tubérculos bajo las condiciones SD. La variación entre los clones cultivados fue mayor en el ulluco que en las otras dos especies.

Visser, et al. (2023). En su investigación: “La gestión tradicional de la fertilidad del suelo mejora los impactos del cambio climático sobre cultivos andinos tradicionales dentro de sistemas agrícolas de pequeña escala”, trabajo realizado en los andes centrales del Perú (Junín), llega la siguiente conclusión. El calentamiento climático representa una amenaza significativa para la agricultura en pequeña escala en los Andes peruanos y en todo el mundo,

ya que probablemente causará disminuciones en la producción de cultivos de importancia local como *O. tuberosa*, así como cultivos más extendidos como la patata y el maíz. Este estudio dilucida cómo cultivos andinos clave, *O. tuberosa* y *L. mutabilis*, puede reaccionar a los cambios globales, con especial atención a los efectos de diferentes estrategias de fertilización en estas plantas. Estrategias comunes para enfrentar el calentamiento climático, como cambiar a otros cultivos (o variedades) que pueden tolerar mejores temperaturas más cálidas y/o plagas, pueden tener resultados negativos, incluida la pérdida de cultivos y variedades locales que comunidades se han adaptado a sus sistemas durante siglos y que valoramos mucho y dependemos de él. Al mismo tiempo, el cambio de producción de cultivos cuesta arriba a elevaciones más altas (más frías) puede no ser una posibilidad para muchas comunidades, donde ya se están cultivando cultivos en o cerca a cimas de las montañas. Además, el desplazamiento de la producción de cultivos hacia arriba podría amenazar los ecosistemas altamente sensibles de la Puna en la región andina, que almacenan grandes cantidades de C en los suelos (Rolando et al., 2017). A pesar de hay mucha evidencia de que la agricultura "moderna" con altos insumos puede apoyar mayores rendimientos de los cultivos básicos y contribuyen a los excedentes de alimentos en algunas regiones, las prácticas tradicionales suelen ofrecer ventajas en términos de estabilidad y la provisión de servicios ecosistémicos (Kremen y Miles, 2012; Altieri y Nicholls, 2017). Los resultados sugieren que el uso de nutrientes orgánicos fuentes (por ejemplo, estiércol de oveja) en lugar de fertilizantes sintéticos pueden ayudar a apoyar el crecimiento y la productividad de los cultivos de *O. tuberosa* frente al calentamiento. Nuestros hallazgos sugieren que la fertilización orgánica puede mitigar los efectos climáticos, aunque esto depende del cultivo en cuestión. Los conocimientos de este estudio sobre lo orgánico La fertilización y la resiliencia de los cultivos tienen una amplia aplicabilidad para el manejo.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Historia del cultivo

INIA (2020) Sostiene que el área andina es considerada uno de los principales centros de domesticación de plantas en el mundo, en un proceso que se inició hace 10 000 años aproximadamente. El museo Arqueológico de Ancash hace referencia a que, en el año 1969, Thomas Lynch de la Universidad de Cornell descubrió unos vestigios culturales en los Andes Centrales, ubicados en la cueva de “El Guitarrero” (2 600 m s. n. m.), en la base de la Cordillera Negra, en las proximidades del pueblo de Shupluy en la provincia de Yungay, en el departamento de Ancash. En esta cueva se registraron evidencias de ocupación que datan de más de 12 500 años, las más importantes la conforman restos de cultígenos, los más antiguos de sur América. Según Smith (1980), citado por Emshwiller, et al. (2009), entre los fósiles de cultivos se encontraron tubérculos de *Oxalis spp.* Yacovleff y Herrera (1934), detallaron que se realizó un estudio de prehistoria acerca de los cultivos andinos llamado “El Mundo Vegetal de los Antiguos Peruanos”, en el cual hicieron un resumen de referencias, escritas por cronistas, sobre la oca. Ellos mencionan al Padre Valverde (1539), como el primer español que describió un producto de la oca llamado “cavi” (del quechua qawi: “Oca asoleada”). Mencionan también que se encontró una representación que parece ser una planta de oca en un quero perteneciente a la cultura Tiahuanaco y en una cerámica de color negro de la cultura Chimú. Towle (1961), encontró en los restos de las ruinas de Pachacamac un tubérculo de oca seco, mostrando que en la costa también fue utilizado como alimento. Finalmente, la primera descripción botánica de la oca como especie nueva fue realizada por el jesuita G. I. Molina en 1810. En el diccionario quechua de Lira (1982), figura la palabra “okka” y se

refiere a una planta que produce tubérculos dulces y comestibles (Cárdenas y Hawkes, 1948, citado por Barrera et al., 2004).

La Oca, es uno de los cultivos nativos más antiguos de los Andes, estimándose que tiene alrededor de 8 000 años de antigüedad. Los arqueólogos han encontrado restos de sus tubérculos comestibles en tumbas prehispánicas, lejos de sus lugares de cultivo originales. En los Altos Andes sólo el cultivo de la papa es más importante que el de la oca, su agradable sabor y diversos colores brillantes resultan interesantes para impulsar su producción a gran escala con fines de exportación. (Barrera et al., 2004).

Históricamente los países en donde se han realizado más estudios sobre colecta, conservación y utilización de estos recursos genéticos son Bolivia, Perú y Ecuador, por el hecho de que estos países presentan la mayor diversidad de estas especies (Rosero, 2010; Clavijo y Pérez, 2015).

La oca (*Oxalis tuberosa* Molina) es un cultivo herbáceo con tubérculos tallosos subterráneos que muestran una impresionante paleta de vivos colores: blanco, negro, amarillo, naranja, rosa y rojo. En Bolivia, Ecuador y Perú, el cultivo se conoce comúnmente como oca en español, uqa o apilla en quechua, y apiña en aimara. En Colombia, el cultivo se conoce como cubio. La temporada de crecimiento de la oca es de 7 a 9 meses y los cultivos desarrollan tubérculos cuando la duración del día se acorta al final de la temporada de lluvias (generalmente en marzo en los Andes). La oca ocupa el segundo lugar después de la papa en la dieta y los sistemas de cultivo de millones de agricultores de las

tierras altas. Es particularmente importante para la seguridad alimentaria en los Andes debido a su contenido nutricional, su papel en los ciclos de rotación de cultivos con otros cultivos nativos de raíces y tubérculos (papa, mashua y olluco) y las técnicas tradicionales de procesamiento que transforman la oca en kawi (oca seca) o kaya (deshidratada pero no liofilizada) para almacenamiento a largo plazo (CIP, 2021).

2.2.2. Origen

La oca fue domesticada en la región andina mucho antes de la época de los incas. Poblaciones de especies silvestres de *Oxalis* con tubérculos más pequeños se encuentran en varias áreas de la región andina central, particularmente en Perú, Bolivia y Argentina. La oca probablemente se originó a través de la hibridación entre especies andinas silvestres dentro de un grupo llamado “alianza *Oxalis* tuberosa” seguida de la selección de los agricultores. Investigaciones recientes sugieren que la evolución del cultivo a través del flujo de genes y la incorporación inconsciente de genotipos producidos sexualmente es un proceso continuo (CIP, 2021).

2.2.3. Nombres comunes por regiones o lugares, sinónimos

Oca, oqa (Perú); apilla (aymara, Bolivia, Perú); ibia (Colombia); cuiba (Venezuela) (CIP, 2021)

2.2.4. Clasificación taxonómica

INIA (2020) dice que según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) (2005), la oca se encuentra taxonómicamente clasificada en:

Reino : Plantae

Subreino : Tracheobionta

Súper división : Spermatophyta

División : Magnoliophyta

Clase : Magnoliopsida

Subclase : Rosidae

Orden : Geraniales

Familia : Oxalidaceae

Género : Oxalis

Especie : *Oxalis tuberosa* Molina

El género *Oxalis spp.* comprende de 500 a 800 especies. La oca se ubica en un grupo de tubérculos afines morfológicamente a la papa, pero de diferente familia botánica, siendo menos valorada en el mundo agronómico que las especies del género *Solanum*. Es difícil establecer el área de origen de cada una de estas especies. Según la variación genética actual, podría indicarse que la región altiplánica peruano-boliviana sería el centro de origen primario de la oca (León, 1965). Se le conoce como “oca” en Ecuador, Bolivia, Perú y Chile; “cuiba” o “quiba” en Venezuela; “macachin” o “miquichi” en Argentina; “huasisai” o “ibia” en Colombia; “papa extranjera” en México; “yam” en Nueva Zelanda; “truffette acide” en Francia y “knollen-sauerklee” en Alemania (Barrera, et al., 2004).

2.2.5. Distribución geográfica

En la actualidad, la oca se cultiva desde los 2 800 hasta los 4 100 msnm en Argentina, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Los agricultores quechuas y aimaras de Perú y Bolivia producen el mayor volumen de oca. El cultivo ha sido popular desde el siglo XIX en Nueva Zelanda, donde se lo conoce como ñame. En los últimos años, la oca también ha ganado popularidad entre los horticultores tradicionales de Europa y EE.UU. (CIP, 2021)

La oca es el segundo tubérculo en área de cultivo e importancia en los Andes, después de la papa. Se la puede encontrar en los Andes de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, entre los 2 500 y 4 100 msnm. El límite de altitud con mayor concentración de parcelas y mayor producción está entre los 3 000 y 3 800 msnm, donde el clima es frío, pero con suficiente precipitación (mayor que 600 mm) y sin la incidencia de heladas extremas (Tapia y Frías, 2007)

2.2.6. Morfología de la oca (*Oxalis tuberosa*)

Pequeña hierba tuberosa anual compacta, normalmente de 20 a 30 cm de altura, con tallos suculentos cilíndricos que pueden variar en color desde varios tonos de verde hasta un rojo violáceo, y normalmente surgen de la base de la planta en forma de cono o hemisferio. Las hojas están dispuestas en espiral, filotaxis, y pueden ser de color verde o violeta, con o sin pelos y mostrando también una gran variación en la forma. Las flores son trimórficas con estilos largos, cortos o de longitud media. Los frutos son cápsulas de 5 células con 1-3 semillas diminutas en cada una, pero rara vez se forman. Los tubérculos son rizomas, que se desarrollan como engrosamientos terminales de los estolones, generalmente ovoides, de 5 a 7,5 cm de largo, pero muy variables en forma y tamaño, y se caracterizan por largas

depresiones transversales poco profundas en las que se sitúan los ojos. La oca es una planta alimenticia muy antigua de los Andes y sólo en Perú se han reconocido más de 140 clones (APROPEDIA s/f).

Es una especie anual, erecta, de 20 a 70 cm, de tallos cilíndricos y succulentos, con ligera pubescencia (presencia de pelos) en el tallo. Las hojas son alternas y trifoliadas como las del trébol; la inflorescencia es muy variable, en todos los casos se produce una sola flor. La oca rara vez produce frutos, pues por lo común las flores se desprenden poco después de abrirse. Su tiempo de crecimiento es de 220 días para las más precoces y de 269 para las más tardías. La tuberización comienza más o menos a los 110 días después de la germinación y el máximo crecimiento de tubérculos ocurre entre los 170 y 230 días (Tapia y Frías, 2007).

2.2.7. Adaptación y resiliencia climática

La oca es un cultivo versátil y es probable que su diversidad varietal lo ayude a crecer en una amplia variedad de entornos ecológicos. Está bien adaptado a las condiciones de secano, suelos marginales y climas rigurosos y los agricultores reconocen los grupos de variedades con tolerancia a las heladas y la sequía. A pesar de que la oca es resistente al clima adverso, ha recibido poca atención en el desarrollo y la investigación agrícolas. Las amenazas para la oca incluyen eventos extremos fuera de temporada (granizo, heladas), sequía prolongada y, en particular, la expansión continua del rango y el daño causado por el gorgojo de la oca (*Adioristidius tuberculatus*) (CIP, 2021).

2.2.8. Valor Nutritivo

Es muy variable, pero igual o mejor que la papa. Su contenido de proteína es muy variable también, pero generalmente está por encima del 9% en la materia seca y con buena proporción de aminoácidos esenciales. En la Tabla 1, se muestra la composición química de la oca:

Tabla 1

Composición química de la oca (% de materia grasa)

| Componente | Base húmeda |
|---------------------|-------------|
| Humedad (g) | 86,79 |
| Proteína (g) | 0,77 |
| Carbohidratos (g) | 10,41 |
| Extracto etéreo (g) | 0,47 |
| Cenizas (g) | 0,78 |
| Fibra (g) | 1,0 |
| Calcio (mg) | 17,18 |
| Fósforo (mg) | 28,20 |
| Hierro (mg) | 12,53 |

Fuente: Suntaxi, 2013

En cuanto al contenido de vitaminas y minerales, si se compara con la papa se destaca un mayor contenido de calcio y vitamina C en la oca. En la Tabla 1, se muestra el contenido de energía, minerales y vitaminas en oca (por 100 g de materia húmeda).

2.2.9. Potencial económico

El potencial económico de oca está muy poco desarrollado. Si bien está presente en la cocina rural y es popular en los mercados comunes de los Andes, la oca no se comercializa comúnmente a través de puntos de venta minoristas modernos. Al igual que la papa nativa, el cultivo tiene todas las características necesarias para reaparecer y recuperar popularidad entre los consumidores jóvenes y los restaurantes. Se necesitan campañas de educación y promoción para difundir su uso versátil y superar la percepción de “comida de los pobres” (CIP, 2021).

2.2.10. Variedades de ocas

Se reconocen tres formas básicas: alba, flava y roseo violácea a negra: albas: son las ocas blancas (ejemplo Pili runto o huevo de pato); flavas: las ocas amarillas claras, pigmentadas, de pigmentos o flavonas de color amarillo intenso y las anaranjadas, con pigmentos de caroteno; roseo violáceas: son pigmentadas con antocianinas y de colores rosa claro, violeta muy oscuro hasta negro. Según la forma pueden ser ovoides, claviformes y cilíndricas (Tapia y Frias, 2007)

Tapia y Frias (2007) proponen que las Características y rendimiento de variedades de oca en el altiplano de Bolivia, en dos zonas: a orillas del lago Titicaca y en la cordillera. Las siguientes:

Tabla 2

Características y rendimiento de variedades de oca en el altiplano de Bolivia, en dos zonas: a orillas del lago Titicaca y en la cordillera.

| Variedad | Color de tubérculo | Forma de tubérculo | Rdto (t ha⁻¹) | Resistencia a enfermedades | Periodo de crecimiento (días) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--|
| Cuzco (*) | Amarillo | Ovoide | Lago.. 47 | Moderada | 230 |
| | | cilíndrico | Cordillera..27 | | |
| K'ayra (*) | Rosado a violáceo | Claviforme | Lago.. 31 | Moderada | 230 |
| | | | Cordillera..13 | | |
| Janko apilla | Blanco | Cilíndrica | Lago.. 33 | Muy resistente | 215 |
| | | | Cordillera..15 | | |
| Keny | Violáceo a negro | Claviforme | Lago.. 26 | Susceptible | 220 |
| | | | Cordillera..9 | | |
| Clon 191 | Amarillo claro | Ovoide cilíndrico | Lago.. 33 | Moderada | 220 |
| | | | Cordillera..11 | | |
| Clon 289 | Amarillo pigmetado | Ovoide cilíndrico | Lago.. 28 | Moderada | 230 |
| | | | Cordillera..15 | | |

(*) Variedades seleccionadas en la Universidad del Cusco, Perú.

Los campesinos identifican las siguientes variedades: chaucha, blanca, amarilla, rosada, roja, cañareja y leona. Las ocas blancas y amarillas presentan diferenciaciones entre las chauchas o precoces y las tardías. Las ocas chauchas

tienen un ciclo de cultivo hasta de cinco meses y presentan un mayor tamaño que sus pares tardíos. Las ocas chauchas blancas con formas redondeadas se conocen también como “ocas leonas” Entre las ocas amarillas se presenta una clase especial que es la llamada “cañareja” cuyos tubérculos son bastante gruesos y se considera las más rendidora. Las ocas rojas tienen una tonalidad marcada, al contrario de las variedades combinadas que presentan o bien ojos de color blanco en la carne roja, o manchitas de color rosado sobre la carne blanca o amarilla. (Barrera et al., 2004).

Los tubérculos varían mucho en su morfología. Entre los cultivos de raíces y tubérculos andinos, la oca ocupa el segundo lugar después de la papa en cuanto a su abundante diversidad varietal. A lo largo de los Andes, se cultivan ampliamente cientos de variedades coloridas y los hogares individuales típicamente mantienen entre 3 y 20 variedades. El Centro Internacional de la Papa (CIP) mantiene la colección de bancos de germoplasma más grande del mundo. Las comunidades agrícolas a menudo nombran las variedades en función de sus formas, color y sabor. Un grupo particular de variedades extremadamente ácidas conocidas como p'usqu en quechua se usa comúnmente para deshidratar y producir kaya. Ejemplos de variedades no ácidas específicas incluyen yana ushpa (ceniza negra), yuraq ushpa (ceniza blanca), higos (como un higo) o puka panti (panti rojo, una flor silvestre andina). Se reconocen tres formas básicas: alba, flava y roseo violácea a negra: albas: son las ocas blancas (ejemplo Pili runto o huevo de pato); flavas: las ocas amarillas claras, pigmentadas, de pigmentos o flavonas de color amarillo intenso y las anaranjadas, con pigmentos de caroteno; roseo violáceas: son pigmentadas con antocianinas y de colores rosa claro, violeta muy oscuro hasta negro. Según la forma pueden ser ovoides, claviformes y cilíndricas (CIP, 2021).

2.2.11. Cultivo

Según León (1958) citado por Gallardo (2018) manifiesta que la oca se cultiva en las mismas regiones de la papa y por su resistencia a las heladas puede sembrarse también a mayor altura. Considera a la oca de menos importancia que la papa, pero más importante que el olluco y mashua; se desarrolla bien en las terrazas de las quebradas serranas frías y en la zona del antiplano a una altitud entre 3 800 y 4 000 metros sobre el nivel del mar.

El manejo del cultivo de oca es anual y tiene varias etapas, las que se describen en la Tabla 3.

Tabla 3

Secuencia del manejo del cultivo de oca (Oxalis tuberosa. Molina).

| NOMBRE DE LA ACTIVIDAD | ÉPOCA |
|---------------------------|---|
| Arada | Al término de las lluvias |
| Descanso | Inmediatamente después de la arada, con una duración de 4 a 5 meses |
| Siembra | Luego del nublado y deshecho de terrones y de la fertilización con estiércol. |
| Deshierbo | Al primer o segundo mes de la siembra |
| Primer aporque | Se realiza con la azada (instrumento de trabajo) cuando las plantas tienen 1 pie de altura |
| Segundo aporque | También se realiza la eliminación de malas hierbas y es en esta época en la que aparecen las plagas y |

| NOMBRE DE LA | ÉPOCA |
|--------------|---|
| ACTIVIDAD | |
| | enfermedades |
| Cosecha | A los 8 ó 9 meses, con el inicio de las heladas (se reconoce por la coloración amarilla y porque el follaje se seca). |

Fuente: Gallardo, 2018.

2.2.12. Elección y preparación de suelo

2.2.12.1. Elección del terreno.

Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Escoger terrenos donde antes se cultivaron maíz, cereales y leguminosas, que estén libres de plagas (insectos, nemátodos y patógenos) y que en lo posible no sean propensos a sequías, heladas y granizadas, a fin de que el agricultor pueda tener seguridad en el desarrollo del cultivo.
- Que sean terrenos descansados profundos (más de 50 centímetros de profundidad) y sueltos (franco y franco arenosos).
- Que sean terrenos sometidos a procesos de rotación, es decir, donde hay una sucesión de diversos cultivos que giran alrededor de uno principal, cuya finalidad es mantener un elevado nivel de producción a la vez que se mejora la estructura del suelo, la capacidad de absorción del agua, el aumento de la materia orgánica y se reducen las pérdidas ocasionadas por la presencia de plagas (Tapia y Frías, 2007).

2.2.12.2. Preparación del suelo.

Se realiza cuando el terreno está “a punto” y al coger la tierra con la mano ésta no queda pegada. Se recomienda que la preparación del suelo se efectúe entre el tercer día de luna menguante y el tercer día de luna nueva (novilunio o noche oscura), para evitar la presencia de plagas en el cultivo.

La oca prefiere suelos francos, profundos y con buen contenido de materia orgánica. Para una fertilización adecuada se recomienda utilizar campos de rotación después de las papas (kallpar) que han sido bien abonados y complementar con materia orgánica (4 a 6 t ha⁻¹). La oca responde muy bien a la fertilización con materia orgánica, complementada con nitrógeno y fósforo a niveles adecuados de 80-40-0. Si se quieren obtener rendimientos apropiados de más de 15 t ha⁻¹ se necesita una complementación con fertilizantes (Tapia y Frías, 2007).

2.2.12.3. Arada.

Con anticipación de por lo menos un mes antes de la siembra, debe hacerse de uno a dos pases de arado profundo, con el propósito de enterrar los restos del cultivo anterior y las malezas que se encuentren sobre el campo. Así como exponer a insectos y microorganismos que causan enfermedades a las plantas (Tapia y Frías, 2007).

2.2.12.4. Rastrada

Se hará uno a dos pases de rastra para desterronar y mullir el suelo.

2.2.12.5. Drenajes

La elaboración de drenajes, es muy necesaria para evacuar del campo los excesos de agua, en caso de excesivas precipitaciones lluviosas. Los tubérculos no soportan excesos de humedad (Tapia y Frías, 2007).

2.2.12.6. Elaboración de surcos.

Surcar de tal manera que al caer la lluvia o hacer el riego, el agua se deslice lentamente, para evitar la erosión del suelo y conseguir un remojo profundo y uniforme (Tapia y Frías, 2007).

2.2.12.7. Desinfección del suelo

Para evitar la presencia de microorganismos que pueden causar posteriormente enfermedades, es recomendable aplicar ceniza vegetal sobre los surcos antes de proceder a la siembra. Se pueden espolvorear 2 onzas de ceniza por metro lineal. (Barrera et al., 2004).

2.2.13. Siembra

2.2.13.1. Sistemas de siembra

Las prácticas de siembra, son bastante diversificadas. Algunos agricultores tradicionales realizan la siembra conjunta de tres tubérculos (oca-mashwa-melloco), habiendo escogido de semillas de un tamaño similar. La posibilidad de este tipo de siembra está dada porque se considera que los tres productos están emparentados.

También se puede realizar la siembra en monocultivo, siendo en la actualidad la forma más difundida y de la que se obtienen mejores rendimientos, tanto en tamaño como en cantidad de tubérculos Otra práctica difundida es la asociación de la oca con haba de manera

alternada. En este caso la oca se ve protegido por el haba que es de mayor altura de los efectos provocados por las heladas (Tapia y Frías, 2007).

