UNIVERSIDAD AMAZONICA DE PANDO

VICERRECTORADO

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MONOGRAFÍA PARA OPTAR EL DIPLOMADO EN FERTIRRIGACIÓN DE CULTIVOS

“DISEÑO DE SISTEMA MICROCONTROLADO DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN POR GOTEO PARA EL CULTIVO DE AJÍ”

POSTULANTE:

ARMANDO TÉLLEZ SEGURA

COBIJA – PANDO – BOLIVIA

2025

DEDICATORIA:

El presente trabajo se la dedico a mi familia que gracias a su comprensión y apoyo pude concluir mis estudios superiores de este diplomado y así cumplir uno de mis objetivos.

A Mis Padres por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor.

A Mi Esposa por estar siempre presente acompañándome.

A Mis Hijos por ser la motivación en mi desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Con profundo agradecimiento elevo mis palabras a todas las personas e instituciones que hicieron posible este camino de investigación y crecimiento:

A la Universidad Amazónica de Pando y al equipo del Diplomado en Fertiirrigación de Cultivos, por brindarme las herramientas académicas, metodológicas y humanas para repensar la utilización de fertirriego de cultivos desde una mirada crítica, inclusiva y transformadora.

A mis colegas, amigos y compañeros de estudio, por el intercambio de ideas, el aliento mutuo y las redes de apoyo que tejimos en este proceso. Caminamos juntos y aprendimos juntos.

A mi esposa y familia, que con amor silencioso me sostuvo cuando el cansancio quiso ganarme. Gracias por creer en mí incluso en los días difíciles.

Y finalmente, agradezco a la vida por darme la oportunidad de unir la tecnología con la esperanza, el desarrollo rural con el compromiso social, y la investigación con el amor por mi tierra.

ÍNDICE

RESUMEN viii
ABSTRACT ix
INTRODUCCIÓN 1
1. JUSTIFICACIÓN 4
2. PROBLEMA A INVESTIGAR 6
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA 6
2.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA 9
2.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO 10
2.4. DEFINICIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN 10
3. OBJETIVOS 11
3.1. OBJETIVO GENERAL 11
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 11
4. SUSTENTO TEORICO, DEBATE Y REFLEXION 12
4.1. EL ESTADO DEL ARTE 12
4.1.1. TECNOLOGÍAS DE RIEGO EN PRODUCCIÓN HORTÍCOLAS 12
4.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO DE PRECISIÓN Y MANEJO DEL RIEGO EN CULTIVO DEL AJÍ 14
4.1.3. FERTILIZACIÓN COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA 15
4.1.4. CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO DE BAJA PRESIÓN. 16
4.1.5. DISEÑAR SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA LA AGRICULTURA 19
4.2. TEORÍAS QUE SUSTENTAN LA INVESTIGACIÓN 20
4.2.1. SISTEMA MICRO CONTROLADO DE RIEGO POR GOTEO PARA EL CULTIVO DE AJÍ 21
4.2.2. PROCESO DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE AJÍ 22
4.2.3. CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO DE RIEGO 23
4.2.4. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA 23
4.2.5. ELEMENTOS MATERIALES DEL SISTEMA 26
4.3. DESARROLLO TEMÁTICO DEL MARCO TEÓRICO 27
4.3.1. PROCESO DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE AJÍ 27
4.3.2. FERTILIZACIÓN EN PRE SIEMBRA 29
4.3.3. FERTILIZACIÓN POST-TRASPLANTE 29
4.3.4. FERTILIZACIÓN EN CRECIMIENTO ACTIVO 29

4.4. PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS DE UN SISTEMA MICROCONTROLADO 30
4.4.1. CICLO DE RIEGO 30
4.4.2. CICLO DE FERTILIZACIÓN 31
4.4.3. TEMPERATURA 32
4.4.4. HUMEDAD 32
4.4.5. ILUMINACIÓN 33
4.4.6. VENTILACIÓN 34
4.4.7. PH 35
4.4.8. REQUERIMIENTO PARA UN SISTEMA MICROCONTROLADO DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN 35
4.4.9. ÁREA DE CULTIVO 35
4.5. DEFINICIONES FINALES DEL MARCO TEÓRICO 36
4.5.1. DEFINICIÓN CONCEPTUAL 36
4.5.2. DEFINICIÓN OPERACIONAL 36
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 38
5.1. CONCLUSIONES GENERALES 38
5.2. RECOMENDACIONES 39
6. APORTE CIENTIFICO Y SOCIAL DE LA INVESTIGACION 40
7. BIBLIOGRÁFICAS 42
TESIS DE GRADO 43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 37
Operacionalización de las variables 37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1......25
Sensores actuales de un sistema de riego por goteo 25

RESUMEN

La presente monografía que lleva como título Diseño de sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en la comunidad Pedernal, aborda como problema específico la baja eficiencia productiva y el uso inadecuado de insumos en el manejo nutricional del cultivo de ají en sistemas agrícolas familiares de la comunidad de Pedernal, municipio de Monteagudo (Chuquisaca). Estas limitaciones, asociadas al empleo empírico de fertilización tradicional, afectan negativamente el rendimiento, la calidad del fruto y la sostenibilidad del sistema productivo de la zona.

Esta investigación tiene como objetivo analizar la optimización del uso del agua y nutrientes mediante fertilización, considerando los aspectos técnicos, económicos y ambientales que influyen en su aplicación. Se estudiarán las condiciones del suelo y clima de la región, el desempeño de los métodos actuales de fertilización y riego, y las posibles mejoras que la incorporación de esta técnica podría generar en la productividad del cultivo.

El uso de sistemas automatizados económicos como los microcontrolados, llevaría a evitar el uso indiscriminado de estos productos químicos y de los recursos hídricos además de forma económica; de igual manera el ají es una de las hortalizas preferidas por todas las cadenas de almacenes o mercados de los vegetales en el país. En ese sentido, se tiene que la formulación de modelos controlados de riego permite predecir el comportamiento de diferentes variables que integran el agrosistema en la producción de plantas de cultivo de este producto básico del régimen alimenticio de la población nacional y a pesar de todo lo planteado no existen desarrollos de este tipo de tecnología de manera endógena.

Al automatizar con microcontrol el proceso de fertilización y cultivo de ají, se consumiría el agua necesaria para las plantas, se le proporcionaría el fertilizante que las plantas que requieran, en este sentido, se considera pertinente realizar el diseño que busque proponer un sistema micro controlado de riego por goteo para producción del cultivo de ají, contribuir a la sostenibilidad del sistema agrícola y fortalecer la seguridad alimentaria en la comunidad de Pedernal de Municipio de Monteagudo.

Palabras Claves: <Fertiirrigación> <Fertilización convencional> <Cultivo de Ají>

ABSTRACT

This research project, titled *Design of a Microcontrolled Drip Irrigation and Fertilization System for Chili Pepper Cultivation in the Pedernal Community*, addresses the low productive efficiency and inadequate use of inputs in the nutritional management of chili pepper cultivation in small-scale farming systems in the community of Pedernal, Monteagudo municipality (Chuquisaca, Bolivia). These limitations, mainly due to the empirical use of traditional fertilization practices, negatively affect crop yield, fruit quality, and the sustainability of local agricultural systems.

The main objective of the study is to analyze the optimization of water and nutrient use through fertilization, considering technical, economic, and environmental factors. The research examines soil and climate conditions, the performance of current fertilization and irrigation methods, and the potential improvements from adopting microcontrolled technology.

Low-cost automated systems, such as microcontrollers, could reduce the indiscriminate use of chemical inputs and water resources in an economically viable manner. Chili pepper is a highly demanded vegetable in national markets, making it a priority crop for technological improvement. The development of controlled irrigation models allows for the prediction and management of various agro-system variables critical to crop performance. However, there is currently a lack of endogenous technological developments in this field.

By automating irrigation and fertilization through microcontrollers, water and nutrients can be delivered precisely according to the plant's needs. Therefore, this study proposes the design of a microcontrolled drip irrigation system for chili pepper production to enhance agricultural sustainability and contribute to food security in the Pedernal community of Monteagudo.

Keywords: <fertigation> <conventional fertilization> <chili pepper cultivation>

INTRODUCCIÓN

El cultivo de ají en la comunidad Pedernal, municipio Monteagudo, enfrenta desafíos relacionados con la eficiencia en el uso del agua y la nutrición de las plantas, factores esenciales para garantizar una producción estable y de calidad. A pesar de su importancia económica y cultural en la región, los productores aún dependen de métodos tradicionales de fertilización y riego, los cuales pueden generar pérdidas significativas por perdida de nutrientes, evaporación y distribución desigual de nutrientes. Frente a esta problemática, surge la necesidad de explorar alternativas tecnológicas como el fertirriego, una técnica que integra la aplicación de fertilizantes con el riego, mejorando la absorción de nutrientes y optimizando el uso del agua. La presente investigación busca analizar si la implementación de esta estrategia podría ofrecer beneficios productivos, económicos y ambientales, contribuyendo a la sostenibilidad agrícola en la comunidad.

Esta investigación tiene como objetivo analizar la optimización del uso del agua y nutrientes mediante fertilización, considerando los aspectos técnicos, económicos y ambientales que influyen en su aplicación. Se estudiarán las condiciones del suelo y clima de la región, el desempeño de los métodos actuales de fertilización y riego, y las posibles mejoras que la incorporación de esta técnica podría generar en la productividad del cultivo.

El uso de sistemas automatizados económicos como los microcontrolados, llevaría a evitar el uso indiscriminado de estos productos químicos y de los recursos hídricos además de forma económica; de igual manera el ají es una de las hortalizas preferidas por todas las cadenas de almacenes o mercados de los vegetales en el país. En ese sentido, se tiene que la formulación de modelos controlados de riego permite predecir el comportamiento de diferentes variables que integran el agrosistema en la producción de plantas de cultivo de este producto básico del régimen alimenticio de la población nacional y a pesar de todo lo planteado no existen desarrollos de este tipo de tecnología de manera endógena.

En el mismo sentido, por las condiciones climáticas específicas de la región; y sus interacciones se requieren desarrollos de propuesta de sistema como el microcontrol de riego por goteo para la fertilización en cultivos tan importantes como el de ají, motivado a las características del ambiente físico en Pedernal del municipio de Monteagudo, donde estas tecnologías de producción son relativamente nuevas, por lo que hay una gran necesidad de generarlas y donde el optimizar el uso del agua como también el de fertilizantes es evidente.

Al automatizar con microcontrol el proceso de fertilización y cultivo de ají, se consumiría el agua necesaria para las plantas, se le proporcionaría el fertilizante que las plantas que requieran, se disminuirá la mano de obra ya que el operador trabajaría de su zona de control, contribuyendo a la conservación de los recursos y las condiciones ambientales de la comunidad de Pedernal. Así, un sistema microcontrolado de riego por goteo según Fernández y Camacho (2008) es el proceso que determinar a través de unos captadores de señales propiedades física alrededor de la planta para permitir suministrarle los recursos hídricos, fertilizante, humedad relativa, necesaria para alimentar de manera eficiente el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.

Asimismo, la inadecuada programación en la aplicación del riego y la cantidad de agua disponibles juegan un rol muy importante en base a cubrir las necesidades y requerimientos del cultivar, donde los procesos desarrollos e intentos por mejorar el riego y su aplicación, han sido orientados solamente a solucionar problemas tecnológicos de los sistemas de riego, dejando de lado el diseño de controladores remotos que operen el riego a malla cerrada, en base a la realimentación de información actual o pasada, como ser la humedad del suelo, variables climáticas u otras. De las evidencias anteriores se pronostica que, con un sistema de riego automático bien diseñado, en la comunidad de Pedernal se podrá aplicar las dosis de agua necesaria logrando el adecuado crecimiento de los cultivos de ají.

Así, mediante el riego por goteo extensamente empleado en la fertilización para el cultivo de ají, se podría optimizar el consumo del agua, la cual en los actuales momentos está siendo muy racionada en el municipio de Monteagudo del Departamento de Chuquisaca, debido a las bajas precipitaciones que se han registrados en la zona; que de acuerdo al SENAMI, (2024), han bajados en un 85% en la citada región, así por la poca pluviometría se hace imprescindible que el agua destinada al riego agrícola, en la comunidad de Pedernal se utilice con cuidado y sin derroches, considerando que este recurso es escaso.

