



EVALUACIÓN DE CINCO TÉCNICAS DE RIEGO PRESURIZADO PARA EL MANEJO
Y APROVECHAMIENTO EFICIENTE DEL AGUA EN EL MUNICIPIO DE
SUBACHOQUE, CUNDINAMARCA

ANGIE LORENA CARVAJAL LÓPEZ

SANDRA VIVIANA IBÁÑEZ AHUMADA

Estudiantes de Ingeniería Agroecológica

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA- PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROECOLÓGICA

NOVIEMBRE DEL 2015

BOGOTÁ D.C.

EVALUACIÓN DE CINCO TÉCNICAS DE RIEGO PRESURIZADO PARA EL MANEJO
Y APROVECHAMIENTO EFICIENTE DEL AGUA EN EL MUNICIPIO DE
SUBACHOQUE, CUNDINAMARCA

ANGIE LORENA CARVAJAL LÓPEZ

SANDRA VIVIANA IBÁÑEZ AHUMADA

Estudiantes de Ingeniería Agroecológica

Proyecto de grado para optar al título de Ingenieras en Agroecología

DIRECTOR

MARIO DE JESÚS MOLANO COGUA

I. A. M. Sc. Riego y Drenaje

COORDIRECTOR

ÁLVARO ACEVEDO OSORIO

I. A. Ph. D. Agroecología

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA- PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROECOLÓGICA

BOGOTÁ D.C.

2015

Nota de aceptación

Presidente jurado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

A Dios y a la Virgen María por su infinito amor y misericordia, lo cual nos dio la fuerza necesaria para superar los diferentes inconvenientes y nos permitió seguir adelante para alcanzar los objetivos de la investigación.

A nuestros padres, hermanas y amigos por el apoyo y comprensión a lo largo del proyecto, lo cual nos sirvió de motivación para poder concluir esta meta.

Por último, a los agricultores de la ARAC, en especial a Don Pedro González, Doña Inés González y Don Manuel Pinzón quienes compartieron su experiencia y conocimiento.

Agradecimientos

Agradecemos infinitamente a Dios por la oportunidad de trabajar en este proyecto, por la fuerza y voluntad para superar los inconvenientes.

A la familia Carvajal-López, Ibáñez-Ahumada y a nuestros amigos por el apoyo constante en el desarrollo del proyecto.

A la Corporación Universitaria Minuto de Dios por el financiamiento del proyecto.

Agradecemos a todos los agricultores que pertenecen a la Asociación Red Agroecológica de Subachoque (ARAC) por permitirnos trabajar con ellos, pero en especial a los agricultores Pedro González, Manuel Pinzón e Inés González por su inmensa colaboración, disponibilidad de trabajo, iniciativa por investigar y conocimiento generado a lo largo de la investigación.

Agradecemos a nuestro director de tesis Mario de Jesús Molano Cogua y coodirector Álvaro Acevedo Osorio, por el apoyo en el proceso de instalación y evaluación de las técnicas de riego, por la paciencia y disponibilidad de trabajo con nosotras y los agricultores.

Al director del programa de Ingeniería Agroecológica Carlos Gaitán; los profesores Arlex Angarita, Ángela Salamanca y Emilce Hernández por su disponibilidad y colaboración.

Al semillero de investigación de SIECSA- Estudios campesinos y Soberanía Alimentaria, por acogernos y apoyarnos durante el desarrollo del trabajo.

Tabla de contenido

Índice de Tablas.....	8
Índice de Figuras.....	9
Índice de Anexos.....	10
Resumen.....	11
Glosario.....	12
1. Introducción.....	13
2. Descripción del problema.....	15
3. Justificación.....	18
4. Objetivos.....	20
4.1 Objetivo general.....	20
4.2 Objetivos específicos.....	20
5. Estado del Arte de la investigación.....	21
6. Marco Teórico.....	24
6.1 Variabilidad climática y efectos en la agricultura.....	24
6.2 Adaptación a la variabilidad climática.....	27
6.3 Tecnología Sustentable.....	30
6.4 Caracterización de técnicas de riego.....	32
6.4.1 Riego superficial por gravedad.....	32
6.4.2 Riego presurizado.....	33
6.4.3 Riego localizado.....	35
7. Materiales y métodos.....	39
7.1 Descripción del área de estudio.....	39
7.2 Grupo de estudio (ARAC).....	39
7.3 Fases de desarrollo del proyecto.....	41
7.3.2.1 Procedimiento para evaluar los parámetros técnicos.....	43
7.3.2.2 Procedimiento para caracterizar los parámetros hidrodinámico.....	45
7.3.2.3 Procedimiento para el análisis de percepción de la ARAC.....	46
8. Resultados y análisis de resultados.....	48
8.1 Fase 1: Caracterización, esquema de instalación y montaje de los sistemas de riego.....	48

8.1.1	Caracterización de las fincas..	48
8.1.2	Esquema de instalación y montaje de los sistemas de riego.....	52
8.2	Fase 2: Evaluación técnicas de riego	61
8.2.1	Objetivo 1. Evaluación de parámetros técnicos.....	61
8.2.2	Objetivo 2. Caracterización de los parámetros hidrodinámicos del suelo.....	76
8.2.3	Objetivo 3. Análisis participativo.....	87
9.	Conclusiones	97
10.	Recomendaciones	100
11.	Bibliografía.....	100
12.	Anexos.....	109

Índice de Tablas.

Tabla 1. Tipos de sistemas por aspersión según la ubicación y el movimiento.....	33
Tabla 2. Ventajas y desventajas del riego por aspersión.....	34
Tabla 3. Ventajas y desventajas de la técnica de riego por microtubo.....	35
Tabla 4. Ventajas y desventajas de la técnica de riego por goteo.....	36
Tabla 5. Ventajas y desventajas de la técnica de riego por cinta de goteo.....	37
Tabla 6. Ventajas y desventajas de la técnica de riego por microaspersión.....	38
Tabla 7. Información geográfica fincas seleccionadas.....	40
Tabla 8. Técnicas de riego instaladas en las parcelas de Subachoque.....	42
Tabla 9. Especificaciones técnicas de los emisores implementados según los fabricantes...	61
Tabla 10. Valores recomendados para caracterizar el Cu.....	62
Tabla 11. Pérdidas por fricción en la línea principal de las fincas evaluadas.....	63
Tabla 12. Parámetros técnicos de la evaluación en campo de microtubo.....	63
Tabla 13. Parámetros técnicos de la evaluación en campo de goteo.....	64
Tabla 14. Parámetros técnicos de la evaluación en campo de la cinta por goteo.....	65
Tabla 15. Parámetros técnicos de la evaluación en campo de microaspersión.....	67
Tabla 16. Parámetros técnicos de la evaluación en campo de aspersión.....	69
Tabla 17. Especificaciones técnicas emisor Xcel-Wobbler.....	71
Tabla 18. Ajustes con emisor Xcel-Wobbler de acuerdo con las condiciones de campo para la técnica de aspersión.....	71
Tabla 19. Recomendaciones de riego para la Finca Buenavista.....	72
Tabla 20. Recomendaciones de riego para la Finca Villa Gloria.....	73
Tabla 21. Caracterización de los parámetros hidrodinámicos a partir de los resultados del Análisis de suelo.....	76
Tabla 22. Caracterización de los parámetros hidrodinámicos del suelo de las fincas objeto de estudio.....	76
Tabla 23. Tasa de aplicación (mm/h) de los emisores evaluados.....	77
Tabla 24. Prácticas realizadas por los agricultores en campo.....	83
Tabla 25. Análisis de percepción de los agricultores hacía las técnicas de riego instaladas....	89

Índice de Figuras.

Figura 1. Mapa ubicación geográfica del municipio de Subachoque.....	39
Figura 2. Mapa ubicación geográfica fincas participantes.....	40
Figura 3. Ilustración pendiente del terreno.....	41
Figura 4. Diagrama de recipientes microaspersión y aspersión.....	44
Figura 5. Diagrama de recipientes microtubo, goteo y cinta.....	44
Figura 6. Fotografía depósitos de agua Finca Buenavista.	48
Figura 7. Fotografía depósitos de agua Finca La Conejera.....	51
Figura 8. Fotografía depósitos de agua Finca Villa Gloria.....	52
Figura 9. Socialización esquema de instalación de riego.....	53
Figura 10. Fotografía prueba de instalación Taller ARAC.....	53
Figura 11. Emisores empleados en la prueba de instalación.....	54
Figura 12. Esquema de instalación Finca Buenavista.....	55
Figura 13. Esquema de instalación Finca La Conejera.....	58
Figura 14. Esquema de instalación Finca Villa Gloria.....	59

Índice de Anexos.

Anexo 1. Precipitación anual del municipio de Subachoque.....	109
Anexo 2. Temperatura anual del municipio de Subachoque.....	109
Anexo 3. Precipitación media mensual (abril, mayo y octubre).....	110
Anexo 4. Inventario de materiales disponible para la ARAC.....	110
Anexo 5. Ficha para registrar parámetros técnicos.....	110
Anexo 6. Propiedades Físicas de los suelos en función de la textura de los suelos.....	111
Anexo 7. Entrevista semiestructura para prácticas que realizan los agricultores.....	112
Anexo 8. Formato para analizar la percepción de los agricultores de la ARAC frente a las técnicas de riego.....	113
Anexo 9. Condición agroecológicas del municipio de Subachoque.....	115
Anexo 10. Primer esquema de instalación Finca Buenavista.....	117
Anexo 11. Instalación y evaluación de las técnicas de riego en las fincas participantes...	118
Anexo 12. Coeficientes de Uniformidad.....	119
Anexo 13. Memorias de cálculo.....	126

Resumen

El fenómeno ENSO tanto en su fase cálida (Niño) como en su fase fría (Niña) trae consigo variaciones climáticas que representan un reto para la agricultura de Subachoque, ya que provocan alteraciones en los patrones de lluvia. En el caso del fenómeno del Niño, la disponibilidad del recurso hídrico varía, afectando a su vez algunas actividades como el riego, es por esto, que en este trabajo se evaluaron junto a los agricultores de la Asociación Red Agroecológica (ARAC) del municipio, cinco técnicas de riego presurizado para el manejo y aprovechamiento eficiente del agua como medida de adaptación de la agricultura frente a la variabilidad climática. Lo anterior se efectuó mediante dos fases: en la primera se realizó la instalación de las técnicas de riego, a partir de la caracterización de las fincas participantes y del esquema de instalación planteado con los agricultores; posteriormente, en la segunda fase se evaluaron los aspectos técnicos del riego (presión, caudal y coeficiente de uniformidad), los parámetros hidrodinámicos del suelo (textura, índice estructural, densidad aparente, materia orgánica, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, porosidad e infiltración) y la percepción que tenían los agricultores frente a las técnicas de riego. Los resultados indican que bajo los parámetros técnicos del sistema e hidrodinámicos del suelo, las técnicas de riego por cinta, goteo y microtubo consiguen adaptarse a las condiciones locales de la ARAC; sin embargo, los emisores empleados en las técnicas por microaspersión y aspersión no lograron una aplicación uniforme del agua debido a las bajas presiones y al taponamiento por parte de las partículas suspendidas en el agua (arvenses cortadas, algas, entre otras), en consecuencia, se generaron valores en el Coeficiente de Uniformidad (CU) que no fueron excelentes y por ende, no se ajustan al contexto de los agricultores. Por último, a partir del análisis participativo se pudo identificar que los agricultores no sienten preferencia por una técnica de riego, sino que resaltan los pros y contras que presenta la integración de este tipo de tecnologías a sus predios; es por esto que es importante ajustar estas técnicas a las condiciones locales para incrementar la eficiencia en el manejo y aprovechamiento del agua, como aporte a la variabilidad climática.

