

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El marco 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.

1. Antecedentes de la investigación

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. 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, ni tomando en cuenta a los 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 riego 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 mayor conocimientos sobre riego y buscaban mayor eficiencia en su aplicación.

Igualmente, es importante destacar, que los factores que condicionan la adopción de tecnología de riego en las unidades de producción del asentamiento El Cortijo, son: Nivel de conocimientos sobre riego, siendo el riego por goteo más frecuente entre los productores con mayor conocimiento sobre sistemas de riego; Eficiencia del sistema de riego, si bien los productores no consideran mala la eficiencia de ninguno

de los sistemas aplicados, quienes aplican riego por goteo afirmaron tener una alta eficiencia; tiempo de conocimiento del sistema de riego, presentando preferencia por el sistema de riego 88 por aspersión aquellos productores con más de 10 años en la Unidad de producción.

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 Finca Saradila en el Municipio Molino del Departamento La Guajira de Colombia”, 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.

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 (HHA azul) 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 la 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 las emisoras típicamente empleados en el cultivo de ají, las cintas de riego no autocompensantes de una campaña de duración no son los emisores más adecuados para llevar a cabo un riego por pulsos de corta duración.

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.

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 inrriación 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 superar la 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 N° 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.

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 (aeroponía). 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 (aeroponía), 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 Modulo 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.

2. Bases teóricas

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.

2.1. Sistema microcontrolado 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.

2.1.1. 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 los 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.

2.1.1.1. 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.

2.1.1.2. 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 partiendo de las condiciones

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 señales, 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.

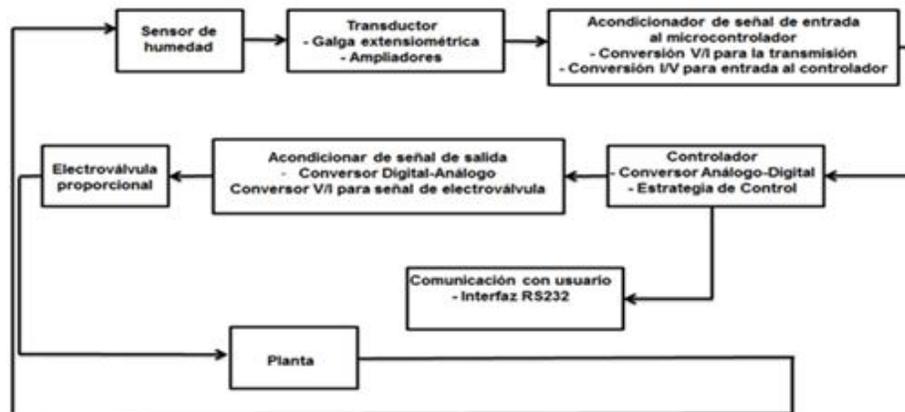


Figura 1. Sensores actuales de un sistema de riego por goteo
Fuente: Elaboracion propia (2016)

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.

2.1.1.3. 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.

Para el presente trabajo de tesis, se eligió como sensor de humedad el tensiómetro que se describirá posteriormente, por la geometría del instrumento la cual permite adaptar el transductor de presión a voltaje construido y mencionado más adelante, para realizar pruebas de laboratorio.

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.

2.1.2. 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 nutrimentos 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-siembra como en el crecimiento activo.

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 ají 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 translúcida 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. La radiación visible puede traspasar el vidrio mientras que una parte de la infrarroja no lo puede hacer.

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 incorporación alcanzan hasta 10 veces más para ser localizada en el suelo muy cerca de las raíces del ají y se logre su producción.

2.1.2.1. 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, luego se 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 trasplante encuentra ya un medio adecuado en cuanto a su nutrición.

2.1.2.2. Fertilización post-trasplante

En cuanto a la fertilización post-trasplante de ají; es cuando se realiza la primera fertilización y plaguicida, después de trasplante 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 trasplantó 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 (chuzado) 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.

2.1.2.3. 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.

2.1.3. 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.

2.1.3.1. Ciclo de riego

Para atender efectivamente el ciclo de riego del cultivo de ají, se debe comenzar por el análisis del 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 riegos más frecuentes y ligeros. En los suelos pesados a francos, los riegos deben de ser más espaciados, con la finalidad de mantener la humedad que exige la planta.

2.1.3.2. 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 todo el área a cultivar reciban 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 fertirrigación, 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.

2.1.3.3. 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.