Un continuo monitoreo de los niveles de humedad en el suelo, el seguimiento del estado hídrico del cultivo y la eficiente programación del riego, son acciones que los agricultores deben poner en práctica, a fin de programar en línea los periodos de riego y dosis de agua necesarios. Así, como un desarrollo tecnológico, en los sistemas de riego por goteo, podría permitir en gran medida mejorar el uso de recursos hídricos y sin embargo no se cuenta con uno.

Lo anterior, pudiera ser efectivo a partir de las aplicaciones locales de sistemas micro controlados, pudiéndose a la vez lograr la disminución de las pérdidas por evaporación superficial, e incluso permitiría la fertilización adecuada, al confiar en que los avances tecnológicos enfocados particularmente en mejorar la eficiencia de los terminales de riego (emisores, aspersores, goteros, difusores) y en los materiales empleados en la instalación del sistema de riego (cañerías, filtros, bombas, fertirrigación).

En este sentido, se considera pertinente realizar una investigación que busque proponer un sistema micro controlado de riego por goteo para producción del cultivo de ají, puesto que un sistema de riego por goteo presenta las características necesarias y al ser desarrollado con microcontrol además posee un bajo costo de implementación y sin embargo se desaprovecha este tipo de sistemas de allí que se consideró interesante realizar la siguiente formulación del problema.

CAPÍTULO I

1. JUSTIFICACIÓN

Al considerar la propuesta de la presente investigación el correspondiente sistema microcontrolado de riego por goteo para la fertilización del cultivo de plantas de ají, se permitiría tanto mejorar, como procurar optimizar el proceso del sistema de riego, a su vez, el suministro adecuado de fertilizante, y la humedad, lo que se traduce en una disminución de costos en el proceso de cosechar dicho cultivo de ají; esto se justifica dado que en la actualidad es poca la existencia de sistemas automatizados en tal área; siendo éstos generalmente controlados de forma manual.

Así, la importancia de dichos sistemas es permitir la flexibilidad y rendimiento a los productores. Es por ello, que la aplicación del sistema microcontrolado de riego por goteo para la fertilización y producción de cultivo de ají, se justifica desde diversos puntos de vista, los cuales son:

En lo teórico, contribuye a generar conocimiento producto de la revisión bibliografía y análisis de los enfoques de diferentes autores, de la misma manera fundamenta un modelo de sistema microcontrolado basado en la aplicabilidad de la teoría de automatización y técnicas de instrumentación sentado bases de conocimiento a futuras investigaciones que tengan como norte el diseño de trabajos relacionados con el área de sistemas microcontrolados de riego por goteo de un cultivos, al dejar como evidencia un modelo validado para el riego y fertilización por goteo.

Continuando, se encuentra el punto de vista práctico, dado que los resultados de la investigación permitirán mejorar el funcionamiento de la producción de cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo incidiendo en la reducción de perdida en recursos hídricos y material de fertilización, sirviendo a demás con mayor importancia los resultados de este estudio, en su aplicación como base para la implementación de sistemas de automatización de los cultivadores de la región y el resto del contexto nacional en materia de cultivo no solo de ají, sino de otros rubros de la agroindustria.

De esa forma, este hecho podrá proporcionar información de gran utilidad para los productores sobre cómo manejar de manera más provechosa los recursos naturales como el agua, haciendo un uso racionado de la misma a partir de la implementación de sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo, dentro del proceso de producción alcanzado de esta manera la

eficacia y efectividad en las metas propuestas por los cultivadores y el proceso de producción de cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.

En cuanto a la relevancia metodológica, esta investigación generó la construcción y empleo de un instrumento en la recolección de datos, así como también, del análisis de información que ofrecen resultados tanto pertinentes como confiables pertinentes en ejecutar acciones para solucionar la situación problemática planteada.

Por último, desde el punto de vista social, se pretendió que el proceso del cultivo del ají no presente pérdidas de agua, de allí que sus resultados pueden ser replicados o utilizadas en otras fincas, de producción similar o de cualquier otro producto, donde los pequeños productores podrán conocer este tipo de sistemas en procesos necesarios para la cosecha, permitiendo el aprovechamiento de este recurso natural con mínimos desperdicios beneficiando a la sociedad en general.

El impacto de este estudio no solo se relaciona con la mejora de la productividad agrícola, sino también con la optimización en el uso de los recursos naturales, la reducción de costos de producción y la disminución de los efectos negativos en el medio ambiente. Por ello, esta investigación busca proporcionar soluciones prácticas y sustentables para la comunidad de Pedernal, facilitando la modernización de la agricultura local y promoviendo un modelo de producción más eficiente y sostenible.

CAPÍTULO II

2. PROBLEMA A INVESTIGAR

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La producción de ají en la comunidad Pedernal, municipio Monteagudo, enfrenta dificultades relacionadas con la gestión eficiente del agua y la adecuada nutrición de las plantas. A pesar de ser un cultivo fundamental para la economía y cultura local, los productores siguen empleando métodos tradicionales de fertilización y riego que presentan limitaciones en términos de rendimiento y calidad del producto final. Uno de los principales inconvenientes es la pérdida de nutrientes en el suelo, causada por el uso excesivo de agua en el riego, lo que conlleva a la disminución de la disponibilidad de fertilizantes para las plantas y afecta su desarrollo óptimo.

La constante necesidad del hombre de mejorar procesos, reducir tiempo además de los costos, ha llevado a lograr avances importantes en materia tecnológica, como se aprecia en los sistemas microcontrolados, sistemas de comunicación y transmisión de datos. En este sentido, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2012), dada la creciente escasez del agua en el planeta, originada por los cambios climáticos aunado a la mayor demanda de los escasos recursos hídricos; se hace indispensable el uso eficiente de las aguas superficiales y subterráneas disponibles a partir del uso adecuado de sistema de tecnología.

Pero, a pesar del esfuerzo, según Ogata (2006, p. 78), “el desarrollo de los pueblos está ligado estrechamente a la agricultura y ésta, al suelo y al agua”, lo que obliga a potenciar la investigación y desarrollo de técnicas que permitan conservar las tierras, así como administrar utilizando también en forma eficiente el agua desde la captación y conducción.

De esa forma a través de la aplicación de las nuevas tecnologías electrónicas desarrolladas en los últimos tiempos, podría establecer posibles según Fernández y Camacho (2008), formas que permitan el control de riego, así como también fertilización por goteo de una producción agrícola necesaria para el suministro humano ya que esta forma de riego optimiza el uso del agua.

Esta realidad, conlleva a la necesidad de hacer uso al manejo de la información de manera rápida y almacenable. En ese sentido, se tiene que el alto desarrollo industrial junto a la evolución de la tecnología, han llevado a los productores agrícolas a plantearse nuevos enfoques para proyectarse en el mercado competitivo de manera que puedan maximizar sus recursos con

satisfacción de las necesidades de los usuarios, para lograr este propósito el uso del microcontrol electrónico automático se presenta como la mejor alternativa con que las industrias cuentan, siendo estos consideradas como una herramienta indirecta que de reduce de los costos de los procesos existentes.

De allí, que cuando el tema de sistemas microcontrolados se introduce en la producción empresarial se deben entender los microcontroladores tal como lo describen Mandado; Menéndez; Fernández y López (2012, p. 24) para quienes "constituyen una de las principales áreas de la Electrónica Aplicada porque facilitan la introducción de los procesadores digitales en numerosos productos industriales". Además, consideran los microcontroladores son en sí mismos una tecnología compleja en la que coexisten numerosos conceptos interrelacionados que requieren el establecimiento de normas que garanticen tanto la fiabilidad de como la mantenibilidad de los mismos para sus prestaciones a lo largo del proceso productivo industrial.

Otro problema atribuible a lo ya mencionado, son los cambios climáticos los cuales se presentan por diferentes factores como la lluvia, luz solar, vientos, temperatura, entre otros; que podrían llegar a ser muy severos. Por lo que el verano ha venido provocando sequias, o el aumento de lluvias, causando inundaciones en tierras cultivables, trayendo como consecuencia grandes pérdidas en la producción.

Además, se tiene que, al evaporar agua, la planta se refresca consiguiendo bajar su temperatura; siendo este grado de humedad en el aire, determinando así el grado de transpiración. Esto llevado por lo que, en un ambiente seco, las plantas deben incrementar la transpiración, absorbiendo esta mucha agua del suelo; asimismo, se desprende entonces que un ambiente muy húmedo, vendría a reducir la transpiración de las plantas, provocando sequía en muchos de los casos.

Asimismo, el viento o las corrientes de aire secan el agua de las hojas de la planta, obligando esto a una mayor transpiración, al igual a la temperatura elevada, evaporando el agua de la superficie de la planta con mayor velocidad. De allí, que la mayor cantidad de luz produce la obertura de las estomas por los cuales la planta expulsa más agua. Los altos niveles de humedad ambiental producen una reducción en la transpiración por lo que una planta no adaptada puede asfixiarse al aumentarse demasiado su temperatura.

En este sentido, se debe indicar que de acuerdo en la Segunda Conferencia para Sembrar Nutrición y Cosechar Salud celebrada en Noviembre de 2015; y organizada por la Organización

Mundial de Agricultores (OMA); ente adscrito a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se llegó a concluir que el negocio de las hortalizas es un gran generador de divisas; cuyo rubro debe explotarse en Latinoamérica para dar respuesta al compromiso global y a la comprensión de la relación entre nutrición y sistemas alimentarios.

Otros problemas que causa la baja producción del ají, según Caicedo (2015:5), es que existe un desperdicio de insumos y además no se sabe con certeza la cantidad del componente aplicado, causando un alto costo en la aplicación de agua, de electricidad, así como también, de mano de obra en la asistencia de las plantas, aumentando los costos de producción, y por ende la cantidad de mano de obra, insumos, entre otros. Esto, hace importante implementar tanto en la infraestructura como en el proceso, medios automatizados que aseguren el buen manejo y uso seguro de los insumos agrícolas con el fin de preservar el medio ambiente al reducir desperdicios químicos como los fertilizantes y preservar con un mejor aprovechamiento del agua.

El uso de sistemas automatizados económicos como los microcontrolados, llevaría a evitar el uso indiscriminado de estos productos químicos y de los recursos hídricos además de forma económica; de igual manera el ají es una de las hortalizas preferidas por todas las cadenas de almacenes o mercados de los vegetales en el país. En ese sentido, se tiene que la formulación de modelos controlados de riego permite predecir el comportamiento de diferentes variables que integran el agrosistema en la producción de plantas de cultivo de este producto básico del régimen alimenticio de la población nacional y a pesar de todo lo planteado no existen desarrollos de este tipo de tecnología de manera endógena.

Al automatizar con microcontrol el proceso de fertilización y cultivo de ají, se consumiría el agua necesaria para las plantas, se le proporcionaría el fertilizante que las plantas que requieran, se disminuirá la mano de obra ya que el operador trabajaría de su zona de control, contribuyendo a la conservación de los recursos y las condiciones ambientales de la comunidad de Pedernal. Así, un sistema microcontrolado de riego por goteo según Fernández y Camacho (2008) es el proceso que determinar a través de unos captadores de señales propiedades física alrededor de la planta para permitir suministrarle los recursos hídricos, fertilizante, humedad relativa, necesaria para alimentar de manera eficiente el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.

2.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Existen limitaciones que enfrentan actualmente la fertilización para el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo, debido a la falta de los recursos hídricos y energéticos. Igualmente, hay restricciones como: expansión del área cultivada, riego insuficiente, deterioro del cultivar. También, uso restringido del suministro eléctrico como uno de los síntomas más destacado que afecta la producción.

Por otra parte, el agua destinada al riego agrícola no se utiliza con cuidado y sin derroches, considerando que este recurso es escaso en la comunidad de Pedernal. Las situaciones antes descritas, podría estar causada por los siguientes factores: La comunidad dependen en gran medida de la extracción de agua subterránea para efectuar el riego de sus cultivos de ají, donde el gasto de energía utilizado para bombear agua desde el subsuelo se convierte en el principal punto de interés ya que incrementa los costos operativos de producción por tanto se requiere del control en su utilización en el riego.

Asimismo, la inadecuada programación en la aplicación del riego y la cantidad de agua disponibles juegan un rol muy importante en base a cubrir las necesidades y requerimientos del cultivar, donde los procesos desarrollos e intentos por mejorar el riego y su aplicación, han sido orientados solamente a solucionar problemas tecnológicos de los sistemas de riego, dejando de lado el diseño de controladores remotos que operen el riego a malla cerrada, en base a la realimentación de información actual o pasada, como ser la humedad del suelo, variables climáticas u otras. De las evidencias anteriores se pronostica que, con un sistema de riego automático bien diseñado, en la comunidad de Pedernal se podrá aplicar las dosis de agua necesaria logrando el adecuado crecimiento de los cultivos de ají.