2.2.13.2. Preparación de la semilla para la siembra

Al tratarse de la oca, por lo general no se escoge “semilla”, sino que se deja una cantidad de tubérculos en el mismo lote donde se ha sembrado, y se espera a que broten (“nazcan”) o les salgan “ñaves” (brotes). Esta práctica se explica por el hecho de que las ocas amontonadas en la casa tienden a pudrirse, más aún cuando se trata de las ocas chauchas, que son tan delicadas; igualmente se pudren si se mojan o se golpean, por lo que es preferible dejarlas en la tierra. Si bien la práctica de dejar la “semilla” en la tierra es la más generalizada para el caso de la oca, algunos agricultores prefieren cosechar todo lo sembrado y escoger, entre los tubérculos, los de primera, para la venta y el consumo, los de segunda, para “semilla”, y los de tercera, para alimentar a los chanchos. La semilla de oca para la siembra, debe escogerse el momento de la cosecha, procurando que los tubérculos tengan un peso aproximado de 30 a 40 gramos cada uno y brotes o ñavis vigorosos. Los tubérculos de oca que se utilizan para semilla son los que corresponden a la segunda clase, luego de haber separado los mejores tubérculos para el consumo y la venta. La oca es capaz de producir ñavis con mayor rapidez, que muchas veces no es necesario ponerla a brotar, ya que se puede sembrar inmediatamente después de la cosecha, para dentro de un mes ver brotar una nueva planta. Se recomienda que antes de la siembra se desinfecte y desinfeste la

semilla, sometiéndola a remojo o inmersión en una solución a base de 250 gramos de Hidróxido de Cobre (Kocide 101) y 250 gramos de *Bacillus thuringiensis* (Dipel o Thuricide), diluidos en 100 litros de agua, la semilla se pondrá en un canasto o costal y se deberá sumergir durante un minuto en la solución referida (contar hasta 60). La solución alcanza para desinfectar 25 qq de semilla (Tapia y Frías, 2007)

2.2.13.3. Distancias y densidades de siembra

El distanciamiento entre surcos para el cultivo de la oca es de 0.80 m. entre surcos y 0.50 m entre matas, lo que da una población de 25 000 plantas por hectárea, que permite la obtención de una cosecha equivalente a 32 000 kg ha⁻¹ (704 qq ha⁻¹). La cantidad de semilla recomendada es de 750 kg por hectárea (16.5 qq ha⁻¹). La siembra se hace con tubérculos en buen estado sanitario y en lo posible conservados en un almacén de luz difusa. La época de siembra varía según la altitud. Se cultiva generalmente bajo secano por lo que se le debe sembrar cuando ya hay una buena acumulación de lluvias, es decir más de 120 mm, entre fines de septiembre y principios de noviembre. La densidad depende del tamaño y peso de la semilla (tubérculo); puede variar entre 800 kg ha⁻¹ de semilla pequeña (20 g) y 1 300 kg ha⁻¹ de semilla de mayor tamaño. Se le encuentra en monocultivo cuando se rota después de la papa; en las partes más bajas se le siembra a menudo asociada con el maíz e incluso con cebolla. En terrenos de laderas es frecuente ver campos sembrados de oca en mezcla con los otros dos tubérculos andinos (olluco y mashwa) (Tapia y Frías, 2007).

2.2.13.4. Abonado de fondo

Al momento de la siembra se aplicará al fondo del surco el abono orgánico disponible en la finca, complementado con los fertilizantes minerales que se indican a continuación (Tapia y Frías, 2007):

- Estiércol descompuesto: 1 kg (2.2 libras) + 35 gramos de roca fosfórica + 35 gramos de sulpomag por cada metro lineal de surco.
- Compost: 800 gramos (1.72. libras) + 35 gramos de roca fosfórica + 35 gramos de sulpomag por cada metro lineal de surco
- Humus de lombriz: 500 gramos + 35 gramos de roca fosfórica + 35 gramos de sulpomag por cada metro lineal de surco.

2.2.13.5. Siembra y Tape

La siembra debe realizarse cuando la luna atraviesa por el cuarto día de la fase menguante, hasta el quinto día de la fase llena. Esta labor se realiza colocando al fondo del surco la semilla, brotada, desinfectada y desinfestada, conservando las distancias anteriormente indicadas. El tape de la semilla se hará en forma mecanizada con el tractor, la yunta o simplemente utilizando el azadón, procurando que la capa de tierra que la cubra, no sea mayor de 15 centímetros, para evitar que la semilla se ahogue y no emerja. (Barrera et al., 2004).

2.2.13.6. Manejo del cultivo

2.2.13.6.1. Deshierbas y aporques

Las prácticas culturales más comunes en el cultivo de la oca, son las deshierbas y los aporques; el campo debe mantenerse

libre de malezas y las plantas se deben aporcar entre dos y tres veces durante su ciclo; esto ayuda a una mayor producción de tubérculos, siempre que se tenga el cuidado de dejar el suficiente follaje expuesto a la luz, para no afectar la función fotosintética. La deshierba del cultivo, se debe hacer a partir del tercer día de luna menguante hasta el tercer día de luna nueva (noche oscura), es decir cuando las hierbas indeseadas han agotado sus reservas que se encontraban concentradas en las raíces, al cortarlas, tardarán en recuperarse en este período. En climas fríos y templados, es recomendable hacer dos deshierbas seguidas, la primera en luna creciente y la segunda en luna menguante, con el propósito de acelerar su agotamiento (Hidalgo, 2021).

2.2.13.6.2. Rascadillo

Esta labor que consiste en remover la capa superficial del suelo, permite eliminar malezas, y exponer a los huevos, larvas y adultos de insectos y nemátodos, como a los microorganismos que producen enfermedades a la acción de los controladores naturales (aves, lagartijas, sapos, etc. y a los rayos solares). Además, se posibilita el ingreso de aire al sistema de raíces, lo que contribuye a una mayor producción del cultivo (Hidalgo, 2021).

2.2.13.6.3. Fertilización complementaria

Se recomienda aplicar al cultivo de la oca de manera complementaria aspersiones foliares cada 8 a 15 días con una

rotación de abonos orgánicos artesanales: Biol, Abono de frutas y Té de estiércol. Las dosificaciones de los abonos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Aplicación foliar complementaria de abonos foliares en el cultivo de la Oca

| N° Ord | Tipo de abono | Dosis | Cantidad de agua | Cantidad Total Solución |
|--------|-----------------|--------|---------------------|----------------------------|
| 1 | Abono de frutas | 100 cc | 19,9 litros | 20 litros |
| 2 | Biol | 400 cc | 19,6 litros | 20 litros |
| 3 | Té de estiércol | 600 cc | 19,4 litros | 20 litros |

Fuente. Barrera et al., 2004.

2.3.13.6.4. Riegos

Respondiendo al estado del tiempo y al requerimiento del cultivo, los riegos se deben aplicar cada 12 a 15 días hasta la floración y luego cada 8 a 10 días, que es cuando el cultivo requiere de mayor humedad para que se produzcan la formación de los tubérculos. De acuerdo al período vegetativo, el número de riegos es variable, ya que este se ve influenciado por la capacidad de retención de humedad por el suelo. Los suelos arenosos requieren un mayor volumen de agua de riego que los suelos limosos. Si el método de riego disponible es por aspersión, este deberá aplicarse bien en horas de la mañana, o a avanzadas horas de la tarde, bajo condiciones de cielo nublado.

Por ningún motivo debe regarse con este método a pleno sol, pues se estarían creando las condiciones adecuadas para la aparición de enfermedades causadas por hongos. (Barrera et al., 2004).

2.2.13.6.5. Rotación y asociación de cultivos

Se han obtenido buenos resultados con las rotaciones: haba-oca, chocho-oca, quinua-oca y cereales-oca. En cuanto a asociaciones la oca se puede acompañar con habas, con maíz, con chocho, en forma alternada, esto es una mata del cultivo elegido y una mata de oca. (Barrera et al., 2004).

2.2.13.7. Cosecha

La época de cosecha es oportuna cuando se marchitan las hojas, lo que ocurre entre los 6 a 8 meses después de la siembra de acuerdo a la variedad. La oca se cosecha igual que la papa, pero los tubérculos tienden a ser más frágiles, es por ello que tienen que ser manipulados con cuidado al momento de proceder al cave para extraerlos. Si el objetivo de la cosecha de oca es para consumo inmediato, ésta se deberá hacer entre el tercer día de luna menguante, hasta el tercer día de luna nueva (noche oscura), pero si por el contrario la cosecha se va a destinar a semilla o almacenamiento, la cosecha de oca, se hará entre el cuarto día de luna creciente y el cuarto día de luna llena, pues en este estado el tubérculo tiene menos agua y hay menos riesgo de que se pudra (Barrera et al., 2004).

La época de cosecha es oportuna cuando se marchitan las hojas, lo que ocurre a los seis a siete meses de acuerdo a la variedad. El escarbe debe hacerse con mucho cuidado para no dañar a los tubérculos. Es importante la clasificación de tubérculos sanos para la selección de la semilla y destinar aquellos que están atacados por plagas o manchas, producto del ataque de gusanos, a la transformación y la alimentación animal. En diferentes pruebas de producción, la oca ha mostrado un gran potencial en la producción tanto de alimentos (hasta 50 t ha⁻¹ de tubérculos frescos) como de productos derivados como harinas e incluso alcohol. Con rendimientos conservadores de 20 t ha⁻¹ se puede obtener 4 a 5 toneladas de harinas, para reemplazar parcialmente la harina de trigo para panificación, de la que Perú y Bolivia son deficitarios. (Tapia y Frías, 2007).

2.3. Función de los macronutrientes en la planta

2.3.1 Nitrógeno

En la planta, el nitrógeno se encuentra fundamentalmente bajo forma orgánica. Las materias nitrogenadas de reserva están esencialmente constituidas por proteínas, que difieren según las especies vegetales. Pero el nitrógeno no se encuentra solo bajo forma proteica, sino también en forma de compuestos más simples, que constituyen los intermediarios entre los compuestos nitrogenados minerales absorbidos y las sustancias proteicas de síntesis. Así, el nitrógeno se encuentra en moléculas tan importantes como las purinas, pirimidinas, porfirinas, vitaminas, En los órganos vegetativos, de proteínas cloroplastidiales alcaloides y enzimas.

tales como las hojas, se encuentra al lado o citoplasmáticas, del 20 al 40 % de nitrógeno bajo la forma soluble, en gran parte como aminoácidos libres, y también como aminoácidos amidados (asparragina y glutamina). Bajo estas formas, las sustancias nitrogenadas sintetizadas en la hoja contribuyen a la síntesis de las proteínas (Navarro y Navarro, 2003).

El N es necesario en la síntesis de la clorofila y como parte de la molécula de la misma, la cual es la protagonista en el proceso de fotosíntesis. Esta clorofila tiene como función aprovechar la energía de la luz solar para no tener que requerir la energía de los carbohidratos presentes en la planta. Gracias a este proceso las plantas pueden nutrirse, absorbiendo el nitrógeno el cual es componente esencial de los aminoácidos, los cuales forman las proteínas las cuales estarán presentes en las plantas. Las semillas y las partes vegetativas con bajo contenido de proteínas tienen relación directa con bajos contenidos de N. Además, al presentarse deficiencia de N habrá baja producción de clorofila la cual es la responsable de la pigmentación verde oscuro en planta, la deficiencia en N resulta en clorosis (amarillamiento). Otro síntoma de deficiencia es crecimiento lento y plantas de menor tamaño, lo cual es poco deseable (PROAIN, 2020).

Las plantas absorben nitrógeno principalmente como amonio y nitrato. Una mezcla de ambas formas suele ser beneficiosa. Estas dos formas de nitrógeno difieren en su metabolismo en la planta, en la cual se convierten en aminoácidos. El amonio se metaboliza en las raíces y requiere más

oxígeno, mientras que el metabolismo del nitrato tiene lugar en las hojas. Además, la absorción de amonio y nitrato afecta de manera diferente el entorno de las raíces y la absorción de otros nutrientes. Por ejemplo, los cloruros compiten con el nitrato 1:1 en la absorción, ya que ambos llevan una carga negativa. De la misma manera, el potasio y otros nutrientes cargados positivamente compiten con el amonio (Sela, 2020).

Las grandes funciones del nitrógeno en la planta hay que considerarlas sobre la base de su participación como constituyente de un gran número de compuestos orgánicos que son esenciales en su metabolismo. Además de formar parte, como ya se ha visto, de la estructura moléculas tan importantes de todas las proteínas y de cómo las purinas y las pirimidinas, es componente de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), básicos para la síntesis proteica. El nitrógeno se encuentra también como constituyente de las clorofilas y enzimas del grupo de los citocromos (núcleo porfirínico), indispensables para la fotosíntesis y respiración; en varias coenzimas, como fosfato de piridoxal (transaminación aminoacídica) y los nicotinamida-adenin-dinucleótidos (NAD y NADP). Muchos fosfátidos, alcaloides, glucósidos, etc., son compuestos de nitrógeno, abundantes e importantes en la planta (Navarro y Navarro, 2003).

Es un elemento clave en la mayoría de reacciones metabólicas del vegetal, constituyente esencial de las paredes y protoplasma celular e integrante fundamental de la molécula de clorofila (Hernández y Chailloux 2010), generalmente es absorbido por las plantas mediante la mineralización en

forma de (NO_3) “nitratos” en la etapa juvenil y como (NH_4) “amonio” durante la etapa adulta (Giletto et al. 2013), posterior a su absorción el ion (NO_3) “nitrato” sufre una transformación química de reducción lo cual permite al vegetal utilizarlo en forma de aminoácidos para la síntesis de proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos, nucleótidos, amidas, aminas, carbohidratos, purinas, pirimidinas, alcaloides, coenzimas, vitaminas, pigmentos y amino-azucres (Rodríguez, 1998, Becerra-Sanabria et al., 2007).

2.3.2. Fósforo

El fósforo (P) es uno de los 17 nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Sus funciones no pueden ser ejecutadas por ningún otro nutriente y se requiere un adecuado suplemento de P para que la planta crezca y se reproduzca en forma óptima. El P se clasifica como un nutriente primario, razón por la cual es comúnmente deficiente en la producción agrícola y los cultivos lo requieren en cantidades relativamente grandes. La concentración total de P en los cultivos varía de 0.1 a 0.5 %. El P penetra en la planta a través de las capas externas de las células de los pelos radiculares y de la punta de la raíz. La absorción también se produce a través de las micorrizas, que son hongos que crecen en asociación con las raíces de muchos cultivos. El P es absorbido por la planta principalmente como ion ortofosfato primario $(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$, pero también se absorbe como ion fosfato secundario $(\text{HPO}_4^{=})$, la absorción de esta última forma se incrementa a medida que se sube el pH. Una vez dentro de la raíz, el P puede quedarse almacenado en esta área o puede ser transportado a las partes superiores de la planta. A través de varias reacciones químicas el P se incorpora a compuestos orgánicos como ácidos

nucleicos (ADN y ARN), fosfoproteínas, fosfolípidos, enzimas y compuestos fosfatados ricos en energía como la adenosina trifosfato (ATF). El P se mueve en la planta en forma de iones ortofosfato y como P incorporado en los compuestos orgánicos formados. De esta forma el P se mueve a otras partes de la planta donde estará disponible para más reacciones. La mayor parte lo absorben las plantas en forma de H_2PO_4^- y en menor proporción como HPO_4^{2-} . De hecho, la absorción del primero es diez veces más rápida que la del segundo, aunque hay que tener en cuenta que en ello influye notablemente el pH del suelo. Otras formas por las que el fósforo puede ser, posiblemente, absorbido por las plantas son: P_2O_5 , así como ciertos fosfatos orgánicos solubles. La exportación de fósforo por los cultivos, según datos obtenidos a este respecto, suele oscilar, por término medio, entre 4 y 6 Kg ha^{-1} ¹. La cantidad de 6 Kg ha^{-1} es aproximadamente el 0,4 % del contenido medio del fósforo en la capa arable de un suelo cultivado. Estos valores son notablemente más bajos que los correspondientes al nitrógeno (28 Kg ha^{-1} , aproximadamente el 0,9 % del contenido en la capa arable). En aquellos suelos donde se practica un cultivo intensivo, la eliminación de fósforo puede ser más elevada, y debe ser compensada con la adición de fertilizante (Navarro y Navarro, 2003).

Es un elemento de gran importancia ya que participa activamente en el proceso de la fotosíntesis como integrante enzimático Rubisco (ribulosa-1,5-bisfosfato) y PEP carboxilasa (fosfoenolpiruvato carboxiquinasa), es absorbido por las plantas en forma de ion ortofosfato monovalente (H_2PO_4^-) y en forma de ion ortofosfato divalente (HPO_4^{2-}) los cuales son utilizados en

la síntesis estructural de compuestos esenciales como enzimas, proteínas, lípidos, azúcares y ácidos nucleicos, además influye directamente en la división celular, el desarrollo, reproducción vegetal, formación-maduración del fruto y resistencia a fitopatógenos generada por su asociación físico-química co-existente con el nitrógeno (N) (Rodríguez, 1998).

Las plantas absorben el fósforo de la solución del suelo como el ion ortofosfato: HPO_4^- o H_2PO_4^- . La proporción en que estas dos formas están presentes en la solución del suelo depende del pH del suelo. Como se puede observar en la siguiente curva, el HPO_4^{2-} es predominante en un rango de pH de 7,0 y 10,0, mientras que el H_2PO_4^- , que es la forma más fácilmente absorbida, predomina en un pH de entre 5,0 y 6,0. La movilidad del fósforo en el suelo es muy limitada y, por lo tanto, las raíces pueden absorber solamente el fósforo de su entorno inmediato. Ya que la concentración del fósforo en la solución del suelo es baja, la mayor parte de la absorción del fósforo es activa, contra el gradiente de la concentración (es decir, la concentración del fósforo es mayor en las raíces que en la solución del suelo). La absorción activa es un proceso que consume energía, así que las condiciones que inhiben la actividad de las raíces, tales como las bajas temperaturas, el exceso de agua, etc., inhiben la absorción del fósforo (Sela, 2020).

La mayor parte del fósforo normalmente presente en los suelos no es aprovechable por las plantas, debido a su gran insolubilidad; y que el elemento, para que pueda ser asimilado, es necesario que se encuentre como

PO_4H_2^- ó HPO_4^{-2} en la disolución del suelo. En consecuencia, el mantenimiento de fósforo en éste será condición indispensable de una adecuada concentración planta adquiera el desarrollo satisfactor. (Navarro y Navarro, 2003).

2.3.3. Potasio

El papel del potasio en la planta es variado, pero todavía no se conocen bien ciertos aspectos del mismo. Sí se sabe que no desempeña una función específica, y que, a diferencia de otros elementos, como nitrógeno, fósforo o azufre, no entra en la constitución de los principios esenciales (prótidos, lípidos y glúcidos). Debido a su gran movilidad, actúa en la planta, básicamente, neutralizando los ácidos orgánicos resultantes del metabolismo, y asegura así la constancia de la concentración en H de los jugos celulares (Navarro y Navarro, 2003). La extracción por el cultivo suele ser tres o cuatro veces la del fósforo y similar a la del nitrógeno. Cifras concretas no pueden darse, pero valores comprendidos entre 75 y 110 Kg ha⁻¹ como K₂O son normales. En algunos casos, estas pérdidas pueden incrementarse notablemente por otra causa. En aquellos suelos donde ha habido un aporte grande de fertilizantes potásicos, puede haber lo que corrientemente se conoce como "consumo de lujo". Este término significa que muchas plantas pueden continuar absorbiendo un elemento en cantidades que exceden de lo que se requiere para su crecimiento Óptimo. El resultado es una acumulación del elemento en la planta, sin que ello suponga un aumento de la cosecha en ningún caso. Esto ocurre frecuentemente con el potasio. La cantidad de este elemento requerido para que el rendimiento sea óptimo se denomina "potasio requerido". Todo el potasio consumido por

encima de este nivel el crítico es considerado como "de lujo", pues su absorción es totalmente inútil (Navarro y Navarro,2003).

El potasio está involucrado en muchos procesos en las plantas, desde la regulación del agua hasta la producción de energía. Sus papeles incluyen: a) Regula la apertura/cierre de las estomas: Con el fin de abrir las estomas, el potasio se bombea de forma activa hacia las células guardas (las células que rodean las estomas). Esto reduce el potencial osmótico dentro de la célula y el agua entra a ella. Las estomas se cierran cuando el potasio se bombea fuera de las células guarda, b) Influye el proceso de fotosíntesis y la respiración: El potasio afecta el intercambio de gases (CO_2 y O_2) con la atmósfera, regulando la apertura y el cierre de las estomas. Además, el potasio participa en la síntesis de ATP (trifosfato de adenosina), una molécula que todas las células necesitan para obtener energía, c) Regula y mejora la absorción de agua: El potasio que se acumula en las células de la raíz hace que el agua ingrese a la raíz, d) Activa las enzimas: El potasio es necesario para la activación de muchas enzimas. Cambia la estructura tridimensional de las enzimas y, como resultado, aumenta su velocidad de reacción y afinidad por el sustrato, e) Requerido para el metabolismo de las proteínas. Cuando no hay suficiente suministro de potasio, la síntesis de proteínas se detiene (Sela, 2020).

Es un elemento catalizador o activador enzimático dentro de los enlaces iónico del piruvato quinasa en el proceso de respiración celular, así como también en el metabolismo de los carbohidratos y la regulación de los procesos fotosintéticos (fosforilación), además de la turgencia, presión osmótica y pH en las células del

vegetal (Alexander, 1973), es absorbido en forma de ion K^+ para la producción de fosfatos de alta energía (ATP) usados para el metabolismo celular (Pérez et al., 2009).

2.3.4. Calcio

Las plantas absorben el calcio como ion Ca^{2+} , dicha absorción es disminuida por la presencia de iones K^+ , Mg^{2+} y NH_4^+ en la disolución del suelo. Por ello, se recomiendan relaciones Ca/K y Ca/Mg, que deben estar entre 5-25 y 2-5, respectivamente. Incluso cuando la concentración de Ca^{2+} sea alta, altas concentraciones de Mg^{2+} o Al^{3+} pueden entorpecer la absorción de Ca^{2+} por la planta. La presencia de calcio intercambiable depende de la naturaleza del sitio de intercambio, del grado de saturación de Ca^{2+} de los iones complementarios presentes y del contenido de aniones en la disolución del suelo (Masias et al., 2017).

Sela (2020) manifiesta que el calcio es un nutriente esencial para las plantas. Se clasifica como nutriente secundario. Tiene varias funciones importantes en las plantas:

- Fortalece la estructura de la pared celular formando compuestos de pectato de calcio, los cuales estabilizan las estructuras de la pared celular y mantienen unidas las células adyacentes.
- Promueve el alargamiento celular.
- Toma parte en la regulación estomática.
- Participa en los procesos metabólicos de absorción de otros nutrientes.
- Participa en los procesos enzimáticos y hormonales.

- Ayuda a proteger la planta contra el estrés de temperatura alta - el calcio participa en la inducción de proteínas de choque térmico.
- Ayuda a proteger la planta contra las enfermedades - numerosos hongos y bacterias secretan enzimas que deterioran la pared celular de los vegetales.
- Investigaciones demostraron que un nivel suficiente de calcio puede reducir significativamente la actividad de estas enzimas y proteger las células de la planta de invasión de patógenos.
- Afecta la calidad de la fruta.

El calcio es esencial para las funciones normales de la membrana en todas las células, probablemente como un enlazador de fosfolípidos entre sí o a proteínas de las membranas. Se estima que la concentración de calcio en el citosol debe ser, por lo común, menor a 1 $\mu\text{mol/L}$ (1 μM). En las células, la mayoría del calcio se encuentra en la vacuola central y unida a las paredes celulares con polisacáridos llamados pectatos. En las vacuolas, el calcio muchas veces precipita en forma de cristales insolubles de oxalatos y en algunas especies como carbonatos, fosfatos o sulfatos insolubles. Las concentraciones bajas, casi micromolares de Ca^{2+} en el citosol, al parecer deben mantenerse en parte para impedir la formación de sales de calcio insolubles a partir del ATP y otros fosfatos orgánicos; además, las concentraciones de Ca^{2+} por encima del intervalo micromolar inhiben la corriente citoplasmática. Si bien unas pocas enzimas son activadas por el Ca^{2+} muchas otras son inhibidas, y esta inhibición hace aún más necesario que las células mantengan concentraciones muy bajas de Ca^{2+} en el citosol donde existen muchas enzimas (Salisbury y Ross, 2000, citado por Masias et al., 2017).

2.3.5. Magnesio

Las plantas absorben el magnesio en su forma iónica Mg^{+2} , que es la forma de magnesio disuelto en la solución del suelo. La absorción de magnesio por las plantas está dominada por dos procesos principales:

- Absorción pasiva, impulsada por la corriente de transpiración.
- Difusión, movimiento de iones de magnesio desde zonas de alta concentración hacia zonas de menor concentración.

Por lo tanto, las cantidades de magnesio que la planta puede absorber dependen de su concentración en la solución del suelo, así como en la capacidad del suelo para reponer la solución de magnesio del suelo (Sela, 2020).