Palabras claves: Variabilidad climática, Técnicas de riego, Precipitación, Adaptación, Manejo de agua, Coeficiente de uniformidad.

Glosario.

Sistema de riego. Los sistemas de riego se refieren al conjunto de equipamientos que proporcionan la aplicación de la lámina de agua siguiendo un método dado.

Método de riego. Se entiende por método de riego a las técnicas y al conjunto de aspectos que caracterizan el modo de aplicar el agua a las parcelas regadas.

Técnica de riego. Consiste en el conjunto de procedimientos y recursos de que se sirve para aplicar la lámina de agua al suelo en la cantidad necesaria y el tiempo oportuno.

Cabezal hidráulico. Es la suma de la cabeza gravitacional y la cabeza de presión del agua del suelo.

Presión. Es el empuje que ejerce el agua sobre la pared del tubo o depósito que la contiene.

Caudal. Se define como el volumen del líquido que pasa por una sección normal (tubería) en unidad de tiempo.

Uniformidad de aplicación. La uniformidad de aplicación se refiere al hecho de que el agua distribuida llegue por igual a todos los puntos de la parcela regada.

1. Introducción

En la agricultura el agua es un factor indispensable, ya que influye en el desarrollo óptimo de las plantas, para el caso del modelo agrícola del pequeño agricultor una de las formas más comunes de tener acceso a este recurso es a través de un sistema de captación y almacenamiento de agua lluvia, para esta finalidad son adaptados reservorios y tanques los cuales brindan la opción de disponer del líquido para ser utilizado en actividades de riego. Sin embargo, este tipo de acciones se ven perjudicadas por las variaciones en la precipitación originadas por el fenómeno del Niño, incidiendo así en la planeación de los sistemas productivos de los agricultores.

A partir de esto, surge la iniciativa de brindarles a los agricultores de la ARAC una tecnología que facilite las labores en sus procesos productivos, explote las sinergias entre los elementos que componen su agroecosistema (suelo, planta y humano) y fortalezca sus capacidades como investigadores; por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación fue evaluar cinco técnicas de riego que favorecieran el manejo y aprovechamiento eficiente del agua, buscando así consolidar una alternativa para que los agricultores puedan adaptarse a la variabilidad climática.

La tecnificación del riego por sí sola no garantiza el mejor aprovechamiento del recurso hídrico (Levidow *et al.*, 2014) es por esto que una vez instaladas las técnicas de riego, se evaluaron los parámetros técnicos como la presión de operación y el caudal, ambos valores permiten que el sistema proporcione uniformidad en la aplicación del agua (Cruz *et al.*, 2011).

De igual manera, a la hora de evaluar un sistema de riego, es importante tener en cuenta los parámetros hidrodinámicos del suelo, dado que, de acuerdo con estos se pueden programar los tiempos y frecuencias de riego para el uso eficiente del agua, por consiguiente, se determinaron algunas características como: la textura, densidad aparente e infiltración, pues estas influyen en la cantidad de agua que el suelo puede retener a disposición de las plantas (Leiton, 1985).

Por último, partiendo de la percepción, conocimiento y experiencia de los agricultores acerca de las técnicas de riego fue pertinente integrarlos en todos los procesos que se dieron a lo largo de esta investigación, como: la planeación del esquema de instalación, el montaje y evaluación de las técnicas de riego, esto con el fin de adaptar esta tecnología al contexto real de la ARAC.

2. Descripción del problema

En los últimos años, las fluctuaciones que se han presentado en el clima han despertado interés y preocupación a nivel mundial, ya que los efectos que traen estos cambios tienen repercusiones de todo tipo como: la degradación en los ecosistemas, la creciente contaminación de los recursos hídricos y de los suelos, problemas en la seguridad alimentaria, la elevación del nivel del mar, entre otros efectos que traen consigo retos para los diferentes sectores de producción, uno de estos el modelo agrícola actual.

Las alteraciones que se producen en el régimen de lluvias en Colombia son explicadas en buena parte por la variabilidad climática interanual, señalada por los procesos que se originan en el sistema océano-atmósfera del Pacífico tropical, asociados al Ciclo de El Niño, La Niña- Oscilación del Sur (ENOS) (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), 2014). Este es un fenómeno natural que produce cambios en el comportamiento de los elementos climáticos, los cuales conllevan a anomalías en las lluvias y temperatura, ocasionando así sequías extremas e incrementos en la precipitación.

Las afectaciones del régimen de lluvias por el ciclo conocido como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) se están presentando con mayor impacto en algunas partes de Colombia, como las regiones Andina y Caribe (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), 2012). Por otro lado, se estima que para el 2050, la temperatura promedio anual aumente en 2,5 °C, alcanzando un máximo de 2,7 °C en el departamento de Arauca y un mínimo de 2 °C en los departamentos de Chocó y Nariño (Lau, Jarvis y Ramírez, 2011). En el caso particular del departamento de Cundinamarca ubicado en la región Andina se refleja un aumento de la temperatura de hasta 0,5 °C y una disminución de las precipitaciones en un 60% (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) *et al.*, 2014).

En Cundinamarca, uno de los municipios en el que se registran considerables variaciones en el clima es Subachoque, este se encuentra ubicado en la provincia de Sabana Occidente del departamento, presenta una temperatura promedio de 12 °C y una media anual en la precipitación de 839 mm. El municipio ha presentado anomalías en estos patrones debido a efectos producidos por el Fenómeno del Niño, estos comportamientos se

evidenciaron de forma notable en los años 1980, 1992 y 1997, donde el régimen de lluvia en el municipio descendió un 30%, 39% y 36% respectivamente con relación a la media (Ver Anexo 1).

De igual manera, en estos años el fenómeno del Niño se hizo evidente en los meses de abril, mayo y octubre, en los cuales la precipitación descendió para el año 1980 en un 42-51%, para el año 1992 del 67-72% y finalmente para el año 1997 del 22-47% (Ver Anexo 3). Por otro lado, dificultando aún más la situación en el año 1997 la temperatura aumentó 2 °C y en 1980 se registró 1 °C más con respecto a la media, caracterizando así este como un periodo seco (Ver Anexo 1 y 2).

Se debe agregar que, Subachoque cuenta con asociaciones como la ARAC (Asociación Red Agroecológica de Subachoque) cuya misión es: la producción agroecológica de hortalizas, frutas y productos lácteos transformados a pequeña escala; para cumplir con este objetivo ellos dependen en gran medida de los elementos climáticos, en especial de la precipitación, ya que representa la principal fuente de agua para efectuar el riego en la plantas. Los agricultores de la ARAC utilizan reservorios y tanques para almacenar esta agua; sin embargo, al variar el régimen de lluvias, también lo hace la disponibilidad de este recurso, por lo tanto los agricultores se ven limitados para regar sus cultivos.

De acuerdo con lo anterior, el manejo y aprovechamiento eficiente del agua se vuelven indispensables para la comunidad; entre las estrategias de gestión, uso eficiente y ahorro del agua tenemos las técnicas de riego, las cuales tienen como fin aportar agua al suelo para que los vegetales tengan el suministro hídrico que necesitan en cada etapa de crecimiento y desarrollo (Boshell, 2010, pág. 53).

El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) define la adaptación a la variabilidad climática como “los procesos de ajuste en los sistemas naturales o humanos en respuesta a los estímulos climáticos reales o previstos a sus efectos, que modera el daño o explota las oportunidades beneficiosas” (IPCC, 2007); por lo tanto, las técnicas de riego deben aportar a la adaptación de la variabilidad climática desde el manejo eficiente del agua

y para lograr esto se deben ajustar a las condiciones particulares de las fincas de cada agricultor.

3. Justificación

El proyecto pretende evaluar las diferentes técnicas de riego que se instalaron para el manejo eficiente del agua, ya que la fase cálida del Ciclo ENOS (El Niño) produce fluctuaciones en la precipitación que generan escasez del recurso hídrico, y siendo este un factor directamente vinculado con los procesos agrícolas es importante crear mecanismos de adaptación que hagan que el agricultor sea autor de sus estrategias y que pueda llegar a ajustarse a las variaciones que presenta el clima.

A su vez, esta investigación pretende mejorar la capacidad de respuesta de los agricultores de la ARAC hacia las variaciones que presenta el clima, dirigiendo sus esfuerzos en realizar un manejo y aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos, que permita que los efectos de la variabilidad climática no afecten directamente al agricultor. Esto se puede lograr a través de la incorporación de tecnologías de riego “cuyas características le permitan integrarse con facilidad en el momento de su aplicación” (Neugebauer, 1993).

El manejo eficiente del agua es importante como medida de adaptación, en especial para los pequeños agricultores, ya que no se les prepara ante este tipo de eventualidades y tampoco se diseñan tecnologías acordes a sus condiciones. Es por esto, que es indispensable evaluar las tecnologías existentes e indagar sobre la adaptación de estas a las condiciones locales; debe ser una tecnología que explote las sinergias en el sistema productivo.

Las técnicas de riego representan una alternativa visible, que permite a los agricultores de la ARAC ejercer control sobre la cantidad de agua que se debe aplicar, generando así un uso óptimo del recurso; a la vez, representa para los agricultores una medida de adaptación a la variabilidad climática, lo que conduce a lograr ventajas económicas y ambientales, además de lograr una compatibilidad social; pero para su efectividad, el diseño y planeación deben estar ligados a las condiciones locales sin desconocer el aporte del agricultor.

De ahí la importancia de la investigación en realizar una evaluación integral de estas técnicas para garantizar que se adapten y por lo tanto aporte al enfoque social, ambiental y económico. Al enfoque social fortaleciendo el conocimiento y las capacidades de los agricultores frente a este tipo de tecnologías; ambiental, mejorando la relación entre suelo-agua como factores fundamentales, ya que las propiedades físicas del suelo influyen en la distribución de agua en el cultivo, y finalmente el enfoque económico, debido a que las técnicas de riego ligadas a una adecuada planeación pueden constituir una estrategia para un manejo eficiente del agua y trabajarían bajo el concepto de mínimo costo.

Este tipo de proyectos en los que no solo el enfoque es de carácter técnico, sino que además vinculan al agricultor en el proceso de evaluación, tienen la bondad de generar en ellos una iniciativa de investigación y búsqueda permanente que les permite fortalecer competencias, parte de esto, se debe a que al estar contextualizados y conocer el trasfondo del efecto que los eventos climáticos como el fenómeno ENOS pueden traer en sus sistemas productivos, hace que ellos deseen implementar diferentes estrategias que les sirvan como medida de adaptación a la variabilidad climática.

En resumen, esta investigación pretende evaluar y ajustar las diferentes técnicas de riego propuestas para que se integren con facilidad al contexto local y aporten al modelo agrícola sustentable de la ARAC, haciendo que los agricultores se logren adaptar a la variabilidad climática, mejorando la gestión y optimización del agua que ellos logran almacenar a través de la siembra y cosecha del recurso hídrico.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

- Evaluar cinco técnicas de riego presurizado para el manejo y aprovechamiento eficiente del agua como aporte a la adaptación de la Asociación Red Agroecológica Campesina (ARAC) frente a la variabilidad climática en el Municipio de Subachoque, Cundinamarca.

4.2 Objetivos específicos

- Evaluar en campo el funcionamiento de cada una de las técnicas de riego mediante parámetros técnicos para generar recomendaciones de ajustes con la finalidad de que estas operen de acuerdo con las condiciones de campo.