Lo anterior, pudiera ser efectivo a partir de las aplicaciones locales de sistemas micro-controlados, pudiéndose a la vez lograr la disminución de las pérdidas por evaporación superficial, e incluso permitiría la fertilización adecuada, al confiar en que los avances tecnológicos enfocados particularmente en mejorar la eficiencia de los terminales de riego (emisores, aspersores, goteros, difusores) y en los materiales empleados en la instalación del sistema de riego (cañerías, filtros, bombas, fertirrigación).

En este sentido, se considera pertinente realizar una investigación que busque proponer un sistema micro controlado de riego por goteo para producción de plántulas de cultivo de ají, puesto que un sistema de riego por goteo presenta las características necesarias y al ser

desarrollado con microcontrol además posee un bajo costo de implementación y sin embargo se desaprovecha este tipo de sistemas.

Ámbito:

El presente trabajo de grado se desarrolló en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo del departamento de Chuquisaca, donde el sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají.

Temporalidad:

La investigación y ejecución del diseño del sistema están previstas para desarrollarse durante la gestión productiva del ciclo de producción del cultivo del ají 2025, con actividades planificadas en distintas fases: como la fase de trabajo de campo donde se realizará las distintas actividades diagnóstico, relevamiento de áreas y familias productoras de ají, estudios de suelo y agua con fines de riego parcelario, levantamiento cartográfico de pendientes, parcelas, y accesos, con una segunda fase donde se diseñara y se armara los sistemas de riego por goteo y sus fertilización del cultivo del ají en la comunidad de Pedernal.

Población:

La población involucrada en este estudio está compuesta por las familias beneficiarias de la comunidad de Pedernal, se estima una participación directa de aproximadamente 40 a 50 familias que tienen sus parcelas en producción del cultivo de ají.

2.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO

Por todo lo expuesto, se consideró la necesidad de proponer un sistema microcontrolado de riego por goteo para la fertilización y producción de plántulas de cultivo de ají, considerando que dicho sistema sería de gran ayuda para el área agrícola de la comunidad de Pedernal. En este sentido, partiendo de las variables planteadas, para aumentar la calidad y bajar el costo de un cultivo de ají, es oportuno formular la siguiente interrogante:

¿Cómo mejorar la práctica de riego y fertilización por goteo en el cultivo de ají de la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo de departamento de Chuquisaca?

2.4. DEFINICIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se enfoca a su influencia en la eficiencia del uso del agua para los productores sobre cómo manejar de manera más provechosa los recursos naturales como el agua, haciendo un uso racionado de la misma a partir de la implementación de sistema microcontrolado de

riego y fertilización por goteo, dentro del proceso de producción alcanzado de esta manera la eficacia y efectividad en las metas propuestas por los cultivadores y el proceso de producción de cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo del departamento de Chuquisaca.

CAPÍTULO III

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el proceso de riego y fertilización para cultivo de ají de la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.
- Determinar los parámetros y requerimientos de un sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají, de la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.
- Diseñar un sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají, de la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.
- Validar el diseño del sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají con todas las familias beneficiarias de la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.

CAPÍTULO IV

SUSTENTO TEÓRICO, DEBATE Y REFLEXIÓN

El sustento teórico, constituye la disertación argumentada de quien investiga en relación con las variables, dimensiones e indicadores; o bien, de las categorías, sub-categorías y unidades de análisis. De esa forma, en el presente capítulo, se exhiben todos los fundamentos teóricos de la investigación, los cuales permitieron analizar, en primer lugar, investigaciones o publicaciones realizadas con anterioridad referente al tema de estudio para así poder establecer tanto similitudes, como diferencias entre ellas; y en segundo lugar, se sintetizaron una serie de postulados teóricos referentes al estudio de la propuesta del sistema microcontrolado de riego por goteo y fertilización de cultivo de ají en la comunidad de Pedernal.

4. SUSTENTO TEORICO, DEBATE Y REFLEXION

4.1. EL ESTADO DEL ARTE

Los antecedentes de la investigación, para Nava (2011), constituyen el conjunto de hechos, ideas, datos y circunstancias que han precedido o son anteriores a la formulación del problema que se investiga, los cuales sirven para aclarar, juzgar e interpretar el referido problema, permitiendo conocer el estado actual de la situación que se pretende estudiar.

4.1.1. TECNOLOGÍAS DE RIEGO EN PRODUCCIÓN HORTÍCOLAS

A continuación, se presenta, el trabajo de maestría realizada por Ramos, (2015), titulada: Evaluación de la adopción de tecnologías de riego aplicado en las unidades de producción del asentamiento el Cortijo en la Parroquia Valles de Tucutunemo Municipio Zamora; del Estado Aragua Venezuela. Su objetivo fue evaluar la adopción de tecnologías de riego aplicado en las Unidad de Producción Agrícola, UPA del asentamiento El Cortijo, en la parroquia Valles de Tucutunemo.

El Trabajo de Grado fue presentado, para optar al título de Magíster Scientiarum en Desarrollo Rural, mención Economía Agrícola Universidad Central de Venezuela, UCV. El mismo, inicia el estudio, refiriendo que, en Venezuela, la adopción de tecnología ha sido poco abordada y especialmente en el área de riego se han ejecutado varios paquetes tecnológicos de forma impuesta, sin realizar un diagnóstico previo, tomando en cuenta protagonistas de dicho proceso, creyendo tener la solución a la problemática existente.

Señala además la investigadora, que la decisión del productor al adoptar una tecnología de riego puede ser determinante e incidir de manera positiva o negativa en los niveles de rendimiento en la Unidad de Producción Agrícola, (UPA). Como se ha señalado anteriormente, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la adopción de tecnologías de riego aplicado en las UPA del asentamiento El Cortijo, en la parroquia Valles de Tucutunemo, Municipio Zamora, Estado Aragua, Venezuela.

Para cumplirlo, se seleccionó una población de 145 UPA se tomó una muestra de 58 de las mismas, la cual fue determinada utilizando la fórmula para un muestreo aleatorio simple para proporciones. A los productores seleccionados se les aplicó un cuestionario. Los análisis estadísticos utilizados, fueron: descriptivo, de regresión logística y análisis de componentes principales.

Los resultados muestran que los productores usan tres (3) sistemas de riego: aspersión, goteo y ambos (aspersión y goteo); y los factores que condicionan la adopción del sistema de riego son: nivel de conocimientos sobre riego, eficiencia de riego, tiempo de conocimiento del sistema de riego y fuente de información sobre sistema de riego. Los productores que están organizados por unidades de regantes y perciben ingresos por la producción de cereales, granos, hortalizas y frutales, se reportaron mayores rendimientos, con la adopción de riego por goteo para maíz semilla, ají, cilantro, pepino y limón; y con riesgo por aspersión para maíz consumo, jojoto y cebollín.

Entre las conclusiones se destaca: El componente tecnológico de riego adoptado en las Unidades de Producción del asentamiento El Cortijo, consta principalmente de tres (3) sistemas de riego que son: aspersión, goteo y ambos (aspersión y goteo), predominando la aplicación de tecnología asociada a los sistemas de riego por aspersión, esto indica que el nivel tecnológico se ubica entre los sistemas de baja tecnología como gravedad, y los de alta tecnología como el riego por goteo.

El predominio del sistema por aspersión, obedece principalmente a que es éste el que inicialmente tenían por ser aportado por el estado, asimismo, se observó que suele presentar deterioro por el costo de los insumos, y ser el más frecuente entre los productores con más de 10 años en la Unidad de producción, por otra parte, la adopción de riego por goteo fue más usual entre quienes tienen mayores conocimientos sobre riego y buscaban mayor eficiencia en su aplicación.

El aporte de esta investigación al estudio que se está realizando, cuyo objetivo es determinar el efecto del sistema micro controlado de riego por goteo para la fertilización y el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo, consiste en una la fuente de información sobre el sistema de riego, en el cual se evidenció que los datos obtenidos por eventos o medios de comunicación están asociados con la aplicación de sistemas de riego de alta tecnología, tal como el que se busca proponer para el cultivo de ají.

En este sentido, se considera importante por cuanto desarrolla los factores, que parecen estar relacionados en última instancia con la capacidad de innovación de los productores y con la disposición a asumir riesgos, ya que los productores con menos tiempo en la unidad de producción, los mejores informados y que buscan una mayor eficiencia en su aplicación, optaron por realizar una inversión mayor en tecnología, independientemente del tipo de cultivo

o tamaño de la unidad de producción, y los productores menos informados y con más tiempo en la zona, optaron por un sistema de riego tradicional (como el de aspersión), con menos complejidad tecnológica, pero menos eficiente.

4.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO DE PRECISIÓN Y MANEJO DEL RIEGO EN CULTIVO DEL AJÍ

Seguidamente, se analiza la Tesis Doctoral realizada por García, (2015), cuyo título es: Hacia el riego de precisión en el cultivo de fresa en el entorno de Doñana. Fue presentada como requisito para optar al grado de Doctor Ingeniero Agrónomo directores Dres. Juan Rodríguez Díaz y Pilar Montesinos Barrios. Universidad de Córdoba, España. El objetivo general del estudio consistió en Compatibilizar las oportunidades de este territorio, especialmente en materia de agricultura y turismo, con la protección de los excepcionales valores naturales de Doñana y el uso racional del agua.

Se inicia la investigación reflexionando sobre el hecho que España por ser el principal productor de fresa (Fragaria x ananassa) fresca de Europa, con una producción cercana a las 300.000 t/año no ha dado valor agregado a los sistemas de riego, y el cultivo intensivo de fresa se desarrolla en macrotúneles de plástico sobre lomos acolchados, lo que demanda volúmenes importantes de agua para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo así como para labores de preparación del suelo o alomado y riego de apoyo en la fase de plantación. Siendo que el carácter intensivo del cultivo ha suscitado críticas medioambientales en torno al uso del agua y la gestión que se realiza de ésta, que se han acentuado en parte por la cercanía de la zona productora al Parque Nacional de Doñana, y por otra parte a la compleja Normativa en materia de regadío existente en la zona.

La investigación se desarrolló con una muestra caracterizada por la demanda de riego en un conjunto de 22 fincas comerciales de fresa en la zona de estudio, durante las tres campañas transcurridas entre 2010 y 2013. De allí, que se evaluó el uso y manejo del agua a escala de finca mediante la aplicación conjunta del indicador de huella hídrica (HHAazul) y de un indicador sobre el manejo del riego (RIS), con la finalidad de detectar las posibles ineficiencias del proceso.

Vale significar, que el sistema de riego de precisión está compuesto por una red de emisores autocompensantes (antisucción y/o antidrenantes), contadores inteligentes para la medida del volumen de agua, válvula reguladora de presión en cada sector y sondas para la medida de la

humedad en el suelo. La operación del sistema de riego de precisión está vinculada a un programador de riego que corrige a escala (diaria o semanal) la duración y el número de pulsos de riego en función de la información climática, de las necesidades de fertilización y de los registros de los sensores de humedad.

De los resultados se llegó a proponer medidas de mejora en el manejo del riego, basadas en la determinación del pulso óptimo que evite las pérdidas por percolación en distintas fases de desarrollo del cultivo; incluyendo la monitorización y evaluación del uso del agua de riego en las explotaciones mediante indicadores de gestión, identificando las ineficiencias existentes en el proceso de riego, se aplican técnicas de modelización del movimiento del agua en el suelo, para detectar la duración óptima de los pulsos de riego que permita aplicar las necesidades del cultivo y se ha diseñado un sistema de riego de precisión formado por elementos disponibles en el mercado que permiten tener un control exhaustivo del agua aplicada.

También, se develó que, en el análisis sobre la demanda real de riego del cultivo, así como de la gestión que se realiza de dicho recurso por los agricultores en una muestra de 22 fincas durante las campañas 2010-2013 permitió identificar las buenas prácticas agrícolas tanto en la gestión como en los sistemas de riego existentes, poniendo de manifiesto las necesidades de mejora en el proceso.