Es un elemento poco considerado en los planes de fertilización, aun cuando se han identificado numerosos procesos fisiológicos en los que interviene, por ejemplo, participa en: la fosforilación (formación de ATP en los cloroplastos), fijación fotosintética del dióxido de carbono (CO_2), síntesis de proteínas, formación de clorofila, recarga del floema, partición y asimilación de productos de la fotosíntesis, y foto-oxidación de los tejidos de las hojas. También la enzima ribulosa 1,5-bifosfato carboxilasa (RuBP), comúnmente conocida como RuBisco, solo se activa en presencia de Mg, esta es muy importante para realizar el proceso de fotosíntesis. (Fernández y Brown, 2013).

El magnesio forma parte del denominado grupo de las bases del suelo y cumple una función notable en la formación de compuestos químicos muy activos dentro de la planta, responsables de la regulación de procesos como la respiración y la fotosíntesis. Las principales formas de magnesio en el

suelo son el Mg^{2+} mineral, el Mg^{2+} de la disolución del suelo y el Mg^{2+} intercambiable. En el suelo, el magnesio compite por los sitios de intercambio con el calcio, con el potasio y con los iones responsables de la acidez. El poder amortiguador del suelo está influenciado directamente por su contenido coloidal y con la capacidad de intercambio que posea (Navarro y Navarro, 2003); en consecuencia, el Mg^{2+} está directamente relacionado con la capacidad amortiguadora del suelo (capacidad buffer) ante la acidificación (Masias et al., 2017).

2.3.6. Azufre

En las plantas se ha encontrado una estrecha relación entre el estado nutricional del nitrógeno y el del azufre (Rendig et al., 1976; Reuveny et al., 1980); alrededor del 80% del nitrógeno y azufre incorporados en compuestos orgánicos de las plantas lo hacen en las proteínas cuando ambos elementos se encuentran en proporciones adecuadas. Muchas plantas cultivadas, incluyendo la raíz, poseen un cociente $S_{orgánico}/N_{orgánico}$ en el rango de 0,025 (leguminosas) a 0,032 (gramíneas) aproximadamente, siendo constante de una especie a otra; en consecuencia, la cantidad real de azufre requerido por una planta depende en gran medida de la cantidad de nitrógeno aportado (Rennenberg, 1984). Al parecer, el azufre es metabolizado por las raíces solo hasta satisfacer los requerimientos nutricionales; el exceso de sulfato se transporta sin cambio hacia las partes aéreas en el xilema. En algunas especies, el azufre no se redistribuye con facilidad a partir de tejidos maduros, por lo que la deficiencia casi siempre se nota primero en las hojas más jóvenes; sin embargo, en otras especies la mayor parte de las hojas se vuelven cloróticas (hojas de color amarillo

producto de la deficiencia de clorofila) casi al mismo tiempo, o incluso las hojas más antiguas primero (Salisbury y Ross, 2000). Adicionalmente, los estomas de las hojas pueden absorber azufre como dióxido de azufre (SO_2) gaseoso. Una vez en la hoja, en el interior de las células, el SO_2 reacciona con el agua y se transforma a ion bisulfito (HSO_3^-), el cual inhibe la fotosíntesis y provoca la destrucción de clorofila (Masias et al., 2017).

(Sela, 2020) dice que el azufre tiene múltiples funciones en las plantas. Sus funciones principales son:

- Se encuentra en algunos aminoácidos, los bloques de construcción de las proteínas. La mayor parte del azufre absorbido por las plantas, aproximadamente el 90%, se utiliza para este propósito.
- El azufre es esencial para la formación de la clorofila. Es un constituyente principal de una de las enzimas necesarias para la formación de la molécula de clorofila.
- Es esencial para la síntesis de los aceites en las plantas, especialmente en cultivos de aceite.
- Está activo durante el metabolismo del nitrógeno

2.3.7. Forma de absorción de macronutrientes por la planta

El N es absorbido preferentemente por las plantas como nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). Sin embargo, puede ser absorbido también como aminoácidos, péptidos o urea (Miller y Cramer, 2004). El P se encuentra como H_2PO_4^- . Alrededor del 90% del P en el suelo no está disponible para las plantas, ya que se encuentra lijado fuertemente a las partículas de suelo o precipita en compuestos de Al o Fe altamente

insolubles. El K es absorbido por las plantas como ion K^+ . El Ca es absorbido por las plantas como Ca^{+2} . El Mg es absorbido por las plantas como Mg^{+2} y el azufre como ion sulfato (SO_4^{-2}). (Albornoz, 2014).

2.4. Índice de cosecha de macronutrientes en el cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina)

Calvache y Valle (2021) manifiestan que una curva de absorción de nutrientes es la representación gráfica de la cantidad de nutrientes extraídos por una planta durante su ciclo de vida, esta no constituye una herramienta de diagnóstico como el análisis foliar, más bien contribuyen a dar solidez a los programas de fertilización, debido a que constituyen las cantidades mínimas a las que el cultivo debe tener acceso para producir un determinado rendimiento. Conocer el comportamiento de estas curvas, permite identificar las épocas de mayor demanda y absorción nutrimental durante las diferentes etapas fenológicas de la planta. La extracción de nutrientes de los cultivos dentro de un mismo género no varía sustancialmente, pero cada curva es específica para cada variedad. El Índice de Cosecha (I.C.) se obtiene dividiendo el peso de la semilla para el peso en seco de toda la planta y la FAO (1996), encontró valores para quinua en promedio de 0,30 con variaciones de 0,21 a 0,45 dependiendo de las variedades. Sin embargo, no existe información disponible de los Índices de Cosecha con macro-nutrientes N, P, K, Ca y Mg para granos de diferentes variedades de quinua y diferentes fertilizaciones.

2.5. Definición de términos básicos

Macronutrientes:

Corresponden a especies que la planta requiere en mayores cantidades. Los elementos esenciales para las plantas incluyen carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (Masias et al., 2017).

Micronutrientes:

Los elementos: cobre, hierro, manganeso, zinc y boro, son utilizados por las plantas en muy pequeñas cantidades, por esta razón se conocen como micronutrientes o elementos menores. Sin embargo, esto no significa que los micronutrientes sean menos necesarios para las plantas; al igual que los macronutrientes la falta de uno de estos elementos menores en la nutrición de la planta, puede afectar el crecimiento y desarrollo de los cultivos. (Arévalo y Castellano, et al, 2009).

Fertilidad del suelo.

Un suelo se puede considerar fértil cuando contiene los nutrientes necesarios para que las plantas se desarrollen bien (FAO, 1996). Sin embargo, la fertilidad de un suelo no se limita a la mera existencia de los nutrientes en este, pues otros aspectos químicos, físicos y biológicos actúan simultáneamente, en armónica interrelación con la presencia de nutrientes, para determinar la fertilidad del suelo (Masias et al., 2017).

Absorción de nutrientes por la planta

Las plantas absorben nutrientes en diferentes proporciones a lo largo de su ciclo de desarrollo. En general, la tasa de absorción es menor al comienzo del ciclo de crecimiento, y esta aumenta durante el desarrollo de la fruta y cae justo antes de la

cosecha. Además, las tasas de absorción de nutrientes individuales varían a lo largo del ciclo de crecimiento. Por ejemplo, las plantas requieren más nitrógeno durante las etapas de establecimiento y crecimiento vegetativo, mientras que el potasio se requiere en mayores cantidades durante el período de fructificación (Sela, 2020).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del Ámbito de Estudio

El área de estudio se localiza en la zona conocida como La Huerta, en el Caserío La Victoria, Centro Poblado Villa Libertad, distrito de La Encañada, provincia y región Cajamarca, en la sierra norte del Perú a 3413 msnm.

Geográficamente, la investigación se localiza en un polígono cuyas coordenadas UTM son: punto A 797445 m Este y 9217163 m Norte, punto B 797435 m Este y 9217163 m Norte, punto C 797435 m Este y 9217203 m Norte y punto D 797445 m Este y 92172023 m Norte.

Figura 1

Ubicación de la parcela experimental

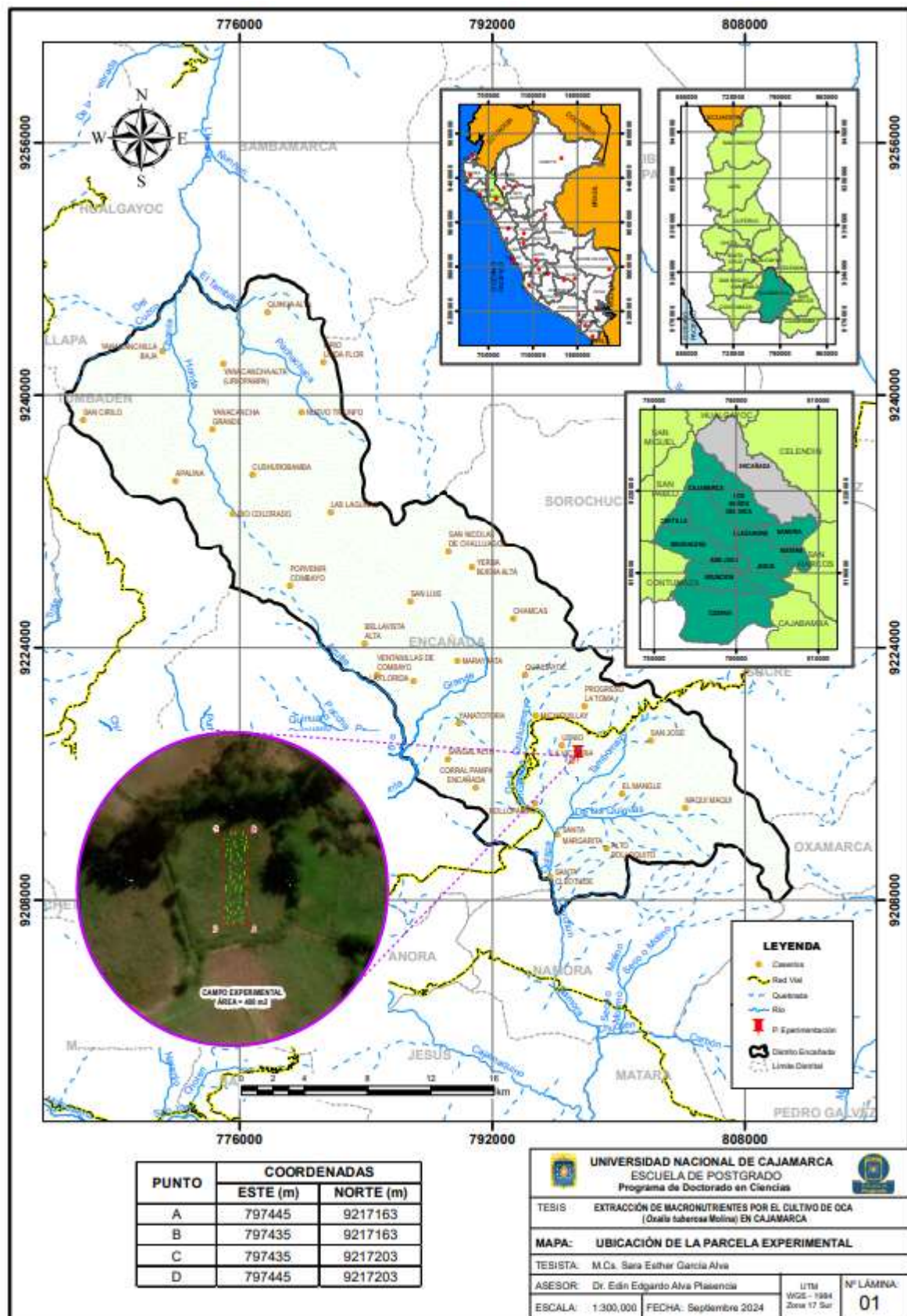
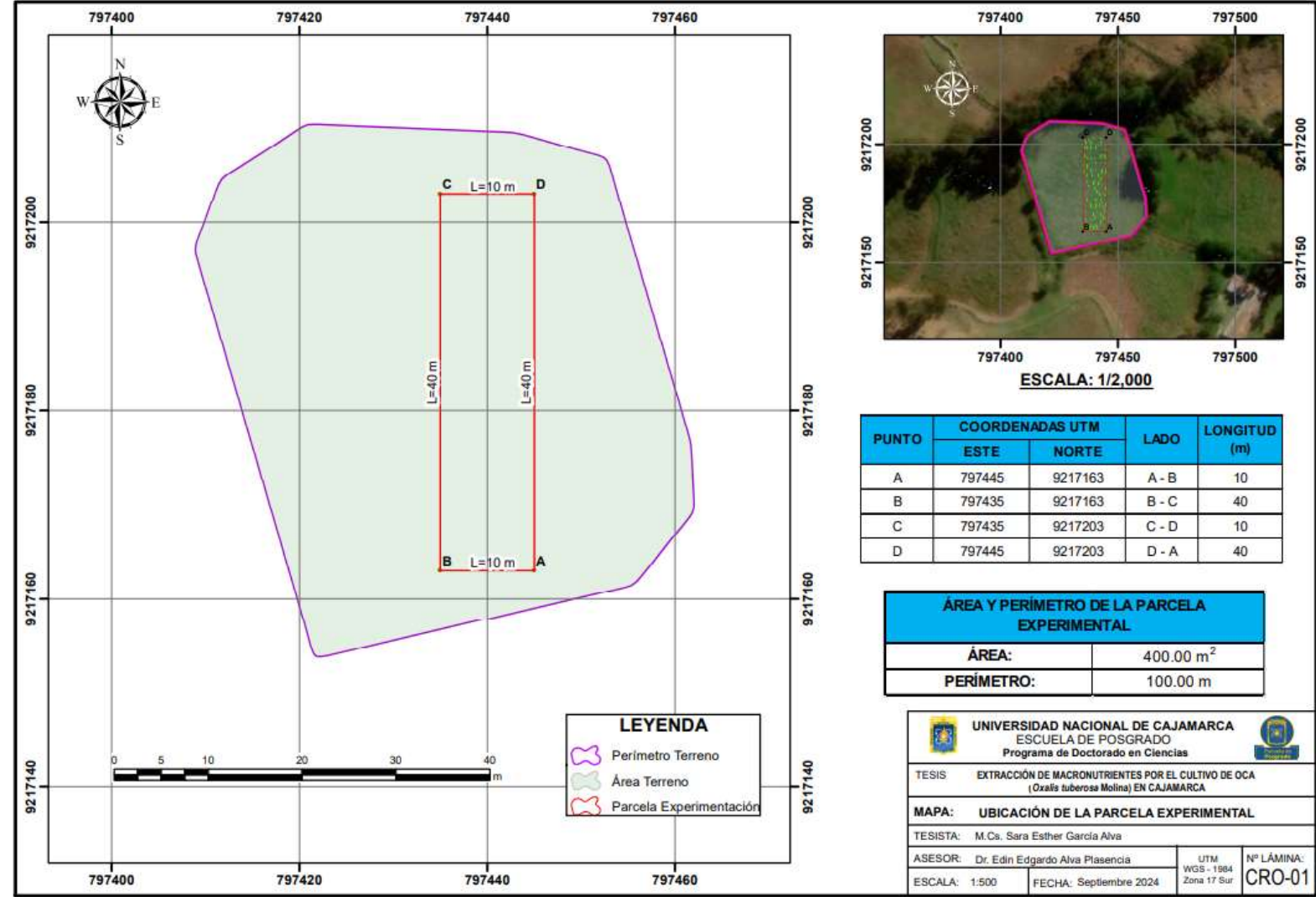


Figura 2

Croquis de la Ubicación de la parcela experimental



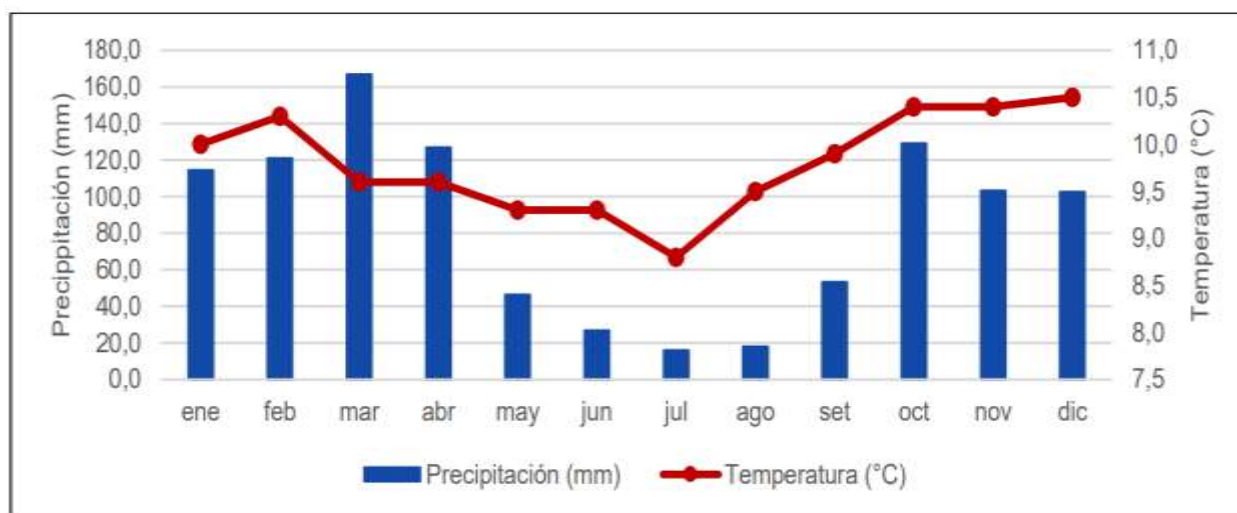
3.2. Características climáticas y geológicas

3.2.1. Clima.

En el área de estudio, los veranos son largos, frescos y nublados y los inviernos son cortos, muy frío, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y rara vez baja a menos de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ o sube a más de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. El patrón de precipitaciones tiene un régimen estacional a lo largo del año, la temporada de precipitaciones se inicia en octubre extendiéndose a abril, y el estiaje empieza en mayo y se extiende hasta setiembre, además, las precipitaciones promedio mensuales fluctúan desde 16 mm (julio) hasta 166,9 mm (marzo), tal como se observa en la Figura 3.

Figura 3

Precipitación y Temperatura en el área de estudio



Fuente. SENAMHI, 2023.

3.2.2. Geológicas

La parcela experimental está enmarcada dentro de la Formación Yumagual, un conjunto litológico de gran relevancia en el norte del Perú, el mismo que pertenece:

- **Eón:** Fanerozoico
- **Era:** Mesozoica
- **Período:** Cretácico
- **Época:** Cretácico Superior

Durante este período, gran parte de la región estaba sumergida bajo mares cálidos y someros que favorecieron la acumulación de sedimentos marinos ricos en carbonatos y materiales finos, que hoy conforman esta formación (Quispe y López, 2017).

FORMACION YUMAGUAL (Ks – yu)

Esta formación se compone de una sucesión de margas y calizas de tonalidades gris parduzcas, dispuestas en bancos relativamente uniformes. Resalta un miembro intermedio caracterizado por materiales lutíticos y margosos de color amarillento. Aunque el conjunto es bastante homogéneo, su dureza uniforme da lugar a la formación de escarpas en ciertos sectores. Además, se pueden observar horizontes con nodulaciones calcáreas. El espesor total de esta formación es de aproximadamente 700 metros (Cruzado y Crisólogo, 2009).

3.3. Equipos y Materiales

3.3.1. Equipo de campo

- Pico y Zapapico
- Rastrillo
- Palana
- Wincha
- Malla
- Estacas

- GPS
- Oca amarilla

3.3.2. Laboratorio y gabinete

- Materiales de escritorio
- Equipo de microkjeldahl
- Equipo Destilador y Titulador
- Reactivos químicos
- Computadora
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Etiquetas

3.3.3 Fertilizantes

- Urea (46 % N)
- Fosfato de amonio (18 %N ; 46 % P_2O_5)
- Superfosfato triple de calcio (46 % P_2O_5)
- Cloruro de potasio (60 % K_2O)

3.4. Metodología.

El experimento se desarrolló en tres etapas:

3.4.1. Fase de Campo

- Se procedió a identificar el lugar para instalar el experimento, que reúna las condiciones edáficas y climáticas requeridas por el cultivo.
- Se procedió a tomar las muestras de suelo antes de la siembra para remitirlas al laboratorio para su análisis.

- Seguidamente se preparó el terreno, con yunta, hasta dejarlo en óptimas condiciones para la siembra.
- La siembra se realizó el 20 de octubre del 2020, colocando un (01) tubérculo de oca en el fondo del surco a distanciamiento de 0,40 m. la variedad de semilla fue la amarilla. Así mismo se colocó, la mitad del nitrógeno de cada dosis y todo el fósforo y potasio.
- El deshierbo se realizó el día 19 de diciembre de manera manual, tratando de eliminar todas malezas y se aplicó la segunda mitad de nitrógeno de la cada una de la dosis en estudio.
- La cosecha se realizó el día 17 de julio del 2023, se cosechó los dos surcos centrales de cada parcela, sin considerar las dos plantas extremas de cada surco. En esta actividad, se tomaron las muestras de planta considerando: hoja, tallo, raíz y tubérculos, de cada tratamiento y repetición, al igual que las muestras del suelo, para ser remitidas al laboratorio para el respectivo análisis.

3.4.2. Fase de Laboratorio

En esta etapa se realizaron los análisis de las muestras de suelo y de planta correspondientes. Los métodos utilizados según determinación fueron:

- **Análisis de suelo**

| | | |
|-------------------------|---|---------------------------------|
| Textura | : | Hidrómetro de Bouyoucus |
| pH | : | Potenciómetro |
| Aluminio intercambiable | : | Extracción con KCl |
| Calcáreo total | : | Gaso-volumétrico con calcímetro |
| C.E. | : | Salómetro |
| Materia orgánica | : | Walkley y Black |

| | | |
|--|---|----------------------------------|
| Nitrógeno total | : | Microkjeldahl |
| Fósforo disponible | : | Olsen modificado |
| Potasio disponible | | Saturación con acetato de amonio |
| CIC | | Acetato de amonio. 1N, pH=7,0 |
| Bases cambiables | | Absorción atómica |
| Cationes solubles (Ca ⁺² , Mg ⁺² , K ⁺ , Na ⁺) | | Absorción atómica |

- **Análisis de planta**

| | | |
|-----------|---|------------------------------|
| Nitrógeno | : | Método Kjeldahl |
| Fósforo | : | NOM-021-RECNAT-2000 |
| Metales | : | Metales MP-AES 4210/EPA 3050 |

3.4.3. Fase de gabinete final

Esta fase consistió ordenar toda la información bibliográfica teórica, que forma parte del marco teórico, luego ordenar la información de los resultados de los análisis de suelo y finalmente la información del análisis de los nutrientes en cada una de las partes de la planta consideradas. Dicha información ha sido procesada, ordenada y presentada en tablas y figuras y discutida finalmente.

3.5. Características del campo experimental

Surcos

- Número de surcos : 6 por parcela
- Longitud : 5.0 m
- Ancho : 0.80 m

Parcela

- Número/ bloque : 04
- Total/ experimento : 12
- Ancho : 4.0 m
- Largo : 5.0 m
- Área de parcela : 20.0 m²

Bloques

- Número : 3
- Largo : 24.0 m
- Ancho : 5.0 m
- Área de bloque : 120.0 m²
- Área total experimento 440.0 m²

3.5.1. Diseño experimental

El experimento se instaló bajo el diseño bloque completo al azar con 3 tratamientos y 3 repeticiones.