- Caracterizar los parámetros hidrodinámicos del suelo con relación a las técnicas de riego y describir como las prácticas de cultivo que desarrollan los agricultores pueden mejorar el manejo del agua de riego.

- Analizar participativamente las técnicas de riego para identificar la percepción de los agricultores de la ARAC frente a la integración de esta tecnología al modelo agrícola local.

5. Estado del Arte de la investigación

Las variabilidad climática plantea riesgos para los agroecosistemas, los cuales a lo largo de la historia han sido asumidos por los pueblos, pequeñas comunidades, organizaciones públicas y privadas, mediante la gestión e implementación de estrategias que les ha permitido adaptarse con diversos grados de éxito.

Las experiencias de adaptación se están llevando a cabo con la gestión de políticas y la integración de las consideraciones de la variabilidad y el cambio climático en los planes de desarrollo de diversos gobiernos (África, Europa, Asia, Australasia, América del Norte, central y del Sur), específicamente con la incorporación en algunos procesos de planificación territorial, introducción de tecnologías que gestionen los recursos hídricos de acuerdo con los enfoques basados en el ecosistema, protección ambiental, agrosilvicultura, una adaptación basada en la comunidad que combina conocimientos tradicionales y científicos para conservar y estimular acciones sostenibles en el ecosistema (IPCC, 2014).

Un estudio realizado en China por Zou *et al.* (2013), proporciona un análisis de costo-efectividad de las técnicas de riego para ahorrar agua que son ampliamente aplicadas en este país para hacer frente a los impactos del cambio climático. Los métodos de riego evaluados fueron: riego por aspersión, micro-riego, riego por tubería de baja presión y revestimiento de canales. Este estudio revela que el riego con ahorro de agua es rentable para enfrentar, adaptarse y mitigar el cambio climático y tiene beneficios para el desarrollo económico sostenible. De acuerdo con los resultados sólo el canal de revestimiento es negativo, el riego por aspersión tiene el costo más alto, y como resultado final el estudio sugiere que el micro-riego funciona mejor para los objetivos de mitigación y adaptación.

La percepción social que tienen los agricultores del clima proporciona cierto grado de orientación para diseñar estrategias de adaptación a la variabilidad climática, dicha percepción se plasmó en una provincia de Córdoba (Río Segundo), Argentina en la que se incorporó la tecnología del riego. Ésta estrategia de adaptación fue definida como exitosa a la variabilidad climática ya que prevé seguridad y estabilidad en la producción, especialmente en el caso de los pequeños y medianos agricultores (Riera y Pereira, 2013). Como este y otros casos, los campesinos evocan su conocimiento del clima para modificar

sus agroecosistemas y abordar estrategias que han adquirido de forma empírica por muchos años.

El impacto que ha generado la variabilidad climática ha despertado diferentes iniciativas por parte del Gobierno Nacional de Colombia, una de ellas es la formulación del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), el cual pretende fortalecer a los agricultores explicando la realidad del fenómeno, así mismo los riesgos potenciales e impactos actuales, las medidas de adaptación para disminuir la vulnerabilidad y exposición de los sistemas socio-económicos ante eventos climáticos (Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2012).

De igual manera, se ha constituido el Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital, Bogotá – Cundinamarca (PRICC), el cual funciona como una plataforma de trabajo interinstitucional mediante esfuerzos de tipo local, avanzando en proyectos de mitigación y adaptación a la variabilidad y al cambio climático (IDEAM *et al.*, 2014). Este tipo de acciones toma cada día más fuerza, debido a que la variabilidad climática genera la necesidad de diseñar estrategias de adaptación para fortalecer los agroecosistemas, las cuales deben incluir actividades y acciones con la comunidad sobre los territorios.

Las instituciones colombianas, están realizando importantes esfuerzos con la ejecución de proyectos de investigación en adaptación y mitigación a la variabilidad y el cambio climático. Entre estos actores encontramos: el MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial), COLCIENCIAS, el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), el INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”), el IAvH (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt); el IIAP (Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico); el SINCHI (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas); la UAESPNN (Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales); el MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural), CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), la Universidad Nacional de Colombia y algunos gremios productivos (Cabrera, *et al.*, 2010).

Un ejemplo de ello es la serie de proyectos en los que viene trabajando el CORPOICA para hacer frente a la crisis social, ambiental y económica del impacto generado por la variabilidad climática; esto, a través del proyecto Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática (MAPA), con el apoyo del Fondo de Adaptación, donde se ha venido trabajando en 18 departamentos de Colombia, desarrollando estrategias para la prevención y adaptación a eventos climáticos extremos. Parte del proyecto se basa en instalar estaciones meteorológicas en parcelas de integración con el objetivo de familiarizar a los productores con los instrumentos de medida de las variables meteorológicas (Ministerio de Agricultura, 2015).

Otras investigaciones se están adelantando con organismos internacionales que son socios en diversos proyectos de adaptación como PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), FAO (Food and Agriculture Organization), OPS (Organización Panamericana de la Salud), UNICEF (United Nations International Children's Emergency Fund), OCHA (Office for the Coordination of Humanitarian Affairs), UNODC (United Nations Office on Drugs and Crime), y PMA (Programa Mundial de Alimentos), BID (Banco Interamericano de Desarrollo), BM (Banco Mundial), entre otros (IPCC, 2014).

6. Marco Teórico

6.1 Variabilidad climática y efectos en la agricultura

La variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante períodos de tiempo relativamente pequeños, durante un año en particular se pueden registrar valores por encima o por debajo de lo normal (Montealegre, 2012). La variabilidad climática es una característica del clima, diferente al cambio climático, que una vez ocurre, difícilmente retorna a las condiciones iniciales, este fenómeno es mayor a nivel regional o local que a nivel hemisférico o global.

Todas estas fluctuaciones del clima se han dado a través de la historia en escalas de tiempo que van desde varios años, eventos conocidos como variabilidad climática inter-anual, hasta milenios, denominados como cambio climático. El planeta ha sufrido una continua sucesión de cambios climáticos caracterizados por la superposición progresiva de unas condiciones de equilibrio sobre otras, manifestados en la ocurrencia de épocas muy cálidas o glaciaciones en tiempos remotos, con duraciones del orden de cientos de miles o millones de años (Boshell, 2010).

Dados estos sucesos continuos, los riesgos de impactos totales a nivel global son moderados para un calentamiento adicional entre 1 y 2 °C, esto se puede ver reflejado tanto en los impactos en la biodiversidad de la Tierra como en la economía general global. El riesgo de pérdida amplia de biodiversidad con destrucción conexa de bienes y servicios ecosistémicos es alto en caso de un calentamiento adicional de alrededor de 3 °C (IPCC, 2014).

A nivel nacional, el análisis de la información histórica indica que las alteraciones que se producen en el régimen de lluvias en Colombia son explicadas en buena parte por la variabilidad climática interanual, relacionada con el fenómeno ENOS-Oscilación del Sur (Ciclo conocido como El Niño, La Niña) los cuales han sido causa de sequías extremas y lluvias extraordinarias en diferentes regiones del país, ocasionando un efecto negativo sobre el medio físico natural y un impacto socioeconómico de grandes proporciones.

El predominio de tiempo seco favorece el incremento de horas de brillo solar y por consiguiente la cantidad de radiación solar incidente, la cual incluye la parte ultravioleta del espectro (Montealegre, 2012); en consecuencia, el Ciclo conocido como ENOS (Oscilación del Sur-El Niño, La Niña) es la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico en la escala interanual. El Niño y su fase opuesta La Niña, son los componentes oceánicos del ENOS y corresponden, en términos generales, a la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas (El Niño) o más frías (La Niña) que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia.

La ONU y el Banco Mundial reportan a Colombia como el tercer país de mayor riesgo climático en el mundo, evidenciando la urgencia de incorporar una concepción de resiliencia en los procesos de planificación del desarrollo en todos los ámbitos de la sociedad. Teniendo en cuenta que según el DANE, el índice de pobreza supera el 46% en las ciudades y 65% en el campo, estamos ante una situación crítica de vulnerabilidad (Sedano, Carvajal y Avila, 2012).

En el contexto agrícola, el territorio colombiano posee una gran capacidad para abastecer el mercado nacional y ha alcanzado una reconocida posición en productos de exportación; sin embargo, el sector no sólo debe enfrentar el reto que supone la baja productividad, uno de los más rezagados de la economía, sino que requiere implementar medidas efectivas de adaptación (DNP, 2008).

Las comunidades rurales en entornos frágiles (como las costas, zonas áridas o montañosas) se verán afectadas en mayor medida ya que se enfrentan al riesgo de pérdida continuada de las cosechas, la pérdida de productos de ganado, pesca y forestales, y una reducción de la disponibilidad de los recursos naturales (Food and Agriculture Organization (FAO), sf). El principal efecto del cambio del clima se verá en la planificación agrícola ya que este está relacionado con las alteraciones en el régimen inter-anual de lluvia, como por ejemplo: llueve en las épocas en que antes no llovía, cada año hay reportes climáticos de fenómenos nuevos que antes no habían ocurrido (Boshell, 2010).

En los sistemas agrarios, los riesgos asociados al clima definen la actividad productiva por estar directamente vinculada a los procesos naturales, y siendo esta una actividad que proporciona a la población humana diversos recursos, ya sea en alimentos, materias primas, medicinas y otros productos para su bienestar, así como de servicios ecosistémicos vitales, tales como biodiversidad, formación de suelo, regulación de los ciclos hídricos, secuestro de carbono, entre otros (Torres, Cruz y Acosta, 2011); es importante generar estrategias de adaptación frente a los problemas asociados con el clima.

Se espera que la población mundial alcance la cifra de 9,1 billones para el 2050, esto quiere decir que la producción agrícola necesita aumentar conforme a esta creciente demanda, para lo cual el cambio climático representa un reto importante, sobre todo debido a que el 75% de la población viven en áreas rurales del mundo que dependen de la agricultura, la forestería y del sector de la pesca (Torres *et al.*, 2011).

Boshell (2010) describe efectos en la agricultura de tipo directo e indirecto, entre los directos se prevé que las arvenses (fotosintéticamente más eficientes) hagan un mejor uso del incremento de la concentración de CO₂ atmosférico, por lo que se incrementaría la población de éstas especies. El incremento de temperatura determinará ciclos de cultivo más cortos, lo que puede ser contraproducente en algunas especies, ya que no completarán cada una de sus etapas. El incremento de la temperatura significará un incremento de la evapotranspiración de los cultivos, por lo que se prevén problemas asociados a la dinámica del agua en el suelo (déficit y exceso hídrico).

Entre los efectos indirectos está el cambio espacio temporal en la dinámica de las plagas y enfermedades, además del incremento de las poblaciones de bacterias y pérdida de la capacidad productiva. La pérdida de la capacidad productiva está relacionada con la desertificación; aquellas regiones en las que el cambio climático global y el cambio climático a escala local se han combinado para crear ambientes más secos (mayor evapotranspiración y evaporación) están destinadas a convertirse en desiertos.

Así mismo el IPCC plantea impactos potenciales del cambio climático en la agricultura sin contemplar medidas de adaptación, algunas investigaciones advierten que este fenómeno podría tener un efecto directo sobre la productividad de las cosechas y sobre

la fertilidad del suelo; existe la probabilidad de variaciones en las tasas de degradación del suelo, aumentos de salinización, mayores pérdidas por siniestros, incremento en las superficies de riego, reducciones de las especies polinizadoras y modificaciones importantes en la distribución y dinámica de plagas y enfermedades (IPCC, 2007).

