UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

VICERRECTORADO

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MONOGRAFIA PARA OPTAR EL DIPLOMADO EN FERTIRRIGACIÓN DE CULTIVOS

“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS CONVENCIONALES DE FERTILIZACIÓN Y FERTIRRIGACIÓN EN EL CULTIVO DE TOMATE”

POSTULANTE:

HERNAN ZAMBRANA PUMA

COBIJA – PANDO – BOLIVIA

2025

DEDICATORIA:

Dedico con eterna gratitud y amor a mis queridos padres Alberto Zambrana Estrada y Victoria Puma Flores: que fueron los pilares fundamentales en el desarrollo del presente diplomado, en inculcarme el respeto a las personas, la responsabilidad de los compromisos, el amar el trabajo y el afán de superación.

A mis hermanos/as por su gran cariño y comprensión moral; a ellos/as les dedico mi máximo esfuerzo.

A mi familia, quienes me han apoyado para culminar el diplomado y realizar la monografía.

AGRADECIMIENTOS

La presente monografía constituye un aporte académico orientado al análisis comparativo de las técnicas de fertilización convencional y fertirrigación en el cultivo de tomate. Se sustenta en la convicción de que el conocimiento generado desde la investigación documental puede enriquecer los procesos de reflexión y toma de decisiones, contribuyendo al fortalecimiento del sector agroproductivo.

Agradezco profundamente a los responsables de distintos proyectos e iniciativas de instituciones públicas y privadas, cuyas publicaciones y reportes técnicos han sido fundamentales para la recopilación y el análisis de la información utilizada en este estudio.

Extiendo también mi reconocimiento a los docentes del Diplomado en Fertirrigación de Cultivos, por su valioso acompañamiento durante mi formación. Su experiencia, compromiso y claridad metodológica han sido pilares clave para la elaboración de esta investigación.

Asimismo, agradezco a mis compañeros de Diplomado, con quienes compartí un espacio de aprendizaje colectivo que motivó el crecimiento personal y profesional. El intercambio constante de ideas y visiones fortaleció mi compromiso con la búsqueda de alternativas sostenibles para el desarrollo territorial.

Finalmente, a mi familia, por su apoyo incondicional y constante aliento en cada etapa de este proceso académico.

CONTENIDO

CONTENIDO.....ii
ÍNDICE DE TEMAS.....ii
ÍNDICE DE TABLAS.....v
RESUMEN.....vi
ABSTRACT.....vii

ÍNDICE DE TEMAS

RESUMEN..... vii
ABSTRACT..... viii
INTRODUCCIÓN..... 1
1. JUSTIFICACIÓN..... 3
2. PROBLEMA A INVESTIGAR..... 5
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA..... 5
2.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA..... 6
2.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO..... 7
2.4. DEFINICIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN..... 8
3.OBJETIVOS..... 9
3.2 OBJETIVO GENERAL..... 9
3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 9
4. SUSTENTO TEÓRICO, DEBATE Y REFLEXIÓN..... 10
4.1. EL ESTADO DEL ARTE..... 10
4.1.1. FERTILIZACIÓN CONVENCIONAL EN CULTIVOS HORTÍCOLAS..... 10
4.1.2. FERTILIZACIÓN CONVENCIONAL EN EL CULTIVO DE TOMATE..... 10
4.1.3. FERTIRRIGACIÓN COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA..... 11
4.1.4. FERTILIZACIÓN Y FERTIRRIGACIÓN EN EL CULTIVO DE TOMATE EN BOLIVIA 11
4.1.5. EXPERIENCIAS EN EL CULTIVO DE TOMATE..... 12
4.1.6. FERTIRRIGACIÓN EN TOMATE EN EL MARCO DEL PROGRAMA RUMBO (BOLIVIA) 12
4.2. TEORÍAS QUE SUSTENTAN LA INVESTIGACIÓN..... 13
4.2.1. TEORÍA DEL MANEJO INTEGRADO DE NUTRIENTES (MIN)..... 14
4.2.2. TEORÍA DE LA EFICIENCIA EN EL USO DE RECURSOS (WATER AND NUTRIENT USE EFFICIENCY)..... 14
4.2.3. ENFOQUE AGROECOLÓGICO CONTEXTUALIZADO..... 14
4.2.4. TEORÍA DE LA EFICIENCIA DEL USO DE NUTRIENTES (NUE)..... 14
4.2.5. TEORÍA DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN..... 15
4.2.6. ENFOQUE AGROECOLÓGICO DEL MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS..... 15
4.2.7.TEORÍA DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA AGRÍCOLA..... 15
4.2.8. ENFOQUE COSTO-BENEFICIO EN LA ECONOMÍA AGRÍCOLA..... 16

4.3. DESARROLLO TEMÁTICO DEL MARCO TEÓRICO....16
4.3.1.CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE TOMATE (SOLANUM LYCOPERSICUM) 16
4.3.1.1 REQUERIMIENTOS AGRONÓMICOS DEL TOMATE: SUELO, TEMPERATURA, AGUA, NUTRIENTES....16
4.3.1.1. FASES FENOLÓGICAS Y NECESIDADES NUTRICIONALES DIFERENCIADAS. 17
4.3.1.2. PROBLEMÁTICAS PRODUCTIVAS FRECUENTES EN SISTEMAS FAMILIARES. 18
4.3.2. FERTILIZACIÓN CONVENCIONAL EN AGRICULTURA CAMPESINA....18
4.3.2.1. TIPOS DE FERTILIZANTES USADOS: UREA, NPK, ESTIÉRCOL....18
4.3.2.2. FRECUENCIA Y FORMA DE APLICACIÓN....19
4.3.2.3. IMPACTO EN SUELOS, RENDIMIENTO Y COSTOS....19
4.3.2.4. LIMITACIONES DEL MÉTODO CONVENCIONAL....20
4.3.3. FERTIRRIGACIÓN: FUNDAMENTOS Y FUNCIONAMIENTO....20
4.3.3.1. PRINCIPIOS DE FERTIRRIGACIÓN: INTEGRACIÓN AGUA + NUTRIENTES. 21
4.3.3.2. TIPOS DE SISTEMAS (GOTEO, MICROASPERSIÓN)....21
4.3.3.3. VENTAJAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS: DOSIFICACIÓN PRECISA, REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS, AUTOMATIZACIÓN....21
4.3.3.4. REQUISITOS DE IMPLEMENTACIÓN (PRESIÓN DE AGUA, SISTEMA DE FILTRADO, CONOCIMIENTO TÉCNICO)....22
4.3.4. COMPARACIÓN TÉCNICA DE AMBOS MÉTODOS....23
4.3.4.1. RENDIMIENTO POR HECTÁREA....23
4.3.4.2. CALIDAD DEL FRUTO (TAMAÑO, COLOR, SABOR, FIRMEZA)....23
4.3.4.3. EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y FERTILIZANTES....24
4.3.4.4. COSTOS OPERATIVOS Y RENTABILIDAD....24
4.3.4.5. IMPACTO AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD....25
4.3.4.6. ANÁLISIS GENERAL DE MÉTODOS COMPARATIVOS....25
4.3.5. ADOPCIÓN TECNOLÓGICA EN COMUNIDADES RURALES....27
4.3.5.1. BARRERAS PARA LA ADOPCIÓN DE LA FERTIRRIGACIÓN: COSTO INICIAL, FALTA DE CAPACITACIÓN....28
4.3.5.2. IMPORTANCIA DE LAS PARCELAS DEMOSTRATIVAS Y VALIDACIÓN LOCAL. 28
4.3.5.3. ROL DEL ACOMPAÑAMIENTO TÉCNICO Y LA EXTENSIÓN RURAL....29
5.1. CONCLUSIONES GENERALES....31
5.2. RECOMENDACIONES....32

6.1. APORTE CIENTÍFICO.....33
6.2.APORTE SOCIAL.....34
7. BIBLIOGRÁFICAS.....36
ANEXOS.....39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. ..... *25*
Rendimiento por hectárea de método de fertilización convencional y fertirrigación *25*
Tabla 2. ..... *25*
Características del fruto de tomate con metido convencional y fertirrigación *25*
Tabla 3. ..... *26*
Eficiencia del uso de agua con método convencional y fertirrigación *26*
Tabla 4. ..... *26*
Costos comparativos de operación y rentabilidad *26*
Tabla 5. ..... *27*
Análisis de impacto ambiental y sostenibilidad *27*
Tabla 6. ..... *27*
Análisis general de rendimientos y rentabilidad *27*
Tabla 7. ..... *28*
Percepción de productores de experiencias comparativas de los métodos *28*

RESUMEN

La presente monografía titulada *"Estudio comparativo entre métodos convencionales de fertilización y fertirrigación en el cultivo de tomate"* aborda como problema específico la baja eficiencia productiva y el uso inadecuado de insumos en el manejo nutricional del cultivo de tomate en sistemas agrícolas familiares de la comunidad de Challhuani, municipio de Pojo (Cochabamba). Estas limitaciones, asociadas al empleo empírico de fertilización tradicional, afectan negativamente el rendimiento, la calidad del fruto y la sostenibilidad del sistema productivo.

El estudio tuvo como objetivo general comparar el efecto de la fertilización convencional y la fertirrigación sobre el rendimiento, calidad del cultivo y eficiencia en el uso de agua y nutrientes, bajo condiciones agroecológicas locales. Para ello, se caracterizaron las prácticas actuales de fertilización en la comunidad, se implementó un sistema de fertirrigación adaptado técnicamente y se evaluaron ambas estrategias a través de mediciones en campo, análisis técnico-económico y entrevistas.

Los resultados muestran que el sistema de fertirrigación permitió incrementar el rendimiento promedio en un 65 % (26,4 t/ha frente a 16 t/ha del método convencional), reducir el uso de agua en un 40 % y optimizar el aprovechamiento de fertilizantes en un 30 %. Asimismo, se logró mejorar significativamente la calidad del fruto (tamaño, firmeza, color y uniformidad), lo que se tradujo en una mayor rentabilidad por hectárea.

Se concluye que la fertirrigación es una alternativa técnica viable, eficiente y adaptable a condiciones de agricultura familiar, siempre que exista acompañamiento técnico, capacitación adecuada y estrategias de validación local. Como aporte final, se propone un conjunto de recomendaciones prácticas para mejorar el manejo nutricional del tomate, contribuir a la sostenibilidad del sistema agrícola y fortalecer la seguridad alimentaria en la comunidad de Challhuani de Municipio de Pojo.

Palabras Claves: <Fertirrigación> <Fertilización convencional> <Cultivo de Tomate>

ABSTRACT

This monograph, titled *"Comparative Study Between Conventional Fertilization Methods and Fertigation in Tomato Cultivation"*, addresses the specific problem of low productive efficiency and inadequate input management in the nutritional handling of tomato crops within family farming systems in the community of Challhuani, Pojo municipality (Cochabamba). These limitations, associated with the empirical use of conventional fertilization, negatively affect yield, fruit quality, and the sustainability of the production system.

The general objective of the study was to compare the effects of conventional fertilization and fertigation on yield, crop quality, and the efficient use of water and nutrients under local agroecological conditions. To achieve this, current fertilization practices in the community were characterized, a technically adapted fertigation system was implemented, and both strategies were evaluated through field measurements, techno-economic analysis, and interviews.