Con base en la situación descrita en a investigación, su aporte se centra en el manejo del riego, en el cual brinda basta información sobre cómo se detectan los pulsos de riego que se deben aplicar en el estudio, los cuales son muy heterogéneos sin encontrar un criterio claro que permita definir el pulso óptimo de riego en función del grado de desarrollo de la planta y el tipo de suelo. De igual modo, ayuda a determinar cuáles pueden ser los emisores típicamente empleados en el cultivo de ají, las cintas de riego no auto compensantes de una campaña de duración no son los emisores más adecuados para llevar a cabo un riego por pulsos de corta duración.

4.1.3. FERTILIZACIÓN COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA

Seguidamente, se presenta la Tesis de Maestría realizada por Valencia, (2015), que lleva por título: Efecto de cinco niveles de nitrógeno en el cultivo de maíz (Zea Mayz L.) la cual, fue presentada para la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo en la Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Agrarias. Ecuador. Presentada Vía riego por goteo, utilizando dos fuentes de fertilizante.

Este experimento se realizó en el cantón Milagro. Los objetivos fueron: 1) Evaluar la mejor fuente y dosis de fertilizante nitrogenado, vía riego por goteo, a través de la caracterización agronómica y rendimiento del híbrido de maíz AGRI-104. 2) Determinar el mejor de los tratamientos en estudio. 3) Realizar un análisis económico comparativo entre el mejor de los tratamientos y el testigo para determinar la rentabilidad del cultivo.

Se utilizó un lote de 850 m2 en donde se preparó la infraestructura de fertirriego por goteo. Se probaron dos fuentes de fertilizante nitrogenado: urea y nitrato de amonio. Los niveles de nitrógeno fueron: 0, 60, 120, 180 y 240 kg/ha. El diseño empleado fue el de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas. Se tomaron 12 variables agronómicas y el rendimiento del grano.

Se concluyó que: 1) Dentro del factor niveles de nitrógeno, 10 de las 12 variables medidas presentaron diferencias estadísticas; el tratamiento con 240 kg N/ha se destacó por alcanzar los mayores promedios en nueve variables. 2) En la mayoría de las características fenotípicas, los promedios de las variables se incrementaron a medida que se elevaban los niveles de nitrógeno. 3) Con los niveles de fertilización: 180 y 240 kg N/ha, se obtuvo los mayores promedios de rendimiento. 4) Por efecto de fuentes de nitrógeno no se encontraron diferencias en el rendimiento del grano. 5) La combinación de fuente urea, en dosis de 60 kg/ha, presentó una TRM superior al 1000%.

El aporte de esta investigación centra, radica en la valiosa fuente que maneja sobre los niveles de fertilización que da como resultado mayores promedios de rendimiento, igualmente para el riego, ofrece datos sobre cómo se realizaran los riegos por goteo ya que el cultivo aprovecha la humedad remanente. Por consiguiente, ayuda a establecer los parámetros para el sistema a proponer en la producción de ají.

4.1.4. CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO DE BAJA PRESIÓN.

Posteriormente, se presenta el artículo científico producto de una investigación elaborada por Vargas, y Escobar, (2015), titulada Consideraciones técnicas para el diseño de sistemas de riego por goteo de baja presión asistido por la aplicación “RILO” y publicado en la Revista Unellez de Ciencia. Universidad Ezequiel Zamora, UNELLEZ, Guanare, Venezuela; ISSN 100-107. Su objetivo consistió en el análisis bibliográfico de los diferentes parámetros requeridos para el correcto diseño de SRGDPA mediante la aplicación RILO v-4.27. En ese sentido, refiere los

autores citados, que los sistemas de riego por goteo de alta presión, requieren el uso de electricidad y demandan un alto costo en emisores y equipos presurizados.

En contraste, el riego por goteo a baja presión aprovecha la diferencia de altura entre la fuente y el campo, para proporcionar la carga necesaria durante la ejecución del riego. En cuanto al RILO v-4.27, se definió como un modelo paramétrico que utiliza los datos suministrados para realizar los cálculos necesarios para el diseño de sistemas de riego por goteo con depósitos de poca altura (SRGDPA). Por otra parte, en el estudio se sugiere emisores autocompensantes con Coeficiente de Uniformidad > 90%, Coeficiente de Variación de fabricación < 10%, Coeficiente de descarga = caudal, Exponente de descarga < 0,5 (régimen de flujo = turbulento).

La significatividad de este estudio para con la investigación en curso consiste en la recomendación que hace el doctorante sobre, el diseño agronómico basado en el modelo CropWat o tanque evaporímetro tipo "A" en el cálculo de la Evapotranspiración del cultivo de referencia, el documento FAO N° 56 para el Coeficiente de cultivo, ecuaciones que consideren la Infiltración básica y el valor de descarga del emisor para determinar el diámetro del irrigación que pudiera tener el riego en el cultivo de ají; así como el método de velocidad máxima recomendado.

También, se reseña el estudio realizado por Medina a nivel de maestría, (2014), cuyo título es: Medición de los factores incrementales que genera el riego tecnificado en los actores de la economía popular y solidaria de las comunidades El Beldaco, San Jacinto, Lodana - adentro y camino nuevo, pertenecientes a la Provincia de Manabí. Fue una Tesis de grado previa a la obtención del Título de Magister en Economía Agrícola y desarrollo sustentable. Universidad Central del Ecuador Facultad de Ciencias Agrícolas Instituto Superior de Investigación y Posgrado. Quito Ecuador.

El objetivo de la investigación fue: evaluar los incrementos de rentabilidad que se podrían lograr de la agricultura, con la aplicación de riego por goteo en tierras de las comunidades beneficiarias del sistema de riego El Beldaco, del cantón Santa Ana de la provincia de Manabí. El análisis contempla los ámbitos físico, social y económico que influyen en la agricultura de la zona. El trabajo parte de una evaluación de la situación actual del área de influencia y de una síntesis de los problemas que la afectan, para luego enfocar la atención en las características de la producción agrícola del área de riego de El Beldaco.

Posteriormente se plantea un plan de producción en el que se fijan los rendimientos agrícolas que se podrían obtener en la zona y se evalúan los costos de producción y los valores de venta de los productos propuestos. El estudio indica que la introducción de riego por goteo permitiría a los agricultores obtener ingresos medios mensuales de 754,8 dólares por hectárea, lo que coadyuvaría a las familias campesinas a superarla pobreza por ingresos. Entre las conclusiones se develo que, En el presente caso, la introducción del riego tecnificado por goteo permitiría a los agricultores de la zona de El Beldaco obtener ingresos medios por la actividad agrícola de 754.8 dólares por hectárea en el tercer año, cuando ya está estabilizada la producción.

Teóricamente, esto indica que un agricultor debe tener una propiedad con una superficie mínima de 0,82 ha para cubrir la canasta básica familiar de diciembre del 2013 que tenía un valor de USD 620, 86. Lo que implicaría una virtual salida de la pobreza de las familias campesinas. De acuerdo con el gráfico Nº 2.6 en el que está trazada la curva de frecuencia del tamaño de las propiedades que están dentro del perímetro de riego El Beldaco, solo el 50% de las propiedades tienen una superficie mayor a la necesaria para cubrir el déficit de la canasta básica.

Los agricultores con propiedades de superficies menores a 0.82ha necesitarían cubrir el déficit de la canasta con otras actividades económicas. Si se considera que el 40% de los agricultores tienen propiedades con superficies inferiores a media hectárea, resulta evidente que la actividad agrícola no les permite los medios mínimos de subsistencia. Solo los agricultores con propiedades de más de una hectárea podrían tener niveles de vida superiores a los de canasta básica familiar por medio de la sola actividad agrícola, pero siempre y cuando utilicen el sistema de riego por goteo en sus sistemas de producción.

La investigación analizada, es importante para el presente estudio dado que indica que, el tamaño de la propiedad agrícola es un determinante y limitante para el desarrollo económico y social del sector agrícola de la provincia. En resumen, la aplicación de riego por goteo permite un incremento marcado de la productividad agrícola de los cultivos estudiados que actualmente se realizan en la zona de El Beldaco.

4.1.5. DISEÑAR SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA LA AGRICULTURA

Se destaca a continuación, la investigación de Vázquez, (2012), titulada Diseño de un sistema de riego aeropónico automatizado, tuvo como objetivo diseñar un sistema de riego automatizado, utilizando una de las técnicas hidropónicas más novedosas (aeroponia). Fue presentada, en el Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería Tesis que para optar por el Grado de: Maestro en Ingeniería ing. Mecánica – Mecatrónica. Universidad Nacional Autónoma de México.

El estudio se presenta, como preámbulo, que la agricultura ha sido uno de los pilares principales en la economía de los países en vías de desarrollo y México no es la excepción, sin embargo, en los últimos años esta ha perdido gran parte de sus integrantes. La Secretaría de la Reforma Agraria identificó que uno de cada dos ejidatarios y comuneros supera los 50 años de edad, y el 29% de ellos supera los 65 años. Podríamos decir que el campo se está "volviendo viejo" y esto aunado al poco interés de los jóvenes en continuar con esta labor, se ha calculado que en aproximadamente 50 años lo producido por el campo no bastara para sostener a toda la población mexicana.

Esto crea la necesidad de impulsar o desarrollar nuevas técnicas de agricultura, y una propuesta que ha tenido un gran auge en los últimos años es la técnica hidropónica que básicamente consiste en cultivar sin tierra. Las ventajas que otorga la técnica hidropónica comparada con las técnicas tradicionales son: alimentos de mayor calidad, volúmenes de producción elevados, menor tiempo de germinación y desarrollo de la planta, no se requiere esperar una estación específica del año, ni contar con terrenos especiales para el cultivo, además de que combinada con tecnología de invernaderos se pueden maximizar estas ventajas.

Este proyecto presenta el diseño de un sistema de riego automatizado, utilizando una de las técnicas hidropónicas más novedosas (aeroponia), si bien el alcance actual es diseñar un módulo para 6 plantas, este se puede reproducir el número de veces necesarias para alcanzar un nivel comercial. Otros módulos que se pretende diseñar es un Módulo Germinador, ya que para implementar la técnica Aeropónico es necesario contar ya con la plántula, y el Módulo Generador de Neblina Nutritiva, el cual se utiliza en los dos módulos anteriores para alimentar a la plántula y las plantas respectivamente.

Una de las desventajas de la técnica hidropónica automatizada, es que la tecnología proviene principalmente de países desarrollados, como Holanda y España, esto hace difícil la adquisición de los elementos necesarios para su implementación debido a sus elevados costos. Por lo que uno de los retos en este proyecto fue utilizar componentes que se puedan obtener fácilmente en el mercado mexicano y que su costo no sea tan elevado tanto en su desarrollo como en su mantenimiento.

La conclusión a la que se llega con este proyecto, es que se puede implementar un sistema de riego hidropónico automatizado con tecnología no cara y de fácil acceso en México y probablemente en Latinoamérica, esto debido a que los componentes propuestos en el diseño, para la parte electrónica e hidráulica, son de fácil implementación y adquisición. Se encontró que la partícula producida mediante el ultrasonido es más pequeña y que por lo tanto tiene una mayor absorción por la planta, lo que aumenta su eficiencia en el tiempo de producción. Se cree que el tamaño de la partícula tiene un límite mínimo para absorción, pero esto aún no está 100% comprobado por lo que se necesita seguir investigando es esta técnica.

El aporte de esta investigación radica en la propuesta diseñada puesto que, para afrontar la baja producción o huertos familiares, es fácilmente escalable para fines comerciales y de alta producción, para lo cual los componentes hidráulicos y mecánicos cambiarían, pero los componentes electrónicos permanecerían siendo prácticamente los mismos; tan solo siendo necesario ajustar sus parámetros de funcionamiento. En este sentido, la investigación orientó la selección de los parámetros para el diseño del sistema microcontrolado de riego y el proceso de fertilización.

4.2. TEORÍAS QUE SUSTENTAN LA INVESTIGACIÓN

Las bases teóricas constituyen el centro de la investigación, por lo que su orden está compuesta por un conjunto de variables e indicadores que emergen de la temática y del enfoque a investigar, basados en los objetivos diseñados, del cual provinieran las interrogantes que permitan conseguir los resultados, para ser desarrollados y crear una propuesta de solución. En este sentido, las bases teóricas configuran todos los postulados en relación a la temática o variables en estudio.