Otros aspectos que podrían cambiar por efecto de la variabilidad y el cambio climático sería el incremento en la temperatura produciendo estrés hídrico e incremento de plagas e insectos; aumento de la frecuencia de precipitación intensa provocando daños en los cultivos, erosión de los suelos y tierras anegadas no aptas para cultivo; elevación del nivel del mar ocasionando salinización del agua de irrigación, de los estuarios y sistemas de agua dulce; y áreas afectadas por el aumento de las sequías causando la degradación de la tierra, un menor rendimiento o deterioro en los cultivos y un aumento del riesgo de incendios (Ocampo, 2011).

Históricamente, la agricultura colombiana ha podido adaptarse a la variabilidad climática, pero los fenómenos extremos representan una gran amenaza para este sector (República, 2007). En Colombia las emergencias y desastres guardan relación con las precipitaciones (IDEAM, 2010); se ha detectado que los cambios en el régimen de lluvias tienen efectos muy diversos influenciados por El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) (Instituto Colombia Agropecuario (ICA), 2010). Los reportes asociados con sequía se elevan en un 216%, durante los períodos del Niño; mientras que en los años de La Niña, los desastres relacionados con lluvia, como deslizamientos e inundaciones, aumentan en un 16,1% (IDEAM, 2010).

6.2 Adaptación a la variabilidad climática

Las fuertes perturbaciones que originan la variabilidad y el cambio climático dirigen los esfuerzos de las comunidades en plantear acciones para adaptarse al cambio y hacer que sus agroecosistemas sean menos vulnerables. En este contexto, el IPCC define adaptación como “los procesos de ajuste en los sistemas naturales o humanos en respuesta a los estímulos climáticos reales o previstos a sus efectos, que modera el daño o explota las oportunidades beneficiosas” (IPCC, 2007).

La adaptación de los sistemas humanos es un proceso que demanda la participación de numerosos actores, donde es indispensable fortalecer la capacidad adaptativa a través del acceso y control sobre los recursos naturales, especialmente de las comunidades más vulnerables (Dazé, Ambrose y Ehrhart, 2010). “La capacidad de adaptación es la habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad del clima y sus extremos) para moderar daños posibles, aprovecharse de oportunidades o enfrentarse a las consecuencias” (IPCC, 2001, p. 5).

La falta de preparación para la variabilidad climática en algunos sectores, pone en riesgo los ecosistemas de manera que afecta la producción de alimentos y el suministro de agua (IPCC, 2014). Los impactos de las variaciones climáticas afectan con mayor severidad a los países en desarrollo, puesto que son más vulnerables, en particular porque cuentan con menos recursos sociales, tecnológicos y financieros para la adaptación (Cabrera *et al.*, 2010). Adaptarse es importante como medio para atenuar el riesgo de los daños (IPCC, 2001).

“La adaptación implica un proceso de ajuste sostenible y permanente en respuesta a las nuevas y diferentes circunstancias ambientales que pueden presentarse” (Cabrera *et al.*, 2010, p. 325). Las acciones que se extienden para la adaptación al cambio y la variabilidad climática, pueden variar en un mosaico de prácticas de manejo integrado de tierras y aguas, con el fin de fomentar la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad, por lo tanto, hacer que el sistema sea menos vulnerable (IPCC, 2002).

Las medidas de adaptación se convierten en una estrategia necesaria y se pueden categorizar entre adaptación planificada y espontánea. La adaptación planificada es un proceso de formulación y preparación que se fundamenta en el conocimiento previo de la vulnerabilidad existente (Bergkamp, Orlando y Burton, 2006). Por otro lado, la adaptación espontánea no constituye una respuesta consciente a los estímulos climáticos, es provocada por cambios ecológicos en los sistemas naturales y cambios en el mercado o el bienestar en los sistemas humanos (IPCC, 2014).

Las medidas de adaptación varían considerablemente entre las regiones, los países y los grupos socioeconómicos y habrá de variar a lo largo del tiempo (IPCC, 2001). La

adaptación a la variabilidad climática en un tiempo dado, que puede estar definido a mediano o largo plazo, se debe extender de forma sostenible, según cada sector y ecosistema estratégico, las respuestas sociales influirán en los resultados a corto plazo (Cabrera *et al.*, 2010 e IPCC 2014). Las estrategias de adaptación son específicas del lugar, no es un postura holística para reducir los riesgos, estas resultan de un contexto particular dependiendo de las condiciones sociales, económicas, institucionales, culturales y de la dinámica misma de los procesos socio-ecológicos (IDEAM *et al.*, 2014).

Los gobiernos locales y el sector privado como actores fundamentales están incluyendo en sus planes de gobierno y desarrollo respectivamente, acciones que gestionan las medidas de adaptación fomentando la preparación ante desastres (IPCC, 2001). La planificación a todos los niveles de gobernanza depende de los valores sociales, contextos socioculturales, que se pueden mejorar mediante el fortalecimiento de las comunidades, proporcionando información en temas de servicios climáticos, donde las organizaciones son el medio entre la ciencia y la toma de decisiones (IPCC, 2014).

La adaptación comunitaria al cambio y la variabilidad climática es un enfoque eficaz, puesto que se generan estrategias con un fuerte sentido de pertenencia y se cumplen sus prioridades ya que se toman decisiones más flexibles en un contexto apropiado (King, 2014); además, se aprovecha el conocimiento que genera la experiencia y la percepción social del clima.

Para que los sistemas humanos se puedan adaptar es necesario explotar las sinergias que se dan entre factores tales como la tecnología, la educación, la información, capacidades administrativas, experiencias y conocimientos locales (IPCC, 2001); sin embargo, se presentan limitaciones para ejecutar estas acciones, las cuales se derivan en escasos recursos financieros y humanos, diferentes percepciones de los riesgos, herramientas limitadas de control de la eficacia de la adaptación, falta de proyección, integración e investigación (IPCC, 2014).

Para llevar a cabo las medidas de adaptación es necesario contar con el recurso humano, valorando la experiencia y conocimiento, y por otro lado el recurso financiero, el cual permite adquirir los instrumentos y herramientas necesarias para trabajar en campo.

Se han estimado varios cálculos para conocer la inversión requerida para la adaptación de los países en desarrollo para el año 2030 y se habla de 28 y 67 millones de dólares anuales (Gutierrez y Espinosa, 2010).

La actividad agropecuaria es una de las principales afectadas, es por eso que se adelantan acciones mediante sistemas de cultivos diversificados y otras prácticas como conservación de suelos, agua y especies, que ayuden a aumentar la capacidad de adaptación de sistemas de producción (Cabrera *et al.*, 2010). Las prácticas de cultivo de la agricultura tradicional han permitido desarrollar sistemas agrícolas adaptados a los escenarios locales generados por la variabilidad climática, estos sistemas son menos vulnerables (Altieri y Nicholls, 2009) y se han mantenido por años gracias al conocimiento y esfuerzo de las comunidades.

Es importante comprender la adaptación como un proceso que se ajusta a un contexto particular y responde a necesidades ambientales, sociales, políticas y financieras (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2008). La eficacia de las actividades para adaptación puede ser más exitosa si se explotan las sinergias del agroecosistema y se integran con estrategias más amplias diseñadas para hacer más sostenibles las rutas para el desarrollo (IPCC, 2002).

6.3 Tecnología Sustentable

El desarrollo sustentable es un concepto que relaciona la naturaleza y la equidad social presente y futura, destacando de manera organizada y planificada nuestro vínculo con el medio ambiente, con nosotros mismos y con la sociedad, teniendo en cuenta, pero sin poner en discusión los sistemas políticos y económicos (Ramírez, Sánchez, y García, 2004).

Una sociedad más sustentable debe tener en cuenta el papel desempeñado por la tecnología, puesto que, es el puente en los beneficios derivados de la explotación de los recursos naturales (Smith, 2003). “Una tecnología es el medio por el cual el ser humano extiende su acción e influye en el modo de hacer las cosas, y en como la humanidad interactúa con el medio ambiente” (Amemiya, 2010, p. 6). Estas actividades intervienen en

la existencia, cantidad y limitación de los recursos, por lo tanto se debe buscar los métodos más eficientes para disminuir el consumo de materias primas (Sotelo, 2003).

Según Neugebauer (1993) cuando se aplica una nueva tecnología ésta rompe el contexto lo que puede producir efectos positivos o negativos. De acuerdo con esta influencia, varios criterios han sido señalados para mejorar estas experiencias y seleccionar la tecnología adecuada, las cuales deben satisfacer una necesidad sentida, adaptarse y hacer uso de los patrones locales, beneficiar a la gente más pobre, ser relativamente libre de riesgos, ecológicamente sustentable, culturalmente aceptable, de fácil comprensión y debe tener éxito.

Se considera que el desafío del desarrollo sustentable es una causa decisiva que depende de la integración del medio ambiente y la economía por medio de revoluciones tecnológicas innovadoras (Ramírez *et al*, 2004). La innovación de tecnología se entiende como un proceso social, puesto que involucra la acción de actores e instituciones mediante la generación de conocimiento y las inversiones económicas que se puedan dar, de este régimen se espera que esté dirigido en una dirección sustentable (Smith, 2003).

La tecnología a pequeña escala, es una estrategia de innovación que gestiona el manejo adecuado de los recursos locales utilizando fuentes naturales de energía, las cuales no contaminan para la operación y el mantenimiento; además, reconstruye los conocimientos y experiencias de los individuos (PNUD, sf). Las tecnologías utilizadas en agroecología tienden a incrementar la biodiversidad funcional de los agroecosistemas, aprovechar los procesos naturales y las interacciones en beneficio de los cultivos (Altieri y Nicholls, 2000), esto sucede gracias a que la tecnología seleccionada tiene un efecto sinérgico que le permite integrarse con facilidad (Neugebauer, 1993).

La sustentabilidad aborda “el desarrollo de los sistemas socioecológicos para lograr una nueva configuración en las tres dimensiones centrales del desarrollo sustentable: la económica, social y ambiental” (Calvente, 2007, p. 1). Sin embargo, se puede hablar de un nuevo enfoque cuando se incluye una tecnología al sistema: la sustentabilidad técnica, la cual aparte de mejorar la viabilidad de cada objeto y proceso, incluye las interacciones de la sociedad, la naturaleza y la economía del contexto en la cual se práctica (Amemiya, 2010).

A la hora de seleccionar una tecnología el capital humano es fundamental, ya que es clave en la operación y funcionamiento de la técnica. Si no se opera de la forma adecuada, no se cumple con el ciclo de vida determinado y puede resultar en pérdidas económicas y ambientales dadas las condiciones (Amemiya, 2010). Respondiendo al entorno de mano con el capital humano, se espera que las tecnologías promovidas sean multifuncionales en tanto su adopción implica cambios favorables en varios componentes del agroecosistema (Altieri y Nicholls, 2000).

6.4 Caracterización de técnicas de riego

El objetivo fundamental de un sistema de riego, es otorgar las mejores condiciones de utilización del agua y por ende el óptimo aprovechamiento por parte de la planta, que se logra a través de la aplicación en las cantidades necesarias de acuerdo con los requerimientos de la planta, de una manera oportuna y homogénea en el suelo (Pizarro, 1987; Salcedo *et al.*, 2005, citado por Cruz *et al.*, 2011).

Para entender a fondo no solo el funcionamiento sino los conceptos de riego, es importante hacer una distinción entre sistemas y métodos de riego, ya que es común utilizar estos dos términos como sinónimos. Se entiende por método de riego al conjunto de aspectos que caracterizan el modo de aplicar el agua a las parcelas regadas, este a su vez se divide en técnicas, las cuales consisten en el tipo de emisor con el que se trabaje; y por otro lado, los sistemas de riego se refiere al conjunto de equipamientos que proporcionan esa aplicación siguiendo un método dado (Santos, Valero, Picornell y Tarjuelo, 2010).