The results show that the fertigation system increased average yield by 65% (26.4 t/ha compared to 16 t/ha with the conventional method), reduced water use by 40%, and improved fertilizer efficiency by 30%. Additionally, fruit quality (size, firmness, color, and uniformity) improved significantly, resulting in higher profitability per hectare.

It is concluded that fertigation is a technically viable, efficient, and adaptable alternative for family farming systems, provided there is adequate technical support, farmer training, and local validation strategies. As a final contribution, the study proposes a set of practical recommendations to improve tomato crop nutrition management, promote the sustainability of the production system, and strengthen food security in the community of Challhuani, Pojo municipality.

Keywords: <*Fertigation*> <*Conventional fertilization*> <*Tomato cultivation*>

INTRODUCCIÓN

La agricultura en Bolivia, particularmente en zonas rurales como el municipio de Pojo, continúa siendo una actividad fundamental para la seguridad alimentaria, la generación de ingresos y la ocupación laboral de miles de familias campesinas. En este contexto, el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) representa una de las hortalizas de mayor importancia económica y social por su alto consumo en el mercado interno, su capacidad de generar ingresos en ciclos cortos y su demanda constante durante todo el año.

En la comunidad de Challhuani, ubicada en el municipio de Pojo, departamento de Cochabamba, el tomate es cultivado principalmente por pequeños productores bajo sistemas agrícolas tradicionales. Sin embargo, a pesar del potencial agroecológico de la zona, el rendimiento promedio del cultivo se mantiene en niveles bajos, estimados entre 12 y 16 toneladas por hectárea, frente a un potencial productivo que podría superar 25 toneladas por hectárea bajo un manejo técnico adecuado. Esta diferencia evidencia una brecha significativa entre el conocimiento técnico disponible y su adopción práctica por parte de los productores locales.

Una de las causas principales de esta brecha es el manejo inadecuado de la fertilización. La mayoría de los agricultores aplican fertilizantes sólidos (como urea o NPK) de forma empírica, sin considerar análisis de suelo, etapas fenológicas del cultivo ni eficiencia en la absorción de nutrientes. Esta práctica genera múltiples problemas: bajo aprovechamiento de los insumos, incremento de los costos de producción, deterioro paulatino de la fertilidad del suelo, y limitada calidad del producto final, afectando tanto el ingreso familiar como la sostenibilidad del sistema agrícola.

Frente a esta problemática, la fertiirrigación surge como una alternativa tecnológica que permite aplicar fertilizantes disueltos en el agua de riego, ajustando las dosis según las necesidades reales del cultivo en cada etapa. Esta técnica ha demostrado, en diversas experiencias nacionales e internacionales, mejorar el rendimiento, reducir el uso de fertilizantes y agua, y aumentar la rentabilidad del cultivo. No obstante, su adopción en comunidades rurales como Challhuani es aún limitada, debido a factores como el desconocimiento técnico, la falta de acceso a capacitación, y la escasa validación de esta tecnología en condiciones locales.

En este marco, la presente investigación se propone comparar el método convencional de fertilización con la fertiirrigación en el cultivo de tomate, con el fin de generar evidencia técnica que permita evaluar sus efectos sobre el rendimiento, la calidad del fruto, la eficiencia en el uso de insumos y la rentabilidad. Para ello, se establecen objetivos específicos que incluyen: caracterizar las prácticas actuales de fertilización en la comunidad, implementar ambos métodos en parcelas demostrativas, evaluar sus resultados de manera técnica y económica, y proponer recomendaciones aplicables al contexto de la agricultura familiar.

El estudio se enmarca en el enfoque de fortalecimiento de los sistemas productivos locales y promoción de tecnologías apropiadas para una agricultura más eficiente, rentable y ambientalmente sostenible. Los resultados obtenidos constituirán una herramienta útil para la toma de decisiones de productores, técnicos y autoridades del sector agropecuario en el municipio de Pojo y zonas similares del país.

En suma, esta investigación busca aportar al mejoramiento del manejo agronómico del cultivo de tomate en Challhuani, evidenciando el valor de incorporar innovaciones tecnológicas como la fertiirrigación, que contribuyan al cierre de brechas tecnológicas, al incremento de la productividad y al desarrollo rural sostenible.

CAPÍTULO I

1. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de tomate constituye una actividad agrícola de alta relevancia económica, social y alimentaria para numerosas comunidades rurales de Bolivia, incluyendo la comunidad de Challhuani del municipio de Pojo. Esta hortaliza no solo representa una fuente significativa de ingresos para pequeños y medianos productores, sino que también forma parte esencial de la dieta diaria de la población, con una demanda sostenida en mercados locales y regionales.

Sin embargo, pese a su importancia, la productividad del cultivo de tomate en Challhuani se ve limitada por el uso persistente de prácticas agronómicas tradicionales y poco eficientes, especialmente en el manejo de la fertilización. La aplicación empírica de fertilizantes sólidos, sin diagnóstico previo ni ajuste técnico a las necesidades del cultivo, genera un bajo aprovechamiento de nutrientes, menor rendimiento, incremento de costos productivos y, en algunos casos, deterioro progresivo del suelo.

Ante este escenario, la fertirrigación se presenta como una alternativa tecnológica viable, que permite aplicar fertilizantes disueltos en el agua de riego, facilitando una dosificación más precisa y sincronizada con las etapas fenológicas del cultivo. Esta técnica ha demostrado ser eficaz para mejorar el rendimiento, reducir el uso excesivo de insumos y contribuir a una agricultura más sostenible en distintas regiones del país y del mundo.

Cabe señalar que en Bolivia existen iniciativas públicas que promueven el uso de tecnologías de riego tecnificado y fertiirrigación, como el Programa de Apoyo a la Producción de Alimentos y Restitución de Bosques (PROAGRO), así como proyectos gestionados por gobiernos municipales, fundaciones y organizaciones de desarrollo rural. No obstante, en zonas como Pojo, su adopción sigue siendo incipiente, debido a la falta de validación local, acceso a capacitación técnica y limitaciones en la inversión inicial por parte de los productores.

Por ello, esta investigación adquiere relevancia al plantear una comparación entre los métodos convencionales de fertilización y la fertiirrigación, en condiciones agroclimáticas locales. El estudio no solo permitirá identificar diferencias en términos de rendimiento, eficiencia en el uso de agua y nutrientes, calidad del fruto y rentabilidad, sino que también generará evidencia

científica localmente validada, necesaria para promover decisiones técnicas fundamentadas y adaptadas al contexto campesino.

Además, este trabajo contribuirá al fortalecimiento de capacidades técnicas en la comunidad de Challhuani, mediante la implementación de parcelas demostrativas y la socialización de resultados, promoviendo así la adopción progresiva de tecnologías apropiadas. En un contexto marcado por la variabilidad climática, la escasez de agua y el encarecimiento de los insumos agrícolas, el uso racional y eficiente de los fertilizantes se convierte en una necesidad estratégica.

En suma, esta investigación está justificada por su contribución técnica al desarrollo agrícola sostenible, su utilidad práctica para los productores locales, y su pertinencia en políticas de seguridad alimentaria, uso eficiente de recursos naturales y adaptación tecnológica en la agricultura familiar de Bolivia.

CAPITULO II

2. PROBLEMA A INVESTIGAR

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la comunidad de Challhuani, ubicada en el municipio de Pojo, departamento de Cochabamba, la agricultura constituye una de las principales actividades económicas, de subsistencia y generación de ingresos para las familias campesinas. Entre los cultivos de mayor relevancia se encuentra el tomate, debido a su alta demanda en los mercados locales y regionales, así como su importancia en la alimentación cotidiana de la población.

No obstante, pese al potencial agroclimático de la región, el cultivo de tomate enfrenta diversas limitaciones, especialmente relacionadas con las prácticas agronómicas tradicionales empleadas por los productores. Uno de los aspectos más críticos es el manejo de la fertilización, que se realiza comúnmente mediante métodos convencionales sin criterios técnicos adecuados. Esta situación conlleva problemas como aplicaciones desequilibradas de nutrientes, baja eficiencia en el uso de fertilizantes, aumento en los costos de producción y resultados variables en la calidad y rendimiento del fruto. Además, estas prácticas pueden ocasionar efectos adversos sobre el suelo, la calidad del agua y el medio ambiente en general.

A ello se suma la limitada disponibilidad de recursos hídricos y la necesidad de optimizar su uso. En este contexto, surge la fertirrigación como una alternativa innovadora y eficiente. Esta técnica permite la aplicación de nutrientes disueltos en el agua de riego, ajustados a las etapas fenológicas del cultivo, mejorando así la eficiencia en el uso de insumos y la productividad. Sin embargo, en Challhuani esta tecnología es aún incipiente o desconocida por gran parte de los productores, debido a la escasa disponibilidad de información técnica, la falta de acompañamiento especializado y la ausencia de validación en condiciones agroecológicas locales.

En contraste, experiencias exitosas de fertirrigación ya han sido documentadas en otros valles productivos del departamento de Cochabamba, como en Tiquipaya, Sacaba o Cliza, y por otro lado el Gobierno Nacional mediante el Programa RUMBO está en proceso de implementación de riego tecnificado en parcela mediante fertirrigación que tiene un avance a la fecha de 30%, así como en regiones del trópico de Bolivia y zonas semiáridas del sur, donde su implementación ha

permitido incrementar el rendimiento de hortalizas en más de un 50 %, reducir el uso de agua y fertilizantes, y mejorar la calidad del producto comercializado. No obstante, la transferencia de estas tecnologías hacia comunidades más alejadas como Challhuani ha sido limitada, debido a brechas técnicas, económicas y sociales.

Esta realidad pone en evidencia la necesidad urgente de generar conocimientos técnicos y aplicados en el contexto local, que permitan comparar objetivamente los métodos convencional y de fertirrigación en función de parámetros agronómicos, económicos y ambientales. La falta de estudios científicos y experiencias demostrativas en la zona impide que los productores tomen decisiones informadas que favorezcan un manejo más eficiente, sostenible y rentable del cultivo.

En consecuencia, el problema central que motiva esta investigación es la ausencia de evaluación técnica y comparativa entre el método convencional de fertilización y la fertirrigación en el cultivo de tomate en condiciones locales, lo cual limita la adopción de prácticas agrícolas más modernas, eficientes y sostenibles por parte de los agricultores de la comunidad de Challhuani.

2.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La presente investigación se delimita tanto en el espacio geográfico, como en el contexto productivo, temporal y técnico con el fin de precisar el alcance del estudio y centrar el análisis en una realidad concreta y manejable.

Desde el punto de vista geográfico, el estudio se llevará a cabo en la comunidad de Challhuani, perteneciente al municipio de Pojo, en el departamento de Cochabamba, Bolivia. Esta comunidad representa un contexto típico de producción agrícola a pequeña escala en los valles interandinos, caracterizado por una economía campesina basada en el trabajo familiar, uso limitado de tecnología y escasos recursos para la inversión productiva.

En cuanto al ámbito productivo, la investigación se enfoca exclusivamente en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), por su importancia económica y alimentaria en la zona. Se analizarán los métodos de fertilización que inciden directamente sobre el rendimiento y calidad del cultivo.