3.5.2. Tratamientos en estudio

Tabla 5

Tratamientos en estudio

| Tratamiento | Descripción | N (kg ha ⁻¹) | P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) | K ₂ O (kg ha ⁻¹) |
|----------------|-------------|--------------------------|--|---|
| T ₀ | Testigo | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| T ₁ | Dosis baja | 80 | 60 | 40 |
| T ₂ | Dosis media | 160 | 120 | 80 |
| T ₃ | Dosis alta | 240 | 180 | 120 |

3.5.3. Descripción de los tratamientos en estudio

- T₀. Testigo (cultivo de oca sin fertilización)
- T₁. Cultivo de oca con dosis de fertilización baja
- T₂. Cultivo de oca con dosis de fertilización media
- T₃. Cultivo de oca con dosis de fertilización alta

3.5.4. Distribución de tratamientos

Tabla 6

Distribución de tratamientos en el campo experimental

| I | II | III |
|----------------|----------------|----------------|
| T ₁ | T ₂ | T ₀ |
| T ₃ | T ₀ | T ₂ |
| T ₂ | T ₃ | T ₁ |
| T ₀ | T ₁ | T ₃ |

Figura 4

Pesado de Fertilizantes



Figura 5

*Siembra del cultivo de Oca (*Oxalis tuberosa*. Molina) - Inicio*



Figura 6

Siembra del cultivo de Oca (Oxalis tuberosa. Molina) - Final



Figura 7

Deshierbo del cultivo de Oca (Oxalis tuberosa. Molina)



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Concentración de macronutrientes (N, P, K Ca, Mg) en el cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina)

4.1.1. Concentración de macronutrientes en la raíz del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), según tratamiento

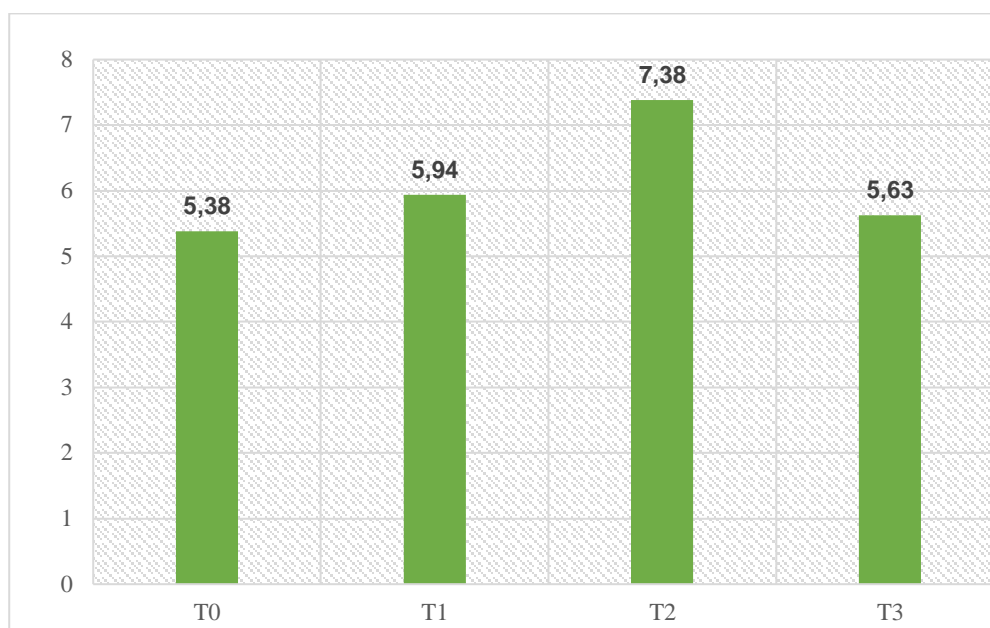
Tabla 7

Concentración de macronutrientes en la raíz del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), según tratamiento.

| Macronutriente | Unid | T0 | T1 | T2 | T3 |
|----------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| N | % | 5,38 | 5,94 | 7,38 | 5,63 |
| P | mg kg ⁻¹ | 4 468,7 | 1 210,7 | 3 942,3 | 1 254,5 |
| K | mg kg ⁻¹ | 10 429,1 | 14 152,5 | 12 523,9 | 16 952,6 |
| Ca | mg kg ⁻¹ | 33 784,1 | 1 718,3 | 17 938,9 | 2 293,4 |
| Mg | mg kg ⁻¹ | 3 069,3 | 905,8 | 1 843,1 | 972,5 |

Figura 8

Concentración de N (%) en la raíz según tratamiento

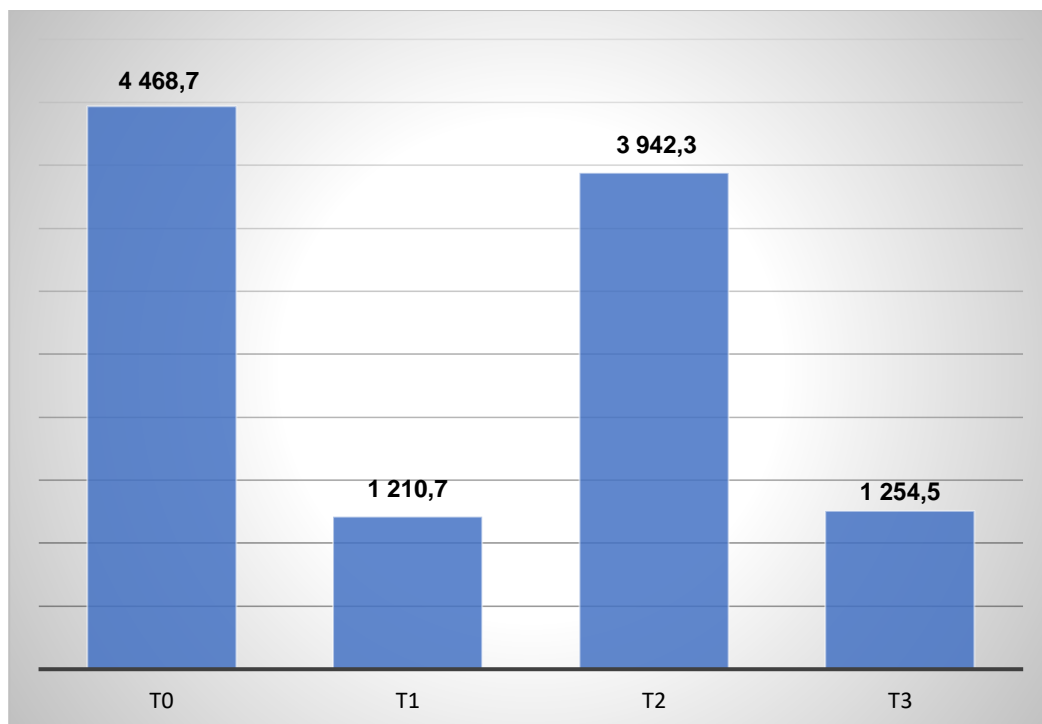


En la tabla 7 y figura 8 se aprecia que la aplicación de N ha influido en la absorción de este elemento por la planta, en especial la dosis media de N (160 kg ha^{-1}), donde la concentración es la máxima. Este tratamiento con respecto al testigo, lo ha superado en 37.17%; sin embargo, con dosis alta de N, observamos que la concentración ha disminuido, lo que indica que no hay respuesta de este cultivo a la aplicación de N. por ello, la oca responde a niveles medios de nitrógeno, pero no a niveles altos. El exceso de nitrógeno puede hacer que las plantas se concentren en la producción de hojas y tallos, retrasando la floración y la producción de tubérculos, que son la parte comestible

El rendimiento alcanzado en tubérculos de oca según tratamiento fue: testigo, $T_0 = 2,2 \text{ t ha}^{-1}$; dosis baja, $T_1 = 8,5 \text{ t ha}^{-1}$; dosis media $T_2 = 18,6 \text{ t ha}^{-1}$ y dosis alta $T_3 = 20,1 \text{ t ha}^{-1}$.

Figura 9

Concentración de P (mg kg^{-1}) en la raíz según tratamiento



En la tabla 7 y figura 9 se aprecia que la aplicación de fósforo ha tenido un comportamiento irregular. En el T₂ (dosis media) donde se aplicó 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 la concentración es mayor respecto a los demás tratamientos. Este dato nos demuestra que, posiblemente estas plantas desarrollaron un mejor sistema radicular, lo que facilitó la mayor absorción de agua y nutrientes.

Para el caso de la papa, INTI (s/f) considera que el cultivo de papa extrae fósforo en un 0.2% del peso del tubérculo y 0.6% del peso del rastrojo seco. La alta demanda de fósforo por parte del cultivo de papa se debe a una baja eficiencia, la cual está relacionada con varios aspectos.

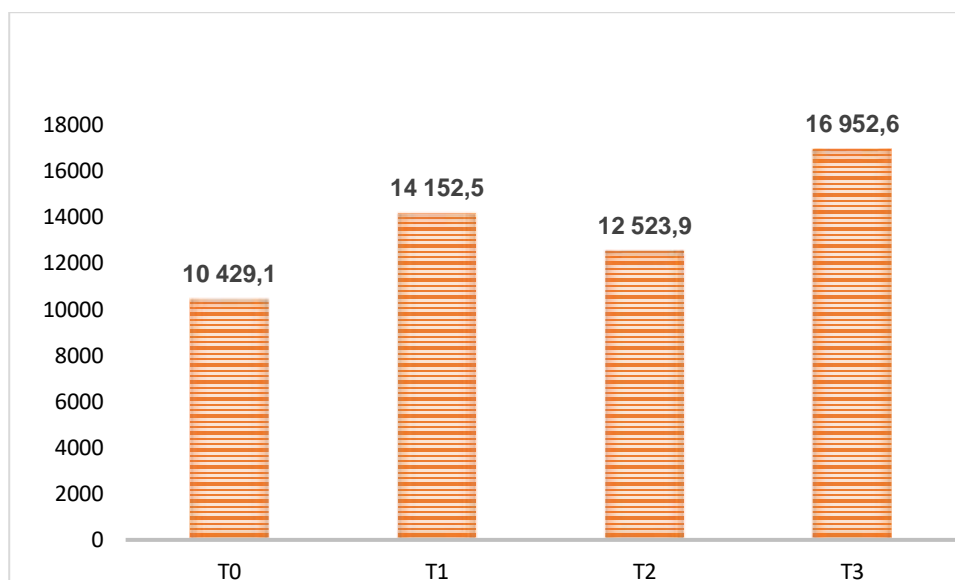
- Del fertilizante aplicado, solo del 15% al 20% es tomado por el cultivo.
- Las formas de P insolubles no son disponibles para el cultivo.

- En suelos ácidos, hierro (Fe) y Aluminio (Al) fijan el P.
- Es importante que haya suficiente P, especialmente en épocas de alta demanda.

En general, la papa es poco eficiente en la absorción de fósforo. Esta eficiencia está afectada debido a la longitud y densidad de raíces y la actividad bioquímica en la rizosfera. Altas aplicaciones de fósforo pueden causar altos costos en general del fósforo y acumulación del elemento en el suelo. Por tanto, es muy importante incrementar la eficiencia de la fertilización con fósforo.

Figura 10

Concentración de K (mg kg^{-1}) en la raíz según tratamiento

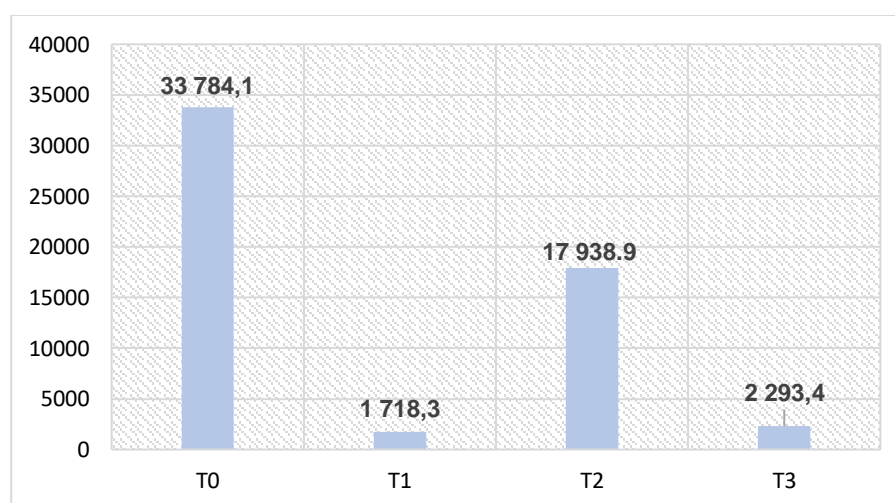


En la tabla 7 y figura 10 se aprecia que la aplicación de potasio ha influido positivamente en la absorción de este elemento por la planta, en especial la dosis alta de K_2O (120 kg ha^{-1}), donde la concentración se incrementa hasta alcanzar 62.6% más con respecto al testigo. Inostroza (2009) dice que es posible señalar que el potasio es extraído en mayor cantidad por la papa, con 175 a 396 unidades de

K₂O, luego sigue nitrógeno 108 a 288 U. de N y finalmente el fósforo con 43 a 128 U. de P₂O₅. En las condiciones de siembra en suelos ácidos el nutriente más utilizado es el fósforo debido fundamentalmente a los problemas de fijación de este en estos suelos. Sin embargo, la fertilización nitrogenada y potásica también es importante debido a los altos niveles de extracción del cultivo. Además, de los datos obtenidos por Tisdale y Nelson (2016), se desprende que la devolución de nutrientes al suelo vía follaje es importante y representa alrededor de un 60% del nitrógeno, 70% del fósforo, 75% del potasio, 35% del magnesio y de un 50% del azufre.

Figura 11

Concentración de Ca (mg kg⁻¹) en la raíz según tratamiento

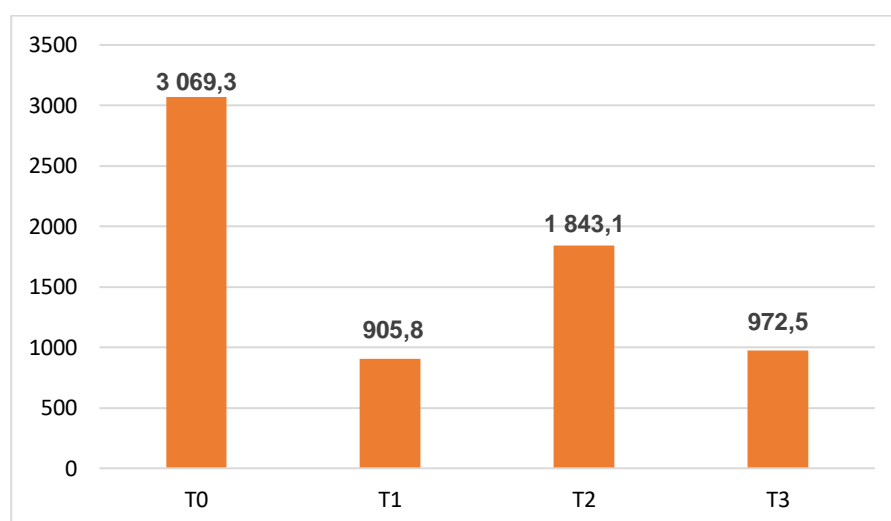


En la tabla 7 y figura 11 se muestra que la concentración de Calcio en la raíz, pese que no se aplicó este nutriente, las raíces de las plantas concentran la mayor cantidad de Ca. Posiblemente haya ocurrido que la aplicación de los fertilizantes químicos influyó en el pH del suelo, lo que limitó la disponibilidad de este elemento en el suelo y por lo tanto la absorción por la planta. APROPEDIA (s/f),

dice que las formas amargas de la oca contienen cantidades apreciables de oxalato de calcio y se ha informado que la mayoría de las formas son una fuente importante de calcio y hierro en la dieta de los indios andinos, aunque las pocas cifras disponibles no muestran proporciones excepcionalmente altas de estos elementos. La composición de la porción comestible de los tubérculos de oca es: energía 264 kJ/100 g; agua 83,8 por ciento; proteína 1 por ciento; grasas, 0,6 por ciento; carbohidratos 13,8 por ciento; fibra, 0,8 por ciento; cenizas 0,8 por ciento; calcio 4 mg/100 g; hierro 0,8 mg/100 g; fósforo 34 mg/100 g; rastros de vitamina A; tiamina 0,05 mg/100 g; riboflavina 0,07 mg/100 g; niacina 0,4 mg/100 g; ácido ascórbico 37 mg/100 g.

Figura 12

Concentración de Mg (mg kg^{-1}) en la raíz según tratamiento



En la tabla 7 y figura 12 se aprecia que la concentración de magnesio en la raíz, pese que no se aplicó este nutriente, las raíces de las plantas del testigo, concentran la mayor cantidad de Mg. Además, tuvo un comportamiento similar a la del calcio. La explicación sería similar a la anterior, posiblemente haya ocurrido que la

aplicación de los fertilizantes químicos influyó en el pH del suelo, lo que limitó la disponibilidad del Mg en el suelo y por lo tanto la absorción por la planta. (Havlin, 1999) dice los niveles de Mg en el suelo varían entre 0.1 y 4%. El Mg está presente en distintas fracciones en el suelo, el Mg estructural, Mg de reserva, Mg no cambiante, Mg intercambiable, Mg en la materia orgánica y el Mg en solución. Su deficiencia se puede presentar en suelos arenosos, suelos ácidos con baja capacidad de intercambio catiónico, suelos muy alterados, suelos calcáreos con bajos niveles de Mg, suelos que reciben fertilización intensiva con Potasio, Calcio o Amonio y en suelos cultivados con plantas muy exigentes en Mg.

4.1.2. Concentración de macronutrientes en el tallo del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina)

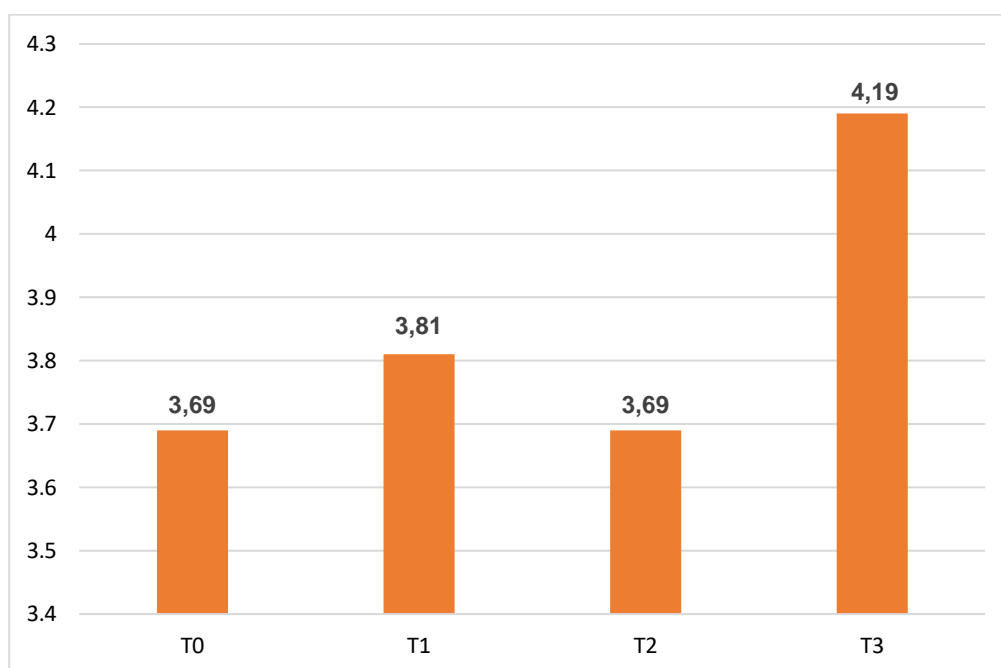
Tabla 8

Concentración de macronutrientes en el tallo del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina)

| Macronutrientes | Unid | T0 | T1 | T2 | T3 |
|-----------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| N | % | 3,69 | 3,81 | 3,69 | 4,19 |
| P | mg kg ⁻¹ | 3 357,6 | 1 911,8 | 1 406,8 | 894,8 |
| K | mg kg ⁻¹ | 39 774,3 | 43 442,4 | 57 486.9 | 51 478,5 |
| Ca | mg kg ⁻¹ | 54 116,1 | 38 337,6 | 30 992.2 | 36 503,4 |
| Mg | mg kg ⁻¹ | 3 452,3 | 3 052,3 | 1 949.6 | 2 501,5 |

Figura 13

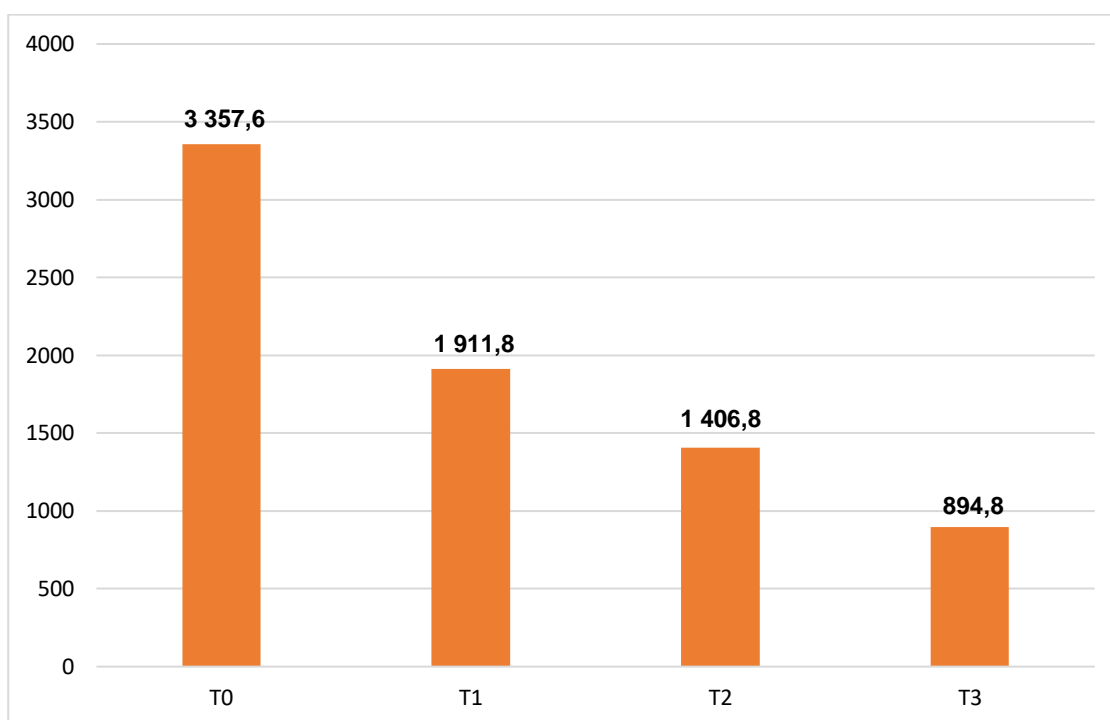
*Concentración de N (%) en el tallo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) según tratamiento.*



En la tabla 8 y figura 13 se aprecia que la aplicación de nitrógeno ha influido en la absorción de este elemento por la planta, en especial la dosis alta de N (240 kg ha^{-1}), de manera regular la concentración de N en el tallo, se incrementa a medida que la dosis aplicada, alcanzando la dosis alta, un 13.6% más con respecto al testigo. Inostroza (2009), con relación a la papa dice que en la papa el nitrógeno se concentra principalmente en los tubérculos, estimándose que el 80% del nitrógeno adsorbido se vuelve a encontrar en ellos. La extracción del nutriente por el cultivo fluctúa entre los 96 y 120 kg/ha.

Figura 14

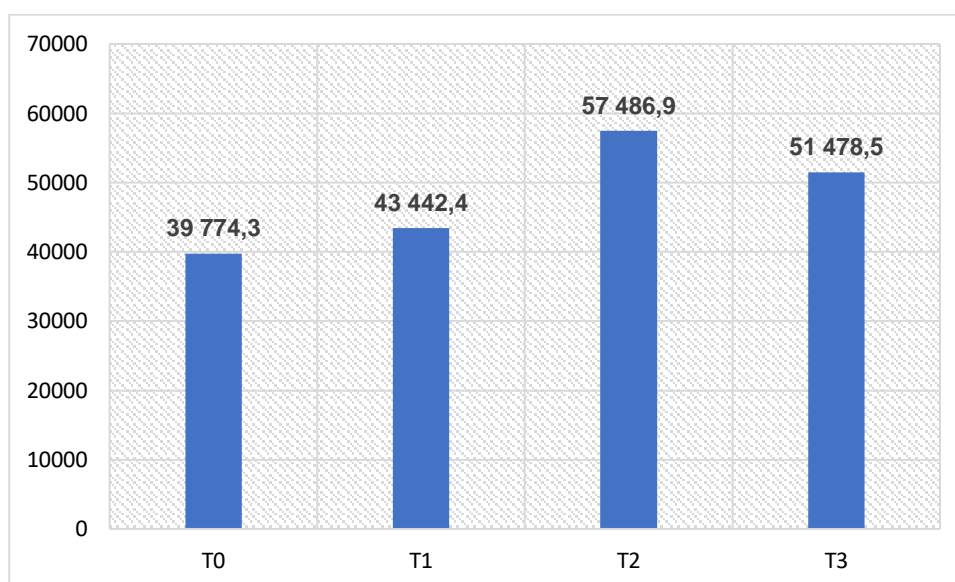
*Concentración de P (mg kg^{-1}) en el tallo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) según tratamiento.*



En la tabla 8 y figura 14 se muestra que la concentración de fósforo en el tallo de la planta ha tenido un comportamiento regular y decreciente, según se ha incrementado la dosis. Mientras mayor sea la aplicación de fósforo, la concentración es menor en el tallo. Similar comportamiento se ha encontrado en la raíz. Inostroza (2009), dice sin embargo es posible señalar que el potasio es extraído en mayor cantidad por la papa, con 175 a 396 unidades de K_2O , luego sigue nitrógeno 108 a 288 U. de N y finalmente el fósforo con 43 a 128 U. de P_2O_5 .