En ese sentido, la temperatura es una medida de la energía cinética de los átomos o moléculas que constituyen un objeto material cualquiera. Su medida se realiza a través de los cambios que experimentan algunas magnitudes físicas, cuando los cuerpos son sometidos a intercambios de energía térmica. Ejemplos de estas magnitudes son: el volumen, la presión, resistencia eléctrica, y muchas otras que han dado lugar a diferentes formas de medir la temperatura. En términos muy generales y aproximados, se puede decir que la temperatura es una magnitud proporcional a la energía cinética promedio que tienen las partículas, átomos o moléculas, que constituyen un cuerpo. Si todas las partículas de un cuerpo tuviesen la misma energía de movimiento la temperatura sería proporcional a esa energía.

2.1.3.4. 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 kilogramos de aire húmedo contienen un máximo de 5 kilogramos de vapor; a 37,8 grados Celsius 1.000 kilogramos de aire contienen 18 kilogramos 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 rocío 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 rocío.

2.1.3.5. 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 los 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 los fertilizaciones: Influencia de la intensidad lumínica (lux).

Al disponer de más conos que bastones en la retina, poseen una mejor visión diurna que nocturna. Según los estudios realizados sobre la influencia de la intensidad lumínica en los pollos, no hay un valor de intensidad lumínico ideal, pero estaría entre 55 y 88 lux, por debajo de esos valores los pollos se muestran más temerosos y tímidos. Por otra

parte el foto período puede variar enormemente, desde un punto de vista de bienestar, menos de 8 horas de luz al día va en detrimento del bienestar. Algunas granjas ofrecen 23 horas de luz, por tanto, se deja en manos del dueño de la explotación el número de horas que crea conveniente, por lo que este es el que conoce mucho mejor el proceso.

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. Los fertilizadores son capaces 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 los fertilizadores 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.

2.1.3.6. 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 los 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.

2.1.3.7. 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.

2.1.4. Requerimiento para un sistema microcontrolado de riego y fertilización

En Colombia, el cultivo del ají es una actividad agrícola tan promisoriosa 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 la Corporación Colombia Internacional (CCI, 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 la CCI (2015), Colombia 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.

Sobre dicha producción reseña la CCI (2015), que Colombia presenta condiciones muy favorables para la logística exportadora, dirigida al mercado más importante de ají del mundo como lo es Estados Unidos. De allí, que para atender los anteriores requerimiento de producción; el Gobierno nacional de Colombia, a través de la CCI, (2015); implementó el Plan Hortícola Nacional (PHN); elaborado ante la necesidad que surge de buscar un posicionamiento para la oferta de exportación del ají del país en subsectores promisorios en los que Colombia no ha logrado una participación importante.

El potencial del país que, entre otros, se manifiesta por sus condiciones agras climáticas y geográficas, puede lograr un desarrollo en áreas y volúmenes de producción, mayor capacidad de consumo local y obviamente mayor capacidad exportadora. En este sentido, la iniciativa de adelantar el PHN tiene un marco en el Plan Nacional de Desarrollo 2006 – 2010, así como en la Visión 2019 formulada por el Gobierno Nacional, cuyas metas son claras sobre la proyección del país para el año 2019 en paralelo con la Apuesta Exportadora del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. En este contexto se tiene en el crecimiento de la producción del cultivo de ají debido a las exigencias del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos.

2.1.4.1. Normativas

Para el desarrollo de la propuesta de un sistema micro controlado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají; se consideró como requerimiento en cuanto a la Normativa Vigente Colombia; el contenido del Plan Hortícola Nacional donde se demuestra que el mercado mundial de ají ha venido creciendo a una tasa promedio anual de 5%, representado en exportaciones mundiales por más de 2 millones de toneladas para 2015.

En este sentido, se buscó darle la institucionalidad actual del sector hortícola en Colombia; especialmente a la producción de ají evidenciando que hay varias normativas, las cuales en su mayoría buscan elevar el nivel de desarrollo; donde es clara la participación del gobierno que busca darle apoyo a los pequeños productores contando con 22 comités departamentales; en materia de investigación y desarrollo tecnológico para darle fortalecimiento real a la investigación, adaptación de tecnologías de punta, producción con estándares de calidad exigida por el mercado, aumento de la productividad y aumento de la oferta sobre la base de los productos priorizados en el presente PHN; donde uno de ellos es el ají.

En cuanto a una normativa legal; sobre la producción del ají en Colombia, no existe una normalización de los productos hortícolas, en lo relacionado con el peso, la medida y los empaques. Existen muchas normas de calidad como mercados y todo esto conlleva a desorden y falta de claridad en la normalización. Pero, se debe indicar que el Ministerio de Agricultura, ha trabajado el tema de las pesas y medidas y en lo transcurrido desde el año 2005 hasta la actualidad, se han conseguido algunos avances, pero todavía falta mucho por hacer.