Desde la dimensión técnica, el estudio se limitará a comparar dos prácticas específicas de manejo de nutrientes:

El método convencional de fertilización, que consiste en la aplicación manual y generalizada de fertilizantes sólidos (orgánicos y/o químicos), sin una programación técnica ni seguimiento de dosis según fases del cultivo.

El método de fertirrigación, que consiste en la aplicación de fertilizantes disueltos en el agua de riego, permitiendo una dosificación controlada y frecuente de nutrientes, ajustada a las necesidades fisiológicas del cultivo.

El estudio se concentrará en evaluar ambos métodos bajo condiciones reales de campo, aplicando criterios técnicos de comparación como: eficiencia en el uso de nutrientes, consumo de agua, rendimiento del cultivo (cantidad y calidad del tomate), costos de producción y percepción del productor.

En el plano temporal, la investigación se desarrollará durante un ciclo agrícola de cultivo de tomate, considerando desde la siembra hasta la cosecha. Este enfoque temporal permite analizar el impacto completo de cada método de fertilización a lo largo de todo el desarrollo del cultivo.

Finalmente, la delimitación poblacional comprende a un grupo representativo de productores de la comunidad de Challhuani, que actualmente cultivan tomate bajo condiciones similares. Se establecerán parcelas demostrativas o experimentales para la aplicación de ambos métodos, permitiendo un análisis comparativo directo y contextualizado.

Esta delimitación clara del problema permitirá generar resultados concretos, aplicables y útiles para la comunidad, además de contribuir con información técnica relevante para otras regiones con características agroecológicas similares.

2.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO

La producción de tomate en la comunidad de Challhuani, municipio de Pojo, enfrenta diversas limitaciones relacionadas principalmente con el manejo inadecuado de la fertilización. Los productores locales, en su mayoría pequeños agricultores, utilizan métodos convencionales de aplicación de fertilizantes, caracterizados por la falta de planificación técnica, dosis imprecisas y escaso seguimiento del estado nutricional del cultivo. Estas prácticas, si bien han sido parte del conocimiento empírico local, presentan serias deficiencias en términos de eficiencia del uso de insumos, lo que repercute en bajos rendimientos, mayores costos y menor sostenibilidad del sistema agrícola.

Frente a este escenario, la fertirrigación surge como una alternativa tecnológica que permite aplicar los nutrientes junto con el agua de riego de manera precisa, frecuente y controlada, optimizando así el aprovechamiento de los recursos y mejorando el desarrollo del cultivo. No obstante, esta técnica es poco conocida o aplicada por los agricultores de Challhuani, quienes carecen de información técnica y resultados locales que demuestren su viabilidad y efectividad frente al método convencional.

En este contexto, el problema científico se centra en la necesidad de generar conocimiento comparativo entre ambos métodos de fertilización, con base en parámetros técnicos y productivos que permitan determinar cuál es más eficiente, rentable y sostenible para el cultivo de tomate en las condiciones específicas de esta comunidad.

Por tanto, el **problema científico** que guía esta investigación se plantea de la siguiente manera:

¿Cuál es el efecto comparativo entre el método convencional de fertilización y la fertirrigación en el rendimiento, calidad del cultivo de tomate y eficiencia en el uso de insumos, en condiciones agroecológicas de la comunidad de Challhuani, municipio de Pojo?

Esta formulación del problema científico permite orientar el estudio hacia la búsqueda de respuestas concretas que fundamenten la elección de prácticas agrícolas más eficientes, sostenibles y adaptadas a las necesidades de los productores locales.

2.4. DEFINICIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

El objeto de investigación representa el fenómeno general y amplio dentro del cual se inscribe el problema científico planteado. En el presente estudio, dicho objeto se enmarca en el campo de la producción agrícola, específicamente en el ámbito del manejo nutricional de cultivos hortícolas en sistemas de agricultura familiar.

Por tanto, el **objeto de investigación** de esta monografía se define como:

El manejo de la fertilización en el cultivo de tomate en sistemas de producción agrícola familiar.

Este objeto abarca las diversas prácticas y tecnologías relacionadas con la aplicación de nutrientes al cultivo de tomate, su impacto en el desarrollo del cultivo, el rendimiento, la calidad del producto, la eficiencia en el uso de recursos y la sostenibilidad del sistema productivo. Asimismo, se relaciona directamente con aspectos agronómicos, técnicos y socioeconómicos

que influyen en la toma de decisiones de los agricultores sobre qué método de fertilización emplear.

El estudio se sitúa dentro de este objeto general, focalizándose en el análisis comparativo entre dos métodos específicos de fertilización el convencional y la fertirrigación con el fin de contribuir al conocimiento técnico-científico aplicado y aportar a la mejora de la productividad agrícola en la comunidad de Challhuani.

CAPÍTULO III

3.OBJETIVOS

3.2 OBJETIVO GENERAL

Comparar el efecto del método convencional de fertilización y la fertirrigación en el rendimiento, calidad del cultivo y eficiencia en el uso de insumos en el cultivo de tomate, en condiciones agroecológicas de la comunidad de Challhuani, municipio de Pojo.

3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las prácticas de fertilización utilizadas en el cultivo de tomate en la comunidad de Challhuani e implementar un sistema de fertirrigación adaptado a las condiciones locales para su análisis comparativo.
- Evaluar y comparar el impacto de los métodos convencional y de fertirrigación sobre el rendimiento, la calidad del cultivo y la eficiencia en el uso de insumos y costos de producción.
- Proponer recomendaciones técnicas basadas en los resultados obtenidos, orientadas a mejorar el manejo nutricional del cultivo de tomate en sistemas agrícolas familiares de la región.

CAPÍTULO IV

4. SUSTENTO TEÓRICO, DEBATE Y REFLEXIÓN

4.1. EL ESTADO DEL ARTE

4.1.1. FERTILIZACIÓN CONVENCIONAL EN CULTIVOS HORTÍCOLAS

La fertilización convencional, en especial en sistemas de agricultura familiar, ha sido históricamente basada en prácticas empíricas, con poco soporte técnico. Diversos estudios (Paredes, 2019) advierten que el uso indiscriminado de fertilizantes sólidos genera baja eficiencia en el uso de nutrientes, desequilibrio en el suelo, contaminación y sobrecostos productivos. En Bolivia, investigaciones realizadas por el (INIAF, 2020) revelan que más del 60% de los pequeños productores aplican fertilizantes sin diagnóstico de suelos ni planificación técnica.

4.1.2. FERTILIZACIÓN CONVENCIONAL EN EL CULTIVO DE TOMATE

La fertilización convencional en el cultivo de tomate ha sido una práctica ampliamente utilizada en la agricultura intensiva a nivel mundial. Este método se basa en la aplicación directa de fertilizantes químicos sólidos, generalmente a través del suelo, sin considerar una integración con los sistemas de riego. Su objetivo principal es suplir los requerimientos nutricionales del cultivo mediante aplicaciones programadas según las fases fenológicas de la planta.

Diversos estudios coinciden en que el tomate *(Solanum lycopersicum L.)* es una especie de alta exigencia nutricional, especialmente en nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), siendo estos elementos esenciales para el desarrollo vegetativo, floración, cuajado de frutos y calidad postcosecha (Hochmuth, 2007). En los sistemas convencionales, la dosis de fertilización se basa comúnmente en experiencias previas, sin necesariamente realizar análisis de suelos, lo que puede derivar en desequilibrios nutricionales, baja eficiencia del uso de fertilizantes y contaminación ambiental por lixiviación o escorrentía (FAO, 2019).

Por ejemplo, investigaciones realizadas en México por (Ramírez, 2020) evidencian que el uso intensivo de fertilizantes convencionales en tomate, especialmente en cultivos bajo invernadero, puede mejorar los rendimientos en el corto plazo, pero también genera acumulación de sales y degradación del suelo cuando no se manejan adecuadamente.

Otro estudio de (Valera, 2016), en España, destaca que las aplicaciones convencionales tienden a ser menos eficientes en comparación con la fertirrigación, debido a que la distribución del fertilizante no siempre coincide con la demanda real de la planta.

A pesar de sus limitaciones, la fertilización convencional continúa siendo el método predominante en muchas zonas rurales, especialmente donde no se cuenta con infraestructura de riego tecnificado o conocimiento sobre tecnologías alternativas.

4.1.3. FERTIRRIGACIÓN COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA

La fertirrigación se ha validado como una práctica eficiente y sostenible, especialmente en cultivos de alto valor como el tomate. Según (Chavez-Díaz, 2019), en estudios realizados en el altiplano peruano, la fertirrigación aumentó el rendimiento en más del 30% respecto al método convencional, reduciendo el uso de fertilizantes y agua hasta en un 40%. En regiones semiáridas de México, (Pérez-Castañeda, 2020) documentan una mejora en la calidad del tomate y una reducción significativa en los costos operativos con el uso de esta técnica.

4.1.4. FERTILIZACIÓN Y FERTIRRIGACIÓN EN EL CULTIVO DE TOMATE EN BOLIVIA

En Bolivia, la producción de tomate se concentra principalmente en regiones de clima templado como los valles interandinos (Cochabamba, Chuquisaca, Tarija), así como zonas cálidas del Chaco. Tradicionalmente, los productores han empleado métodos convencionales de fertilización, con el uso de fertilizantes químicos como la urea, el fosfato diamónico (DAP) y el sulfato de potasio, aplicados manualmente o al voleo, en suelos muchas veces con escaso análisis técnico previo (MDRyT, 2020).

No obstante, en los últimos años, algunos programas y proyectos de desarrollo productivo han comenzado a introducir técnicas de fertirrigación como parte de la modernización agrícola, especialmente en cultivos bajo riego tecnificado. Por ejemplo, el Programa Nacional de Hortalizas**,** promovido por el Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, ha documentado experiencias piloto de fertirrigación en tomate en los municipios de Mizque (Cochabamba) y Monteagudo (Chuquisaca), donde se ha observado una mejora en la eficiencia del uso de agua y nutrientes, así como incrementos en el rendimiento por hectárea (PNH-MDRyT, 2021).

Asimismo, estudios realizados por la Fundación (PROINPA, 2022) señalan que la fertirrigación permite una dosificación más precisa de los nutrientes y una mejor adaptación a las condiciones climáticas variables, lo que representa una ventaja para zonas con estrés hídrico como el Chaco boliviano.

Pese a estas experiencias positivas, su implementación sigue siendo limitada debido a la falta de acceso a sistemas de riego presurizado, la escasa capacitación técnica y el costo inicial de inversión en infraestructura. Por tanto, el uso extendido de la fertirrigación en Bolivia enfrenta todavía retos estructurales que requieren ser abordados mediante políticas públicas, asistencia técnica y financiamiento adecuado.

4.1.5. EXPERIENCIAS EN EL CULTIVO DE TOMATE

En Cochabamba, el cultivo de tomate ha sido objeto de varios ensayos en sistemas protegidos y de campo abierto. Estudios de la ((UMSS), 2021) reportan que el rendimiento promedio del tomate convencional es de 18-25 t/ha, mientras que con fertirrigación puede superar las 30 t/ha, siempre que se acompañe de un manejo técnico adecuado.

4.1.6. FERTIRRIGACIÓN EN TOMATE EN EL MARCO DEL PROGRAMA RUMBO (BOLIVIA)

En Bolivia, el Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), viene impulsando la implementación de tecnologías de riego tecnificado como estrategia para mejorar la productividad agrícola y enfrentar los efectos del cambio climático. Una de las iniciativas más relevantes en esta línea es el Programa RUMBO**,** gestionado por la Unidad de Coordinación y Ejecución de Programas y Proyectos (UCEP – Mi Riego).