Figura 15

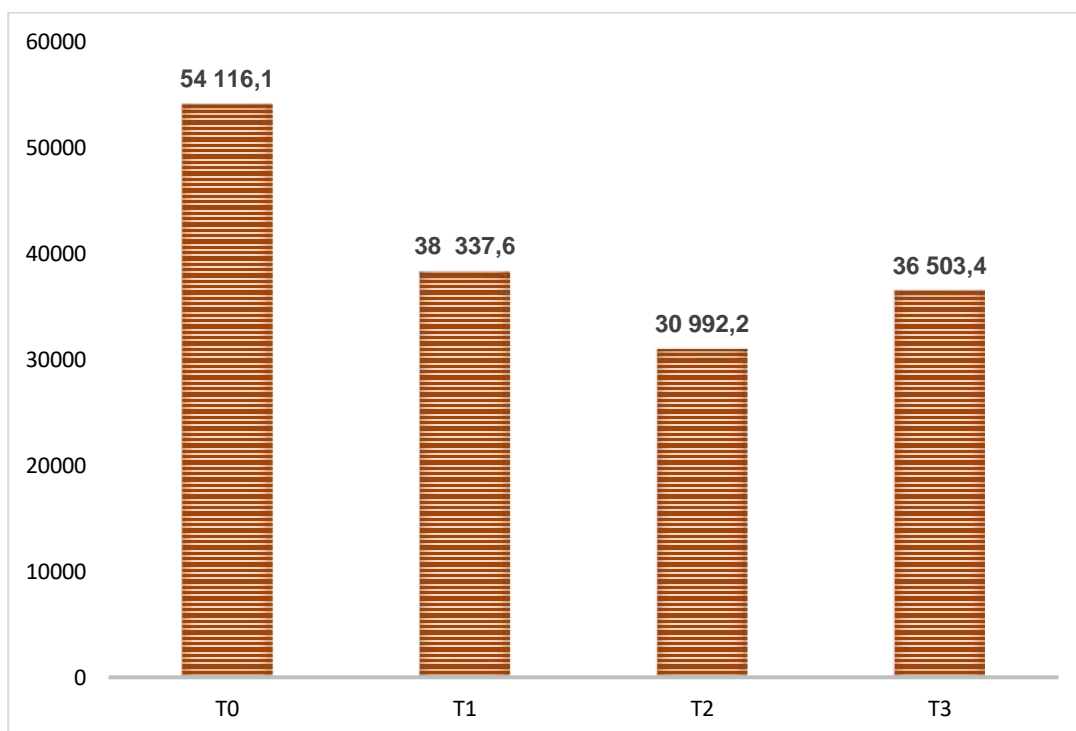
*Concentración de K (mg kg^{-1}) en el tallo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) según tratamiento.*



En la tabla 8 y figura 15 se muestra la concentración de K (mg kg^{-1}) en el tallo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), existe un incremento de la concentración de K hasta la dosis media y, en la dosis alta, la concentración ha disminuido en 11.7%. Inostroza (2009) para el cultivo de papa, dice que la mayor parte de los tubérculos que se desarrollarán hasta tamaño comercial aparecen en un período aproximado de dos semanas luego de iniciada la formación de estolones. Su ritmo de crecimiento, a partir de entonces, es de tipo exponencial durante las primeras tres semanas, el que más adelante es casi lineal o constante. En esta fase se produce un descenso en la producción de follaje y hay un aumento gradual de la senescencia de las hojas basales o más viejas, a causa de una traslocación de N, P y K desde el follaje a los tubérculos, los que, por consiguiente, aumentan su peso seco.

Figura 16

*Concentración de Ca (mg kg^{-1}) en el tallo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) según tratamiento.*

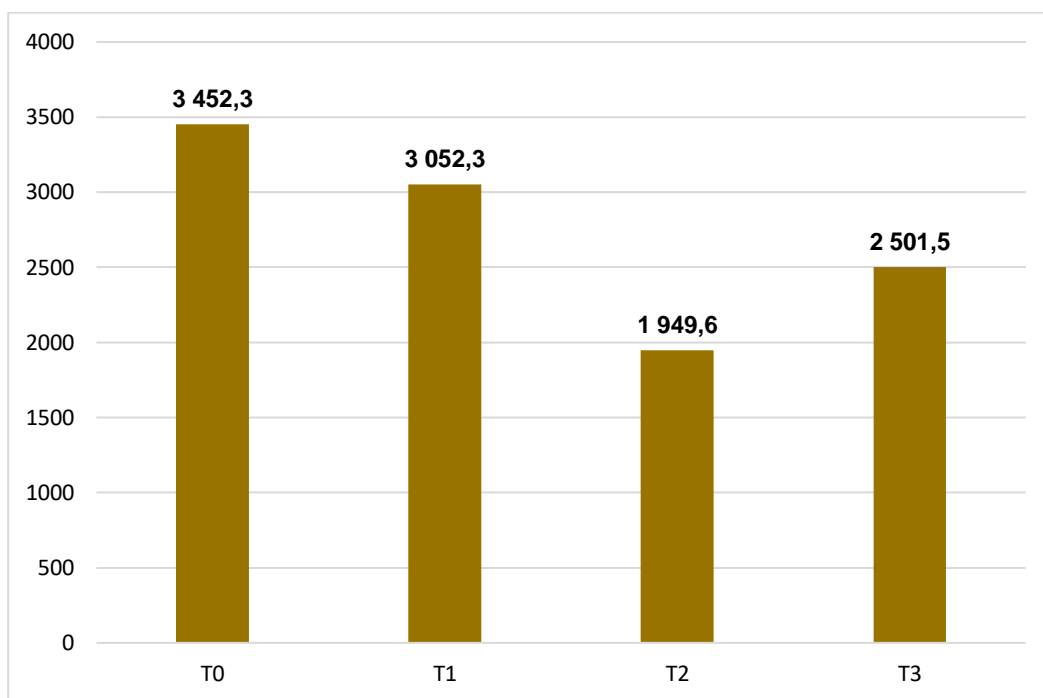


En la tabla 8 y figura 16, observamos que la concentración de Ca en el tallo, ha ido disminuyendo a medida que la dosis de fertilización ha aumentado. A pesar que no se aplicó calcio, el testigo que no recibió ninguna dosis de fertilización, los tallos de las plantas concentran la mayor cantidad de Ca.

La concentración de Ca en el testigo supera en 41.2 % a la dosis baja y en 74.6% a la dosis media y en 48.2% a la dosis alta de fertilización.

Figura 17

*Concentración de Mg (mg kg^{-1}) en el tallo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) según tratamiento.*



En la tabla 8 y figura 17, se muestra que la concentración de Mg en el tallo de la oca, ha ido disminuyendo a medida que la dosis de fertilización ha aumentado. A pesar que no se aplicó magnesio, en el testigo que no recibió ninguna dosis de fertilización, los tallos de las plantas concentran la mayor cantidad de Mg. Mostrando un comportamiento muy similar que el Ca. La concentración de Mg en el testigo supera en 13.1 % a la dosis baja y en 77.1% a la dosis media y en 38.0% a la dosis alta de fertilización. Inostroza (2009), menciona que un cultivo promedio de papa extrae entre 50 a 89 kg de CaO y de 15 a 25 kg de MgO por hectárea. La deficiencia de Mg conduce a una clorosis intervenal en las hojas del cultivo, y solo las venas permanecen

verdes. Las hojas inferiores presentan primero los síntomas de la deficiencia, porque el Mg es traslocado con facilidad a las nuevas zonas de crecimiento

4.1.3. Concentración de macronutrientes en la hoja del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina)

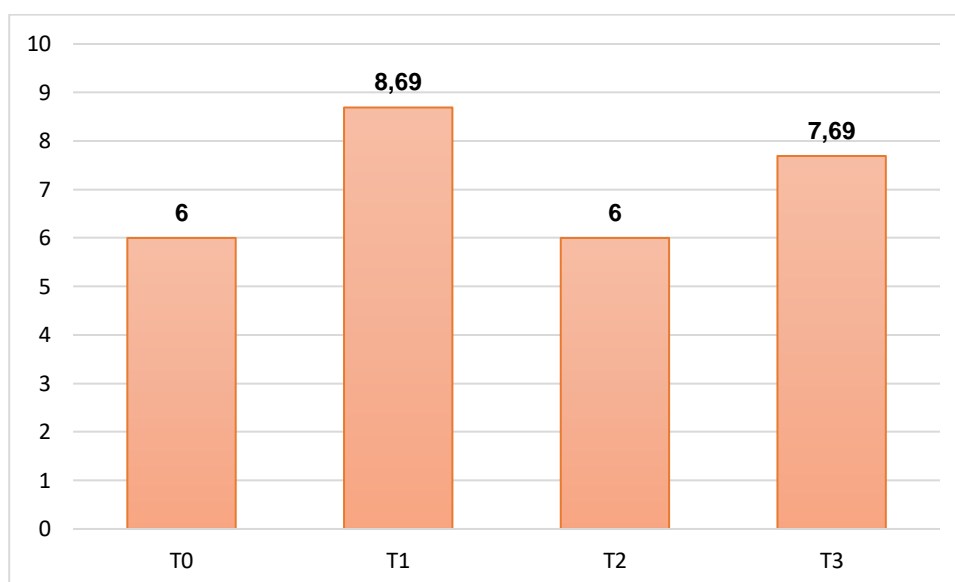
Tabla 9.

Concentración de macronutrientes en la hoja del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento.

| Macronutriente | Unid | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₃ |
|----------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| N | % | 6,0 | 8,69 | 6,0 | 7,69 |
| P | mg kg ⁻¹ | 1 500,8 | 1 753,3 | 1 854,0 | 1 480,7 |
| K | mg kg ⁻¹ | 25 351,9 | 23 547,0 | 23 998,7 | 27 998,7 |
| Ca | mg kg ⁻¹ | 43 434,8 | 48 627,7 | 43 461,0 | 51 511,3 |
| Mg | mg kg ⁻¹ | 141,3 | 366,2 | 695,2 | 542,1 |

Figura 18.

*Concentración de N (%) en la hoja del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), según tratamiento.*

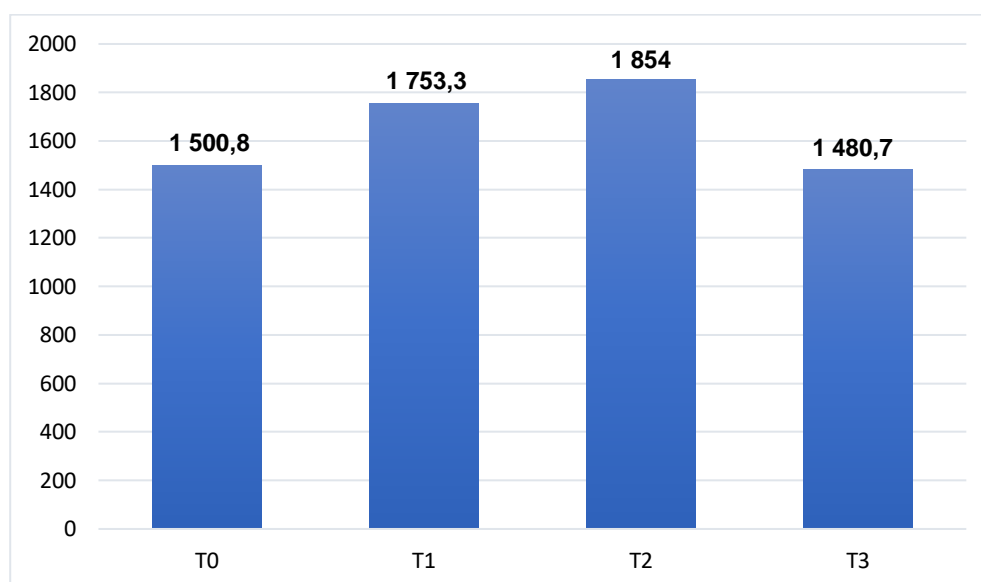


En la tabla 9 y figura 18 se presentan las concentraciones de N (%) en la hoja de las plantas de oca, el tratamiento cuyas plantas recibieron dosis baja de N (80 kg ha⁻¹) tienen la mayor concentración, seguidamente el T₃ cuya dosis de N fue de 240 kg ha⁻¹. En el tratamiento T₁, la concentración de N supera en 69.04% al testigo y en 13.0 % al T₃, que recibió más N. Esta evaluación fue realizada cuando las plantas ya habían completado su ciclo biológico, estaban maduras y habían sido fuertemente atacadas por la helada.

En tanto no existe información sobre la concentración de nutrientes en la planta de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), vamos a tomar la información relacionada a la papa, para efectos de comparación. Villamil (2005) sostiene que para un rendimiento óptimo de papa la concentración foliar de N debe ser 4,5 % de N, por lo tanto, la concentración de N en la hoja de la oca ha sido superior.

Figura 19.

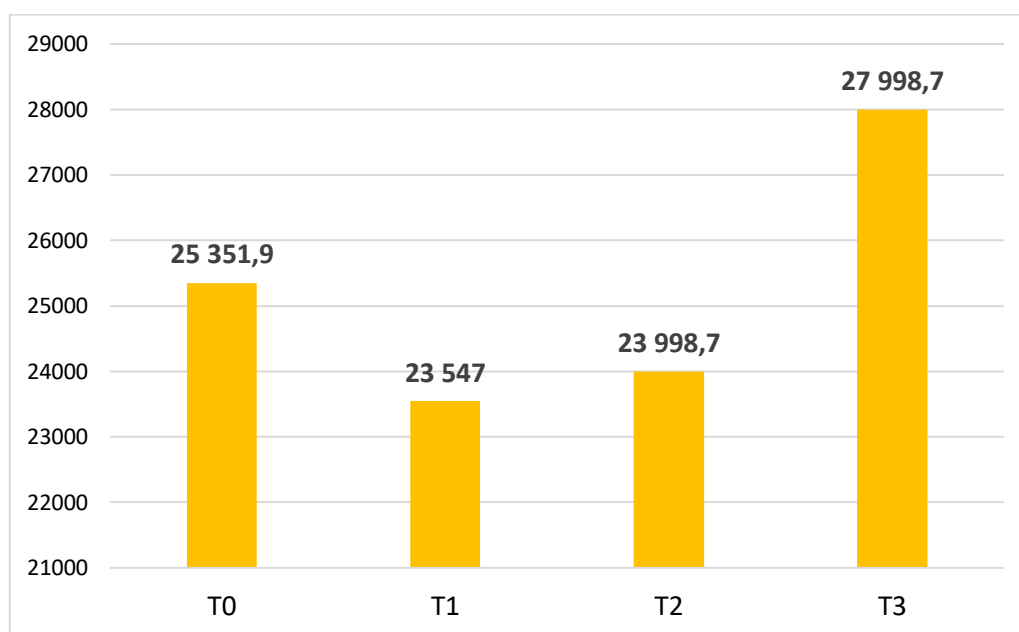
*Concentración de P (mg kg^{-1}) en la hoja del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), según tratamiento.*



En la tabla 9 y figura 19 se muestra que la concentración de fósforo en la hoja de las plantas de oca, ha aumentado regularmente hasta el T₂, según se haya incrementado la dosis; en el tratamiento T₁ con respecto al testigo hay 16.8% de incremento; en el tratamiento T₂ hay incremento de 5,7 % con respecto al T₁, por otro lado, en el T₃ la concentración de P ha disminuido en 25,2%, equivalente a 371.3 (mg kg^{-1}). Similar comportamiento se ha encontrado en la raíz y en el tallo. Villamil (2005) sostiene que para un rendimiento óptimo de papa la concentración foliar de P debe ser 0,29 % de P, por lo tanto, la concentración de P en la hoja de nuestro experimento fue menor en todos los tratamientos, se encontró: 0,15; 0,175, 0,185 y 0,148 % respectivamente de P en la hoja de la oca de cada tratamiento.

Figura 20.

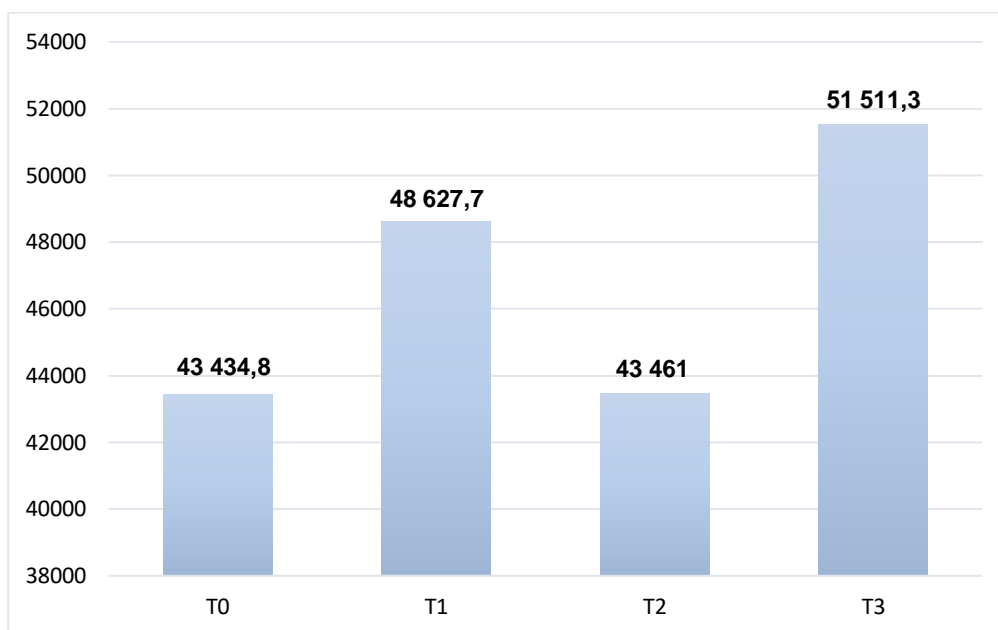
*Concentración de K (mg kg^{-1}) en la hoja del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), según tratamiento.*



En la tabla 9 y figura 20 se muestra la concentración de K (mg kg^{-1}) en la hoja del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), en donde la concentración del elemento en la hoja del testigo (sin fertilización) superó al tratamiento T₁ y T₂; mientras que el T₃ superó significativamente a todos los tratamientos anteriores. Comparándolo con el testigo el incremento es de 10,4 %, que equivale a 2646.8 (mg kg^{-1}). Villamil (2005), sostiene que para un rendimiento óptimo de papa la concentración de K foliar debe ser 9.3 %, por lo tanto, la concentración de K en la hoja de oca de nuestro experimento fue menor, se encontró: 2,54; 2,35; 2,39 y 2,79 % respectivamente de K en la hoja de cada tratamiento.

Figura 21.

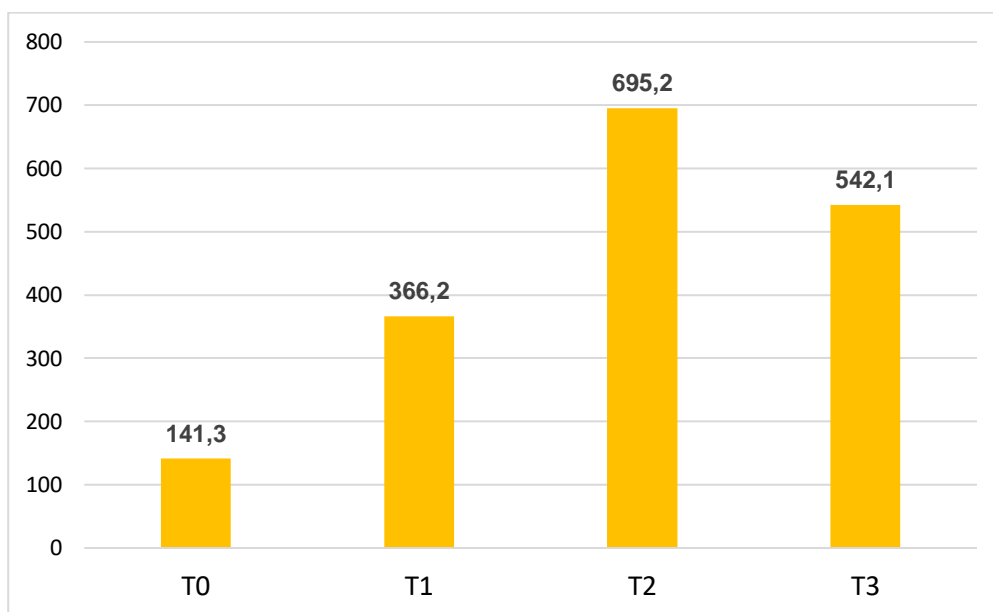
*Concentración de Ca (mg kg^{-1}) en la hoja del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), según tratamiento.*



En la tabla 9 y figura 21, observamos que la concentración de Ca en la hoja, ha aumentado con respecto al testigo en todos los tratamientos en especial se destaca el T₁ y T₃ que ha superado a todos. La concentración de Ca en el T₃ con respecto al testigo tiene 18,6% más de Ca. Villamil (2005), sostiene que para un rendimiento óptimo de papa la concentración foliar de Ca debe ser 0,76 %; por lo tanto, la concentración de Ca en la hoja de oca de nuestro experimento fue mucho mayor, se encontró: 4,34; 4,86; 4,34 y 5,15 % respectivamente de Ca en la hoja de cada tratamiento, lo que demuestra que este cultivo transloca y acumula una buena cantidad de Ca en la hoja.

Figura 22.

*Concentración de Mg (mg kg^{-1}) en la hoja del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), según tratamiento.*



En la tabla 9 y figura 22, se muestran los resultados y la concentración del Mg en la hoja de la oca, a medida que aumenta la dosis de fertilización, también lo hace la concentración del Mg, hasta el T₂ (dosis media), sin embargo, en el T₃ (dosis alta) la concentración ha disminuido con respecto al T₂. En hoja, la concentración ha sido muy diferente que la del Ca. Villamil (2005), sostiene que para un rendimiento óptimo de papa la concentración foliar de Mg debe ser 1,0%; por lo tanto, la concentración foliar de Mg en la hoja oca de nuestro experimento fue mucho menor, se encontró: 0,014; 0,036; 0,069 y 0,054 % respectivamente de Mg en la hoja de cada tratamiento.