6.4.1 Riego superficial por gravedad. El riego por superficie es el método más antiguo, aproximadamente cubre el 80% de las áreas regadas del mundo (Santos, *et al.*, 2010), este método consiste en tomar agua directamente de una fuente hídrica o depósito de agua, y aplicarla a la superficie del suelo por gravedad, cubriendo parcialmente o totalmente el predio. La energía que distribuye el agua por la parcela es la derivada de su propio peso, al circular libremente por el terreno a favor de pendiente (Lop, Peiteado y Bodas, 2005). Existen diversas técnicas de riego por gravedad, estas se resumen esencialmente en: sistemas de surcos, melgas, fajas, surcos a nivel y riego de esparcimiento (Santos, *et al.*, 2010).

6.4.2 Riego presurizado. El riego presurizado consiste en hacer correr el agua por tuberías cerradas a una presión determinada de acuerdo con la técnica empleada, para así poder regar las plantas. Entre las técnicas de riego presurizado encontramos:

6.4.2.1 Riego por aspersión. Cerca del 10% de las áreas bajo riego en todo el mundo son por aspersión, siendo más utilizado en países desarrollados por el costo de inversión (Santos, *et al.*, 2010). El agua es conducida a presión, al llegar a los emisores (aspersores) produce gotas que mojan todo el terreno de forma similar a como lo haría la lluvia (Lop, *et al.*, 2005).

Tabla 1. *Tipos de sistemas por aspersión según la ubicación y el movimiento.*



Sistemas de aspersión móviles. Las tuberías y aspersores se cambian de posición manualmente cada vez que es necesario regar una zona de la parcela.



Sistemas de aspersión fijos. Todas las tuberías están enterradas y el terreno queda bajo la cobertura de aspersores instalados de forma permanente.



Sistemas de aspersión autopropulsados. Los aspersores están instalados en una estructura que se mueve progresivamente, a medida que se va regando. A esta categoría pertenecen los cañones de largo alcance y los conocidos como *pivots*.

Fuente: Tomado y adaptado de www.civiagro.com, itsamexico.com.

Podemos encontrar aspersores de: baja presión (< 250 kPa), de media presión (250-400 kPa) y de alta presión (>400 kPa). Las técnicas de riego por aspersión requieren de alguna fuente de energía para presurizar los sistemas, algunas de estas son: eléctrica, por combustión y gravedad.

La inversión inicial para instalar un sistema de riego por aspersión es alta, debido a los diferentes accesorios y componentes básicos que este requiere, como lo son: una unidad impulsadora de agua (motobomba), tuberías principales y laterales y aspersores, por lo cual es importante una buena planeación, diseño y operación del sistema.

Tabla 2. *Ventajas y desventajas del riego por aspersión.*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Apropiado para la mayoría de cultivos, ya que se han ido desarrollando para que su uso no solo sea en ornamentales, sino además en frutales, hortalizas, viveros, entre otros. • Adaptable para la rotación de cultivos. • Disminuye el peligro de erosión del suelo, pues si un equipo está bien diseñado, la escorrentía superficial debe ser mínima. • Disminuye el efecto de las heladas al mantener el suelo húmedo (heladas de corta duración). • Los riegos pueden ser diarios o casi diarios, en el caso del suelo con muy baja capacidad de retención y cultivos con raíces poco profundas, o también pueden ser riegos con grandes dosis y baja frecuencia. • Se pueden aplicar pequeños y continuos caudales de agua, en especial en los sistemas fijos. • Es fácil de manejar en el caso de sistemas fijos, ya que se puede automatizar totalmente. • Se puede presentar un ahorro de agua, claro está si el sistema se encuentra bien diseñado de acuerdo con los cultivos, suelos y parcelas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede presentar problemas en climas secos, calientes y ventosos, debido a la pérdida de agua por evaporación y arrastre del viento. • Los aspersores pueden dejar de girar, ya que las boquillas se tapan y pueden presentarse fugas en los acoplamientos. • Pérdida de agua por lento proceso de infiltración, esto depende del tipo de suelo al cual se le está realizando la aplicación. • Debido a que se humedece una mayor superficie del suelo, esto favorece la germinación de semillas de arvenses. • Los sistemas móviles presentan un nivel de dificultad más alto, debido a que requiere adecuar el sistema para su uso. • Algunas hortalizas y frutales (cítricos, fresa, papa, tabaco, entre otros) son muy sensibles al mojado de las flores, follaje y tallo.

6.4.3 Riego localizado. Es un riego en el que el agua se conduce a presión con el objetivo de realizar pequeñas aportaciones de manera continua y frecuente, en un lugar próximo a la planta, humedeciendo sólo parte de la superficie del suelo (Lop *et al.*, 2005), las presiones de operación oscilan entre 7,2 psi a 58 psi.

El riego localizado tiene el potencial de alcanzar un mayor coeficiente de uniformidad del agua aplicada a cada planta (90%), sin embargo, una mala uniformidad y eficiencia de aplicación puede resultar de varias causas, por ejemplo, el mantenimiento inadecuado, baja presión o fluctuaciones de presión de entrada, taponamiento y diseño inadecuado del sistema (Hsiao *et al.*, 2007, citado por Cruz *et al.*, 2011).

6.4.3.1 Técnica de riego por microtubo. Este sistema consiste en un tubo de Polietileno (PE) de diámetro entre 0,6-2 mm y de longitud variable. Se considera un sistema de bajo caudal ($q < 16$ l/h) y de largo conducto que funciona con presiones bajas. Para su instalación el agricultor no requiere tantas herramientas, ya que la conexión del microtubo a la manguera se puede hacer de forma directa, por lo tanto no requiere de numerosos accesorios para su montaje.

Tabla 3. *Ventajas y desventajas de la técnica de riego por microtubo.*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Se puede uniformizar los caudales cortando los microtubos a la longitud que la práctica demuestre como adecuada. • Opera con bajas presiones. • Es de bajo costo. • Facilidad al momento de la instalación. • Se utiliza la mayoría de veces en frutales, pero es adaptable a diferentes modelos de producción. • De acuerdo con la longitud del microtubo, los tiempos de riego pueden ser cortos debido a su continuo caudal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta sensibilidad a la temperatura y presión. • Mayor riesgo a las obturaciones. • Si no se maneja un tiempo de riego adecuado se pueden presentar hongos en las raíces por exceso de humedad.

6.4.3.2 Técnica de riego por goteo. En el riego por goteo el agua se distribuye por tuberías de polietileno a baja presión, en las que a intervalos regulares están colocados los emisores, denominados goteros, responsables de la producción de las gotas. Los diversos tipos de goteros se diferencian en el sistema que usan para disipar la energía proveniente de la presión del agua y producir un flujo constante de gotas con caudales de 2 a 8 l/h (Lop *et al*, 2005). Su costo de instalación va de acuerdo al tipo y número de goteros que se utilicen, además, es importante para una mayor eficiencia tener un sistema de filtrado, lo cual incrementa los costos.

Tabla 4. *Ventajas y desventajas de la técnica de riego por goteo.*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Son adaptables a varios sistemas productivos, por ejemplo son utilizados normalmente en cultivos con marco de plantación amplio como los frutales, aunque también se usan en cultivos en línea como hortalizas. • Posibilita el control total sobre el suministro hídrico de las plantas, esto permite garantizar una humedad óptima en los momentos del ciclo del cultivo que se desee. • Una instalación de riego por goteo bien diseñada permite lograr una mayor uniformidad de riego. • Su instalación y operación no representan mayor dificultad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidad de los goteros a las obstrucciones, lo que obliga a un equipo de filtrado y cuidados minuciosos. • Susceptible de ser afectado por roedores, es por esto que el color del gotero debe ser tenido en cuenta a la hora de la instalación. • No se recomienda en proyectos de riego que funcionen con un programa de rotación de cultivos.

6.4.3.3 Técnica de riego por cinta de goteo. La cinta consiste en una tubería de goteo de pared fina la cual lleva orificios de 10 a 60 cm de espacio, va extendida a lo largo de las líneas de cultivos y puede recogerse para realizar labores de campo.

En el mercado podemos encontrar calibres desde 4 MIL hasta 25 MIL, permitiendo al productor seleccionar el nivel de durabilidad, de acuerdo con sus necesidades y a las condiciones del ambiente.

Tabla 5. *Ventajas y desventajas de la técnica de riego por cinta de goteo.*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Al ser riego localizado pierde poca agua porque es menor el escurrimiento. • Condiciones menos favorables para el desarrollo de enfermedades en las plantas. • Es apropiada para los campos de forma irregular o donde la topografía o textura del suelo no es uniforme; sin embargo, se deben tener en cuenta los intervalos aceptados de variación de presión. • Mayor uniformidad de aplicación. • Con menos evaporación y percolación profunda. • Es de fácil operación. • El agua se aplica directamente en la zona de las raíces lo cual evita el surgimiento de plantas espontaneas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Con el tiempo y debido a un infiltrado insuficiente de agua, la uniformidad de aplicación puede disminuir. • Taponamiento de los goteros debido a sus pequeños orificios de salida. • Es susceptible de ser afectado por roedores. • Para labores como la preparación del terreno es necesario recogerla, lo cual se convierte en un trabajo dispendioso para el agricultor.

6.4.3.4 Técnica de riego por microaspersión. El agua se pulveriza sobre la superficie del suelo, como en aspersion, pero produciendo pequeñas áreas regadas y localizadas, siendo los emisores, en general, de caudales de 50 a 150 l/h (Santos, *et al.*, 2010). Las presiones de trabajo por lo general son pequeñas y se sitúan de 13 psi a 43 psi.

Tabla 6. *Ventajas y desventajas de la técnica de riego por microaspersión.*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil manejo. • Son aptos para una gran variedad de cultivos. • No causa daños a la planta debido a que la gota es pequeña. • El riego se puede hacer en bajas dosis pero con alta frecuencia. • Debido a que operan a presiones inferiores requiere menos agua y menos energía. • Su uso es adecuado en suelos muy ligeros, donde el riego por goteo no satisface las necesidades del cultivo en cuanto a extensión del área humedecida. • Se pueden aplicar caudales importantes a baja presión, disminuyendo el costo del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita de inspección frecuente para cerciorarse que el sistema está haciendo una correcta aplicación de la lámina de agua. • Requiere un alto costo de inversión debido a los múltiples accesorios. • Puede presentar problemas fitosanitarios por producto del agua pulverizada. • Se pueden presentar problemas de taponamiento, debido a que el orificio de salida es pequeño.

La selección del método de riego, como se ha indicado anteriormente, depende de varios factores. En el caso de los factores técnicos, dependen del tipo de suelo, del clima, de la especie, tipo de variedad y de la disponibilidad del agua. En el caso de los factores socioeconómicos, debe tomarse en cuenta la disponibilidad de capital, la superficie a regar y el destino de la producción. Todo esto únicamente puede lograrse a través de una adecuada planeación de la producción y del apoyo incondicional de los agentes involucrados en todo el proceso (Cedillo y Calzada, sf).

7. Materiales y métodos

7.1 Descripción del área de estudio

El estudio se desarrolló durante el primer y segundo periodo del año 2015 en el municipio de Subachoque, el cual está situado a 4 grados, 56 minutos de latitud norte y 74 grados, 11 minutos de longitud sobre el meridiano de Greenwich. El municipio está ubicado en la provincia de Sabana Occidente del departamento de Cundinamarca, localizado a una distancia de 45 kilómetros de la ciudad de Bogotá, en predios de pequeños agricultores que pertenecen a la Asociación Red Agroecológica Campesina (ARAC).