4.2.1. SISTEMA MICRO CONTROLADO DE RIEGO POR GOTEO PARA EL CULTIVO DE AJÍ

Un sistema de control de riego, igualmente conocido como el riego gota a gota, es un método de irrigación utilizado en las zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua y abonos. De acuerdo con Fernández y Camacho (2008), citando a Kuo (1995), señala que es un sistema o dispositivo que controla las operaciones del riego por goteo, esto es, la apertura y cierre de las válvulas solenoides que determinan el flujo de agua hacia en una determinada zona del cultivar. Las válvulas son comandadas eléctricamente o hidráulicamente. Este sistema de control puede configurarse mayormente de dos formas: (i) a malla abierta o (ii) a malla cerrada o realimentado. En un sistema de control de riego a malla abierta, de acuerdo con Ruiz y Molina (2010), se hace necesario puesto el mismo permite determinar la relación que existe entre la cantidad de agua aportada al suelo (entrada) y la humedad del mismo (salida) para ajustar los parámetros del controlador. Se debe contar con una base de datos, conteniendo distintas mediciones climáticas de días, semanas o meses anteriores a la temporada de riego. Esta información servirá para estimar, mediante ecuaciones y tablas, las futuras dosis y periodos de riego que el cultivo necesitará. El agrónomo o el operario encargado del riego suele efectuar ajustes durante la temporada observando síntomas de estrés en cultivos testigos o efectuando mediciones de humedad en el suelo.

En la fertilización para el cultivo, según Soutter (2007), las principales causas de pérdidas de riego son la evaporación y el exceso de agua utilizada. En este marco, las principales técnicas o medios para solucionarlo a partir de los sistemas microcontrolados. En ese orden de pensamiento, Mora (2005), plantea un sistema microcontrolado de riego por goteo, consiste en una tecnología impresionante que se desarrolló desde hace décadas, y hoy en día, es común ver esta tecnología utilizada en campos agrícolas, invernaderos, jardines residenciales y hasta en procesos industriales.

Partiendo de lo referido, se puede indicar que últimamente, el riego por goteo ha ganado mucha popularidad ya que se le considera a esta tecnología como una herramienta más para salvaguardar la calidad y regular el consumo de agua, ya que de acuerdo a Fernández y Camacho (2008) en el primer lugar puede llevar a controlar el nivel de agua del depósito visualmente por parte del operario y en segundo lugar se regula la cantidad de agua, y no se llega a superar el nivel establecido para el cultivo.

4.2.2. PROCESO DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE AJÍ

Partiendo del hecho que los sistemas microcontrolador de riesgo se desarrollan con el fin de minimizar el riego en exceso o las pérdidas por evaporación, una de sus principales características es que puede hacerse una mejor programación del riego, con lo cual señalan Clement y Galand (2009), se pueden determinar cuántos litros de agua deben aportarse, durante cuánto tiempo y a qué horas del día. Dicha programación puede variar de un día para otro según las condiciones meteorológicas. Una programación sofisticada que permita optimizar el uso del agua requiere la intervención de un profesional cualificado, lo que puede costar caro.

Sin embargo, algunas prácticas simples pueden mejorar la eficacia del sistema de riego; en el caso específico del cultivo de ají **l**os mejores periodos para el riego son a primera hora de la mañana o al final de la tarde. Cuando el sol está más elevado, al mediodía, puesto en otras horas la mayor parte del agua se pierde por evaporación. Por la noche, por otra parte, el agua se acumula en el suelo, lo que puede generar problemas para las plantas.

Asimismo, la cantidad de agua debe ser suficiente para satisfacer las necesidades de la planta de ají. Estas necesidades dependen de las propiedades del suelo, las condiciones climáticas y el tipo de ají que se desea cultivar. El exceso de agua puede resultar tan problemático como la falta de agua. Por otra parte, cuando llueve, es conveniente reducir o incluso detener el sistema de riego; puesto que en el cultivo de ají se debe conocer la cantidad de agua aportada por precipitación, y esto se logra midiendo la altura de la columna de agua acumulada en un recipiente cilíndrico expuesto a la lluvia.

Partiendo de lo anterior, se considera destacar a Rázuri (2008); para quien el tiempo de riego para el cultivo del ají deben ser calculados en función de los métodos de reposición de agua de riego, de allí que el autor recomienda que para un área de tratamiento de 255 m2; el caudal total por tratamiento debe ser de 1.165,55 l/h; y una eficiencia de aplicación de 90%.

Por último, es muy importante inspeccionar periódicamente las canalizaciones diseñadas en las extensiones de cultivo de ají para detectar cuanto antes posibles escapes o interrupciones, con el fin de limitar las pérdidas de agua, lo que ocasiona pérdidas no solo para el agricultor en materia de líquido necesarios para otras faenas, sino para el cultivo en sí del ají que puede ser afectado por el exceso de agua.

4.2.3. CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO DE RIEGO

El control automático de procesos, para Weiser (2007), es una de las disciplinas que se ha desarrollado a una velocidad vertiginosa. El uso intensivo de las técnicas del control automático de procesos tiene como origen la evolución de las tecnologías de medición y control aplicadas al ambiente industrial. Tanto su estudio, como aplicación ha contribuido al reconocimiento universal de sus ventajas, así como también beneficios asociados al ámbito industrial, que es donde tiene una de sus mayores aplicaciones debido a la necesidad de controlar un gran número de variables, sumado esto a la creciente complejidad de los sistemas.

De esa manera, el sistema microcontrolado de riego por goteo de los procesos se usa fundamentalmente porque reduce el coste asociado a la generación tanto de bienes, como de servicios e incrementa la calidad, así como volúmenes de producción de una planta industrial, entre otros beneficios asociados con su aplicación. En ese sentido, la eliminación de errores y un aumento en la seguridad de los procesos es otra contribución del uso, igualmente de la aplicación de esta técnica de control.

De allí, que el principio de todo sistema microcontrolado automático es la aplicación del concepto de realimentación (medición tomada desde el proceso que entrega información del estado actual de la variable que se desea controlar) cuya característica especial es la de mantener al controlador central informado del estado de las variables para generar acciones correctivas cuando así sea necesario.

4.2.4. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA

Como en todo proceso de control, el sistema microcontrolado de riego por goteo implica la interacción entre sensores, actuadores y controladores para poder llevar el proceso en forma automática hacia un nivel óptimo. Así, en este sistema se utilizaron elementos como bombas, válvulas, sensores de pH, sensores de humedad, cuya función en conjunto es tener un sistema que automáticamente controle el proceso de riego, donde el objetivo principal es optimizar la utilización de recursos y beneficiar económicamente a los agricultores.

De igual manera, para llegar a un nivel óptimo del sistema se complementó con la tecnología para las técnicas de control con lo que se buscó la interacción de elementos eléctricos y mecánicos cuya función principal es la de responder a las especificaciones técnicas (nivel de humedad, temperatura ambiente) que se requieren para mantener las variables del proceso en un nivel adecuado. Estas técnicas dichos elementos están dados para controlar todo el sistema en

cuanto a los momentos para la emisión del agua climáticas, de la necesidad de los suelos y los requerimientos del cultivo a desarrollar.

Así entre los elementos que intervienen en el proceso de riego controlado se pueden enumerar:

- **Controlador:** dispositivo encargado de mantener un sistema en perfecto funcionamiento corrigiendo los posibles errores en los dispositivos que conforman el sistema. En cuanto a dicho controlador se utilizó partiendo del algoritmo de control el cual es capaz de tomar las decisiones correspondientes para llevar el proceso a un nivel adecuado. El mismo recibe como señal de entrada la diferencia entre las señales de referencia y el valor medido de la variable de proceso.
- **Sensor:** es un tipo de transductor que se encarga de convertir una señal de entrada analógica, generalmente fenómenos físicos (temperatura, presión, humedad, entre otra condición climática), en una señal eléctrica a la salida puede ser voltaje o corriente. Dentro de los sensores utilizados se tienen: Sensores de presión, Sensores de deformación: galga extensiométrica; Sensores de humedad; Sensores de pH.

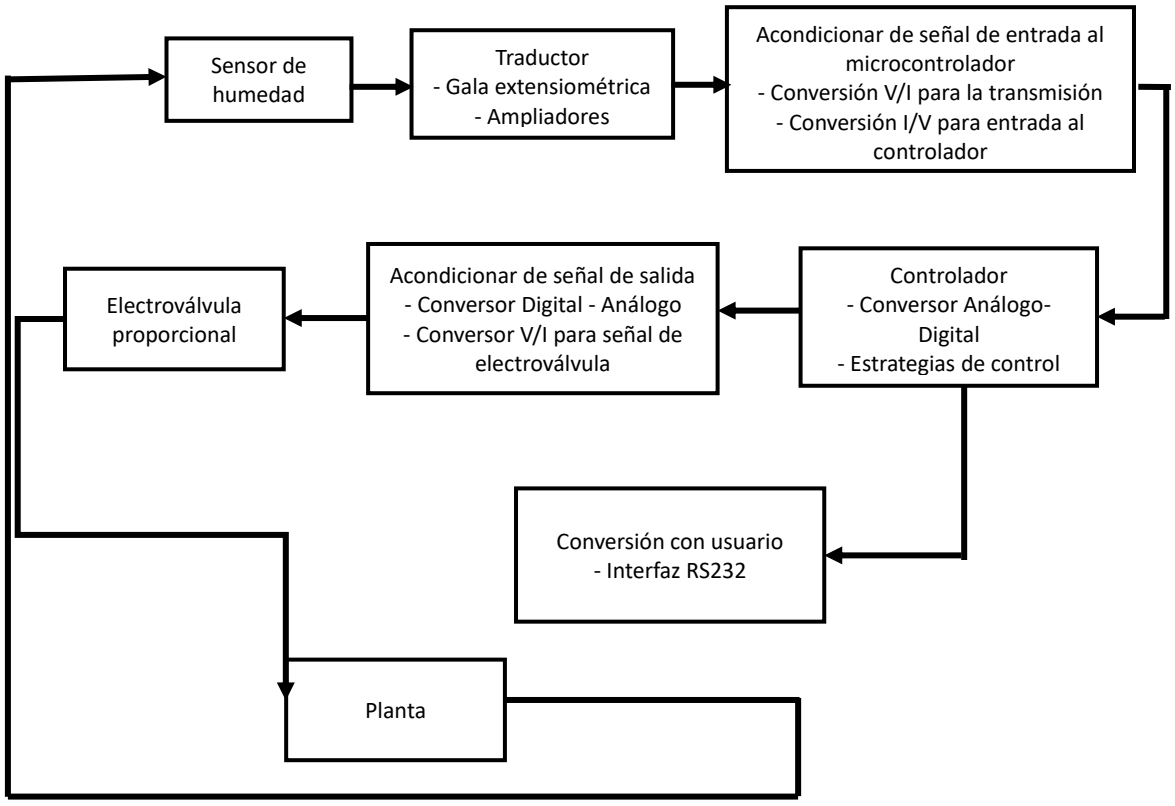
Partiendo de los señala, para el sistema microcontrolado de riego por goteo se seleccionaron sensores y actuadores del sistema para el acondicionamiento de señales como componentes para el diseño de los diferentes circuitos que conforman el lazo de realimentación en el sistema de riego. En este sentido, se describen las etapas de acondicionamiento de la señal transformando las presiones generadas en el sensor, en una señal eléctrica mediante la variación en la resistencia de una galga extensiométrica, que es deformada proporcionalmente a la presión aplicada. Luego se realiza la etapa de transmisión de la señal adoptando el estándar de 4 a 20mA, se desarrolla la etapa de digitalización mediante la utilización de un conversor análogo/digital, previa conversión a tensión de la señal de transmisión debido a que el conversor A/D trabaja con señales de voltaje.

De igual manera, se desarrolla el algoritmo de control basado en sentencias condicionales implementado en un controlador programable, donde las acciones de control se toman de acuerdo a las condiciones de entrada proporcionadas por la salida del conversor A/D, luego la salida digital del controlador, es convertida en una señal análoga mediante la utilización de un conversor digital/análogo, para luego ser transmitida hacia una electro válvula de control proporcional. Por último, se presenta además el diagrama de flujo del programa principal que permite mantener el nivel requerido de la variable de proceso.

El gráfico 1 muestra el diagrama de bloques de las etapas que conforman el sistema de riego por goteo controlado y automatizado.

Figura 1.

Sensores actuales de un sistema de riego por goteo



Fuente: Elaboración propia, (2025).

- **Actuador:** Los actuadores son dispositivos que transforman una señal de entrada (eléctrica) en otro tipo de señal (eléctrica, neumática, hidráulica, etc.) capaz de modificar o alterar las condiciones del proceso. Un actuador recibe la orden del controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control.