4.1.4. Concentración de macronutrientes en el tubérculo del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina).

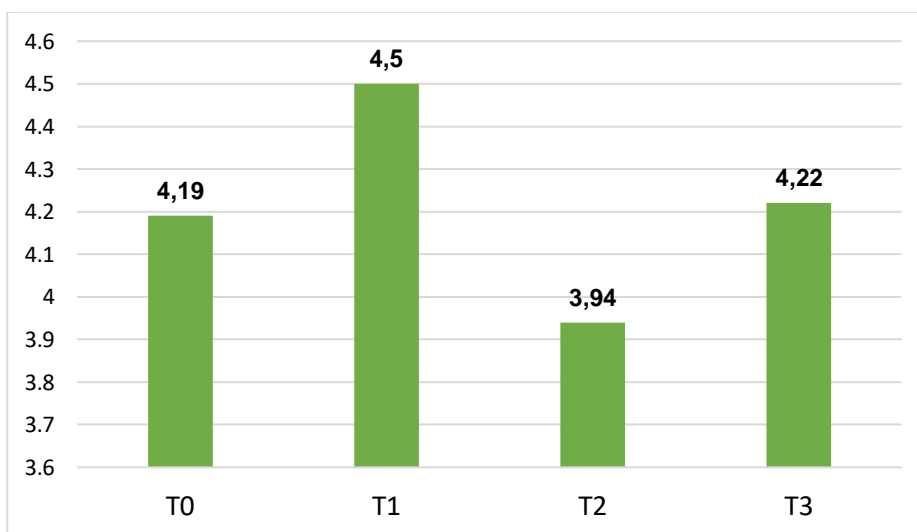
Tabla 10.

*Concentración de nutrientes en el tubérculo del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), según tratamiento.*

| Macronutriente | Unid | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₃ |
|----------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| N | % | 4,19 | 4,50 | 3,94 | 4,22 |
| P | mg kg ⁻¹ | 1 030,3 | 1 041,3 | 2 775,6 | 2 367,5 |
| K | mg kg ⁻¹ | 18 312,1 | 18 659,0 | 21 081,1 | 19 243,5 |
| Ca | mg kg ⁻¹ | 2 536,1 | 1 668,5 | 1 784,1 | 1 894,5 |
| Mg | mg kg ⁻¹ | 1 051,6 | 1 033,5 | 997,1 | 1 017,3 |

Figura 23

*Concentración de N (%) en el tubérculo del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), según tratamiento.*

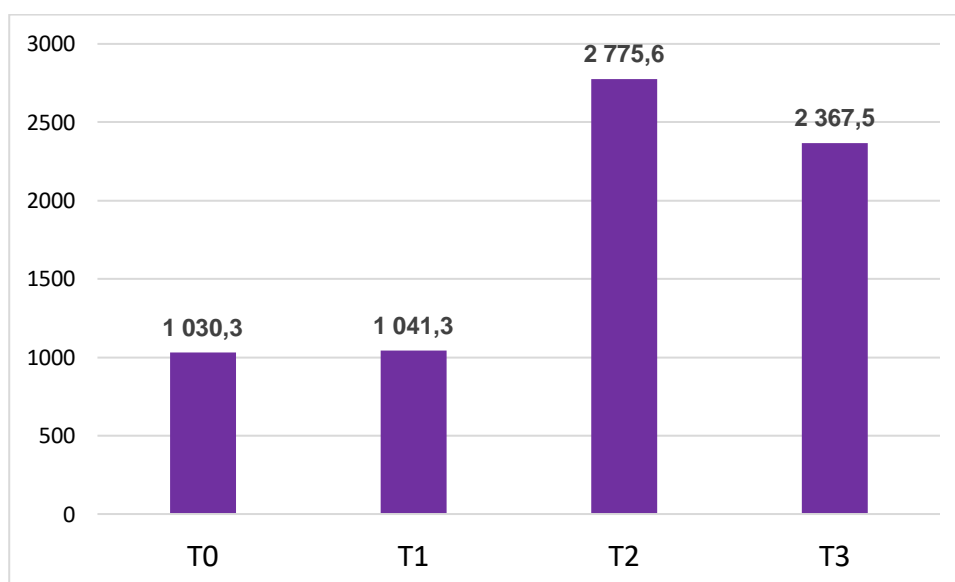


En la tabla 10 y figura 23 se presentan las concentraciones de N (%) en el tubérculo de las plantas de oca, el tratamiento cuyas plantas recibieron dosis baja de N (80 kg ha⁻¹) tienen la mayor concentración, seguidamente el T₃ cuya dosis de N fue de 240 kg ha⁻¹. En el tratamiento T₀ (testigo) supera al T₂ (dosis media de N).

Méndez y Meier (2019) refiriéndose a la papa manifiestan que dada la movilidad que presenta el nitrógeno en el suelo, la fertilización con este nutriente debe ajustarse al rendimiento esperado y al objetivo productivo. Por ejemplo: el estándar de aplicación en papa semilla va desde 60 a 80 unidades N ha⁻¹ y en papa consumo va desde 120 a 180 unidades de N ha⁻¹, dependiendo de la variedad, del tipo de suelo y de la condición de riego o seco.

Figura 24.

Concentración de P (mg kg⁻¹) en el tubérculo del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento.



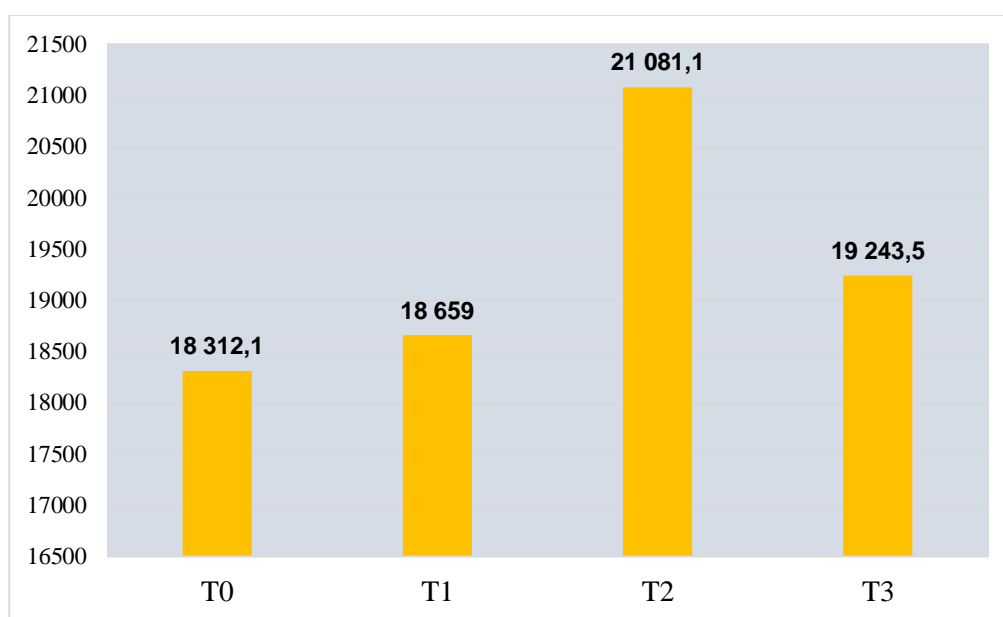
En la tabla 10 y figura 24 se muestra que la concentración de fósforo en los tubérculos de las plantas de oca, ha aumentado regularmente hasta el T₂, según se haya incrementado la dosis de fertilización; en el tratamiento T₁ con respecto al testigo hay 1.09% de incremento; en el tratamiento T₂ hay incremento de 266.5 % con respecto al T₁; por otro lado, en el T₃ la concentración de P ha disminuido en 17.2% con respecto al T₂, equivalente a 408.1 (mg kg⁻¹). Similar comportamiento se ha encontrado en la raíz y en el tallo. Los niveles de fertilización recomendados de este nutriente son altos ya que se aprovecha solo el 30% del fósforo aplicado como fertilizante. Según Sierra et al., (2002), el fósforo debe aplicarse localizado en bandas para mejorar su eficiencia de utilización principalmente en suelos con niveles deficientes. Lo anterior concuerda con lo planteado por Rosen y Bierman, (2014), indicando que el fertilizante fosfatado se usa más eficientemente cuando es aplicado en banda al momento de la siembra (a 5 cm a cada lado de la papa semilla).

Méndez y Meier (2019) con respecto a la papa manifiestan que los niveles de fertilización recomendados de este nutriente son altos ya que se aprovecha solo el 30% del fósforo aplicado como fertilizante. Según Sierra et al., (2002), el fósforo debe aplicarse localizado en bandas para mejorar su eficiencia de utilización principalmente en suelos con niveles deficientes. Lo anterior concuerda con lo planteado por Rosen y Bierman, (2014), indicando que el fertilizante fosfatado se usa más eficientemente cuando es aplicado en banda al momento de la siembra (a 5 cm a cada lado de la papa semilla).

La cantidad de fertilizante utilizado puede ser superior a 400 kg de P_2O_5 /ha en la temporada, en un escenario de alto rendimiento, mientras que la mayoría de las otras especies de cultivos requieren alrededor de la mitad de la cantidad de P que la papa requiere. Por ejemplo, en los Estados Unidos, la gran mayoría de la producción de papa se produce en los Estados del noroeste. En dichos Estados la proporción máxima de fertilizante recomendada es de 134 kg de P_2O_5 /ha para el maíz, mientras que la tasa máxima para papa va desde de 252 a 493 kg de P_2O_5 /ha (Stark et al., 2004).

Figura 25.

*Concentración de K ($mg\ kg^{-1}$) en el tubérculo del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), según tratamiento.*



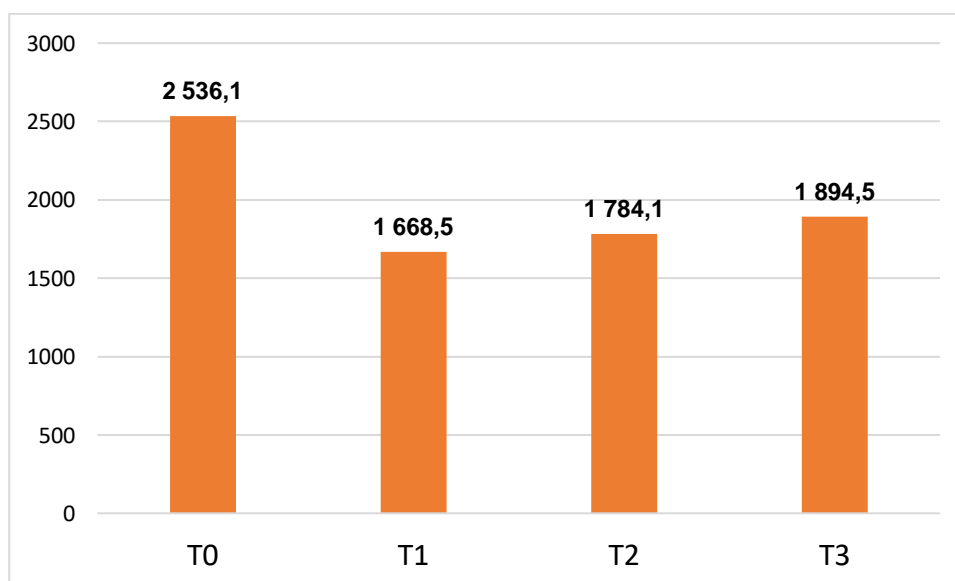
En la tabla 10 y figura 25 se aprecia la concentración de K ($mg\ kg^{-1}$) en el tubérculo del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), en donde la concentración del elemento en la hoja del testigo (sin fertilización) es menor a todos los tratamientos.

La concentración de K, se incrementa proporcionalmente hasta el T₂ (dosis media de fertilización), luego en el tratamiento T₃, la concentración disminuye con respecto al T₂, pero se mantiene superior al T₀ y T₁. Estos datos nos demuestran que la planta de oca, no responde a aplicaciones altas de K.

Según Stark et al., (2004) refiriéndose a la papa, dice, la concentración de K óptima para la producción de tubérculos es de 1,8%. A esta concentración se requiere aproximadamente 0,22 kg de K₂O para producir 100 kg de papas. Un aumento en el volumen del cultivo a los 1.729 kg/ha/día requiere alrededor de 4.81 kg de k/ha/día, para mantener una óptima producción de materia seca. Los programas de fertilización de potasio deben ser diseñados para proporcionar suficiente cantidad a fin de mantener una concentración de K a un nivel óptimo en la planta durante todo el período de desarrollo de los tubérculos.

Figura 26.

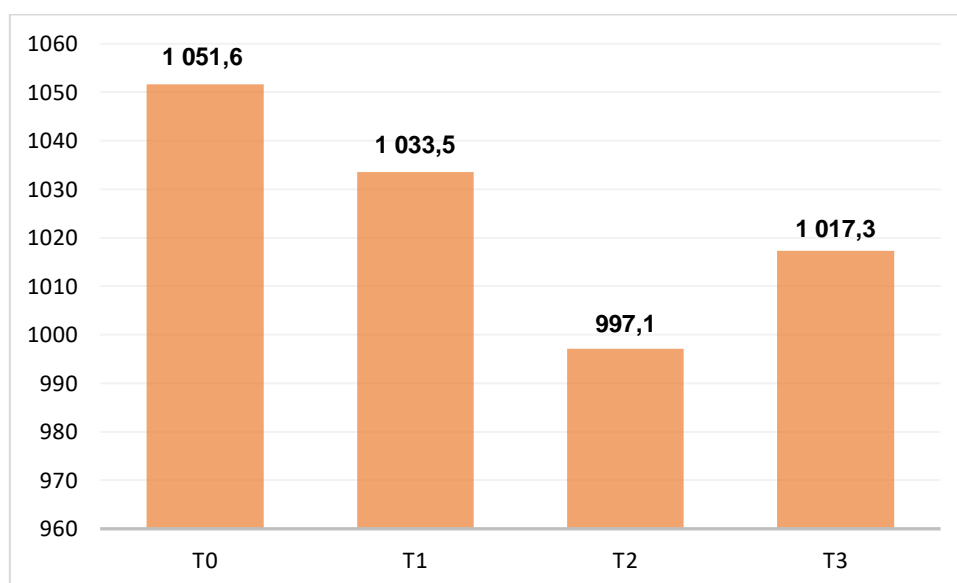
Concentración de Ca (mg kg⁻¹) en el tubérculo del cultivo de oca (Oxalis tuberosa Molina), según tratamiento.



En la tabla 10 y figura 26, observamos que la concentración de Ca en los tubérculos, ha disminuido proporcionalmente con respecto al testigo en todos los tratamientos; por lo tanto, la concentración de Ca en los tubérculos de oca es inversamente proporcional a la dotación de K, mediante fertilización química. Refiriéndose a la papa, Méndez y Meier (2019), dicen: El calcio es inmóvil en tejidos vegetales, y para ser trasladado a los tubérculos durante el crecimiento del cultivo, debe ser tomado por los estolones y/o raíces de los estolones. Por lo tanto, cualquier programa de fertilización con calcio debe estar diseñado para aumentar su concentración en la zona de formación de tubérculos. Para mantener la disponibilidad en esta zona debe considerarse la solubilidad y el potencial de lixiviación de los fertilizantes que aportan calcio. Según Stark et al., (2004) a concentraciones de Ca intercambiable menores de 1,49 meq/100 g de suelo, indicaría una necesidad de suplementar con este elemento.

Figura 27.

*Concentración de Mg (mg kg^{-1}) en el tubérculo del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina), según tratamiento.*

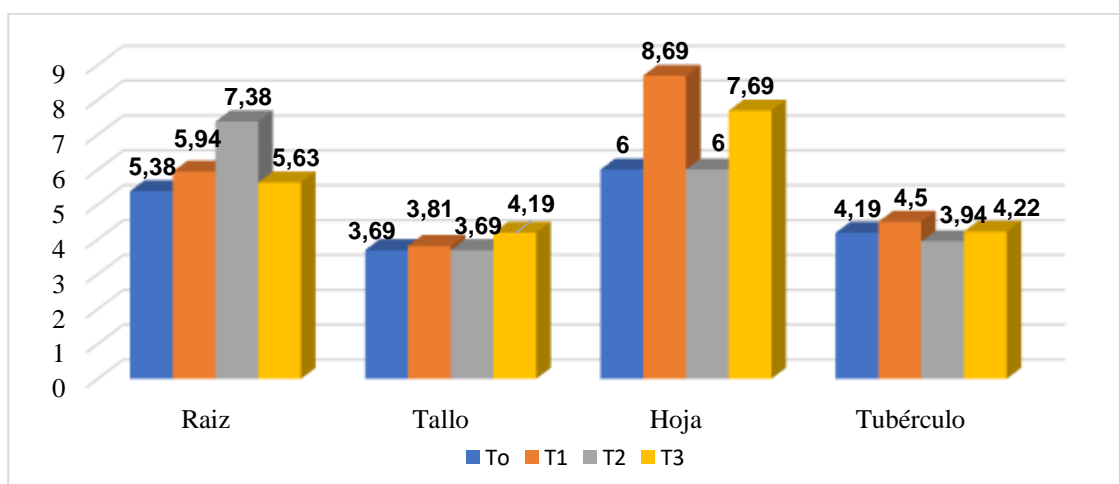


En la tabla 10 y figura 27 observamos que la concentración de Mg en los tubérculos, ha disminuido proporcionalmente con respecto al testigo en todos los tratamientos, teniendo igual comportamiento que el Ca. Al respecto, Méndez et al. (2019) dicen: Altas concentraciones de K^+ , Ca^{2+} o NH_4^+ en el suelo antagonizan la absorción de Mg^{++} , pudiendo inducir deficiencias de este nutriente. Stark et al., (2004) señalan que la concentración crítica de magnesio disponible en el suelo es de 100 mg kg^{-1} (0.83 cmol^+ de Mg intercambiable) bajo la cual este nutriente es limitante para el rendimiento del cultivo. Según Undurraga y Hirzel (2011) manifiesta que es importante considerar las relaciones entre cationes del suelo Ca/Mg, K/Mg, para evitar antagonismos entre los cationes que puedan interferir en la absorción. Se consideran estas relaciones adecuadas cuando el Ca/Mg se encuentra alrededor de 5 y K/Mg entre 0.2 y 0.3. De no ser así se recomienda balancear estas relaciones de modo que se acerquen a los valores definidos cuando se establece un programa de fertilización.

Figura 28

Concentración de N (%) en cada parte de la planta de oca (Oxalis tuberosa.

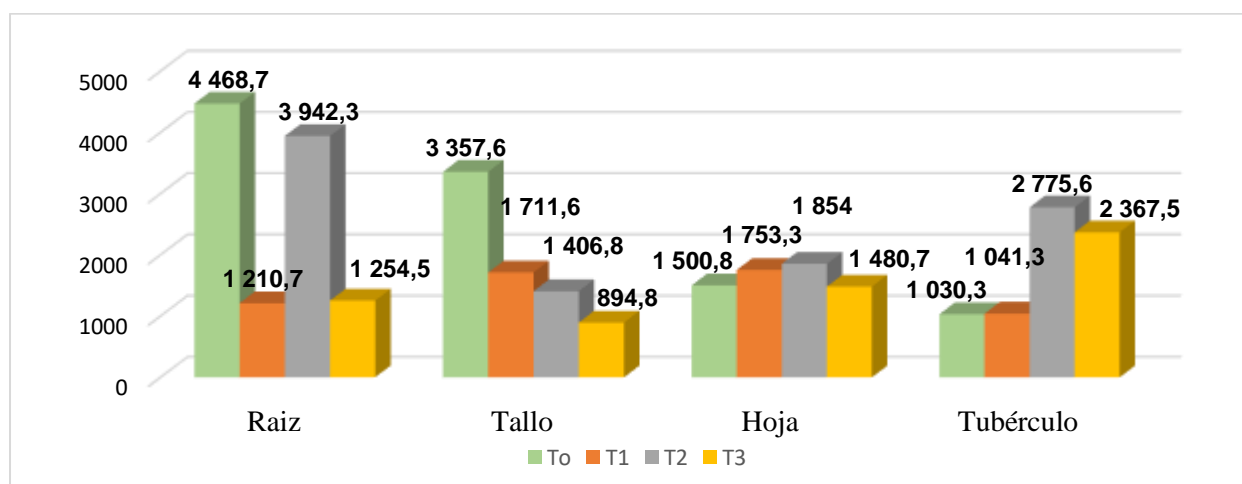
Molina) según tratamiento



En la figura 28, se evidencia que la mayor cantidad de N, se concentra en la hoja en la planta de oca y específicamente con el tratamiento T₁ (dosis baja, 80 kg ha⁻¹), seguido del tratamiento T₃ (dosis alta, 240 kg ha⁻¹), las concentraciones menores de N se han localizado en el tallo. Estas concentraciones han variado posiblemente a la translocación de los compuestos orgánicos nitrogenados que la planta realiza desde la fuente hacia los drenes y a medida que alcanza la madurez fisiológica. Méndez et al. (2019) refiriéndose a la papa, manifiestan que el nitrógeno es acumulado inicialmente en el follaje hasta los primeros 80 días. Luego de esto comienza el crecimiento de los tubérculos y es movilizado desde la parte aérea concentrándose así en los tubérculos. Por lo anterior, una adecuada cantidad de nitrógeno debe estar disponible en estadios tempranos para una adecuada formación de la canopia o cierre de hilera. No obstante, una excesiva disponibilidad de nitrógeno previo al inicio de tuberización puede retardar el llenado de tubérculos.

Figura 29

Concentración de P (mg kg⁻¹) en cada parte de la planta de oca (Oxalis tuberosa. Molina) según tratamiento



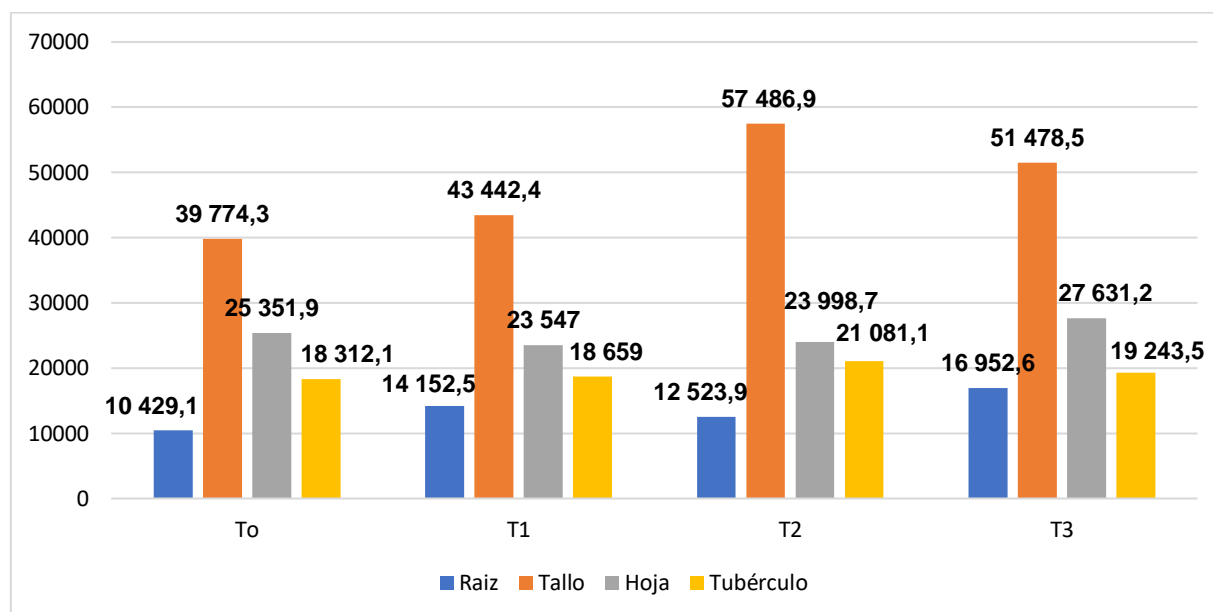
La figura 29, muestra la concentración del P (mg kg^{-1}) en cada parte de la planta de oca (*Oxalis tuberosa*. Molina) según tratamiento. Se observa que la mayor cantidad de P a la cosecha, se ha encontrado en la raíz de la planta y de manera sorprendente en las plantas que no recibieron aporte de P, seguidamente en las plantas que sí recibieron 120 kg de P_2O_5 .

De igual manera en el tallo, se encuentra alta cantidad de P y específicamente en las plantas que no recibieron fósforo. Mendez et al. (2019) refiriéndose a la papa manifiestan que la absorción de fósforo progresa de forma continua a lo largo de la temporada, mientras que el nitrógeno muestra poca o ninguna absorción adicional después de unos 80 días después de la emergencia (Kelling et al., 2002). Esta situación es una desventaja significativa para el cultivo, especialmente a la luz de su susceptibilidad a los patógenos que pueden degradar los sistemas radicales y vasculares, afectando negativamente la absorción y translocación del fósforo. En cuanto a la fertilización en papa, manifiestan que los niveles de fertilización recomendados de este nutriente son altos ya que se aprovecha solo el 30% del fósforo aplicado como fertilizante. Según Sierra et al., (2002), el fósforo debe aplicarse localizado en bandas para mejorar su eficiencia de utilización principalmente en suelos con niveles deficientes.