Figura 1. Mapa ubicación geográfica del municipio de Subachoque. Fuente: Google maps.

El municipio de Subachoque presenta una altitud 2.663 msnm, una temperatura de 12 °C y una precipitación de 839 mm, se caracteriza por presentar un régimen pluviométrico de tipo bimodal, con un primer periodo de lluvias que cubre los meses de abril-mayo y una segunda temporada que va de octubre a noviembre; las temporadas secas están bien definidas en enero- febrero y julio- agosto (IDEAM *et al.*, 2012).

7.2 Grupo de estudio (ARAC)

La asociación la conforman alrededor de 25 familias, las cuales se dedican a la producción agroecológica de hortalizas, frutas y productos lácteos transformados a pequeña

escala y sanos. Parte de la producción se distribuye a la ciudad de Bogotá, gracias a un programa de comercio justo, que articula de manera pertinente a los productores con consumidores fijos.

De las veinte y cinco (25) fincas que hacen parte de la ARAC, tres (3) fueron seleccionadas como objeto de estudio por parte de los agricultores, esto a partir de un muestreo no probabilístico por conveniencia, en el cual se decidió qué individuos de la población pasaban a formar parte de la muestra en función de la disponibilidad de ellos (Canal, 2006).



Figura 2. Mapa ubicación geográfica fincas participantes. Fuente: Google Earth.

Tabla 7. Información geográfica fincas seleccionadas.

PROPIETARIO	FINCA	COORDENADAS	ALTURA
Pedro González	Buenavista	N 05° 00' 17,6'' W 074° 07' 58,6''	2767 msnm
Manuel Pinzón	Villa Gloria	N 04° 59' 17,8'' W 074° 08' 51,6''	2742 msnm
Inés González	La Conejera	N 05° 00' 18,4'' W 074° 07' 59,5''	2771 msnm

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Para seleccionar las fincas se tuvo en cuenta las siguientes condiciones:

- Las parcelas no deben contar con ninguna técnica de riego instalada, por el contrario de ser así, estas no cumplen con las expectativas del agricultor.
- Las fincas deben contar preferiblemente con un depósito de agua disponible para riego.
- Iniciativa por parte del agricultor para hacer investigación.
- Disponibilidad de tiempo para realizar los ajustes que sean necesarios.

7.3 Fases de desarrollo del proyecto

7.3.1 Fase 1: Caracterización de las fincas seleccionadas, planteamiento del esquema de instalación y montaje de las técnicas de riego. En el proceso de caracterización se hizo una recopilación de información acerca de los sistemas productivos, el área de riego, depósitos de agua disponibles y la pendiente del terreno, la cual se tomó a partir de la distancia del lote y las alturas arrojadas por el gps 60csx.

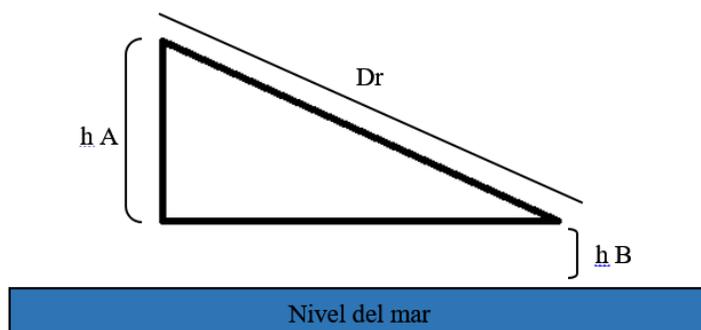


Figura 3. Ilustración pendiente del terreno. Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Finalmente, se procedió a reemplazar los datos de las alturas y de la distancia en la siguiente forma:

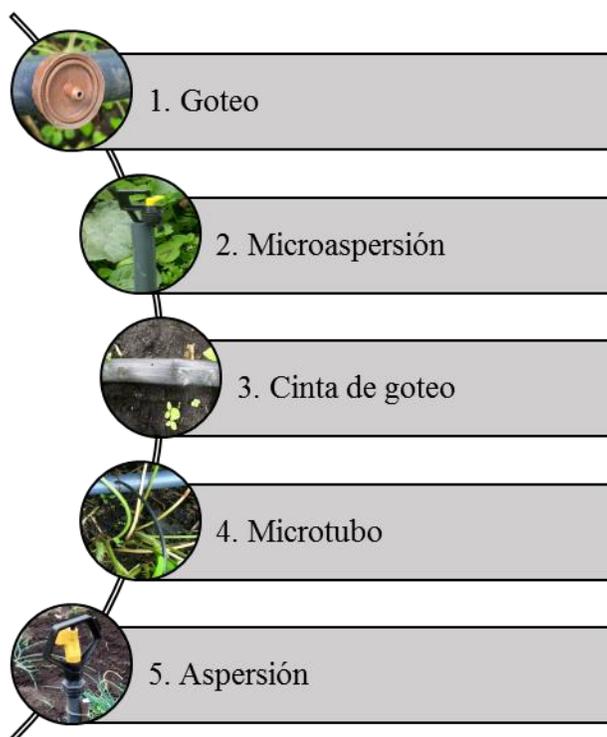
$$Pendiente (\%) = \frac{h A - h B}{Dr} * 100$$

Para el segundo momento, se planteó con cada agricultor el esquema de instalación de las técnicas de riego a establecer en su predio, esto se hizo a partir del inventario de materiales del cual disponía la ARAC. Uno de los esquemas (Finca Buenavista) se socializó a la ARAC por medio de un taller con el fin de intercambiar conocimientos acerca del tema.

Basados en la caracterización de las fincas y los esquemas de instalación, se hizo el montaje de las técnicas de riego, parte de esta labor se logró con la participación de los agricultores y un taller de riego con los estudiantes de la Universidad Minuto de Dios.

7.3.2 Fase 2. Evaluación de las técnicas de riego (aspectos técnicos, parámetros hidrodinámicos del suelo y perspectiva de los agricultores). La segunda etapa del proyecto estuvo definida por la evaluación de las técnicas de riego. A continuación se definen las técnicas de riego y los métodos de evaluación por cada objetivo de estudio:

Tabla 8. *Técnicas de riego instaladas en las parcelas de Subachoque.*



Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Nota: El numeral 1, 2, 3 y 4 corresponden a riego localizado.

7.3.2.1 Procedimiento para evaluar los parámetros técnicos. Para juzgar la calidad de un sistema o instalación de riego, se hizo importante realizar diferentes mediciones y evaluaciones en campo de cada una de las técnicas de riego. Los parámetros técnicos que se tuvieron en cuenta para la evaluación fueron: Presión de operación, caudal y coeficiente de uniformidad.

• **Presión de operación del sistema.** Esta presión fue evaluada localizando un manómetro (cuya presión máxima era de 30 psi) en la cabecera del lateral a evaluar, es decir, después de la válvula de apertura. Una vez que el sistema estaba operando y la presión era constante, el dato se registraba.

• **Caudal.** El caudal se calculó por el método volumétrico, el cual se determina por medición directa del tiempo en que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido, en este caso se realizó con un recipiente de 12 l (microaspersión y aspersión) y una probeta de 50 ml (Microtubo, goteo y cinta de goteo). Una vez el sistema de riego estaba en funcionamiento se proseguía a localizar el recipiente y la probeta por un minuto en uno de los emisores dependiendo de cada técnica, terminado el minuto se registraba el dato arrojado.

• **Coefficiente de uniformidad (CU).** Esta evaluación se realizó siguiendo el modelo que plantea Édgar Zuñiga (2004), en el cual, la uniformidad de distribución se evalúa en campo considerando los volúmenes de agua recogidos por pluviómetros o recipientes pequeños, colocados en cuadrícula cubriendo el área mojada por los emisores, donde cada uno representa un área igual de riego.

Se estableció la zona en que irían ubicados los recipientes con dimensiones de 7,85 cm de diámetro interno y 4,16 cm de profundidad y un área de captación de 48,40 cm², luego se localizaron en el terreno, pero antes era importante cerciorarse que estos estuvieran libres de agua o cualquier otra sustancia. Los recipientes en las técnicas de riego por microaspersión y aspersión fueron situados a una distancia de 50 cm entre ellos, formando una cuadrícula alrededor del emisor evaluado (Ver Figura 4), en el caso de las técnicas de microtubo, goteo y cinta, los recipientes fueron colocados debajo de cada emisor al inicio y al final de la línea lateral (Ver Figura 5).

Antes de iniciar la prueba se daba apertura a la válvula para que el sistema se estabilizara y la presión se regulara, posteriormente, se daba inicio a la aplicación de la lámina de agua con la técnica a evaluar, la duración del procedimiento se definió de acuerdo al tiempo de riego real establecido por los agricultores. Finalizada la evaluación, se cerraba la válvula y se proseguía a realizar las mediciones de volumen de cada recipiente con la ayuda de probetas de 25 ml y 50 ml.

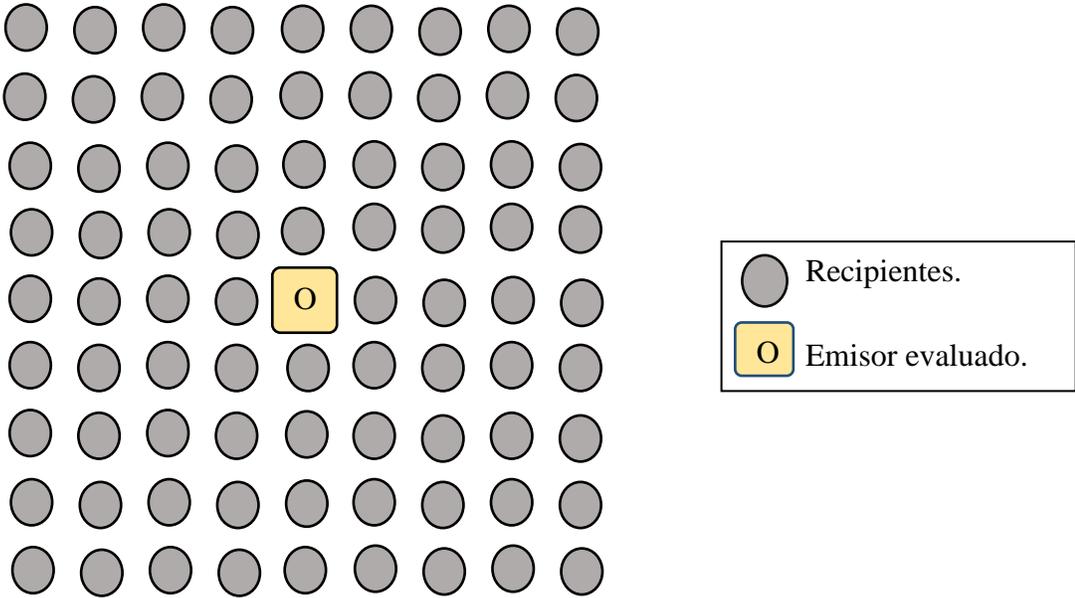


Figura 4. Diagrama de recipientes microaspersión y aspersión. Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

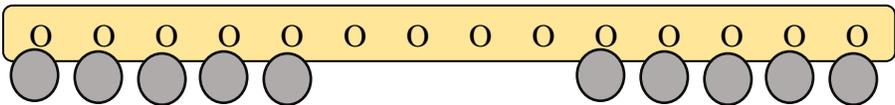


Figura 5. Diagrama de recipientes microtubo, goteo y cinta. Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Una vez se realizó el procedimiento de evaluación en campo, se prosiguió a hallar el coeficiente de uniformidad por medio de la fórmula de Christiansen (1942), (citada por Zuñiga, 2004):

$$CU = \sum_{i=1}^N \frac{Xi - M}{M * n}$$

Siendo:

X_i = Medida de cada pluviómetro.