Los elementos referidos, permiten la descripción del proceso de riego tecnificado y controlado. Así, para el control del riego micro controlado se incorporaron elementos electromecánicos como bombas, válvulas, sensores de humedad, goteros, mangueras de polietileno entre otros. Cuya función en conjunto era tener un sistema que automáticamente monitoree y controle el proceso de riego.

En este sentido, mediante el sensor mide la variable climática de interés del proceso llamado "variable de proceso", en este caso la variable climática de interés del proceso es la humedad del suelo, esta información es enviada a un controlador que compara esta señal con una de referencia o set point (lo que se desea obtener), para así tomar una acción de control sobre un actuador, en este caso sobre una electro válvula que se abrirá o cerrará de acuerdo con lo que le indique la señal de control y modificar el valor de la variable manipulada, en este caso el flujo de agua.

4.2.5. ELEMENTOS MATERIALES DEL SISTEMA

Sensor de humedad: Existen diversos instrumentos de medición de humedad de suelos, entre ellos se encuentran las sondas o electrodos que van variando el nivel de conductividad del material del que están hechos en función a la variación del nivel de humedad del suelo, sin embargo, para poder extraer una señal eléctrica del sensor se necesita de un transductor que convierta las señales de humedad en variables eléctricas.

- **Tensiómetro:** es un instrumento, sensor de presiones de vacío, de medida del esfuerzo que realiza la raíz de una planta para poder extraer las moléculas de agua del suelo. El tensiómetro tiene la forma de una varilla alargada la cual se inserta en el suelo en una zona cercana a la raíz. Es útil porque indica cuándo y cuánta cantidad de agua se debe suministrar a la raíz de una planta. Asimismo, el mismo consta de 4 elementos principales:
- **Tubo del cuerpo:** Aquí es donde se generan las presiones de vacío originadas por el esfuerzo que realiza la raíz para extraer el agua del suelo.
- **Capa cerámica:** es de textura porosa y dejar fluir el agua tanto interna como externamente al tubo del cuerpo.
- **Vacuómetro:** es el dispositivo que registra las variaciones de presiones de vacío y nos la muestra en unidades de Kilo-pascales (KPa) en una escala del 0 a -100 KPa o centibares (cb).
- **Tapón:** es el elemento sellador que permite mantener la presión dentro del cuerpo del tensiómetro y también el llenado del instrumento con agua, se encuentra en la parte superior del instrumento.

Con relación a la operatividad del tensiómetro, se puede indicar que el agua que se encuentra en el suelo es retenida por la atracción que se da entre las moléculas de agua con las partículas de

suelo, existen espacios entre los 2 elementos mencionados anteriormente denominados “poros” que son especies de cavidades de aire donde las moléculas del agua son retenidas impidiendo su movilidad donde el tensiómetro realiza una medida directa del esfuerzo que realiza la raíz de la planta para poder extraer el agua del suelo.

Por otra parte, en la parte inferior tiene una punta de cerámica porosa la cual deja fluir el agua tanto externa como internamente al tubo del cuerpo o tubo reservorio del instrumento, inicialmente este tubo se llena completamente de agua. A medida que el terreno se va secando, el agua del tensiómetro fluye hacia el suelo hasta que el vacío producido dentro del tubo sea equivalente al esfuerzo de la raíz por extraer agua y es justamente esta presión de vacío lo que el vacuómetro registra.

4.3. DESARROLLO TEMÁTICO DEL MARCO TEÓRICO

4.3.1. PROCESO DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE AJÍ

Con relación al proceso de fertilización del cultivo de ají, se debe iniciar con el análisis de los suelos efectuado en el área a sembrar. Esto es de suma importancia para que se analice cual es el contenido nutritivo del suelo y determinar que hay que aplicar, la dosis o cantidad y proporción de nutrientes, el lugar o área de aplicación y épocas que lo necesita el cultivo.

Un buen programa de fertilización para el cultivo de ají, no consiste solamente en aplicar el elemento faltante, sino en mantener el balance adecuado de los nutrimientos en la planta de ají y en el suelo. Para generar un buen programa de fertilización para el cultivo es preciso conocer: Que tiene el suelo, Cuánto tiene, Qué necesita, Cuánto se va a extraer, Cuánto se tiene que aplicar, Cómo se va a aplicar, Qué se va a aplicar y Cuándo se va aplicar

También, se debe determinar los requerimientos Nutricionales de las planturas de ají: Estudios realizados por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 2007) indican que los elementos nutricionales críticos para el cultivo de ají para cualquier tipo de fertilización son: Fósforo (P205), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Zinc (Zn). Boro (B) y Nitrógeno (N). Todos los elementos son necesarios e indispensables, pero el Fósforo y el Nitrógeno son los elementos con los cuales hay mayor respuesta del cultivo tanto en la pre-siembra, en la post-siembre como en el crecimiento.

En cuanto al proceso de las fertilizaciones para el cultivo de ají Sarli (2009), expone que se utilizan para asegurar tanto la producción, como la calidad de los cultivos, ya que en campo abierto es muy difícil mantener los cultivos de una manera adecuada a lo largo de todo el año;

así, el aji resiste al virus del mosaico del tabaco, teniendo estas muy buenas características. Según Dimitri (2010), una fertilización para el cultivo de ají (o invernáculo) es un lugar cerrado, estático.

Así como también accesible a pie, que se destina a la producción de cultivos, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcido de vidrio o plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad, como también a otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas.

Por su lado, el cristal o plástico usado para una fertilización para el cultivo de ají trabaja como medio selectivo de la transmisión para diversas frecuencias espectrales, y su efecto es atrapar energía dentro de la fertilización, el cual calienta el ambiente interior. También sirve para evitar la pérdida de calor por convección. Esto puede ser demostrado abriendo una ventana pequeña cerca de la azotea de una fertilización: la temperatura cae considerablemente. Este principio es la base del sistema de enfriamiento automático auto ventilación.

Partiendo de los señalamientos de Dimitri (2010), la fertilización contribuye a que las plantas crezcan mejor, ayudan a la conservación de los nutrientes del suelo y hacen que los cultivos dejen mayores ganancias por el alto rendimiento que se puede obtener, para lo cual se debe cumplir los siguientes pasos: Análisis de Suelos, Requerimientos Nutricionales, Fertilización en Pre-siembra o pre-transplante, Fertilización post-transplante y Fertilización en crecimiento activo o pre-floración.

También, se debe considerar a Moya (2009) y Solórzano (2010), quienes expone que la aplicación de los fertilizantes en el cultivo de ají, se debe realizar mediante una bomba de inyección, y para alcanzar una acumulación de nutrientes en el cultivo para una cosecha de 20 toneladas por hectárea, se debe agregar por el orden de 35 a 40 Kg/ha de N, P, K, Mg respectivamente.

De igual manera, cabe destacar que el Sistema de Información y Comunicación del Sector Agropecuario (INFOAGRO, 2010), reporta que, para una producción totales de 210 hectáreas de ají, se debe incorporar 350 Kg/ha de N, P, K; esto muy superiores a las indicadas por Moya (2009) y Solórzano (2010), pero ambas incorporaciones alcanzan hasta 10 veces más para ser localizada en el suelo muy cerca de las raíces del ají y se logre su producción.

4.3.2. FERTILIZACIÓN EN PRE SIEMBRA

Con relación a la fertilización en pre-siembra o pre-trasplante de ají, esta se ejecuta después del surqueo, la cual consiste en aplicar en banda y al raleo, la primera fertilización, específicamente es tratar de incorporar al suelo una parte de Nitrógeno, el Fósforo y Potasio en la dosis completa que se va aplicar al cultivo y el plaguicida requerido, luegoimse cubre con el contra-surqueo. Esta actividad se recomienda pues el fertilizante queda distribuido en toda el área y sobre todo la planta cuando se le transplante encuentra ya un medio adecuado en cuanto a su nutrición.

4.3.3. FERTILIZACIÓN POST-TRASPLANTE

En cuanto a la fertilización post-trasplante de ají; es cuando se realiza la primera fertilización y plaguicida, después de transplante y hasta 10 días después del mismo. Esta puede hacerse de dos formas: Primero colocando el fertilizante y plaguicida en banda, en el surco de riego, o a la orilla de donde se sembró o transplantó el ají. Luego se cubre con tierra, usando azadón o mecanizado, lo que sirve también para repasar el surco de riego.

Segundo, se hace localizado, aplicando el fertilizante y plaguicida, postura por postura de ají, el cual debe de ir incorporado (chuzeado) al suelo. Esto no es recomendable porque se produce altas concentraciones de fertilizante en un solo punto del sistema radicular, lo que viene a obstaculizar la absorción de elementos, por sus mismos gradientes de concentración, dando como resultado, plantas débiles y muy susceptibles a enfermedades.

4.3.4. FERTILIZACIÓN EN CRECIMIENTO ACTIVO

De igual manera, la fertilización en crecimiento activo o pre-floración, del ají también se puede hacer de dos formas: en primera instancia se dan las aplicaciones de fertilizantes cuando el cultivo está en crecimiento activo o prefloración, se pueden hacer en banda, siempre en el surco de riego, y cuando se tapa ya sea con azadón o mecanizado, se logran dos aspectos importantes: a) Ampliar la mesa si la siembra es al suelo, y b) Repasar el surco de riego. En segundo lugar, se ejecuta la fertilización por postura, planta por planta de ají, pero se recomienda que deba aplicarse el fertilizante en varias posturas alrededor o a los lados del tallo de chile, separado de este de 5 a 8 centímetros y a una profundidad de 5 a 6 centímetros.

Lo primordial es que donde se aplique el fertilizante, debe de llegarle la humedad del riego, ya sea por capilaridad o por gravedad, para que éste actúe. En todo caso, siempre el fertilizante debe de quedar cubierto por tierra, o diluido por el agua de riego, pero nunca debe de quedar destapado o expuesto al ambiente, porque se pierde. En el caso de fertilización con

un sistema de riego por goteo para el cultivo de ají, las dosis de fertilizantes por manzana o área de cultivo, que se recomiendan son las mismas para todos los sistemas, pero se deben de considerar:

a) *Emplear fertilizantes que se diluyan en el agua de riego; b) La forma de aplicación es en el sistema de bombeo del riego y c) La dosis por manzana o área de cultivo se distribuye aplicando el fertilizante a diario, o cada dos días, según el programa y calendario de riego, y en promedio se puede aplicar de 25 a 50 libras (16 a 32 kg/ha) de fertilizante por día por riego/mz.*

4.4. PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS DE UN SISTEMA MICROCONTROLADO

La definición de estos parámetros en un sistema microcontrolado de riego y fertilización para el cultivo de ají están determinados por los factores dependientes de las condiciones meteorológicas (temperatura, humedad, insolación), y de las propiedades del suelo (tasa de infiltración, inclinación) y del tipo de cultivo, así como de la fase de crecimiento del vegetal.

Dentro de estos parámetros para el cultivo de ají se consideran importantes la temperatura, humedad, iluminación, ventilación y PH de los suelos; esto siguiendo las teorías Sarli (2009) y Dimitri (2010), las cuales son muy seguidas por los agricultores colombianos expuestas en los Manuales de Acuerdo de Competitividad de Hortalizas (MACH, 2013); de allí que para efectos de la investigación se procederá a desarrollar cada parámetro.

4.4.1. CICLO DE RIEGO

Para atender efectivamente el ciclo de riego del cultivo de ají, se debe comenzar por el análisis del cl. consumo de agua de una plantación; la cual de acuerdo a Sarli (2009) depende de factores tales como: la zona de siembra; la época de siembra; el tipo de suelo y el tipo de riego que se emplee. Por su parte, Dimitri (2010), refiere que cuando se emplee un sistema de riego por goteo para el cultivo del ají el ciclo de riego se debe ponderar a partir de la demanda de riego durante el ciclo de vida de la planta. Donde el manejo del agua debe de ser muy cuidadoso, porque la escasez o el exceso son inapropiados para la planta.

Si no tiene la cantidad apropiada de agua por medio del riego, daña la calidad del producto final; ocasionando rajaduras, o bien pudiera darse un asocio con la enfermedad fisiológica en el fruto de la pudrición apical. Y si hay exceso de humedad en el suelo por efectuar riegos muy pesados, es factible que se incrementen las enfermedades. En este sentido, como se refirió

anteriormente el ciclo de riego del ají a partir de un sistema por goteo se debe realizar el riego a primera hora de la mañana o al final de la tarde; donde Razuri (2009), destaca que los tiempos de riego deben ser calculados en función de los métodos de reposición de agua de riego, considerando el área por tratamiento, el caudal total por tratamiento y una eficiencia de aplicación del riego.