Figura 30

*Concentración de K (mg kg^{-1}) en cada parte de la planta de oca (*Oxalis tuberosa*.*

Molina) según tratamiento



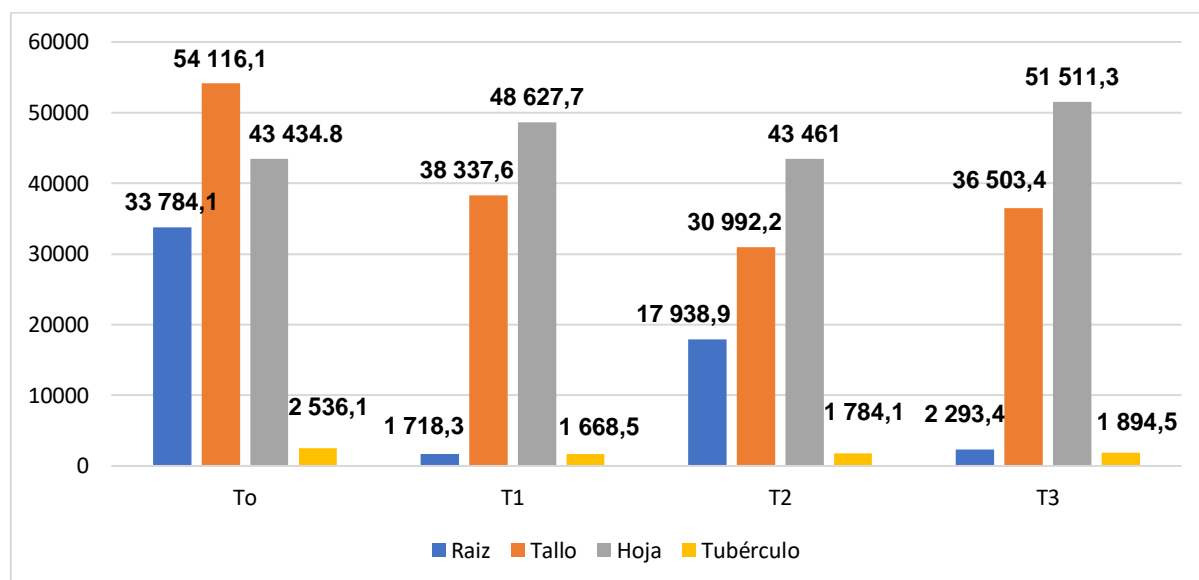
La figura 30, nos muestra que el K, se concentró mayormente en el tallo en todos los tratamientos, resultando la mayor concentración en el T2, es decir, con aplicación de 80 kg ha^{-1} de K_2O , seguido del tratamiento 3 (120 kg ha^{-1} de K_2O)

Mendez et al. (2019) manifiestan que según Sierra (2002) en el cultivo de papa, la cantidad total de potasio absorbido es más alta que la cantidad de nitrógeno, alcanzando a 480 kg de K_2O a los 77 días después de la siembra, para un rendimiento de 94 t ha^{-1} . Esto equivale a tener una concentración de 250 mg kg^{-1} de potasio (K) en los primeros 20 cm de suelo, de los cuales el 65% se encuentra en el follaje y el 35 % restante en los tubérculos.

Figura 31

*Concentración de Ca (mg kg^{-1}) en cada parte de la planta de oca (*Oxalis tuberosa*.*

Molina) según tratamiento

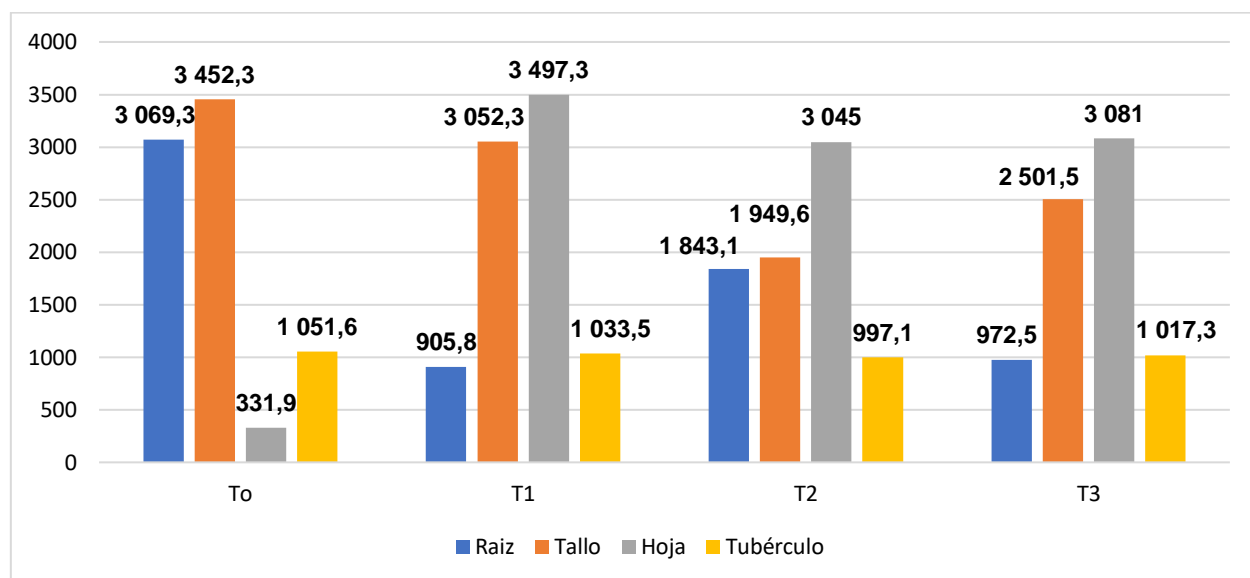


La figura 31, nos muestra que el Ca, se concentró mayormente en la hoja, a medida que la dosis de fertilización se incrementaba, resultando la mayor concentración en el T₃, es decir, las plantas que recibieron la dosis alta de fertilización. Respecto al Ca y refiriéndose al cultivo de papa, Méndez et al. (2019) manifiestan que el calcio es inmóvil en tejidos vegetales, y para ser trasladado a los tubérculos durante el crecimiento del cultivo, debe ser tomado por los estolones y/o raíces de los estolones. Por lo tanto, cualquier programa de fertilización con calcio debe estar diseñado para aumentar su concentración en la zona de formación de tubérculos. Para mantener la disponibilidad en esta zona debe considerarse la solubilidad y el potencial de lixiviación de los fertilizantes que aportan calcio. Según Stark et al., (2004) a concentraciones de Ca intercambiable menores de 1,49 meq/100 g de suelo, indicaría una necesidad de suplementar con este elemento.

Figura 32.

*Concentración de Mg (mg kg^{-1}) en cada parte de la planta de oca (*Oxalis tuberosa*.*

Molina) según tratamiento.



La figura 32, nos muestra que el Mg, tuvo un comportamiento muy variado en relación a su concentración en los órganos de la planta. Observamos la mayor cantidad se registra en el tallo ($3452.3 \text{ mg kg}^{-1}$); en las plantas que recibieron dosis baja, media y alta de fertilización, la mayor cantidad de Mg se encuentra en las hojas. Respecto al Mg y refiriéndose al cultivo de papa, Méndez et al. (2019) manifiestan que altas concentraciones de K^+ , Ca^{2+} o NH_4^+ en el suelo antagonizan la absorción de Mg^{+2} , pudiendo inducir deficiencias de este nutriente (Stark et al., (2004) señalan que la concentración crítica de magnesio disponible en el suelo es de 100 mg kg^{-1} (0.83 cmol+ de Mg intercambiable) bajo la cual este nutriente es limitante para el rendimiento del cultivo. Según Undurraga y Hirzel, (2011), es importante considerar las relaciones entre cationes del suelo Ca/Mg, K/Mg, para evitar antagonismos entre los cationes que puedan interferir en la absorción. Se consideran estas relaciones adecuadas cuando el

Ca/Mg se encuentra alrededor de 5 y K/Mg entre 0.2 y 0.3. De no ser así se recomienda balancear estas relaciones de modo que se acerquen a los valores definidos cuando se establece un programa de fertilización.

4.2. Índice de cosecha de macronutrientes en el cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina)

Tabla 11.

Índice de cosecha de macronutrientes (ICN) en el cultivo de oca (Oxalis tuberosa. Molina) en cada tratamiento

| Nutriente | Tratamiento | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₃ |
| N | 21,7 | 19,6 | 18,7 | 13,3 |
| P | 9,95 | 35,69 | 27,8 | 39,47 |
| K | 19,5 | 18,7 | 15,2 | 16,6 |
| Ca | 1,9 | 1,8 | 1,9 | 2,1 |
| Mg | 13,6 | 19,3 | 18,2 | 20,2 |

Estos valores que resultan de dividir la concentración del nutriente en este caso hemos tomado la parte cosechada que es el tubérculo, dividida entre la cantidad total del nutriente en toda la planta, multiplicado por 100.

Este parámetro si bien está estudiado en otros cultivos como granos y papa, en oca no existe ningún estudio previo. Por lo tanto, podemos mencionar que, los datos mostrados en la tabla 12, dan cuenta que el P alcanza los porcentajes más altos ICN (índice de

cosecha de nutriente), en los tratamientos T₃ y T₁ con 39,47 y 35,69 respectivamente; de otro lado, el menor ICN, se presenta para el caso del Ca, para todos los tratamientos.

Flores, et al. (2020). con respecto a la papa menciona que , el índice de cosecha (IC) determina la relación en distribución de biomasa en la planta completa y los órganos de importancia antropocéntrica, como son los tubérculos, por lo que es considerado como índice de eficiencia fisiológica (Mora et al., 2005) y en papa, puede variar entre 57 y 91% cuando los tubérculos han madurado y el follaje está en senescencia (Rajwade et al., 2000) este rango representa las diferencias debidas al ambiente de producción, al genotipo o a la interacción entre ambos factores (Jefferies y Mackerron, 1993), en genotipos precoces de papa el IC es mayor que en los tardíos; en ambos, es afectado por factores ambientales (Sierra et al., 2002).

Seminario et al. (2017), refiriéndose a la relación del producto cosechado (tubérculo) con las demás partes de la planta, encuentra que el índice de cosecha promedio fue de 65%. Los tubérculos comerciales representaron entre 49% y 97%. Los cultivares presentaron diferencias estadísticas altamente significativas en rendimiento por hectárea, altura de planta, número de tallos, número total de tubérculos, número de tubérculos comerciales y peso de tubérculos comerciales. Nueve cultivares fueron estadísticamente similares y superiores al resto, en rendimiento de tubérculos por hectárea. Un cultivar fue superior a todos los demás, en rendimiento de tubérculos comerciales.

Para el caso del maíz, INTAGRI (2016) sostiene que, para el caso de maíz, el total de los nutrientes absorbidos por una planta de maíz es igual a la suma de nutrientes contenidos en el rastrojo y el grano. Bajo esta relación ha sido posible estimar la cantidad necesaria de cada nutriente para una meta de rendimiento. El porcentaje de

nutriente cosechado (contenido en grano), respecto al total del nutriente absorbido por una planta de maíz es distinto para cada elemento. Los índices de cosecha más aceptados para el caso de macronutrientes son: $N \approx 60 \%$, $P \approx 80 \%$, $K \approx 25 \%$, $Ca \approx 3 \%$, $Mg \approx 59 \%$, y $S \approx 64 \%$.

Se evaluaron tres variedades de quinua, se determinó la cantidad de materia seca, porcentaje de nutrientes en estudio y cantidad de nutriente en $kg\ ha^{-1}$ de las muestras tomadas en hojas, tallos y panículas a los 20, 40, 60, 80, 100 y 120 días después de la siembra. Los resultados obtenidos indican que la variedad Imbaya con la dosis 150-80-40 de N, P, K mostró una mayor cantidad de materia seca acumulada en la planta total con $9870\ kg\ ha^{-1}$ a los 120 días después de la siembra (dds). Los nutrientes más absorbidos por la planta de quinua fueron K y N seguido de Ca, Mg y P en este orden. Los índices de cosecha (IC) obtenidos fueron: $N=0,63$; $P=0,64$; $K=0,55$; $Ca=0,52$ y $Mg=0,65$. La aplicación del fertilizante en el cultivo de quinua se debe realizar en tres épocas: en la siembra, a la deshierba a los 30 días y al aporque a los 50 días de edad del cultivo (Calvache y Valle, 2021).

Por lo que, respecto al ICN, no podemos calificar a estos valores como altos medios o bajos, puesto que no tenemos información sobre este cultivo, para poder comparar estos datos obtenidos.

4.3. Concentración de macronutrientes en el suelo antes y después del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Molina)

4.3.1. Análisis del suelo antes de la siembra

Tabla 12.

Análisis químico del suelo antes de la siembra.

| Textura | | | CT | pH | C. E. | MO | Nt | P | K | CIC | Cationes cambiabiles (me/100 g) | | | |
|---------|----|----|------|------|----------|-----|------|------|--------|---------|------------------------------------|-----|-----|------|
| A | L | Ar | | unid | mmhos/cm | % | % | ppm | ppm | me/100g | Ca | Mg | K | Na |
| % | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 35 | 33 | FrAr | 6.4 | 381 | 2.8 | 0.14 | 9.88 | 201.32 | 24.2 | 13.9 | 1.4 | 0.7 | 0.01 |

El suelo donde se instaló el experimento había estado en descanso por varios años.

El análisis del mismo antes de la siembra, nos muestra un suelo con una textura adecuada para el cultivo de la oca, de igual manera el pH, no contiene sales, la materia orgánica y el nitrógeno nivel medio, pero en cantidad insuficiente para los requerimientos de la oca; el fósforo se encuentra en nivel medio y el potasio de igual manera, lo que significa que el suelo presentó un nivel medio de fertilidad, lo que ameritó la aplicación de fertilización en dosis que puedan significar un incremento del rendimiento.

4.3.2. Análisis del suelo después de la siembra

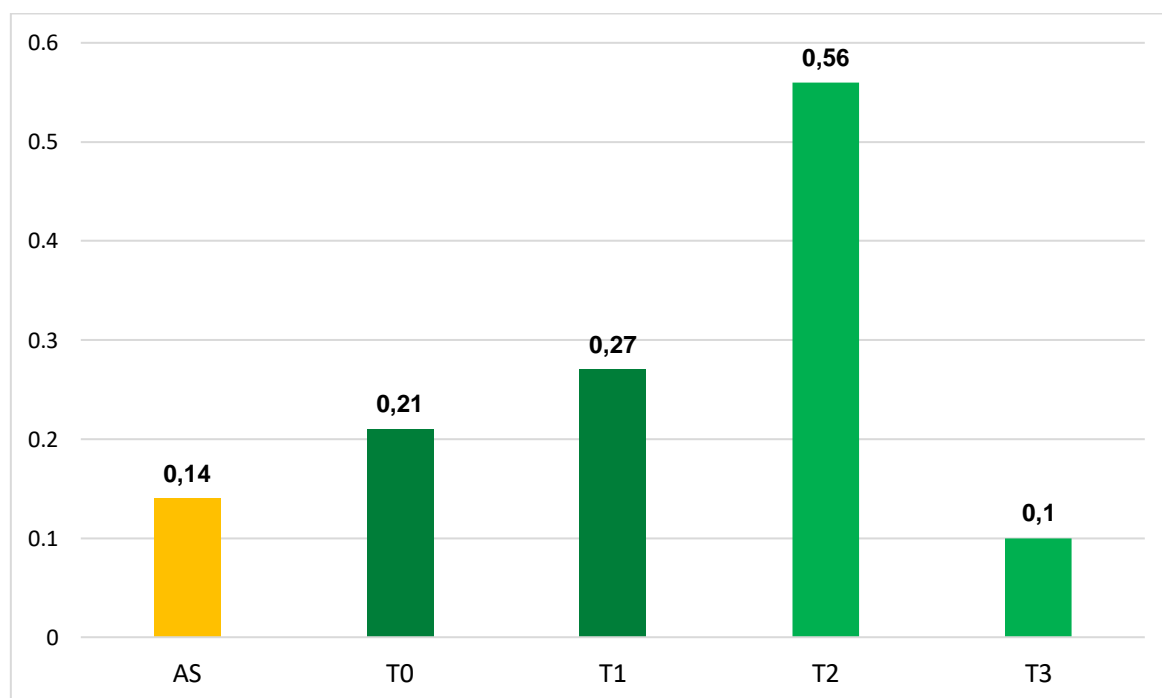
Tabla 13.

Análisis químico del suelo después de la cosecha

| Tratamiento | N | P | K | Ca | Mg |
|----------------|------|------|---------|---------------------|---------|
| | % | ppm | | mg kg ⁻¹ | |
| T ₀ | 0,21 | 29,5 | 3 641,6 | 14 360,4 | 2 394,5 |
| T ₁ | 0,27 | 35,9 | 3 489,6 | 14 799,6 | 2 406,7 |
| T ₂ | 0,56 | 47,4 | 3 613,5 | 15 363,8 | 2 526,1 |
| T ₃ | 0,1 | 43 | 3 671,4 | 14 513,1 | 2 637 |

Figura 33.

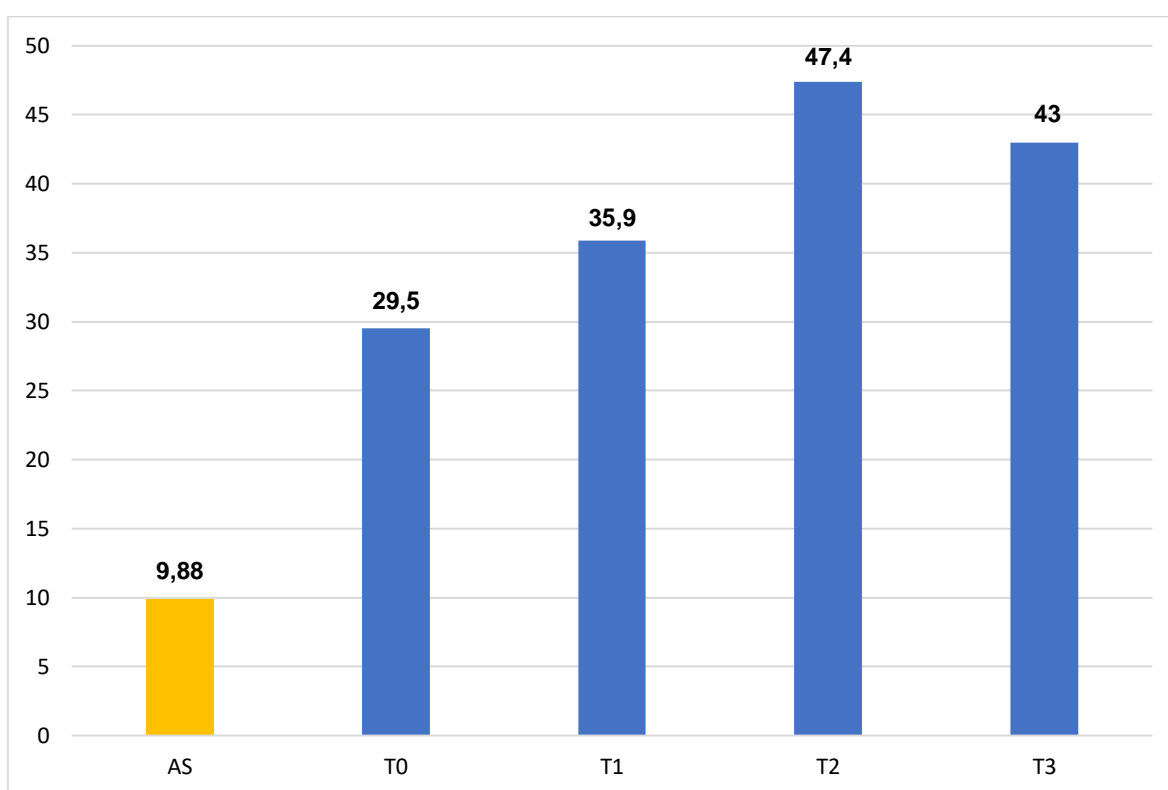
Concentración de Nt (%) en el suelo, antes y después de la cosecha en cada tratamiento.



La figura 33, muestra que el N, después de la cosecha, en el suelo se ha incrementado en todos los tratamientos, hasta llegar a la dosis de 160 kg N ha⁻¹ y en el tratamiento T₃ (240 kg N ha⁻¹), la cantidad de N en el suelo ha descendido a niveles inclusive menores que el testigo.

Figura 34.

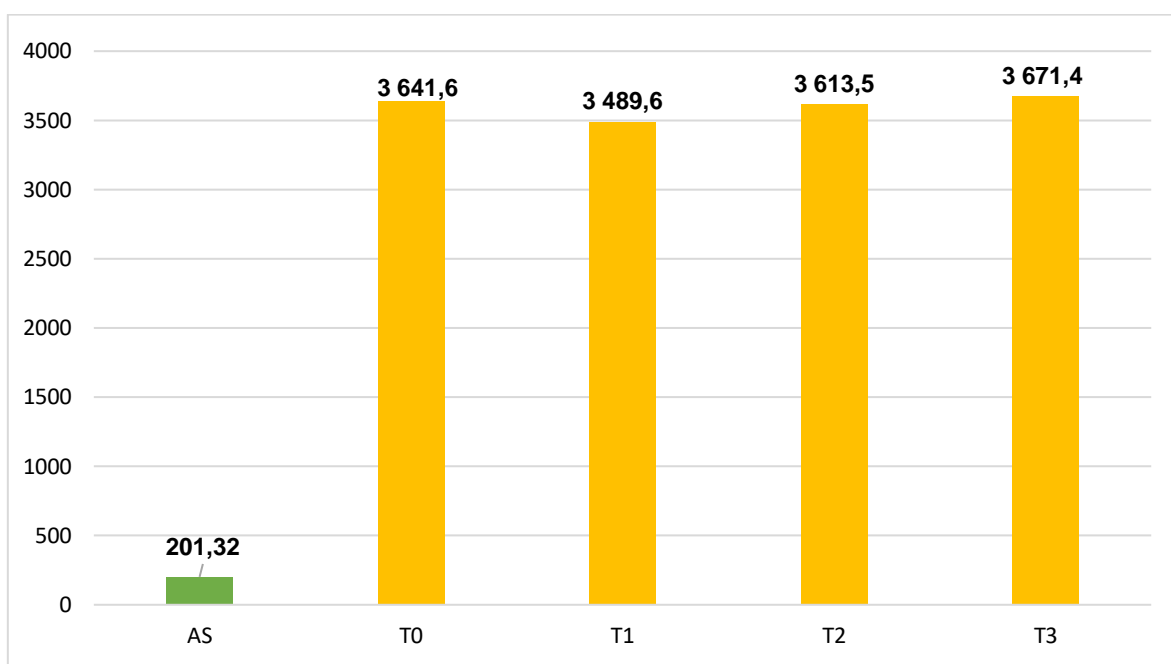
Concentración de P (ppm) en el suelo: antes y después de la cosecha en cada tratamiento.



La figura 34, muestra que el P, después de la cosecha, en el suelo se ha incrementado regularmente en todos los tratamientos, hasta llegar a la dosis de 120 kg N ha⁻¹ (T₃)^y en el tratamiento T₃ (180 kg N ha⁻¹), la cantidad de P en el suelo ha descendido. Significa que la planta de oca, no absorbió todo el P que se le aplicó vía fertilizantes y por lo tanto quedó en el suelo después de la cosecha, retenido en el suelo.

Figura 35.