M = Valor medio del agua recopilada en todos los pluviómetros.

n = Número de pluviómetros

En el proceso de evaluación por cada parámetro técnico se hicieron tres repeticiones, las cuales se promediaron con el fin de obtener resultados más confiables. La información se recolectó y adjuntó en el formato de evaluación de parámetros técnicos (Ver Anexo 5), el cual se aplicó para las tres fincas objeto de estudio.

A partir de los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros técnicos se sugirieron ciertos ajustes con la finalidad que las técnicas de riego operen de acuerdo con las condiciones de campo, para esto fue importante determinar la lámina bruta y establecer tiempos de riego pertinentes para lograr un aprovechamiento óptimo del recurso hídrico.

Para definir la lámina bruta y los tiempos de riego se determinó la evapotranspiración a partir del método FAO Penman- Monteith (Allen, Pereira, Raes y Smith, 2006), donde se tuvo en cuenta los registros de los elementos climáticos de la estación meteorológica La Primavera ubicada en Subachoque.

7.3.2.2 Procedimiento para caracterizar los parámetros hidrodinámicos del suelo.

En la agricultura de riego la relación suelo-agua es fundamental, pues las propiedades físicas del suelo influyen en la retención y disponibilidad de agua para las plantas. Las técnicas de riego son parte esencial del agroecosistema, porque funcionan como un medio para distribuir el agua en el cultivo.

Para caracterizar los parámetros hidrodinámicos del suelo, se tuvo en cuenta los resultados del análisis de suelo realizado por la Universidad Minuto de Dios en cada predio. Las muestras fueron examinadas por el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia; por cada una se determinó el porcentaje de materia orgánica, textura (% de arcillas, % de limos y % de arenas), S_i (índice estructural del suelo) y densidad aparente.

Por otro lado, de acuerdo con la textura del suelo de cada predio, se obtuvo la capacidad de campo (CC) a partir de la fórmula de Gardner (citada por Leiton, 1985) y el punto de marchitez permanente (PMP) por medio de la fórmula planteada en el trabajo de Cisneros (2003).

$$CC = (0,027 * \% \text{ de arena}) + (0,187 * \% \text{ de limo}) + (0,555 * \% \text{ de arcilla})$$

$$PMP = \frac{CPC}{1,84}$$

El índice de humedad disponible para las plantas se determinó con la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

La infiltración se estimó por medio de la tabla de Israelsen (1962) (citada por Diaz, 2006) (Ver Anexo 6), debido a que la pendiente de los predios no permitía emplear el método de doble anillo. Esta tabla resume los valores medios de las propiedades físicas que caracterizan los suelos bajo riego.

La infiltración es una propiedad hidrodinámica importante a la hora de seleccionar una técnica de riego, pues influye en que se produzcan o no problemas por anegación, por lo tanto, fue conveniente definir la tasa de aplicación de los emisores evaluados para verificar que estos sean los indicados bajo las condiciones de cada suelo.

Por otro lado, para identificar las prácticas de cultivo que mejoran las condiciones de riego, se usaron métodos empíricos como: la entrevista y la observación, para esto, se hizo un recorrido por la finca de cada agricultor y se realizó una entrevista semiestructurada (Ver Anexo 6).

7.3.2.3 Procedimiento para el análisis de percepción de la ARAC. Integrar una tecnología al agroecosistema causa impacto tanto en el ambiente como en los agricultores; es por esto, que la percepción que tengan ellos acerca de las técnicas de riego, permite que se puedan realizar los ajustes necesarios para que esta técnica se adapte al modelo agrícola.

Para conocer la percepción que tienen los agricultores acerca de las técnicas de riego se diseñó un formato con criterios de evaluación, este se aplicó con cada agricultor de las fincas objeto de estudio; pero además, se llevó a cabo un taller para analizar participativamente las técnicas de riego e identificar además la percepción de los asociados a la ARAC. Los criterios tenidos en cuenta fueron:

- Instalación.
- Operación.
- Mantenimiento.
- Fragilidad del sistema.
- Distribución de agua en el cultivo.
- Adaptable al modelo agrícola.
- Efecto ambiental.
- Consumo de agua.

El formato diseñado (Ver anexo 8) se hizo teniendo en cuenta lo planteado por Neugebauer (2003) a la hora de seleccionar una tecnología, que para el caso es la integración de las técnicas de riego.

A partir de los resultados obtenidos en el taller de participación se realizó el análisis para conocer la percepción de los agricultores ante este tipo de tecnologías, esto se hizo por medio del programa estadístico SPSS (Statistical Package of Social Sciences Version 2.0), en el cual se toma la media y la varianza de los valores que se le asignaron a cada criterio de evaluación de acuerdo con la técnica de riego.

8. Resultados y análisis de resultados

8.1 Fase 1: Caracterización, esquema de instalación y montaje de las técnicas de riego

8.1.1 Caracterización de las fincas. La caracterización de las fincas es un factor importante tanto para la instalación de las técnicas de riego como para la posterior evaluación de ellas, de ahí lo fundamental de identificar las condiciones y los elementos que conforman cada una de las parcelas, para que de esta manera el esquema sea coherente y resuelva las expectativas del agricultor.

A partir de la visita realizada a las fincas participantes se recopiló la información más relevante (área de riego, especies establecidas, depósitos de agua disponibles y pendiente del terreno) que junto al inventario de materiales correspondiente a cada finca, permitió la elaboración del esquema de instalación de las técnicas de riego en los predios.

8.1.1.1 Finca Buenavista.

- *Área de riego.* El área de riego de la Finca Buenavista es de 1.205 m².
- *Depósitos de agua disponibles.* El propietario Pedro González de la finca Buenavista cuenta con un manantial, un reservorio y dos tanques de almacenamiento de agua lluvia, disponibles para realizar el riego. El agricultor establece especies que contribuyen a la conservación del agua, algunas de estas son: alisos (*Alnus sp.*), platanillo (*Heliconia sp.*), sauco (*Sambucus sp.*) y tomate de árbol (*Solanum betaceum*).



Figura 6. Fotografía depósitos de agua Finca Buenavista. A. Reservorio; B. Manantial; C. Tanques de almacenamiento. Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Según el agricultor, el manantial fue por más de 5 años la principal fuente hídrica para riego y el tiempo que tardaba en recuperar el agua era de un día; sin embargo, actualmente puede tardar incluso 20 días. En el año 2012 el agricultor construye un

reservorio en la parte más alta de la finca para que las técnicas de riego funcionen por gravedad, este se abastece con agua lluvia y agua que proviene del manantial, lo cual se logra gracias al bombeo a través de una manguera de 2” de diámetro que conecta los dos depósitos, esta manguera a su vez es la línea principal del sistema de riego.

Como medida adicional el agricultor capta y almacena agua lluvia por medio de canales que conducen el agua desde el techo de la casa hacía dos tanques de 2.000 l cada uno.

- *Especies establecidas.* El agricultor tiene establecidas alrededor de 30 especies, en las que se encuentran hortalizas de hoja, fruto, tubérculo, leguminosas y algunos frutales como uchuva (*Physalis peruviana*), mora (*Morus nigra*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y curuba (*Passiflora tripartita*). Esta variedad en los cultivos establecidos se debe a que el agricultor ve en los policultivos beneficios de tipo ambiental, económico y social.

Los beneficios de tipo económico que encuentra el agricultor en sembrar varias especies son: poder ofrecer diferentes productos al mercado y además de esto, aprovechar el espacio de su parcela. Igualmente los policultivos permiten que ante un evento ambiental extremo (sequía o exceso de agua por lluvias) se tengan ingresos económicos diversos puesto que no depende de una sola especie, es decir, de un solo mercado (Turbay, Nates, Jaramillo, Vélez, y Ocampo, 2014).

El agricultor resalta que la diversidad de especies favorece el autoconsumo familiar y permite que sea más autosuficiente en la planeación de las actividades que requiere su sistema productivo, a la vez, están garantizando el acceso a productos inocuos y nutritivos que contribuyen a una alimentación saludable (FAO, 2013).

La experiencia del agricultor señala los beneficios ambientales que se obtienen al asociar especies, por ejemplo cuando se siembra espinaca (*Spinacia oleracea*) con lechuga (*Lactuca sativa*), ambas especies se desarrollan muy bien, ya que es menor la población de insectos plaga, esto lo confirman autores como Altieri y Nicholls (2000) quienes

mencionan que la presencia física de otro cultivo dificulta la acción de las plagas de insectos.

El uso de los sistemas de producción en policultivos puede aumentar la aparición de enemigos naturales como: parasitoides y depredadores (Liebman, 1999), lo cual disminuye la población de insectos plaga. Otras especies que asocia son: zanahoria (*Daucus carota*) – rábano (*Raphanus sativus*) -cilantro (*Coriandrum Sativum*); lechuga (*Lactuca sativa*) – espinaca (*Spinacia oleracea*) –cilantro (*Coriandrum Sativum*); maíz (*Zea mays*)-leguminosa, sin mencionar que dispone de aromáticas en los bordes como agentes repelentes, como caléndula (*Calendula officinalis*) y ruda (*Ruta graveolens*).

- *Pendiente.* El predio presenta una pendiente del 22% con una cota mayor de 2.767 msnm y una menor de 2.757 msnm, la distancia que hay entre las cotas es de 45 m. Para aprovechar esta condición el agricultor decidió establecer el reservorio en la parte más alta del predio, pues permite que las técnicas de riego funcionen por gravedad. Otra medida que toma el agricultor respecto a la pendiente del predio, es el arreglo de los cultivos en camas en curvas de nivel, esto trae ciertos beneficios como: controlar la escorrentía superficial, lograr una óptima utilización del terreno y evitar las pérdidas del suelo.

8.1.1.2 Finca La Conejera.

- *Área de riego.* La parcela se divide en tres zonas de riego, la primera cuenta con un área de 152 m², la zona 2 con 147 m² y la zona 3 con 156 m².

- *Depósitos de agua disponibles.* La Conejera tiene acceso a la quebrada de Subachoque como fuente de agua disponible, este recurso hídrico se conduce a un reservorio, el cual abastece cuatro (4) tanques de almacenamiento de 2.000 l cada uno (conectados entre sí) ubicados en la parte más alta de la parcela, de ahí distribuyen el agua por gravedad a las diferentes técnicas de riego.



Figura 7. Fotografía depósitos de agua Finca La Conejera. A. Reservorio; B. Tanques de almacenamiento.

Fuente: Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

- *Especies establecidas.* La finca tiene alrededor de 40 especies establecidas en su sistema productivo. Se pueden encontrar hortalizas de hoja, fruto, tubérculo, leguminosas, frutales, entre otras.

- *Pendiente.* El terreno presenta una pendiente del 41%, con una cota mayor de 2.771 msnm, una menor de 2.759 msnm y una distancia entre estas de 29,6 m. Debido a la diferencia de nivel del terreno la agricultora Inés González establece los cultivos en camas siguiendo las curvas de nivel, disminuyendo así la pérdida de agua y suelo.

8.1.1.3 Finca Villa Gloria.

- *Área de riego.* El área de riego de la finca Villa Gloria se encuentra definida en 492 m².

- *Depósitos de agua disponibles.* La finca cuenta con dos reservorios que se abastecen de agua lluvia y del paso de agua de las fincas vecinas, además de esto, el propietario capta y almacena agua en dos tanques de 2.000 l cada uno. Como medida de conservación de los reservorios el agricultor establece barreras vivas con algunas especies como: alisos (*Alnus sp*), alfalfa (*Medicago sativa*) y eugenias (*Eugenia sp.*).