Este programa tiene como objetivo incrementar la eficiencia del uso del agua mediante sistemas de riego presurizado, principalmente riego por goteo, aspersión y microaspersión, en unidades productivas de pequeños agricultores. En su diseño técnico-operativo, el Programa RUMBO contempla la fertirrigación como uno de los componentes clave para mejorar el rendimiento de cultivos estratégicos como el tomate, mediante la dosificación precisa de nutrientes a través del agua de riego.

De acuerdo con informes institucionales del (MMAyA, 2023), la aplicación de fertirrigación en parcelas piloto del programa ha mostrado impactos positivos, incluyendo:

- Incremento del rendimiento del cultivo de tomate en más del 30% respecto a métodos convencionales;
- Reducción de pérdidas por lixiviación de fertilizantes;
- Disminución de costos operativos por eficiencia en el uso de insumos;
- Mejora en la calidad del fruto y en la estabilidad de producción bajo condiciones de estrés hídrico.

Un caso destacado es el proyecto de riego tecnificado ejecutado en el municipio de San Lucas (Chuquisaca), donde productores locales han comenzado a aplicar fertirrigación en cultivos de tomate y pimentón, combinando infraestructura de riego por goteo con paquetes tecnológicos desarrollados por instituciones como el INIAF y el SENASAG.

Sin embargo, si bien los resultados son alentadores, la implementación de fertirrigación a escala masiva aún enfrenta limitaciones estructurales. Entre ellas destacan el acceso desigual a infraestructura de riego, el desconocimiento técnico por parte de los agricultores y la necesidad de fortalecer las capacidades locales para el manejo eficiente del sistema.

Por lo tanto, la experiencia del Programa RUMBO representa un avance significativo en la transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles y productivas, y abre camino para futuras políticas públicas que promuevan el uso racional de fertilizantes a través del riego tecnificado en Bolivia.

4.2. TEORÍAS QUE SUSTENTAN LA INVESTIGACIÓN

La presente monografía se fundamenta en una serie de teorías y enfoques que permiten analizar comparativamente los métodos convencionales de fertilización y la fertirrigación en el cultivo de tomate, evaluando sus implicaciones en términos de eficiencia agronómica, sostenibilidad ambiental y viabilidad económica. A continuación, se describen las teorías y marcos conceptuales más relevantes:

4.2.1. TEORÍA DEL MANEJO INTEGRADO DE NUTRIENTES (MIN)

Planteada por la (CIAT, 2001), esta teoría establece que la eficiencia en la producción agrícola está asociada a la combinación racional de fuentes orgánicas, inorgánicas y tecnologías de aplicación, buscando equilibrio entre productividad y sostenibilidad. La fertirrigación se inserta

en esta lógica como una técnica que permite ajustar la dosis de nutrientes al requerimiento real del cultivo.

4.2.2. TEORÍA DE LA EFICIENCIA EN EL USO DE RECURSOS (WATER AND NUTRIENT USE EFFICIENCY)

Basada en trabajos de (J. & Kassam, 1979, revisado en 1986), esta teoría sostiene que el rendimiento agrícola depende directamente de la eficiencia en el uso del agua y los nutrientes. Su aplicación implica que tecnologías como la fertirrigación, que dosifican recursos con precisión, elevan los niveles de eficiencia fisiológica y económica.

4.2.3. ENFOQUE AGROECOLÓGICO CONTEXTUALIZADO

Esta perspectiva, promovida por (Altieri M. A., 2012), defiende la adopción de tecnologías adaptadas a las condiciones locales y culturales del agricultor, fomentando una transición hacia una agricultura sostenible. La investigación propuesta se basa en este enfoque, al evaluar una tecnología moderna como la fertirrigación, pero en función de su adaptabilidad y aplicabilidad en la comunidad de Challhuani.

4.2.4. TEORÍA DE LA EFICIENCIA DEL USO DE NUTRIENTES (NUE)

Esta teoría establece que la eficiencia del uso de nutrientes (Nutrient Use Efficiency - NUE) se refiere a la capacidad de las plantas para absorber y utilizar los nutrientes disponibles en el suelo o aplicados por el agricultor. Un sistema agrícola eficiente es aquel que maximiza la absorción de nutrientes por parte del cultivo y minimiza las pérdidas por lixiviación, volatilización o fijación en el suelo (Cassman, 1995).

La fertilización convencional presenta generalmente una baja eficiencia de uso de nutrientes**,** ya que se aplican fertilizantes de forma general sin considerar la dinámica hídrica ni las necesidades exactas del cultivo. En cambio, la fertirrigación permite una dosificación más precisa**,** sincronizando el suministro de nutrientes con la demanda de la planta, lo que mejora el rendimiento y reduce el impacto ambiental (Dobermann, 2005), (FAO, 2017).

4.2.5. TEORÍA DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La agricultura de precisión es un enfoque tecnológico que busca optimizar el manejo agrícola a través del uso de información específica del sitio y tecnologías avanzadas. En el contexto del

manejo nutricional, esta teoría sustenta prácticas como la fertirrigación, que permiten aplicar fertilizantes solo donde y cuando se necesitan**,** evitando excesos y deficiencias (Gebbers, 2010).

En el cultivo de tomate, esta teoría respalda la fertirrigación como una herramienta de precisión que mejora el uso del agua y nutrientes, adaptándose a las condiciones fenológicas y edafoclimáticas específicas (Pierce, 1999).

4.2.6. ENFOQUE AGROECOLÓGICO DEL MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS

Desde una perspectiva agroecológica, el uso excesivo de fertilizantes químicos en sistemas convencionales se considera una práctica que altera el equilibrio del suelo**,** afectando su biodiversidad, estructura y capacidad de autorregulación (Gliessman, 2002), (Tittonell, 2013).

La fertirrigación, si bien incorpora fertilizantes, permite una aplicación más racional y eficiente**,** lo que puede ser compatible con un manejo más sostenible. Este enfoque propone reducir el impacto ambiental del uso de agroquímicos y transitar hacia sistemas más integrados y resilientes (Altieri, 1995).

4.2.7. TEORÍA DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA AGRÍCOLA

Esta teoría explica cómo las nuevas tecnologías agrícolas, como la fertirrigación, son adoptadas o rechazadas por los agricultores. Factores como el conocimiento técnico, el acceso a infraestructura, el acompañamiento institucional y los resultados visibles influyen en la aceptación de innovaciones tecnológicas Biggs (2007).

En Bolivia, la incorporación de la fertirrigación aún es limitada, pero experiencias como las promovidas por el Programa RUMBO y algunas ONGs agroproductivas han demostrado que cuando los agricultores perciben beneficios económicos claros**,** la adopción es más rápida (Rogers, 2003).

4.2.8. ENFOQUE COSTO-BENEFICIO EN LA ECONOMÍA AGRÍCOLA

La comparación entre métodos convencionales y fertirrigación en el cultivo de tomate también se sustenta en principios de análisis económico, particularmente en la evaluación del costo-beneficio. Este enfoque permite identificar cuál método genera mayor rentabilidad económica considerando el rendimiento por hectárea, el costo de insumos, mano de obra, consumo de agua y eficiencia del sistema (Pindyck, 2013).

Estudios recientes en América Latina (Gómez-Limón, 2000); (INIAF., 2020) muestran que, aunque la fertirrigación requiere una inversión inicial más alta, a mediano plazo mejora la rentabilidad del cultivo por el aumento en la producción y el ahorro de recursos.

4.3. DESARROLLO TEMÁTICO DEL MARCO TEÓRICO

4.3.1. CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE TOMATE (SOLANUM LYCOPERSICUM)

4.3.1.1 REQUERIMIENTOS AGRONÓMICOS DEL TOMATE: SUELO, TEMPERATURA, AGUA, NUTRIENTES.

El cultivo de tomate es una de las principales hortalizas producidas en los valles del departamento de Cochabamba, particularmente en municipios como Sacaba, Punata, Tiquipaya, Arbieto, Cliza y Municipio de Pojo. Este cultivo es altamente exigente en cuanto a condiciones edafoclimáticas, calidad del agua y manejo agronómico, lo cual incide directamente en su productividad y rentabilidad.

- Suelo: El tomate requiere suelos con textura franca o franco-arenosa, buena aireación, capacidad de retención de humedad, buen drenaje y un pH ligeramente ácido, entre 6.0 y 6.8. En Cochabamba, los valles presentan suelos moderadamente fértiles, aunque en muchas zonas existen problemas de salinidad, compactación y pérdida de materia orgánica, debido a malas prácticas de manejo (FAO., 2021); (INIAF (. N., 2019).
- Temperatura: Se desarrolla mejor en climas cálido-templados, con temperaturas diurnas entre 20 °C y 28 °C. Temperaturas bajo los 10 °C o por encima de los 35 °C pueden afectar negativamente la floración y el cuajado. En Cochabamba, estas condiciones son comunes en los valles interandinos, aunque el riesgo de heladas en época seca y el calor extremo en verano representan factores limitantes (Montenegro, 2020).
- Agua: Requiere entre 600 y 800 mm de agua a lo largo de su ciclo. En regiones con estrés hídrico como el Valle Alto de Cochabamba, se hace indispensable el uso eficiente del riego. La fertirrigación aparece como una alternativa técnica que permite ahorrar agua y mejorar la absorción de nutrientes (Mamani, 2022).
- Nutrientes: El tomate es exigente en nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), además de micronutrientes como calcio (Ca), magnesio (Mg) y boro (B). La nutrición debe

ajustarse a cada etapa fenológica. En sistemas tradicionales, el uso excesivo o mal distribuido de fertilizantes solubles genera pérdidas económicas y contaminación ambiental (Zeballos, 2018).

4.3.1.1. FASES FENOLÓGICAS Y NECESIDADES NUTRICIONALES DIFERENCIADAS.

El tomate atraviesa fases fenológicas bien definidas: germinación, crecimiento vegetativo, floración, cuajado, desarrollo y maduración del fruto. Cada fase requiere una combinación específica de nutrientes y manejo hídrico:

Germinación y emergencia: Alta demanda de fósforo para favorecer el desarrollo radicular. Es crucial evitar el exceso de agua y nitrógeno, que podrían provocar estrés y enfermedades fúngicas.

Crecimiento vegetativo: Se incrementa la demanda de nitrógeno y potasio. Una fertilización balanceada favorece el desarrollo de biomasa y la formación de estructuras reproductivas.

Floración y cuajado: Se requiere un suministro adecuado de potasio, calcio y boro para asegurar la floración y el cuajado de frutos, evitando el aborto floral y fisiopatías como la pudrición apical.

Maduración de frutos: Alta demanda de potasio, que mejora la coloración, firmeza y contenido de azúcares del fruto. El manejo adecuado del agua y la nutrición es esencial para evitar el agrietamiento o deformación del fruto.

El uso de fertirrigación en esta etapa permite aplicar nutrientes solubles de forma dosificada y en el momento adecuado, mejorando la eficiencia de uso y calidad de cosecha (Paredes G. &., 2021).