En forma general, se puede decir que el ciclo de riego del cultivo de ají demanda de buena humedad en la zona de raíces que oscila de 0 a 40 centímetros de profundidad. Dicho cultivo requiere de una buena humedad, la cual debe de estar bien distribuida. Los mejores rendimientos se alcanzan cuando los suelos se tienen próximos a capacidad de campo. En zonas cálidas secas por su baja humedad relativa, se requiere de mayor aprovisionamiento de agua. Así también los suelos sueltos y arenosos requieren de riesgos más frecuentes y ligeros. En los suelos pesados a francos, los riesgos deben de ser más espaciados, con la finalidad de mantener la humedad que exige la planta.

4.4.2. CICLO DE FERTILIZACIÓN

Continuando con los señalamientos de Razuri (2009), el manejo adecuado de la fertilización comienza con un correcto conocimiento del suelo, para determinar las necesidades de fertilizante del área de estudio se debe realizar un análisis físico – químico; para que toda el área a cultivar reciba la misma cantidad de fertilizantes. También, para Dimitri (2010), el riego localizado brinda la oportunidad óptima para la aplicación de fertilizante a través del sistema de riego; lo que ayuda a que las raíces se desarrollan intensivamente en un volumen reducido de suelo, en donde el agua y los nutrientes se encuentran fácilmente permitiendo altas producciones de cultivo.

En este sentido, el ciclo de fertilización se debe iniciar incorporado en el sustrato junto con el riego en la técnica de fertiirrigación, donde el agua debe tener ajustado el pH y la conductividad eléctrica de acuerdo a los requerimientos de los cultivos, si estos parámetros no están bien ajustados se corre el riesgo de dañar las raíces que son la base de una adecuada producción de plántulas de ají.

Asimismo, se debe incorporar el fertilizante con sus elementos esenciales según Suniaga (2009), durante los primeros catorce (14) días después de la instalación del cultivo; es decir entre los días 14 y 28 después de la siembra. Posteriormente, durante los 42 días siguientes se debe dar otro aporte; es decir entre los días 28 y 56 después de la siembra. Posteriormente, se debe

continuar el tratamiento de fertilización hasta la finalización de la cosecha (56 días después de la instalación y 70 días después de la siembra), donde se realizan todos los aportes al inicio del cultivo, utilizar el suelo como un almacén de nutrientes, y fertilizando de manera oportuna, es decir se trata de satisfacer los requerimientos puntuales de las plantas.

4.4.3. TEMPERATURA

Según Sarli (2009), medir la temperatura es algo muy importante en diversos sectores de la actividad humana. Se puede citar como ejemplo el caso de las incubadoras, y en el caso de la cría de pollos donde los bebés prematuros quedan algún tiempo hasta adquirir capacidad para llevar una vida normal en el medio ambiente natural. Otras aplicaciones se encuentran en la industria, donde el control preciso de la temperatura se hace necesario.

En la producción de cultivo de ají, entre otros casos, es importantísimo el control de la temperatura según expresa Millán (2006). En la gran mayoría de los casos, se utiliza el clásico termómetro de vidrio, donde la indicación se hace por la dilatación del mercurio en un tubo capilar. Los inconvenientes de esta instrumentación, son varios; entre otros, el riesgo de la rotura del vidrio, con la consiguiente contaminación del sitio. (Lo mismo puede decirse del uso de un termómetro de vidrio y mercurio en la preparación de alimentos).

Con un termómetro electrónico, estos problemas no existen, esto sin hablar de otras posibilidades de uso, como control de temperatura de estufas, ambientes con aire acondicionado, calentamiento de agua, baños en laboratorios fotográficos, control de temperatura de líquidos en laboratorios químicos, entre otros. De igual manera, el punto más importante del termómetro electrónico es el sensor, que debe tener rapidez para producir ágilmente las variaciones de temperatura en señales eléctricas que sean indicadas por un medidor analógico. A la confiabilidad se une la rapidez de indicación. Normalmente un termómetro electrónico exige de 10 a 15 segundos para una lectura, aunque existen sensores más rápidos.

4.4.4. HUMEDAD

Se define humedad como la medida del contenido de agua en la atmósfera, según explica Molero y Perozo (2009). La atmósfera contiene siempre algo de agua en forma de vapor. La cantidad máxima depende de la temperatura; crece al aumentar ésta: a 4,4 grados Celsius, 1.000 kilógramos de aire húmedo contienen un máximo de 5 kilógramos de vapor; a 37,8 grados

Celsius 1.000 kilógramos de aire contienen 18 kilógramos de vapor. De esa forma, el peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire se conoce como humedad absoluta, la cual se expresa en unidades de masa de agua por unidades de masa o de volumen de aire seco.

Frecuentemente, se utiliza la medida de gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire. La humedad relativa, dada en los informes meteorológicos, es la razón entre el contenido efectivo de vapor en la atmósfera, así como de la cantidad de vapor que saturaría el aire a la misma temperatura. En ese sentido, si la temperatura atmosférica aumenta, así como no se producen cambios en el contenido de vapor, la humedad absoluta no varía mientras que la relativa disminuye. Una caída de la temperatura incrementa la humedad relativa produciendo roció por condensación del vapor de agua sobre las superficies sólidas. La temperatura a la cual se empieza a formar el rocío en el aire que contiene una cantidad conocida de vapor de agua se llama punto de roció.

4.4.5. ILUMINACIÓN

La iluminación afecta directamente en un buen desarrollo del animal. La iluminación estimula al ave y regula las ganas de comer y beber, lo cual es de primordial importancia para su cría y engorde, según explica Millán (2006). La visión es una sensación subjetiva que se inicia cuando la luz incide en el ojo. En la fertilización es un aspecto fundamental, en las gallinas el peso de ambos ojos es casi el mismo que el del cerebro.

Así, la situación lateral de los ojos en la fertilización les permite un campo de visión de 300 grados, y su visión del color es particularmente buena (poseen más conos que bastones). Este alto grado de grado de agudeza y de sensibilidad visual cobra especial relevancia en la fertilización, ya que ello les permite identificar y reconocer la comida, el agua, los animales ente sí, entre otros. Por todo ello hay cuatro factores a tener en cuenta en la influencia de la luz en las fertilizaciones: Influencia de la intensidad lumínica (lux).

En este sentido, la influencia de la longitud de onda, aunque pueden acostumbrarse a diferentes tipos, suele utilizarse la luz blanca, aunque tiene preferencias por las ondas que determinan un color más azulado o verdoso. Fuente de luz. La fertilización es capaz de distinguir entre luz tanto incandescente, como fluorescente, prefiriendo, asimismo como demostrando una mayor actividad, a su vez bienestar con la luz fluorescente, lo que reafirma en utilizar una luz fluorescente.

De esa manera, se tiene que la luminosidad en la fertilización son valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura tanto diurna como nocturna y la luminosidad para poder lograr una adecuada fertilización del ají y así poder alcanzar una productividad de calidad en cualquier proceso agro productivo de este rubro.

4.4.6. VENTILACIÓN

Según explica Millán (2006), la ventilación es la remoción sistemática de aire y gases calientes de una estructura, seguida por la sustitución de un abastecimiento de aire más fresco, que facilita otras prioridades en el combate contra incendios. Se incrementa la visibilidad por una localización más rápida del foco del incendio. Se disminuye el peligro a los inquilinos atrapados al canalizar hacia fuera los gases calientes y tóxicos y reduce la posibilidad de una explosión de humo. De esa manera, se distinguen los siguientes métodos de ventilación:

Ventilación Natural: A través de una abertura para la transición de aire entre las atmósferas interiores y exteriores. Ventilación Hidráulica: usando la aplicación de agua en forma de neblina y la expansión del agua cuando se convierte en vapor para desplazar las atmósferas contaminadas Ventilación forzada: inyectando o extrayendo aire por medios mecánicos. Existen diversos tipos de ventilación, entre estas la ventilación vertical que es la que se realiza en el punto más alto del edificio o la construcción. Ventilación Horizontal: La que se realiza en el nivel del fuego o a lo largo de una estructura con humo y contaminantes.

De allí, que la ventilación en la fertilización es un tema crucial de esencial influencia en los resultados del cultivo. Por ende, el aumento tanto de la temperatura, como de la humedad causa daños a los cultivos y perjudica su calidad, siendo en muchos casos dificulta la tarea de los trabajadores, lo cual, indirectamente provoca el descenso de la producción y de la rentabilidad de la fertilización. Por su lado, se tiene que las aberturas laterales y cenitales de la fertilización ayudan a la ventilación natural, ya que en realidad el aire caliente sale hacia afuera de la estructura a través de dichas aberturas. Así, la baja presión de aire dentro de la fertilización, así como el viento exterior, provoca que el aire frío penetre dentro de la fertilización.

4.4.7. PH

Según lo reafirma Millán (2006), el pH es una de las propiedades físico-químicas más importantes de los suelos; de él depende en gran parte la disponibilidad de nutrientes para las plantas ya sea porque determina su solubilidad, ya que controla tanto la clase como el tipo de actividad microbiológica, por lo tanto, la mineralización de la materia orgánica.

También PH, tiene efecto directo sobre la concentración de iones, sustancias tóxicas de suelos y raíces, enfermedades de las plantas y otras propiedades importantes. Al hablar del pH (potencial de Hidrógeno) no estamos refiriendo a una medida que va de 1 a 14 y que nos es otra cosa que la concentración de iones de hidrógeno que posee, en este caso, el suelo. Siendo 7 el valor para un ph neutro, por debajo de 7 ácido y por encima de 7 alcalino. El valor ideal para la mayoría de las plantas está entre 6 y 7, es decir, neutro o ligeramente ácido.

4.4.8. REQUERIMIENTO PARA UN SISTEMA MICROCONTROLADO DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN

En Bolivia, el cultivo del ají es una actividad agrícola tan promisoria como lo es el sector hortofrutícola, esto debido a que el ají presenta inmejorables condiciones para ser tenido en cuenta tanto por agricultores como exportadores nacionales. De allí que, dentro de los análisis realizados en el Plan Hortícola Nacional, ejecutado por el Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT, 2015); los frutos del género Capsicum; género al que pertenece el ají, se destacan por ser los más atractivos debido a que su tasan de crecimiento y su valor es superior al promedio de los demás.

En este sentido, siguiendo las estadísticas de (MDRyT, 2015) para abastecer la demanda de los requerimientos de exportación y consumo interno debe producir de acuerdo al análisis de mercado realizado por el ente antes citado sobre la demanda se requiere cultivar un promedio que representan más de 652 millones de dólares en exportación al año equivalente a más de 434 millones de kilos de ají.

4.4.9. ÁREA DE CULTIVO

Específicamente, en el municipio de Monteagudo se busca registrar la mayor área de la producción nacional de ají con 450 hectáreas cosechadas, que sumadas a los demás departamentos de Chuquisaca se busca reportar un total de producción nacional aproximadamente de 803 hectáreas cosechadas y una producción de 7.735 toneladas.

Para efecto de la investigación, se realizó el sistema microcontrolado de riego para la fertilización y producción de ají se realizó en la comunidad de Pedernal del Municipio de Monteagudo del Departamento de Chuquisaca, la cual presenta una variedad de climas que va desde el cálido que corresponde a la zona baja y ladera con temperatura que varía entre los 26°C y 34°C con una pluviosidad de 800 a 1,000 mm al año, hasta templado, el cual se da en la zona rural que corresponde a la serranía entre 1,500 y 2,200 mts sobre el nivel del mar, Sobre la extensión, se estimó una extensión para la fertilización y cultivo de ají, constituida por parcelas de 1 a 2 hectáreas por familia que se dedican a la producción de Ají.

4.5. DEFINICIONES FINALES DEL MARCO TEÓRICO

4.5.1. DEFINICIÓN CONCEPTUAL

Un sistema de control de riego, es un sistema o dispositivo que controla las operaciones del riego por goteo, esto es, la apertura y cierre de las válvulas solenoides que determinan el flujo de agua hacia en una determinada zona del cultivar. Las válvulas son comandadas eléctricamente o hidráulicamente. Este sistema de control puede configurarse mayormente de dos formas: (i) a malla abierta o (ii) a malla cerrada o realimentado, Kuo, (1995).