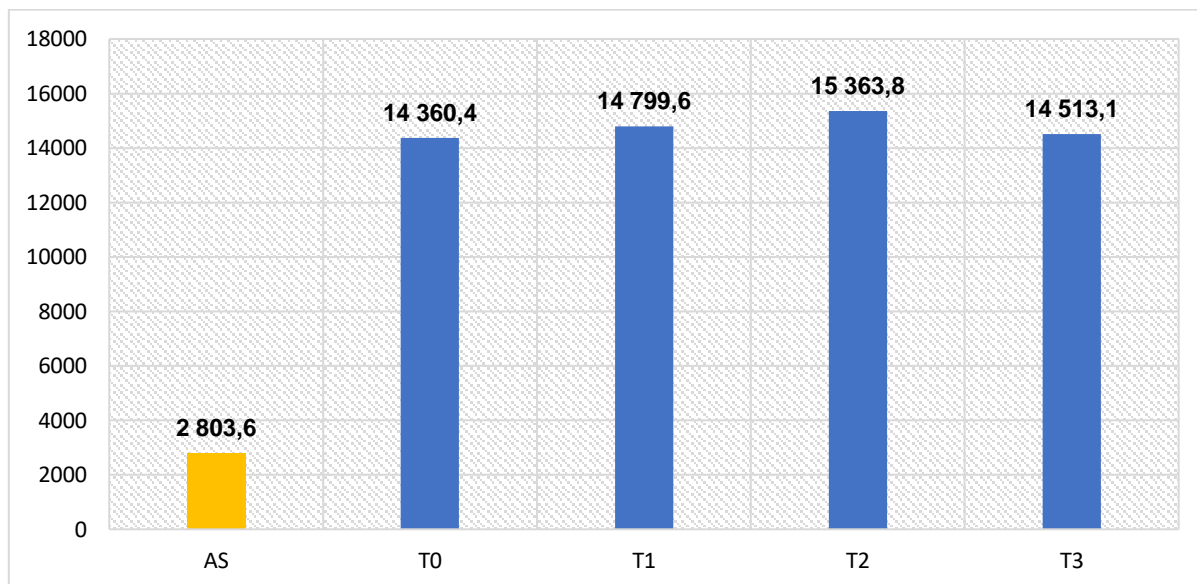
Concentración de K (ppm) en el suelo: antes y después de la cosecha en cada tratamiento.



La figura 35, muestra que el K, después de la cosecha, en el suelo se ha incrementado regularmente en todos los tratamientos hasta alcanzar una concentración semejante en todos ellos. Nos indica que, si en el testigo tenemos que el suelo contiene concentración menor que los tratamientos, demuestra que, a pesar de la absorción por el cultivo, hubo potasio aportado por los fertilizantes que se no fue aprovechado por la planta y se quedó retenido en el suelo.

Figura 36.

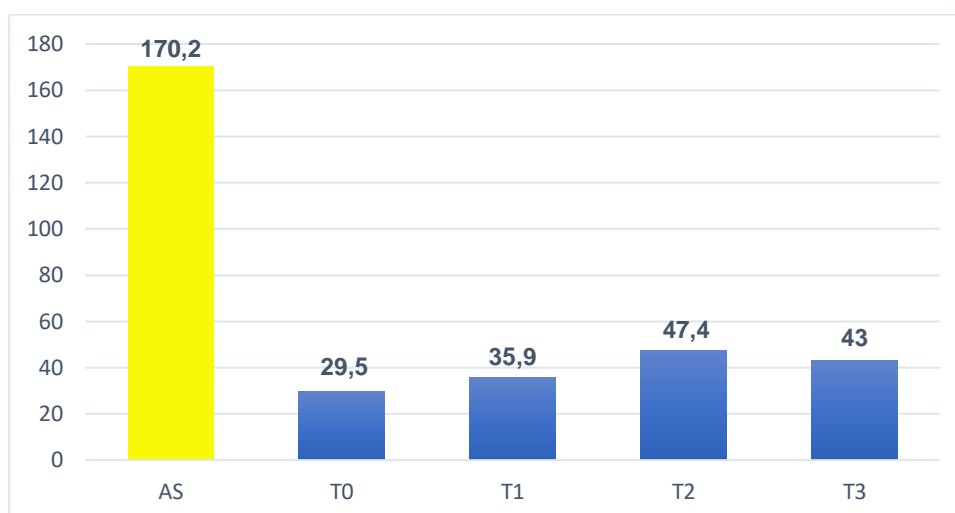
Concentración de Ca (mg kg^{-1}) en el suelo: antes y después de la cosecha en cada tratamiento.



La figura 36, muestra que el Ca, después de la cosecha, en el suelo se ha incrementado regularmente en todos los tratamientos hasta alcanzar una concentración semejante en todos ellos. A pesar que la planta ha absorbido al calcio y encontramos que se ha elevado la cantidad de este elemento después de la cosecha, lo que posiblemente haya ocurrido es que los fertilizantes fosforados (super fosfato triple de Ca) haya aportado este elemento al suelo.

Figura 37.

Concentración de Mg (mg kg^{-1}) en el suelo: antes y después de la cosecha en cada tratamiento.



La figura 37, muestra que el Mg, después de la cosecha, en el suelo ha disminuido con respecto al suelo inicial. Nos demuestra que la absorción de este nutriente ha sido eficiente por la planta en todos los tratamientos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto a la mayor concentración de nutriente según parte de la planta, fue la siguiente: referente al N, en la raíz, el T₀ con 7,38%; en el tallo, el T₃ con 4,19%; en la hoja, el T₁ con 8,69% y en el tubérculo el T₁ con 4,5 %. Referente al P, en la raíz, el T₀ con 4468,7 ppm; en el tallo, el T₀ con 3357.6 ppm; en la hoja, el T₂ con 1854,0 ppm y en el tubérculo el T₂ con 2775,6 ppm. En relación al K: en la raíz, el T₃ con 16952,6 ppm; en el tallo, el T₂ con 57486,9 ppm; en la hoja, el T₃ con 27631,2 ppm y en el tubérculo el T₂ con 21081,1 ppm. La concentración de Ca fue: en la raíz, el T₁ con 33784,1 ppm; en el tallo, el T₁ con 54116,1 ppm; en la hoja, el T₃ con 51511,3 ppm y en el tubérculo el T₀ con 25361,1 ppm. Finalmente, el Mg: en la raíz, el T₀ con 3369,3 ppm; en el tallo, el T₀ con 3452,3 ppm; en la hoja, el T₁ con 3497,3 ppm y en el tubérculo el T₃ con 1017,3 ppm.

El índice de cosecha de macronutrientes (ICN) fue: para N; más alto 21,7 (T₀) y más bajo 13,3 (T₃); para P: más alto 39,47 (T₃) y más bajo 9,95 (T₀); para K: más alto 15,5 (T₀) y más bajo 15,2 (T₂); para Ca: más alto 2,1 (T₃) y más bajo 1,8 (T₁); para Mg: más alto 20.2 (T₃) y más bajo 13,6 (T₁).

La concentración de macronutrientes en el suelo antes y después de la cosecha fue la siguiente: el N se incrementó en 0,42% en el T₂; el P se incrementó en 37,52 ppm en el T₂; el K se incrementó en 3470.08 ppm en el T₃; el Ca se incrementó en 11996,0 ppm en el T₂; finalmente el Mg disminuyó en 140,7 ppm en el T₀, 134,3 ppm en el T₁, 112,8 ppm en el T₂ y 127,2 ppm en el T₃.

RECOMENDACIÓN

Se sugiere realizar investigaciones de curva de absorción de nutrientes en los cultivos andinos.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albornoz, F. 2014. Absorción de nutrientes por las raíces y transporte dentro de la planta. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Alexander, A. 1973. Sugarcane Physiology. A Comprehensive Study of the Saccharum Source – to Sink System. Amsterdam, Elsevier. Publ. Co. 752.
- Altieri.M.; Nicholls, C. 2017. Estrategias agroecológicas para enfrentar el cambio climático. In. Producción de alimentos en sistemas resilientes al clima. Revista de Agroecología vol.33. Recuperado de: <https://www.leisa-al.info/index.php/journal/issue/view/19>
- APROPEDIA (s/f). Cultivos de raíces / Oca (Oxalis tuberosa). [https://www.appropedia.org/Root_Crops/Oca_\(Oxalis_tuberosa\)/es](https://www.appropedia.org/Root_Crops/Oca_(Oxalis_tuberosa)/es)
- Arévalo, G y Castellano, M. 2009. Manual de Fertilizantes y Enmiendas. Pág. 17.
- Ayrton, P.; Gutiérrez, N.; Murillo, R. 2018. Evaluation of the agronomic behavior of three ecotypes of oca (Oxalis tuberosa) and revalorization of the ancestral food practices of the Huatapampa community of the municipality of Tito Yupanqui. Apthapi 4(3):1324-1333. Septiembre –Diciembre. 2018. ISSN: 2519-9382. Revista Carrera de Ingeniería Agronómica –UMSA. <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/235/225>.
- Barrera, V.; Tapia, C y Monteros, A. (2004). Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No.4. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones

- Agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Quito, Ecuador - Lima, Perú. 176 p.
- Becerra-Sanabria, L; Navia-de Mosquera, S; Ñustez-López, C. 2007. Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar “Criolla Guaneña” en el departamento de Nariño. Revista de La Asociación Latinoamericana de La Papa 14(1): 51–60
- Calvache, M; Valle, L. 2021. Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria versión impresa ISSN L:2664-0902 versión Online ISSN 2664-0902. Rev. Inv. Cs. Agro. y Vet. vol.5 no.13 La Paz abr. 2021. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.95>.
- Clavijo, N. y Pérez, M. .2015. Conocimiento agrícola local y conservación in situ. El caso de tres cultivos andinos en la comunidad indígena de las Huaconas en Ecuador. V Congreso Latinoamericano de Agroecología - SOCLA. Repositorio institucional de la UNLP. Recuperado de: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/58861>.
- CIP. 2021. Raíces y Tubérculos Andinos. Molina. Lima Perú.
- Cruzado, G.; Crisólogo, M. 2009. Estudio de Geología (actualizado). Gobierno Regional de Cajamarca.
- Emshwiller, E.; Theim, T.; Grau, A.; Nina, V & Terrazas, F. 2009. Origins of Domestication and Polyploidy in oca (*Oxalis tuberosa*. Molina; Oxalidaceae). 3. AFLP data of Oca and Four Wild, Tuber-Bearing Taxa. American Journal of Botany 96(10): 1839-1848.
- FAO, 1996. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. Organización de las naciones unidas para la agricultura. 00100 Roma, Italia.

- Fernández, V.; Brown, P. 2013. From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients. PLANT SCIENCE.
- Flores., R.; Casimiro-Marín, M.; Sotelo, E.; Rubio, O. (2020) fertilización NPK, distribución de biomasa y número de mini tubérculos de papa en invernadero. Revista Mexicana de ciencias agrícolas. Versión impresa ISSN 2007-0934. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.204>.
- Gallardo M. 2018. Variabilidad de Tuberosas Andinas en Comunidades Altoandinas Tradicionales. Caso: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina). Cuenca de Mito, Provincia de Huánuco, Región Huánuco. Lima Perú.
- Giletto, C.; Monti, M.; Ceroli, P. y Echeverría, H. 2013. Efecto de la Fertilización con Nitrógeno sobre la calidad de tubérculos de papa (var. Innovator) en el sudeste Bonaerense. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 14, núm. 2, 2013, pp. 217-222 Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. Hermosillo, México.
- Gómez, D.; Rodríguez, G.; Rodríguez, A. 1997. Efectos de la nutrición mineral sobre el crecimiento y rendimiento de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*). En: IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos, p.38-39.
- Hernández, M; Chailloux, M. 2010. La nutrición mineral y la biofertilización en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). La Nutrición Mineral y La Biofertilización. Temas de Ciencia y Tecnología 5(13): 11–27.
- Hidalgo, J. 2021. El cultivo de Oca (*Oxalis Tuberosa*). Cultivo de raíces y tubérculos. Recuay – Ancash – Perú.
- INIA (2020). Colección del germoplasma de oca del Perú. Proyecto: "Conservación y análisis de diversidad genética de la oca (*Oxalis tuberosa*) en el Perú". Editado por INIA. 447 p.

INIAP, CIP, COSDE. 2003. Raíces y Tubérculos Andinos; Alternativas para la conservación y Uso sostenible en el Ecuador.

INTI. (s/f) Fósforo como elemento esencial en la fertilización del cultivo de papa.

Inostroza F. 2009. Fertilización del cultivo de la papa [en línea]. Temuco: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 193. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7284> Consultado: 20 de noviembre de 2024.

INTAGRI. 2016. La Absorción de Macronutrientes en Maíz de Alto Rendimiento. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/cereales/la-absorcion-de-macronutrientes-en-maiz-de-alto-rendimiento>

Jefferies, R., Mackerron, D. 1993. Responses of potato genotypes to drought. II. Leaf area index, growth and yield. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1993.tb04018.x>.

Kalliola, R., Jokela, P., Pietila, L., Rousi, A., Salo, J. y Yli-Rekola, M. 1990. Influencia del fotoperíodo en el crecimiento y formación de tubérculos de ulluco (*Ullucus tuberosus*, Basellaceae), Oca (*Oxalis tuberosa*, Oxalidaceae) y Añu (*Tropaeolum tuberosum*, Tropaeolaceae)". San José (Costa Rica).

Kelling, A. Panique, E. Speth, P; Stevenson, W. 2002. Effect of potassium rate, source and application timing on potato yield and quality. Proc. Idaho Potato Conference. file:///C:/Users/TOSHIBA/Downloads/gfischer,+14.Diagn%C3%B3stico+de+K++y+NO3.pdf

Khushaba,B. Nashwan,D,; Hasan, J. 2022. Effect of Media, Benzyl Adenine, And Npk Fertilizer on The Growth and Development of Oxalis (oxalis Triangularis) Plant. <https://doi.org/10.26682/ajuod.2022.25.1.6>. Journal of University of Duhok., Vol. 25, No.1 (Agri. and Vet. Sciences), Pp 46-55, 2022

- Kremen , C.; Miles,A. 2012. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs Ecology and Society 17(4): 40. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05035-170440>
- León, J. 1965. Plantas alimenticias andinas. Perú. Instituto interamericano de ciencias agrícolas. Zona andina. Boletín agrícola N° 6. 112 p.
- Masías, F.; Piedra, G.; Hernández, R. 2017. Química Agrícola. (PDF) Química Agrícola (researchgate.net)
- Méndez, P.; Meier, S. 2019 Antecedentes sobre Fertilización del cultivo de Papa [en línea]. Temuco: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 414. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6861> (Consultado: 25 junio 2024)
- Mengel, K.; Kirkby, E. 2000. Principios de la Nutrición Vegetal. Traducción por: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Estación Experimental Agropecuaria Pergamino c.c. No. 31, 2700 Pergamino, Argentina.
- MINAGRI, 2013. Series históricas de Producción Agrícola – compendio estadístico. Disponible en: <http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/>
- Mora, R.; Ortiz, J.; Cereceres, J.; Rivera, A.; Mendoza, M. ; Colinas, M.; Loyola, H. 2005. Indices de eficiencia de genotipos de papa establecidos en condiciones de secano. Revista chapingo serie horticultura, vol. 12, núm. 1, enero-junio, 2006, pp. 85-94 Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México. <https://www.redalyc.org/pdf/609/60912113.pdf>
- National Research Council. 1989. The lost crops of the incas: Little known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. National Academy Press. Washington D.C. 415p.

- Navarro, S., Navarro, G. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2 ed. Mundi Prens, España.
- Pérez, F. 2017. Fisiología Vegetal. Parte III. Nutrición Mineral. (p. 1, 2). Pucallpa, Perú
- Pérez, L; Rodríguez, L; Gómez, M. 2009. Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y 64 Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia. Agronomía Colombiana 26(3): 477–486.
- PROAIN (2020). Importancia del nitrógeno en la nutrición de las plantas. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/importancia-del-nitrogeno-en-la-nutricion-de-las-plantas>
- Quispe, Z.; López, M. 2017. Estudio hidrogeológico de la microcuenca San Cirilo, Cajamarca – Perú. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Rajwade, V., Banafar, R., Pathak, A. 2000. Growth analysis of potato in relation to biodinamic package and organic manures with chemical fertilizers. J. Indian Potato Assoc. 27(1/2): 55-58
- Rendig, V., Oputa, C and McComb, E.A. 1976. Effects of sulfur deficiency on non-protein nitrogen, soluble sugars, and N/S ratios in young corn (*Zea mays* L.) plants. Plant Soil 44:423-437.
- Rennenberg, H. 1984. The fate of excess sulfur in higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 35:121-153.
- Reuveny, Z., D.K. Dougall and P.M. Trinity. 1980. Regulatory coupling of nitrate and sulfate assimilation pathways in cultured tobacco cells. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 77:6670-6672.
- Rodríguez, C. 1998. Efecto del Nitrógeno, Fosforo y Potasio en el Crecimiento y Producción de Plántulas de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mili) Var. Florada de

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Nuevo León, México. 105.

Rolando, J.; Turin, C.; Ramirez, D.; Mares, V.; 2017. Key ecosystem services and ecological intensification of agriculture in the tropical high-Andean Puna as affected by land-use and climate changes. *Agriculture, Ecosystems and Environment journal homepage: www.elsevier.com/locate/agee*.

Rosen, C.; Bierman, P. 2014. Potato Yield and Tuber Set as Affected by Phosphorus Fertilization. [American Journal of Potato Research](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167636914000011).
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12230-008-9001-y#:~:text=Home-,American%20Journal%20of%20Potato%20Research,-Article>

Rosero, M. (2010). Colección, caracterización y conservación de variabilidad genética de Oca (Oxalis Tuberosa Mol) en agroecosistemas paramunos del departamento de Nariño-Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7296>

Salcedo, K. 2013. Diagnóstico nutricional de plantaciones de eucalipto sp en suelos ácidos del estado de Tabasco. México [Tesis de doctorado, no publicada]. Universidad Autónoma Chapingo.

SENAMHI. 2023. Tiempo/Pronóstico meteorológico. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-meteorologico>.

Sela, G. 2020. Fertilización y Riego. Teoría y mejores prácticas. 254.p.

Seminario, J.; Seminario, A.; Domínguez, A.; Escalante, B. 2017. Rendimiento de cosecha de diecisiete cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) del grupo Phureja. *Scientia agropecuaria. versión impresa* ISSN 2077-9917. Scientia.

Sierra, C.; Sierra, J.; Santos, J.; Kalazich. 2002. Manual de fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile. Boletín INIA N° 76.

https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=sierra.+2002.+papa&q=sierra.

Suntaxi, C. 2013. Obtención de un producto tipo aperitivo (snack) a partir de oca (*Oxalis tuberosa*) mediante fritura al vacío. Tesis Ingeniería de alimentos de la Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito – Ecuador.

Stark, J.; Westerman, D.; Hopkins, D. 2004. Nutrient management guidelines for ruseet Burbank potatoes. University of Idaho. Collage of agriculture of live sciences Moscou.

Talledo, D. y Escobar, C, 1995. Citogenética de *Oxalis tuberosa*: Ciclo celular y número cromosómico. BIOTEMPO (Perú) 2: 33-46.

Tapia, M. 1997. Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. 2da. Edición. Santiago, Chile, p.93.

Tapia, M. y Frías, A. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. FAO y ANPE. Lima.

Tisdale, W.; Nelson, S. 2016. Soil Fertility and fertilizers. India: Pearson India.

https://www.google.com.pe/books/edition/Soil_Fertility_and_Fertilizers/BxEwDwAAQBAJ?hl=es

Towle, A. 1961. The etnobotany of pre-columbian Perú. New York. Wenner Green Foundation for Antropological Research, 180 p.

Undurraga D.; Hirzel , J. (2011). Fertilización del cultivo de papa [en línea]. Chillán: Trama Impresores S.A.. Colección Libros INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 28. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/3552> (Consultado: 20 de noviembre de 2024).

- Valdivia, G.; Devaux, A.; Gonzales, S.; Herbas, J. ; Hijmans,R. 2016. Desarrollo y Producción de Oca (*Oxalis tuberosa*) e Isaño (*Tropaeolum tuberosum*) Bajo Dos Niveles de Fertilización. Revista Latinoamericana de la Papa. (1999). 11:121-135.
<http://ojs.papaslatinas.org/index.php/rev-alap/article/view/99/102>
- Villamil, H. 2005. Fisiología de la nutrición de la papa. In. I Taller nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa. Febrero. Bogotá –Colombia.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/17441/41887_44470.pdf?sequence=1#page=28
- Visscher, A.. ; Vanek, S. ; Huaraca, J.; Mendoza, J. ; Ccanto, R.; Meza, K. ; Olivera, E. Scurrah, M.; Wellstein, C. Bonari, G. ; Zerbe, S. Fonte, S. 2023. Traditional soil fertility management ameliorates climate change impacts on traditional Andean crops within smallholder farming systems. Science of the Total Environment journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168725>.
- Yacovleff, E. y Herrera, F. 1934. El Mundo Vegetal de los Antiguos Peruanos. Editor Impr. del Museo Nacional, 1935. 152 pág.

CAPÍTULO VII

ANEXOS.

Figura 8.

Coordinación para elaboración de la investigación



Figura 9.

Identificación del terreno para el experimento



Figura 10.

Muestreo del suelo





Figura 11.

Preparación de la muestra compuesta del suelo para laboratorio (1 Kg)




Figura 12.

Muestras de suelo para laboratorio antes de sembrar.



Figura 13.

Resultados del Análisis del Suelo


Tecnología y Desarrollo Agrícola J.D. S.R.L.
 Urb. J. Hurtado Miller J - 8 (Baños del Inca)
 RUC 20529318511

| EVALUACION DE SUELOS | | | |
|---------------------------|-------------------------|-------------|-----------|
| Fecha | 15/11/2021 | N° Registro | JD21-0057 |
| Usuario | SARA ESTHER GARCIA ALVA | | |
| Procedencia de la muestra | Provincia | CAJAMARCA | |
| | Distrito | LA ENCAÑADA | |
| | Comunidad | LA VICTORIA | |
| | Predio | 0 | |
| | Parcela | ISAC | |
| Nombre del cultivo | 0 | | |

| Resultados de la Evaluación | | |
|-----------------------------|------------|-------------------|
| Determinaciones | Resultados | Clasificación |
| Arena (%) | 32.00 | Fr.Ar. |
| Limo (%) | 35.00 | |
| Arcilla (%) | 33.00 | |
| Reacción actual (pH) | 6.35 | Ligeramente ácido |
| Reacción potencial (pH) | 5.24 | - |
| Al cambiabile (me/100g) | 0.00 | Bajo |
| Calcáreo total (%) | 0.00 | Bajo |
| C. E. (µmohs/cm) | 381.00 | Libre de sales |
| C. E. actual (µmohs/cm) | 324.00 | - |
| M.O. (%) | 2.80 | Medio |
| N total (%) | 0.14 | Medio |
| P disponible (ppm) | 9.88 | Medio |
| K disponible (ppm) | 201.32 | Alto |
| C.C.C.(r) (me/100g) | 24.20 | Alto |
| Ca cambiabile (me/100g) | 13.99 | - |
| Mg cambiabile (me/100g) | 1.40 | - |
| K cambiabile (me/100g) | 0.69 | - |
| Na cambiabile (me/100g) | 0.01 | - |
| Saturación de bases (%) | 66.54 | Medio |
| Acidez de cambio (me/100g) | 8.10 | Medio |

NOTA: El presente análisis ha sido realizado con fines de abonamiento
 La utilización para otros fines es responsabilidad del usuario.


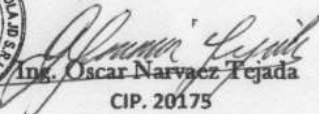


Ing. Oscar Narvaez Tejada
 CIP. 20175
Jefe de Laboratorio

Figura 14.

Pesado de fertilizantes



Figura 15.

Siembra de oca en el campo experimental



Figura 16.

Deshierbo



Figura 17.

Aplicación de Segunda dosis de fertilización



Figura 18.

Control fitosanitario



Figura 19.

Muestras de tallo de oca, para enviar al laboratorio



Figura 20.

Preparación de muestras (tubérculos, raíces. Hojas y tallos) para análisis en el laboratorio.