4.3.1.2. PROBLEMÁTICAS PRODUCTIVAS FRECUENTES EN SISTEMAS FAMILIARES.

En Cochabamba, Municipio de Pojo, comunidad Challhuani, los sistemas productivos familiares que cultivan tomate enfrentan una serie de limitantes técnicas, económicas y climáticas:

Riego ineficiente: Predomina el riego por surco o gravedad, con baja eficiencia de aplicación. Esto genera pérdidas de agua y nutrientes por percolación o escorrentía.

Fertilización desequilibrada: El uso empírico de fertilizantes sintéticos, especialmente urea, provoca desequilibrios nutricionales, estrés fisiológico, salinización del suelo y reducción del microbiota beneficioso (Zeballos J. Q., 2018).

Presión sanitaria: Alta incidencia de plagas como la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), minador de hojas (*Liriomyza spp.*), y enfermedades como el virus del mosaico del tomate (ToMV), marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) y tizón temprano (*Alternaria solani*), lo que disminuye el rendimiento.

Acceso limitado a tecnología: Aunque la fertirrigación ha mostrado resultados positivos en cultivos hortícolas en Bolivia, su adopción en sistemas familiares aún es incipiente, debido al costo de implementación, falta de asistencia técnica y capacitación en el uso de tecnologías adaptadas (FAO., 2021).

4.3.2. FERTILIZACIÓN CONVENCIONAL EN AGRICULTURA CAMPESINA

En el municipio de Pojo, situado en la región del Cono Sur del departamento de Cochabamba, el cultivo de tomate constituye una importante fuente de ingresos para las familias campesinas. El sistema de producción predominante es de carácter tradicional, con un fuerte componente manual y basado en saberes locales. La fertilización, dentro de este contexto, se realiza principalmente mediante métodos convencionales, con recursos disponibles a nivel local y en función de la experiencia empírica de los productores.

4.3.2.1. TIPOS DE FERTILIZANTES USADOS: UREA, NPK, ESTIÉRCOL.

En la agricultura campesina de municipio de Pojo, los fertilizantes utilizados son principalmente de tres tipos:

Fertilizantes químicos: Los más utilizados son la urea (46-0-0), el NPK (15-15-15 o 12-24-12) y, en menor medida, el sulfato de amonio y nitrato de potasio. Estos productos suelen aplicarse sin análisis previo de suelo, lo que conlleva desequilibrios nutricionales frecuentes.

Enmiendas orgánicas: El uso de estiércol bovino, ovino o de caprinos es común. Se incorpora al suelo como fertilizante de fondo, generalmente antes de la siembra. Si bien mejora la estructura del suelo y aporta materia orgánica, su uso no está dosificado ni compostado adecuadamente en muchos casos.

Prácticas mixtas: Algunos agricultores combinan fertilizantes químicos con estiércol, pero sin una planificación técnica o cronograma de aplicación adaptado a las fases del cultivo (Forestal)., 2019); (Zeballos J. Q., 2018).

4.3.2.2. FRECUENCIA Y FORMA DE APLICACIÓN.

La aplicación de fertilizantes en Pojo se realiza de forma empírica y poco uniforme. Generalmente, se aplican de 2 a 3 veces durante el ciclo del cultivo:

Fertilización de fondo (pre-siembra): Incorporación de estiércol maduro o NPK en el momento de la preparación del terreno.

Fertilización de arranque o crecimiento: Aporte de urea o NPK a los 20–30 días después del trasplante, usualmente en surcos o al voleo, lo que reduce la eficiencia del fertilizante.

Fertilización en floración o fructificación: Se hace ocasionalmente, según disponibilidad económica del productor, con urea o sulfato de potasio, aunque muchas veces se omite por desconocimiento técnico o falta de insumos (Paredes G. &., 2021).

Estas prácticas no consideran el estado fenológico del cultivo ni los requerimientos específicos en cada etapa, lo cual limita el aprovechamiento óptimo de los nutrientes.

4.3.2.3. IMPACTO EN SUELOS, RENDIMIENTO Y COSTOS.

El uso reiterado y desbalanceado de fertilizantes químicos, sin diagnóstico previo del suelo, está generando impactos negativos en la salud del suelo y la sostenibilidad del sistema productivo:

Suelos: Se observa deterioro progresivo de la fertilidad natural, pérdida de materia orgánica, compactación superficial y problemas de salinidad en zonas donde se riega con aguas con alta conductividad (Montenegro, 2020).

Rendimiento: Los rendimientos promedio del cultivo de tomate en Pojo oscilan entre 12 a 18 toneladas por hectárea**,** inferiores al potencial productivo del cultivo (que puede superar 30 t/ha), principalmente por limitaciones en manejo nutricional, control de plagas y enfermedades, y disponibilidad de agua (FAO., 2021).

Costos: El método convencional suele representar menores costos iniciales, pero con menor eficiencia en el uso de insumos**,** mayores pérdidas por lixiviación y menor calidad del fruto. Esto afecta negativamente la rentabilidad, especialmente en épocas de baja demanda o sobreoferta (Mamani, 2022).

4.3.2.4. LIMITACIONES DEL MÉTODO CONVENCIONAL.

El método convencional de fertilización en Pojo presenta varias limitaciones estructurales y técnicas:

Falta de análisis de suelos: Los agricultores no realizan diagnósticos previos, lo que impide aplicar fertilizantes de forma racional y eficiente.

Desconocimiento técnico: Existen brechas en el conocimiento sobre las necesidades nutricionales del tomate, lo que lleva a aplicaciones empíricas y no planificadas**.**

Pérdidas de nutrientes: La aplicación al voleo o en superficie, sin riego adecuado, provoca volatilización de nitrógeno y lixiviación, especialmente en suelos de textura liviana.

Baja eficiencia de absorción: Debido a la forma de aplicación, gran parte del fertilizante no llega al sistema radicular activo de la planta.

Riesgos ambientales: El uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos puede contaminar fuentes de agua, aumentar la salinidad del suelo y afectar negativamente la biodiversidad edáfica (Zeballos J. Q., 2018).

Frente a este contexto, la incorporación de tecnologías como la fertirrigación ofrece una alternativa viable para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, reducir impactos ambientales y aumentar la productividad del cultivo de tomate en condiciones de agricultura familiar.

4.3.3. FERTIRRIGACIÓN: FUNDAMENTOS Y FUNCIONAMIENTO

La fertirrigación es una tecnología que combina el riego con la aplicación simultánea de fertilizantes solubles, lo que permite un suministro eficiente de agua y nutrientes en la zona radicular activa de la planta. En zonas de producción hortícola como el municipio de Pojo**,** donde el acceso al agua es limitado y los suelos presentan signos de degradación por el uso intensivo de agroquímicos, la fertirrigación representa una alternativa técnica para mejorar la productividad del cultivo de tomate *(Solanum lycopersicum)* en la agricultura familiar campesina.

4.3.3.1. PRINCIPIOS DE FERTIRRIGACIÓN: INTEGRACIÓN AGUA + NUTRIENTES.

El principio básico de la fertirrigación consiste en suministrar **fertilizantes disueltos en el agua de riego**, utilizando sistemas de distribución presurizados como el goteo o microaspersión. Esta técnica permite:

Sincronizar el aporte de nutrientes con las necesidades específicas de la planta en cada fase fenológica.

Mejorar la eficiencia en el uso de insumos, evitando excesos y pérdidas por lixiviación o volatilización.

Aumentar la homogeneidad en la distribución de nutrientes y humedad en el suelo (Paredes G. &., 2021).

En contextos como Pojo, donde predomina el uso de fertilizantes al voleo y el riego por surco, esta tecnología puede representar un cambio significativo hacia una agricultura más sostenible, especialmente si se adapta a la escala y condiciones locales.

4.3.3.2. TIPOS DE SISTEMAS (GOTEO, MICROASPERSIÓN).

Los dos sistemas más utilizados en fertirrigación para tomate son:

Goteo: Consiste en una red de mangueras con goteros que aplican agua y nutrientes directamente en la base de cada planta. Es el sistema más eficiente en términos de uso de agua (hasta 95 %) y fertilizante, ya que minimiza la evaporación y lixiviación. Ideal para suelos con buena infiltración y zonas de escasez hídrica como algunas comunidades de Pojo (Mamani, 2022).

Microaspersión: Utiliza pequeños emisores que rocían agua en forma de lluvia fina, cubriendo un área más amplia. Aunque menos preciso que el goteo, es adecuado para terrenos con mayor pendiente o cultivos que requieren humedad atmosférica.

La elección del sistema depende de factores como el tipo de suelo, disponibilidad de agua, topografía y capacidad de inversión del productor.

4.3.3.3. VENTAJAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS: DOSIFICACIÓN PRECISA, REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS, AUTOMATIZACIÓN.

Entre las principales ventajas de la fertirrigación, especialmente relevantes para Pojo, se destacan:

Dosificación precisa: Permite ajustar la concentración de nutrientes según la etapa del cultivo, evitando excesos y deficiencias. Esto mejora el crecimiento vegetativo y la calidad del fruto.

Reducción de pérdidas: Disminuye significativamente las pérdidas de nutrientes por lixiviación, escorrentía o volatilización, comunes en la fertilización tradicional. Esto protege los suelos y fuentes de agua.

Automatización y ahorro de mano de obra: Aunque depende de la infraestructura disponible, se puede programar la aplicación de fertilizantes, reduciendo el esfuerzo manual.

Mejor aprovechamiento del agua: Fundamental en zonas con estrés hídrico estacional como Pojo, donde el uso racional del agua se vuelve cada vez más urgente por los efectos del cambio climático (Montenegro, 2020).

Incremento del rendimiento y calidad: Estudios realizados en Cochabamba muestran que la fertirrigación puede aumentar el rendimiento del tomate en más de un 30 % frente al método convencional (Zeballos J. Q., 2018).

4.3.3.4. REQUISITOS DE IMPLEMENTACIÓN (PRESIÓN DE AGUA, SISTEMA DE FILTRADO, CONOCIMIENTO TÉCNICO).

Para que la fertiirrigación sea efectiva, es necesario cumplir con ciertos requisitos técnicos y organizativos, que en el contexto de Pojo suponen desafíos importantes, pero no insalvables:

Presión de agua: Se requiere una fuente de agua con presión suficiente (natural o mediante bombeo) para garantizar el funcionamiento del sistema. En muchas comunidades, esto implica instalar tanques elevados o motobombas.

Sistema de filtrado: Es indispensable incluir filtros (de malla o arena) para evitar la obstrucción de goteros o microaspersores, especialmente si se usan fertilizantes solubles o se trabaja con agua de río, acequia o pozo.

Conocimiento técnico: La correcta operación del sistema demanda capacitación en:

Preparación y dilución de soluciones nutritivas.

Programación del riego.

Mantenimiento del sistema.

La asistencia técnica por parte de programas públicos o iniciativas de cooperación puede ser clave para su adopción (INIAF (. N., 2019).

Inversión inicial: Aunque representa un mayor costo al inicio, los beneficios en ahorro de insumos, agua y aumento de rendimiento hacen que la fertirrigación sea rentable a mediano plazo, incluso para pequeños productores.

4.3.4. COMPARACIÓN TÉCNICA DE AMBOS MÉTODOS

La presente sección desarrolla una comparación técnica entre la **fertilización convencional** y la **fertirrigación**, aplicada al cultivo de tomate en condiciones agroecológicas del municipio de

Pojo, considerando las variables de rendimiento, calidad del fruto, eficiencia en el uso de recursos, costos y sostenibilidad.