4.5.2. DEFINICIÓN OPERACIONAL

Las variables sistema micro controlado de riego por goteo, se medirá identificando las dimensiones: procesos de riego para el cultivo de ají; proceso de fertilización para el cultivo de ají; Parámetros y requerimientos de un sistema microconntrolado y Requerimientos para un sistema microcontrolado de riego y fertilización; para las cuales se establecieron los siguientes indicadores: Control automático del proceso de riego, Elementos constitutivos del sistema y Elementos materiales del sistema para la primera dimensión.

Asimismo, se plantearon los indicadores: Fertilización en pre siembra; Fertilización en post transplante y Fertilización en crecimiento activo para la segunda dimensión. En cuanto a la tercera dimensión se diseñaron los siguientes indicadores: Ciclo de riego: Ciclo de fertilización; Temperatura: Humedad; Iluminación; Ventilación y PH. Por último, para la cuarta dimensión se establecieron los indicadores: Área de cultivo.

Tabla 1.

Operacionalización de las variables

<table>
<tr><td>OBJETIVO GENERAL</td><td colspan="3">Proponer un sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.</td></tr>
<tr><td>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</td><td>VARIABLE</td><td>DIMENSIONES</td><td>INDICADORES</td></tr>
<tr><td>Caracterizar el proceso de riego y fertilización para cultivo de ají de la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.</td><td rowspan="4">Sistema micro controlado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.</td><td>Proceso de riego para el cultivo de ají</td><td>Control automático del proceso de riego. Elementos constitutivos del sistema Elementos materiales del sistema</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Determinar los parámetros y requerimientos de un sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají, de la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.</td><td>Proceso de fertilización para el cultivo de ají</td><td>Fertilización en pre siembra Fertilización en post transplante Fertilización en crecimiento activo</td></tr>
<tr><td>Parámetros y requerimientos de un sistema microconntrolado</td><td>Ciclo de riego Ciclo de fertilización Temperatura Humedad Iluminación Ventilación PH</td></tr>
<tr><td>Requerimientos para un sistema microcontrolado de riego y fertilización.</td><td>Área de cultivo. Estándares.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Diseñar un sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají, de la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.</td><td colspan="2" rowspan="2">No operacionable</td></tr>
<tr><td colspan="2">Validar el diseño del sistema microcontrol de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají.</td></tr>
</table>

Fuente: Elaboración propia, (2025).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES GENERALES

La presente investigación formulo un objetivo general el cual fue Proponer un sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo. Con la finalidad de solventar una problemática, así como de dar repuesta al objetivo general se desarrollaron varias actividades metodológicas, de igual manera se obtuvieron resultados en cada actividad que serán presentadas a continuación.

- Se detectó que el actual sistema de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo trabaja de manera manual, a pesar de poseer un sistema de riego este carece de un sistema de control por tal razón hay perdidas en la cosecha adicionalmente se necesita de mucho personal capaz de mantener operativo el sistema de riego.
- Es tanto necesario respetar los parámetros de diseño para el correcto funcionamiento del sistema de control, al trabajar con caudal se debe mantener a todo el sistema con los parámetros requeridos, esto influirá directamente en el tiempo del riego, también sobre la evaluación de las condiciones del terreno, optimizará las aplicaciones del fertilizante y hará más eficiente a todo el proceso.
- Por parte del diseño del sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo Se tiene que el plano de instrumentación es una propuesta que optimiza la actual configuración, por parte del diagrama general del proceso se plantea una posible solución óptima de cómo controlar el proceso también se apreció que el diagrama de flujo aplicado en el circuito electrónico está enfocado a controlar todo el proceso con solo un usuario que esté capacitado para manejar el sistema.
- Finalmente, la simulación del sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo, mostro claramente como un Microcontrolador es capaz de automatizar un proceso de tal manera que se obtengan los mejores beneficios en pro de solventar la problemática.

5.2. RECOMENDACIONES

El diseño de un sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo se desarrolló de manera éxitos al cumplir con todos los parámetros requeridos y simular cada etapa con la menor influencia posible de personal.

- Es necesario instruir al personal obrero para que obtengan un conocimiento sobre las nuevas tendencias sobre sistema de riego, pero sobre todo capacitarlos con conocimientos técnico en electrónica para que puedan tanto manipular el sistema de control como solventar fallas menores en el sistema de control, la capacitación deberá ser muy orientada a los Microcontroladores y electrónica en general.
- Considerar si es factible diseñar un control más robusto de tipo predictivo para que sea más eficiente el sistema de fertilizado, este tipo de controles tiene costos elevados y ameritan a un personal capacitado en las instalaciones para su buen funcionamiento, sin embargo, el beneficio se obtiene a los pocos años por que menos recursos del personal humano en las instalaciones, el aumento de la productividad.
- En aras de obtener el mayor aprovechamiento de las instalaciones se sugiere una evaluación sobre la distribución de la red de tubería actuales ya que con una pequeña modificación se podría optimizar el sistema de riego brindando de esta manera junto con la automatización del proceso una mayor eficiencia en toda la producción.
- Se recomienda la implementación de un sistema remoto para que el operador pueda establecer contacto con todo el sistema en varias zonas de la finca y no esté limitado a estar en una sola área de esta manera podrá está haciendo múltiples.
- Con la finalidad de generar una solución a la problemática se deberá implementar un sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.

CAPÍTULO VI

6. APORTE CIENTIFICO Y SOCIAL DE LA INVESTIGACION

Esta investigación constituye un aporte relevante tanto en el ámbito científico como en el social y técnico al proponer un sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en la comunidad de Pedernal del municipio de Monteagudo.

APORTE CIENTÍFICO

Desde el punto de vista científico, el estudio genera conocimiento aplicable sobre cómo los sistemas microcontrolado de riego y fertilización por goteo para mejorar el rendimiento productivo de diferentes cultivos, en diferentes zonas del área rural.

En lo teórico, contribuye a generar conocimiento producto de la revisión bibliografía y análisis de los enfoques de diferentes autores, de la misma manera fundamenta un modelo de sistema microcontrolado basado en la aplicabilidad de la teoría de automatización y técnicas de instrumentación sentado bases de conocimiento a futuras investigaciones que tengan como norte el diseño de trabajos relacionados con el área de sistemas microcontrolados de riego por goteo de un cultivos, al dejar como evidencia un modelo validado para el riego y fertilización por goteo.

APORTE SOCIAL

Desde el punto de vista social, la investigación representa un paso concreto hacia la modernización del acceso a tecnologías emergentes en zonas rurales de Bolivia, donde históricamente se han enfrentado barreras estructurales para acceder a un sistema de riego de calidad. Al incorporar el sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo, mejorar su rendimiento y ampliar sus horizontes productivos sin abandonar sus comunidades. Este enfoque genera un impacto positivo directo en la formación técnica con pertinencia local, reduciendo la brecha digital y contribuyendo a la justicia social y al desarrollo sostenible.

Por último, desde el punto de vista socioeconómico se pretendió que el proceso del cultivo del ají no presente pérdidas de agua, de allí que sus resultados pueden ser replicados o utilizadas en otras fincas, de producción similar o de cualquier otro producto, donde los pequeños productores podrán conocer este tipo de sistemas en procesos necesarios para la cosecha, permitiendo el aprovechamiento de este recurso natural con mínimos desperdicios beneficiando a la sociedad en general.

APORTE TÉCNICO

Desde el punto de vista técnico se considera la propuesta de la presente investigación el correspondiente sistema microcontrolado de riego por goteo para la fertilización y cultivo de plantas de ají, se permitiría tanto mejorar, como procurar optimizar el proceso del sistema de riego, a su vez, el suministro adecuado de fertilizante, y la humedad, lo que se traduce en una disminución de costos en el proceso de cosechar dicho cultivo de ají; esto se justifica dado que en la actualidad es poca la existencia de sistemas automatizados en tal área; siendo éstos generalmente controlados de forma manual.

Desde un punto de vista práctico, dado que los resultados de la investigación permitirán mejorar el funcionamiento de la producción de diferentes cultivos de gran importancia económica para las zonas productoras de todo el país de Bolivia, incidiendo en la reducción de perdida en recursos hídricos y material de fertilización, sirviendo a demás con mayor importancia los resultados de este estudio, en su aplicación como base para la implementación de sistemas de automatización de los cultivadores de la región y el resto del contexto nacional en materia de cultivo no solo de ají, sino de otros rubros de la agroindustria.

En este sentido, se considera pertinente realizar una investigación que busque proponer un sistema micro controlado de riego por goteo para producción de plántulas de cultivo de ají y otros cultivos puesto que un sistema de riego por goteo presenta las características necesarias y al ser desarrollado con microcontrol además posee un bajo costo de implementación y sin embargo se desaprovecha este tipo de sistemas.

7. BIBLIOGRÁFICAS

- Ruiz A y Molina M (2010). Automatización y telecontrol de sistemas de riego. Marcombo, España.
- Bart W. (1997). Operación y mantenimiento de los sistemas de riego.
- Instituto internacional de recuperación y mejora técnicas de tierras.
- Gurovich L. (1985). Fundamentos y diseño de sistemas de riego, Instituto de cooperación para la agricultura, San Jose de Costa rica.
- Valdés F y Pallas R, (2007). Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC. Marcombo, España.
- Mandado E: Menendez L: Fernandez L y Matos E. (2007). Microcontroladores PIC. Sistema integrado para el aprendizaje. Marcombo, España.
- Arias Fidas. (2006) El Proyecto de Investigación. Guía para su Elaboración. Editorial Epiferre. Venezuela.
- Chávez C. (2007) Manual de Técnicas de Investigación Documental. Chávez Nilda. (1994) Introducción a la investigación educativa. Caracas-Venezuela.
- Hernández R. Fernández C. Baptista P. (2006) Metodología de la Investigación. México McGraw-Hill
- Hurtado J. (2006) Metodología de la investigación, una comprensión Holística. Caracas-Venezuela.
- Mateos J. (1996) Instrumentación 1, Universidad de Guadalajara departamento de Electrónica.
- Mendoza Cesar (2013) Automatización de un Sistema de control de flujo para la transferencia de producto vinícola hacia envasado. URBE
- Rusque A. (2003) De la diversidad a la unidad en la investigación cualitativa. Valencia, Venezuela. Editorial Vadell Hermanos.
- Sanhueza D. (2009) El Blog de la automatización.
- Tamayo y Tamayo (1994) Diccionario de la investigación científica. Editorial Limusa. México.
- Tamayo y Tamayo (2006) Metodología formal de la investigación científica. Editorial Limusa. México.
- Valencia (2008) control Automático para un bombeo de agua fría. Universidad

Autónoma de Occidente Colombia.

- Hernández R. Fernández C. Baptista P. (2006) Metodología de la Investigación. México McGraw-Hill.
- Hurtado J. (2006). Metodología de la investigación, una Comprensión Holística. Caracas - Venezuela.
- Enertos A. Rodríguez. (2005), Metodología de la Investigación Científica. Universidad autónoma de tabascos.

TESIS DE GRADO

- Ramos (2015). Evaluación de la adopción de tecnologías de riego aplicado en las unidades de producción del asentamiento el Cortijo en la Parroquia Valles de Tucutunemo Municipio Zamora; del Estado Aragua Venezuela.
- García (2015). Riego de precisión en el cultivo de fresa en el entorno de Doñana. Universidad de Córdoba, España.
- Valencia (2015). Efecto de cinco niveles de nitrógeno en el cultivo de maíz (Zea Mayz L.) Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Agrarias. Ecuador.
- Medina (2014). Medición de los factores incrementales que genera el riego tecnificado en los actores de la economía popular y solidaria de las comunidades El Beldaco, San Jacinto, Lodana - adentro y camino nuevo, pertenecientes a la Provincia de Manabí. Universidad Central del Ecuador Facultad de Ciencias Agrícolas Instituto Superior de Investigación y Posgrado. Quito Ecuador.
- Vázquez, (2012). Sistema de riego aeropónico automatizado. Universidad Nacional Autónoma de México.

FUENTES ELECTRÓNICAS

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura http://www.fao.org/about/es/
- Libros Digitales de Google. https://books.google.co.ve/bkshp?hl=en&tab=pp&ei=y5iLV_vNEszz-AHpyobYAg&ved=0EKkuCA4oCw
- Google Académico. https://scholar.google.com/?hl=es-419