En cuanto a los requerimientos del mercado internacional en lo relacionado con el cuidado del medio ambiente y la bioseguridad, el MACH, (2013); señala que se está empezando a sensibilizar el sector. Como consecuencia, se está empezando a desarrollar producción con protocolos de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y se está trabajando en procesos agroindustriales con Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), que debe ser comprobada por organismos acreditados, que certifican las condiciones de producción a los compradores nacionales e internacionales.

2.1.4.2. Estándares

Con relación a los estándares de producción en Colombia se establece en la Ley 811 de junio del 2003, los estándares que deben asumir los productores y las organizaciones de cadena en el sector. En lo que refiere a la producción del ají específicamente, en dicha Ley, establecen los requisitos para inscripción de los productores y las organizaciones antes el Ministerio de Agricultura, que se refieren fundamentalmente a los acuerdos firmados entre los miembros de la organización, básicamente debe cumplirse los siguientes estándares:

Mejora de la productividad y la competitividad; desarrollo del mercado de bienes y factores de la cadena; disminución de los costos de transacción entre los distintos agentes de la cadena; desarrollo de alianzas estratégicas de diferente tipo: mejora de la Información entre los agentes de la cadena; vinculación de los pequeños productores y empresarios a la cadena; manejo de recursos naturales y del medio ambiente; formación de recursos humanos e investigación y desarrollo tecnológico.

Teniendo en cuenta estos parámetros los miembros de la cadena deben establecer una línea base a partir de la cual se visiona a donde se quiere llegar en el 2019. A partir de esto, se busca consolidar la producción de ají en Colombia como un negocio rentable y sostenible, donde la cadena comercialice sus productos en un mercado transparente, bajo estrictas normas de calidad, pactando desde antes de la siembra volúmenes y precios de venta. También, se llegó a considerar que la comercialización nacional y de exportación se debe diversificar y estar en constante crecimiento con la calidad e inocuidad de sus productos.

2.1.4.3. Área de cultivo

Según destaca el Plan Nacional de Desarrollo 2006 – 2010, con visión de proyección para el 2019 formulada por el Gobierno Nacional, la producción nacional de acuerdo a los proyectos productivos de ají estiman llegar a alcanzar 3.127.210 toneladas; para ello se busca la habilitación de 1400 hectáreas destinadas a la producción principalmente en la Guajira con una meta de producción de 6.400 toneladas.

Específicamente, en el municipio el Molino de la Goajira se busca registrar la mayor área de la producción nacional de ají con 450 hectáreas cosechadas, que sumadas a los demás departamentos de la Goajira 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 finca de producción de cultivo de ají conocida como Finca Saradila en el Municipio Molino del Departamento La Guajira de Colombia, 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, con una temperatura de 16°C a 18°C y una pluviosidad entre 800 y 1,000 mm al año. Sobre la extensión, se estimó una extensión para la fertilización y cultivo de ají, constituida por una parcela de cuatro laterales de 4 metros; lo cual representó una porción de 16 m².

3. Sistema de Variables

3.1. Definición Nominal

Sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en el Departamento de la Guajira

3.2. 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).

3.3. 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 microcontrolado 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: Normativas; Estándares y Área de cultivo.

Cuadro 1
Operacionalización de las variables

OBJETIVO GENERAL	Proponer un sistema micro controlado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají en la Finca Saradila en el Municipio Molino del Departamento La Guajira de Colombia.		
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Caracterizar el proceso de riego y fertilización para cultivo de ají del Departamento La Guajira de Colombia	Sistema micro controlado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de en el Municipio Molino del Departamento La Guajira de Colombia	Proceso de riego para el cultivo de ají	Control automático del proceso de riego. Elementos constitutivos del sistema Elementos materiales del sistema
		Proceso de fertilización para el cultivo de ají	Fertilización en pre siembra Fertilización en post transplante Fertilización en crecimiento activo
Determinar los parámetros y requerimientos de un sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají		Parámetros y requerimientos de un sistema microcontrolado	Ciclo de riego Ciclo de fertilización Temperatura Humedad Iluminación Ventilación PH
		Requerimientos para un sistema microcontrolado de riego y fertilización	Normativas Estándares Área de cultivo
Diseñar un sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají.		No operacionalizable.	
Validar el diseño del sistema microcontrolado de riego y fertilización por goteo para el cultivo de ají			

Fuente: Elaboración propia (2015)