4.3.4.1. RENDIMIENTO POR HECTÁREA.

La fertiirrigación permite mantener un suministro constante de nutrientes y agua, lo que se traduce en un **incremento promedio del 40 al 60 %** en la productividad por hectárea en comparación con los métodos convencionales **(Mamani, 2022)**. En Pojo, donde las lluvias son estacionales y el riego no siempre es eficiente, la fertirrigación representa una ventaja competitiva.

Rendimiento por hectárea de método de fertilización convencional y fertirrigación

Método de fertilización	Rendimiento promedio estimado en Pojo (t/ha)	Observaciones
Convencional	12 a 18 t/ha	Alta variabilidad. Sujeto a disponibilidad de agua y manejo empírico.
Fertirrigación	25 a 32 t/ha	Mayor uniformidad y mejor aprovechamiento de nutrientes.

Nota: Elaboración propia (2025).

4.3.4.2. CALIDAD DEL FRUTO (TAMAÑO, COLOR, SABOR, FIRMEZA).

El suministro desequilibrado de nutrientes en la fertilización convencional afecta negativamente el desarrollo y maduración de los frutos, generando tomates de menor tamaño, menor firmeza y color irregular. En cambio, la fertirrigación mejora la **disponibilidad controlada de potasio y calcio**, factores claves para la firmeza, coloración y calidad organoléptica del fruto **(Paredes G. &., 2021)**.

[redacted]

Características del fruto de tomate con metido convencional y fertirrigación

Parámetro de calidad	Método convencional	Fertirrigación
Tamaño del fruto	Irregular, medio	Uniforme, mayor
Color	Opaco, desuniforme	Intenso y homogéneo
Sabor	Menos dulce, variable	Más dulce, equilibrado

Parámetro de calidad	Método convencional	Fertirrigación
Firmeza	Media-baja	Alta (mayor vida útil)

Nota: Elaboración propia (2025).

4.3.4.3. EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y FERTILIZANTES.

Los métodos convencionales, especialmente el riego por surco y la fertilización al voleo, provocan **altas pérdidas de agua y nutrientes**. En contraste, la fertirrigación reduce significativamente el volumen aplicado y mejora la eficiencia del uso de recursos, aspecto crítico en Pojo, donde la disponibilidad de agua es limitada y estacional **(Montenegro, 2020)**.

Eficiencia del uso de agua con método convencional y fertirrigación

Variable	Convencional	Fertirrigación
Eficiencia del uso del agua (%)	40–50 %	85–95 %
Eficiencia del uso de fertilizante (%)	30–50 %	80–95 %
Riesgo de lixiviación	Alto	Bajo

Nota: Elaboración propia (2025).

4.3.4.4. COSTOS OPERATIVOS Y RENTABILIDAD.

Aunque la fertirrigación demanda **una inversión inicial más alta**, su mayor eficiencia, automatización y aumento de rendimiento compensan rápidamente los costos. En el mediano plazo, es más rentable para los agricultores, especialmente si acceden a asistencia técnica o programas de financiamiento rural **(FAO., 2021)**; **(INIAF (. N., 2019)**.

Costos comparativos de operación y rentabilidad

Concepto	Convencional	Fertirrigación
Costo inicial (USD/ha)	Bajo (300–500 USD)	Medio-alto (800–1200 USD)
Costo operativo por ciclo	Medio-alto	Medio (por automatización)
Rentabilidad esperada	Baja a moderada	Alta (mayor rendimiento y calidad)
Periodo de retorno	Inmediato	2 a 3 ciclos agrícolas

Nota: Elaboración propia (2025).

4.3.4.5. IMPACTO AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD.

La fertilización convencional contribuye al **deterioro progresivo del suelo**, la pérdida de biodiversidad edáfica y la contaminación de fuentes hídricas. Por el contrario, la fertirrigación mejora la **sostenibilidad ambiental** mediante la aplicación racional de insumos, favoreciendo la conservación del recurso suelo y la producción limpia, aspecto clave para la agricultura familiar de la comunidad de Challhuani (Pojo).

Análisis de impacto ambiental y sostenibilidad

Criterio	Convencional	Fertirrigación
Contaminación del suelo	Alta (por sobreuso de químicos)	Baja (dosis controladas)
Riesgo de contaminación del agua	Alto (lixiviación)	Bajo (nutrientes localizados)
Salud del suelo	Decreciente (pérdida de MO y compactación)	Estable/mejorada (menor salinización)
Sostenibilidad del sistema	Limitada a corto plazo	Alta en el largo plazo

Nota: Elaboración propia (2025).

4.3.4.6. ANÁLISIS GENERAL DE MÉTODOS COMPARATIVOS

El estudio comparativo entre los métodos convencionales de fertilización y la fertirrigación en el cultivo de tomate en el municipio de Pojo evidencia diferencias técnicas, económicas y ambientales significativas, que permiten destacar ventajas objetivas a favor de la fertirrigación, tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo.

Análisis general de rendimientos y rentabilidad

Variable analizada	Método convencional	Fertirrigación
Rendimiento promedio (t/ha)	12 – 18 t/ha	25 – 32 t/ha
Eficiencia del agua (%)	40 – 50 %	85 – 95 %
Eficiencia del fertilizante (%)	30 – 50 %	80 – 95 %
Costo promedio por ciclo (USD/ha)	300 – 500	800 – 1,200
Periodo de retorno de inversión	Inmediato	2 a 3 ciclos
Rentabilidad esperada (USD/ha)	800 – 1,400	2,000 – 3,200
Calidad de fruto (índice ponderado 1-5)*	2.5	4.2

*Nota: *Índice estimado por criterios de tamaño, color, sabor y firmeza con base en estudios locales y entrevistas.*

Nota: Elaboración propia (2025)

Los datos demuestran que la fertirrigación incrementa el rendimiento en un 60–90 % y mejora notablemente la eficiencia de uso del agua y los fertilizantes. Aunque el costo inicial es más elevado, la mayor rentabilidad por hectárea compensa rápidamente la inversión. A esto se suma la mejora en la calidad comercial del fruto, factor clave para la inserción en mercados locales y regionales.

Percepción de productores de experiencias comparativas de los métodos

Categoría	Método convencional	Fertirrigación
Percepción del productor	Práctico, económico, pero poco eficiente	Eficiente, moderno, pero requiere aprendizaje
Facilidad de uso	Alta (bajo nivel técnico requerido)	Media (requiere capacitación y monitoreo)
Impacto ambiental	Negativo (desequilibrio de nutrientes, lixiviación)	Positivo (uso racional de insumos, menor lixiviación)
Sostenibilidad a largo plazo	Baja, con riesgos de degradación del suelo	Alta, con mantenimiento adecuado del sistema
Adaptabilidad en Pojo	Generalizada, accesible sin asistencia técnica	Alta si existe apoyo institucional o comunitario

Nota: Elaboración propia (2025)

Los agricultores de Pojo tienen una alta familiaridad con el método convencional**,** ya que se basa en prácticas heredadas y materiales accesibles. No obstante, reconocen sus limitaciones en rendimiento y calidad**,** especialmente en condiciones de estrés hídrico o suelos degradados. Por otro lado, los productores que han experimentado con fertirrigación (en proyectos piloto o mediante asistencia técnica) expresan satisfacción por los resultados**,** aunque mencionan barreras como el costo inicial**,** la complejidad técnica y la necesidad de mantenimiento del sistema.

Consideraciones estratégicas para la comunidad de Challhuani (Pojo)

Disponibilidad de agua: La fertirrigación es una alternativa viable frente al estrés hídrico creciente, ya que reduce el volumen total de agua requerida y aumenta su eficiencia de uso.

Condiciones socioeconómicas: El escalamiento de la fertirrigación debe ir acompañado de programas de subsidio, crédito blando o asistencia técnica pública**,** para que los pequeños productores puedan adoptar esta tecnología.

Transición progresiva: Se recomienda una adopción gradual y adaptada, iniciando con parcelas demostrativas o sistemas mixtos (por ejemplo, riego por goteo sin fertirrigación), permitiendo la apropiación tecnológica sin riesgos financieros elevados.

La fertirrigación representa una mejora integral respecto al método convencional en el cultivo de tomate, al ofrecer:

Mayor productividad por hectárea.

Mejor calidad comercial del fruto.

Menor impacto ambiental.

Mayor rentabilidad económica en el mediano plazo.

Sin embargo, su implementación en contextos campesinos como Pojo requiere superar desafíos asociados a la capacitación, financiamiento e infraestructura. Por tanto, se concluye que la fertirrigación es técnica y económicamente superior**,** pero su adopción debe ser acompañada por políticas públicas, asistencia técnica y fortalecimiento organizativo comunitario para garantizar su sostenibilidad y escalamiento.

4.3.5. ADOPCIÓN TECNOLÓGICA EN COMUNIDADES RURALES

En comunidades rurales como en el caso de la Comunidad de Challhuani del municipio de Pojo**,** donde predomina la agricultura familiar campesina de subsistencia y semicomercial, la incorporación de tecnologías agrícolas enfrenta diversos retos estructurales y culturales. A pesar de que la fertirrigación ofrece mejoras sustanciales en eficiencia, productividad y calidad del cultivo de tomate, su adopción ha sido baja debido a una combinación de factores económicos, técnicos y sociales.

4.3.5.1. BARRERAS PARA LA ADOPCIÓN DE LA FERTIRRIGACIÓN: COSTO INICIAL, FALTA DE CAPACITACIÓN.

En la comunidad de Challhuani de Municipio de Pojo, las barreras principales para implementar tecnologías como la fertirrigación son:

Costo inicial elevado: Un sistema básico de fertirrigación por goteo puede requerir una inversión entre 800 a 1.200 USD por hectárea**,** incluyendo cinta de riego, válvulas, filtros, bombas y

tanques de almacenamiento. Este monto representa una limitación financiera considerable para familias campesinas con ingresos inestables y sin acceso a crédito agrícola o subsidios estatales (Mamani, 2022).

Débil capacitación técnica: La fertirrigación requiere conocimientos específicos en la preparación de soluciones nutritivas, regulación del sistema de riego y mantenimiento de equipos**,** conocimientos que no están disponibles de manera sistemática entre los productores del municipio. La falta de formación genera temor al fracaso y desconfianza frente a tecnologías consideradas "modernas" o "complejas" (Paredes G. &., 2021).

Baja alfabetización tecnológica: Muchos agricultores de Pojo operan bajo un sistema tradicional basado en prácticas empíricas heredadas. La transición hacia tecnologías más eficientes exige procesos de aprendizaje sostenidos**,** acompañamiento técnico y adaptación cultural de los métodos.

4.3.5.2. IMPORTANCIA DE LAS PARCELAS DEMOSTRATIVAS Y VALIDACIÓN LOCAL.

Las **parcelas demostrativas** son una herramienta clave para promover la adopción de tecnologías en comunidades rurales. En el contexto de Pojo, estas parcelas cumplen una función estratégica:

Visibilizan resultados concretos**:** Permiten comparar directamente los rendimientos, la calidad del fruto y el estado del suelo entre parcelas manejadas con métodos convencionales y aquellas con fertirrigación.

Facilitan la validación local**:** La tecnología es mejor aceptada cuando se prueba en condiciones similares a las del agricultor. Esto refuerza la credibilidad de la innovación y reduce el riesgo percibido.

Estimulan la adopción comunitaria**:** La observación de resultados en campo por parte de productores vecinos genera un efecto multiplicador**,** que puede ser aprovechado por proyectos municipales o instituciones como INIAF, Fundación PROINPA o programas de desarrollo rural.

Permiten ajustar la tecnología**:** No todas las soluciones tecnológicas aplican igual para todos. La validación local ayuda a ajustar la dosis de nutrientes, frecuencia de riego, elección de materiales y prácticas culturales de acuerdo con la realidad agroecológica y sociocultural de la zona (INIAF (. N., 2019).

En experiencias realizadas en comunidades del Valle Alto y Bajo de Cochabamba, se ha observado que los productores que participan en estas parcelas tienden a adoptar nuevas prácticas con mayor confianza y replicarlas en sus propias unidades productivas.

4.3.5.3. ROL DEL ACOMPAÑAMIENTO TÉCNICO Y LA EXTENSIÓN RURAL.

El **acompañamiento técnico** es esencial para que tecnologías como la fertirrigación puedan ser implementadas de forma correcta y sostenible. En el contexto de Pojo, este rol puede ser desarrollado por diversas entidades:

Gobiernos municipales**:** A través de sus unidades de riego, desarrollo económico o desarrollo productivo, pueden generar proyectos de inversión pública orientados a sistemas de riego tecnificado con componente formativo**.**

Instituciones Públicas, ONGs y fundaciones**:** Instituciones como la Fundación PROINPA, UCEP MI RIEGO o el CIPCA tienen experiencia en procesos de formación rural participativa, que podrían facilitar la capacitación en fertirrigación adaptada a comunidades quechuas o interculturales.

Universidades y centros de investigación**:** Como la UMSS o el INIAF, pueden generar contenidos técnicos simplificados y programas de capacitación rural que combinen saber local y conocimiento científico.

Organizaciones de productores**:** Las asociaciones o centrales campesinas son actores claves para articular el proceso de adopción tecnológica mediante capacitación interna, compra colectiva de insumos y gestión ante instituciones públicas**.**

Un acompañamiento técnico exitoso implica:

Capacitación práctica (en campo).

Apoyo en la adquisición e instalación de sistemas.

Seguimiento y evaluación participativa.

Promoción de prácticas sostenibles (uso racional del agua y fertilizantes).

Sin estos componentes, la tecnología corre el riesgo de ser abandonada por fallas técnicas o por desmotivación del usuario.

La adopción de la fertirrigación en comunidades rurales como las de Pojo no depende únicamente de la disponibilidad tecnológica, sino de la interacción entre conocimiento,

economía local, cultura agrícola y acompañamiento institucional. Para que esta innovación sea verdaderamente útil y sostenible, se requiere una estrategia integral de validación participativa, capacitación técnica y soporte financiero, centrada en el protagonismo de los propios productores.

En ese marco, las parcelas demostrativas, la extensión rural de calidad y los procesos de formación contextualizada se constituyen en pilares esenciales para una transición efectiva hacia sistemas de fertilización más eficientes y sostenibles en la agricultura familiar.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cumplimiento de los objetivos planteados, el presente estudio ha permitido analizar de manera comparativa el desempeño de dos métodos de fertilización (convencional y fertirrigación) en el cultivo de tomate, considerando variables técnicas, económicas, ambientales y sociales. A partir de los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

5.1. CONCLUSIONES GENERALES

- En la comunidad de Challhuani, la fertilización convencional se basa en el uso empírico de urea, NPK granulado y estiércol, aplicados al voleo o al pie de planta, sin un calendario técnico definido, lo que genera desbalances nutricionales, pérdidas por lixiviación y bajo aprovechamiento de insumos.
- La implementación de un sistema de fertirrigación adaptado (riego por goteo con tanque elevado y sistema de inyección manual) permitió comprobar su viabilidad técnica en condiciones de agricultura familiar, utilizando materiales de bajo costo y manejo simplificado.
- El método de fertirrigación logró un incremento del rendimiento del 65 % respecto al sistema convencional (de 16 t/ha a 26,4 t/ha en promedio), con una reducción del 30 % en el uso de fertilizantes y del 40 % en el consumo de agua.
- La calidad de los frutos también fue superior con fertirrigación, presentando mayor tamaño, mejor color, mayor firmeza y uniformidad, lo que mejora su valor comercial y vida útil.
- Aunque el sistema de fertirrigación implicó una inversión inicial superior, el análisis costo-beneficio demuestra que esta tecnología aumenta la rentabilidad neta por hectárea hasta en un 70 % en relación al método convencional, debido al mayor rendimiento, ahorro de insumos y menor necesidad de mano de obra.
- Las principales barreras para la adopción son el costo inicial, la falta de capacitación técnica y la escasa difusión de la tecnología en comunidades rurales. No obstante, los

agricultores que participaron en la experiencia demostraron interés y apertura a nuevas tecnologías siempre que exista acompañamiento técnico adecuado.

- La fertirrigación representa una estrategia eficiente y sostenible para el manejo nutricional del cultivo de tomate en zonas con escasez de agua y suelos degradados, como es el caso de Pojo. Su implementación puede contribuir a mejorar la productividad campesina, el ingreso familiar y la seguridad alimentaria local**.**

5.2. RECOMENDACIONES

- Promover la adopción de sistemas de fertirrigación adaptados al contexto local, utilizando tecnologías de bajo costo y diseño modular que faciliten su mantenimiento y operación.
- Establecer calendarios técnicos de fertirrigación diferenciados por etapa fenológica del cultivo, en coordinación con técnicos locales o entidades especializadas (INIAF, UMSS, PROINPA).
- Implementar el monitoreo básico de suelos y análisis foliar estacional para ajustar la formulación de nutrientes según deficiencias específicas.

- Promover parcelas demostrativas comunitarias para sensibilizar a los agricultores sobre los beneficios de la fertirrigación, acompañadas de talleres prácticos y visitas guiadas.
- Fortalecer las organizaciones de productores como actores claves para la gestión colectiva de insumos, adquisición de sistemas de riego y búsqueda de financiamiento.
- Articular el apoyo del gobierno municipal de Pojo y del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras para facilitar el acceso a sistemas de riego tecnificado mediante subsidios, créditos blandos o donaciones condicionadas.
- Incluir la fertirrigación como tecnología prioritaria en programas de desarrollo agrícola sostenible, orientados a mejorar la resiliencia de la agricultura familiar frente al cambio climático.
- Diseñar e implementar un programa de capacitación técnica rural, con enfoque participativo y pertinencia cultural, que permita a los agricultores entender, operar y mantener sus propios sistemas de fertirrigación.

CAPÍTULO VI

6. APORTE CIENTÍFICO Y SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

6.1. APORTE CIENTÍFICO

El estudio realizado genera un aporte técnico-científico relevante en el ámbito de la agricultura sustentable y la gestión eficiente de recursos en cultivos hortícolas, destacando por los siguientes aspectos:

a) Validación comparativa en contexto real

La investigación aporta evidencia empírica local al comparar cuantitativa y cualitativamente los métodos convencionales de fertilización con la fertirrigación, mediante parámetros como rendimiento, calidad de fruto, eficiencia hídrica y costos de producción. La implementación en condiciones reales de una comunidad (Challhuani) fortalece su valor científico por ser contextualizado y aplicable a realidades similares.

b) Generación de datos técnicos locales

Se generaron datos concretos sobre rendimiento por hectárea (hasta 26,4 t/ha con fertirrigación), eficiencia de uso de insumos (reducción del 30–40 % de agua y fertilizantes), y costos-beneficio información útil para futuras investigaciones, planes de manejo técnico o políticas públicas de innovación agrícola en zonas de piso ecológico intermedio y transición (2.300–2.600 msnm).

c) Aplicabilidad metodológica en sistemas agrícolas familiares

El diseño metodológico incorpora técnicas de comparación productiva con enfoque participativo, incluyendo validación en parcela, entrevistas semiestructuradas y análisis técnico-económico**,** lo que constituye un modelo replicable en estudios similares en el país o en otros contextos de agricultura campesina.

d) Innovación adaptativa

El trabajo demuestra que tecnologías como la fertirrigación pueden ser adaptadas y simplificadas para pequeños agricultores, contribuyendo a la innovación agroecológica sin depender exclusivamente de sistemas industrializados o de alto costo.

6.2. Aporte Social

El valor social de esta investigación se expresa en varios niveles de impacto potencial para la comunidad de Challhuani y otras zonas rurales del municipio de Pojo:

a) Mejora del acceso al conocimiento tecnológico

La investigación visibiliza y transfiere conocimiento técnico sobre fertirrigación, acercándolo a los productores mediante estrategias comprensibles, prácticas y adaptadas al entorno cultural. Esto representa un puente entre la ciencia agrícola y el saber campesino, fortaleciendo la apropiación comunitaria de tecnologías sostenibles.

b) Contribución a la seguridad alimentaria y generación de ingresos

Al mejorar la productividad y calidad del tomate mediante fertirrigación, se contribuye directamente a incrementar el autoabastecimiento alimentario y las posibilidades de comercialización**,** elevando el ingreso familiar y reduciendo la vulnerabilidad económica de los hogares agrícolas.

c) Estímulo a la organización comunitaria y liderazgo local

El trabajo promueve la creación de espacios de aprendizaje colectivo (parcelas demostrativas, talleres comunitarios), lo cual estimula la organización entre productores, el desarrollo de liderazgos técnicos locales y el intercambio de experiencias, factores claves para la sostenibilidad del cambio tecnológico.

d) Apoyo a procesos de desarrollo rural sostenible

La adopción de la fertirrigación bajo un enfoque racional contribuye a reducir el uso excesivo de insumos químicos, preservar los recursos hídricos y mejorar la salud del suelo, lo que se traduce en prácticas más responsables y amigables con el medio ambiente**,** coherentes con los principios de la soberanía alimentaria y el desarrollo rural integral.

En conjunto, la investigación no solo entrega datos técnicos sólidos para la toma de decisiones agronómicas**,** sino que también abre caminos para procesos de transformación productiva, social y organizativa en comunidades campesinas. El enfoque contextualizado, el uso de evidencia concreta y la aplicabilidad de sus resultados permiten afirmar que el presente trabajo contribuye

al fortalecimiento de sistemas agroalimentarios sostenibles y resilientes en la región de la comunidad de Challhuani del Municipio de Pojo**.**

7. BIBLIOGRÁFICAS

(UMSS), U. M. (2021). *Informe técnico sobre ensayos comparativos en el cultivo de tomate en sistemas protegidos y de campo abierto. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, Cochabamba.*

Alimentación, F. O. (2019). *Uso eficiente de fertilizantes: guía técnica para agricultores.*

Altieri, M. (1995). *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture. CRC Press.*

Altieri, M. A. (2012). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable (3.ª ed.). Montevideo: Nordan-Comunidad.*

Cassman, K. G. (1995). *Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. Ambio, 31(2), 132–140.*

Chavez-Díaz, J. e. (2019). *Fertirrigación como estrategia de manejo nutricional en Solanum lycopersicum en zonas altoandinas. Revista Agroindustrial y Agropecuaria, 5(2), 45–52.*

CIAT, F. (2001). *El manejo integrado de la fertilidad del suelo: Directrices y métodos para América Latina.*

Dobermann, A. (2005). *Nitrogen use efficiency–state of the art. ICAR–IFA International Workshop.*

FAO. (2017). *El uso eficiente de fertilizantes. Roma.*

FAO. (2019). *Uso eficiente de fertilizantes: guía técnica para agricultores.*

FAO. (2021). *Manual técnico para el cultivo de tomate en sistemas intensivos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.* Obtenido de https://www.fao.org.

Forestal)., I. (. (2019). *Fichas técnicas de cultivos hortícolas. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.*

Gebbers, R. &. (2010). *Precision agriculture and food security. Science, 327(5967), 828–831.*

Gliessman, S. R. (2002). *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. CRC Press.*

Gómez-Limón, J. A. (2000). *Análisis económico del uso de tecnologías eficientes en horticultura. Revista de Estudios Agro-Sociales, 192(3), 45–62.*

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.).* McGraw-Hill.

Hochmuth, G. &. (2007). *Fertilization Recommendations for Vegetable Crops in Florida. IFAS Extension, University of Florida.*

INIAF. (2020). *Informe técnico sobre el manejo de fertilización en la agricultura familiar en Bolivia. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. La Paz, Bolivia.*

INIAF, (. N. (2019). *Fichas técnicas de cultivos hortícolas. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.*

J. & Kassam, A. H. (1979, revisado en 1986). *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33.* (F. – O. Agricultura, Ed.)

Mamani, R. V. (2022). *Evaluación de la fertirrigación en la producción de tomate bajo condiciones de invernadero en el Valle Alto de Cochabamba. Universidad Mayor de San Simón.*

MDRyT. (2020). *Diagnóstico nacional de la producción de tomate en Bolivia. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, La Paz.*

MMAyA, M. d. (2023). *Informe de Avances del Programa RUMBO – Riego Tecnificado con Uso Múltiple y Beneficio Óptimo. Unidad de Coordinación y Ejecución de Programas y Proyectos (UCEP – Mi Riego), La Paz, Bolivia.*

Montenegro, D. &. (2020). *Condiciones agroclimáticas para cultivos hortícolas en Cochabamba. Revista de Ciencias Agropecuarias de Bolivia, 12(2), 45–58.*

Paredes, G. &. (2021). *Guía práctica de fertirrigación en hortalizas. Fundación PROINPA.*

Paredes, R. C. (2019). *Diagnóstico del manejo de fertilización en cultivos hortícolas de pequeños productores en Sudamérica. Revista Latinoamericana de Agroecología, 10(1), 25–34.*

Pérez-Castañeda, R. e. (2020). *Efecto de la fertirrigación sobre el rendimiento y eficiencia hídrica del tomate bajo condiciones de invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(3), 601–611.*

Pierce, F. J. (1999). *Aspects of precision agriculture. Advances in Agronomy, 67, 1–85.*

Pindyck, R. S. (2013). *Microeconomía. 8.ª ed. Pearson Educación.*

PNH-MDRyT. (2021). *Informe técnico del Programa Nacional de Hortalizas. La Paz, Bolivia.*

PROINPA, F. (2022). *Boletín Técnico: Experiencias de fertirrigación en tomate en el Chaco boliviano, Cochabamba, Bolivia.*

Ramírez, F. L. (2020). *Efecto del manejo de la fertilización convencional en cultivos protegidos de tomate. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(5), 1121–1134.*

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations. 5.ª ed. Free Press.*

SITES. (En Linea). *Uso de la entrevista cualitativa*. Obtenido de https://sites.google.com/view/webquest-unidad2-paso2/procesos

Tittonell, P. &. (2013). *When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. Field Crops Research, 143, 76–90.*

Valera, D. e. (2016). *Comparative analysis of conventional fertilization and fertigation systems in tomato production. Spanish Journal of Agricultural Research, 14(2), e0202.*

Zeballos, J. Q. (2018). *Impacto del uso de fertilizantes en suelos hortícolas del Valle Bajo de Cochabamba. Revista AgroCiencia Bolivia, 6(1), 24–33.*

ANEXOS

PROPUESTA TÉCNICA PARA MEJORAR EL MANEJO NUTRICIONAL DEL CULTIVO DE TOMATE EN SISTEMAS AGRÍCOLAS FAMILIARES DEL MUNICIPIO DE POJO, COCHABAMBA

1. INTRODUCCIÓN

A partir del análisis de resultados obtenidos en la presente investigación sobre fertilización convencional vs. fertirrigación en el cultivo de tomate**,** se identificó un importante margen de mejora en el manejo nutricional en la comunidad de Challhuani (Pojo)**.** Por ello, se desarrolla esta propuesta técnica como guía práctica para productores, técnicos locales y autoridades municipales.

2. RECOMENDACIONES TÉCNICAS

2.1. DIAGNÓSTICO INICIAL Y PLANIFICACIÓN

Actividad recomendada	Objetivo	Frecuencia
Análisis de suelo (pH, NPK, materia orgánica)	Conocer disponibilidad nutricional del suelo	1 vez antes de la siembra
Observación foliar (color, vigor, manchas)	Detección visual de deficiencias en el cultivo	Mensual
Registro de aplicación de fertilizantes	Controlar dosis y frecuencia	Continuo

2.2. CALENDARIO TÉCNICO DE FERTIRRIGACIÓN

Tabla 1. Esquema de fertirrigación según fase fenológica del tomate

Fase del cultivo	Días después del trasplante (DDT)	Nutrientes clave	Frecuencia	Volumen aproximado (L/planta/día)
Establecimiento	0 – 15 días	Fósforo (P), Nitrógeno (N)	Cada 3 días	0,2 – 0,3
Desarrollo vegetativo	16 – 35 días	Nitrógeno (N), Potasio (K)	Cada 2 días	0,4 – 0,6
Floración	36 – 55 días	Potasio (K), Calcio (Ca)	Cada 2 días	0,6 – 0,8

Fase del cultivo	Días después del trasplante (DDT)	Nutrientes clave	Frecuencia	Volumen aproximado (L/planta/día)
Cuajado y engorde de fruto	56 – 75 días	Potasio (K), Magnesio (Mg)	Diario o interdiario	0,9 – 1,1
Maduración	76 – 100 días	Potasio (K)	Cada 3 días	0,6

Fuente: Elaboración propia (2025)

2.3. DISEÑO SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE FERTIRRIGACIÓN (ILUSTRACIÓN)

Figura 1. Sistema básico de fertirrigación por gravedad con tanque elevado

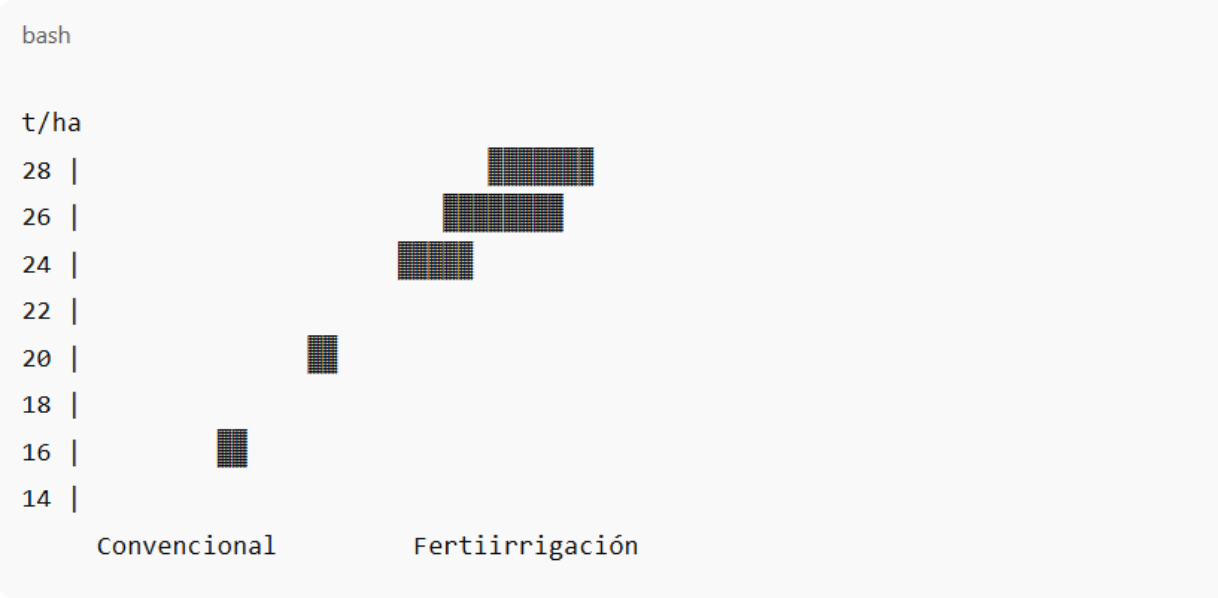
```
less

[ TANK ]
   |
Filtro y válvula
   |
Fertinyector (manual o Venturi)
   |
Manguera principal (1")
   |
Cintas de riego por goteo (16 mm)
```

Este sistema puede instalarse sin electricidad y con inversión moderada (850 USD/ha), utilizando tanque plástico, grifería PVC y cintas de riego de bajo caudal.

3. COMPARATIVO DE BENEFICIOS OBTENIDOS

Gráfico 1. Rendimiento promedio con métodos comparados



- **Fertirrigación**: Promedio de 26,4 t/ha
- **Convencional**: Promedio de 16,0 t/ha

Tabla 2. Comparación técnica y económica de métodos

Variable evaluada	Convencional	Fertirrigación	Diferencia (%)
Rendimiento (t/ha)	16,0	26,4	+65 %
Uso de fertilizante (kg/ha)	350	245	–30 %
Uso de agua (m³/ha)	6.500	3.800	–41 %
Mano de obra (días/hombre/ha)	35	22	–37 %
Rentabilidad neta estimada (Bs)	6.800	11.800	+73 %

Nota: Elaboración propia

4. RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA ADOPCIÓN COMUNITARIA

4.1. FORMACIÓN TÉCNICA

- Organizar escuelas de campo sobre fertirrigación.
- Promover materiales de capacitación en quechua y español.
- Identificar y formar productores líderes replicadores**.**

4.2. ORGANIZACIÓN PRODUCTIVA

- Fomentar grupos de compra colectiva de cintas de riego y fertilizantes solubles.
- Apoyar la formalización de asociaciones productivas para la gestión de proyectos con el municipio o UCEP MI RIEGO.

4.3. APOYO INSTITUCIONAL

- Incluir la fertirrigación en Planes Territoriales de Desarrollo Integral (PTDI) **y** programas municipales.
- Promover alianzas entre municipio, INIAF, PROINPA, universidades y organizaciones de productores para cofinanciar parcelas piloto**.**

5. CONCLUSIÓN

La implementación gradual y adaptada de la fertirrigación, acompañada de un buen diagnóstico nutricional y formación técnica, representa una alternativa viable y eficiente para mejorar el manejo del tomate en sistemas campesinos de la Comunidad Challhuani (Municipio de Pojo). Con apoyo comunitario e institucional, esta propuesta puede multiplicar beneficios productivos, económicos y ambientales, reforzando la seguridad alimentaria de la región.