Figura 8. Fotografía depósitos de agua Finca Villa Gloria. A. Tanques de almacenamiento; B. Reservorio.

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

- *Especies establecidas.* Actualmente el agricultor Manuel Pinzón no cuenta con especies establecidas, sin embargo, de acuerdo al modelo de producción de la ARAC, el agricultor ha manejado asociaciones entre algunas especies como: lechuga (*Lactiva sativa*), calabacín (*Cucurbita pepo*), repollo (*Brassica oleracea var. Capitata L.*) y brócoli (*Brassica oleracea italica*); es así como el agricultor reconoce que al asociar especies éstas se ven menos afectadas por las plagas, por ende su producción no se ve perjudicada ni sus ingresos. Además, la asociación de cultivos mejora la seguridad alimentaria de las familias y por lo tanto existe una mayor estabilidad económica (Turbay, Nates, Jaramillo, Vélez, & Ocampo, 2014).

- *Pendiente.* La pendiente del predio es del 18%, ya que el terreno cuenta con una cota mayor de 2.742 msnm y una cota menor de 2.734 msnm, la distancia entre las cotas es de 45,72 m, esto permite la instalación de las técnicas de riego aprovechando la diferencia de nivel (8 m). Debido a lo anterior, el agricultor establece los cultivos en camas para así evitar las pérdidas de suelo y aprovecha mejor el terreno.

8.1.2 Esquema de instalación y montaje de los sistemas de riego. De acuerdo con el material entregado previamente por parte de Uniminuto a la ARAC se plantearon los esquemas de instalación, esto se hizo teniendo en cuenta la caracterización de las fincas y la información contenida en los catálogos. La propuesta que se desarrolló para la finca Buenavista se socializó a la ARAC por medio de un taller, con el fin de intercambiar conocimientos con los agricultores y además observaran como sería el montaje de las técnicas de riego a lo largo del predio.



Figura 9. Fotografía socialización esquema de instalación de riego. Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Los asociados dieron a conocer sus dudas acerca de la eficiencia de las técnicas de riego, la forma como instalarlos, el mantenimiento que se les debía hacer, la manera de operarlos, etc. Esto ayudó a ver cuáles eran las necesidades y expectativas que tienen los agricultores, además se tuvo en cuenta que las técnicas de riego son un elemento más que forma parte del sistema productivo, ya que hay otros aspectos al igual que juegan un papel importante (agua, suelo, planta y hombre).

Una vez socializado el esquema (Ver Anexo 10) se prosiguió a realizar una prueba de instalación con los asistentes al taller para que evidenciaran el funcionamiento de las técnicas de riego por microaspersión y aspersión.



Figura 10. Fotografía prueba de instalación Taller ARAC. Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Para las pruebas se utilizó el microaspersor amarillo IT 3/8" (Figura 11), el cual se instaló a una distancia de 8 m entre emisores y 6 m entre líneas, y el rociador trompo ITN 1/2" (Figura 12), en este caso el espaciado a lo largo del lateral fue de 4 m y entre líneas de 3,5 m.



Figura 11. Fotografía emisores empleados en la prueba de instalación. A. Microaspersor amarillo IT 3/8"; B. Aspersor ITN 1/2" (Rociador trompo). Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Finalizada la prueba de instalación y funcionamiento, los agricultores que participaron en el taller concluyeron lo siguiente: es importante realizar estudios previos para seleccionar la técnica de riego, tener en cuenta los elementos que compone el agroecosistema (plantas, suelo, agua y hombre), operar el sistema de la forma indicada y aplicar el conocimiento que se genera en este tipo de encuentros.

8.1.2.1 Esquema de instalación y montaje Finca Buenavista. En la finca Buenavista se instalaron cinco (5) técnicas de riego, siguiendo la recomendación del fabricante; sin embargo, se realizaron modificaciones que fueron construidas con los miembros de la ARAC, en especial el agricultor Pedro González (propietario de la Finca Buenavista) que fue constante en todo el proceso de instalación y evaluación.

Las cinco (5) técnicas de riego se instalaron desviando el agua de una tubería principal de 2" de diámetro, enlazando cada una por una válvula de operación manual. Las técnicas se instalaron en función de los requerimientos de presión, por tanto, el microtubo se ubicó en la parte más alta, continuando el riego por goteo, seguida la cinta de goteo, microaspersión y finalmente aspersion en el extremo inferior de la finca.

Por otro lado, en cuanto a las especies allí establecidas, se planteó regar el sistema productivo de curuba a través de microtubo y goteo, en el caso de las hortalizas se implementó las técnicas de cinta, microaspersión y aspersion.

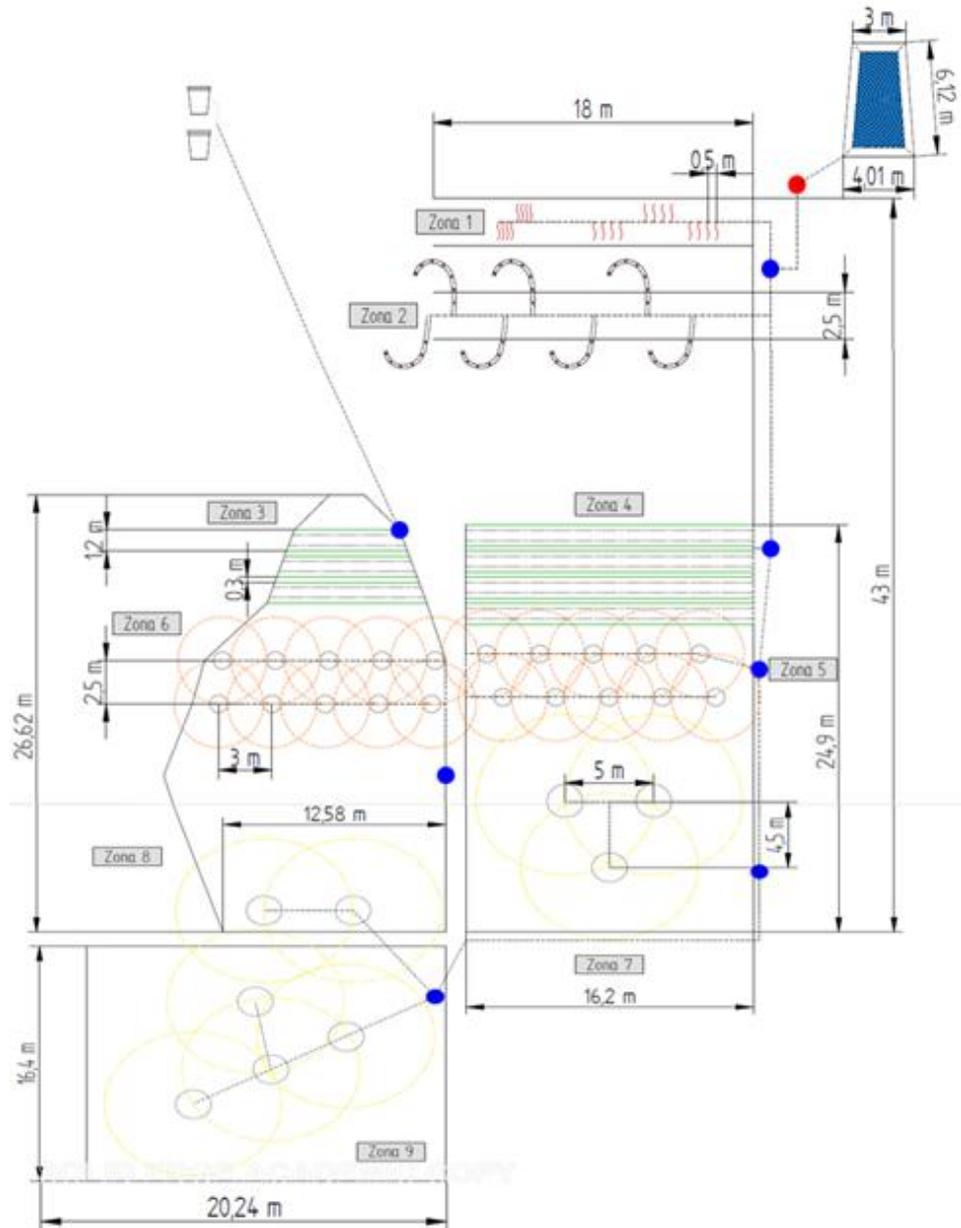


Figura 12. Esquema de instalación Finca Buenavista. Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

- *Zona 1: Técnica de riego por microtubo.* En esta zona se instaló una línea lateral con un diámetro de $\frac{1}{2}$ " y una longitud de 18 m. Se localizaron 20 puntos para distribuir riego a cinco arbustos, en efecto, se ubicaron cuatro (4) puntos (microtubos) por arbusto de curuba. Cada microtubo tiene una longitud de 1 m y están ubicados a 50 cm uno del otro.

- *Zona 2: Técnica de riego por botones de goteo.* En la segunda parte se encuentra localizada la técnica de riego por goteo con botones, la cual tiene como fin suministrar agua al cultivo de curuba. La tubería secundaria está dividida en siete (7) líneas laterales, en

cada una se ubicaron 6 emisores a una distancia de 25 cm entre ellos, para un total de 42 goteros. La red de distribución (tubería secundaria y laterales) tiene un diámetro de ½” y se abastece del reservorio.

- *Zona 3 y 4: Técnica de riego por cinta de goteo.* En la tercera y cuarta zona se encuentra instalada la técnica de riego por cinta de goteo, en la cual se ubicaron dos laterales (cintas) en cada cama a una distancia de 50 cm entre ellos, en este caso, los emisores de la cinta están a 10 cm uno del otro.

Los laterales en la Zona 3 tienen una longitud que es función del largo de las camas, ya que estas no tienen la misma dimensión; en la Zona 4 la longitud de las cintas es de 16,20 m; estas líneas se conectaron a una tubería secundaria con un diámetro de ¾” mediante una reducción de ¾”- 1/2”. En la zona 3 y 4 se instalaron seis (6) y ocho (8) líneas de cintas respectivamente, la zona 3 en este caso se abastece de los tanques de almacenamiento y la zona 4 del reservorio.

- *Zona 5 y 6: Técnica de riego por microaspersión.* A partir del Taller de riego realizado, en el cual se hizo una prueba de instalación con la técnica de riego por microaspersión, se efectuaron modificaciones con respecto al esquema inicial, esto se hizo según las observaciones y sugerencias del agricultor, pues se buscaba que los emisores generaran traslape para humedecer el total de la superficie, en consecuencia, se redujeron las distancias entre líneas y microaspersores.

La distancia a la que se instalaron los laterales fue de 2,5 m y en estas los emisores se ubicaron a 3 m. La altura del microaspersor se le proporcionó por medio de un microtubo de ¼” de diámetro, el cual tiene una altura de 45 cm y fue insertado con un adaptador a la tubería lateral de ½” de diámetro. Para asegurar que el microtubo quedará estable y en forma perpendicular al lateral se introdujo en un tubo de PVC de ½” de diámetro. En la Zona 5 se instalaron diez (10) microaspersores mientras en la Zona 6 se establecieron once (11). Las dos zonas se abastecen de un reservorio que funciona como depósito de agua.

- *Zona 7, 8 y 9: Técnica de riego por aspersión.* Estas tres zonas se instalaron con riego por aspersión, en ellas se localizaron tres (3), dos (2) y cuatro (4) emisores respectivamente, en este caso el emisor empleado es el rociador trompo ITN 1/2”.

Para definir la distancia entre líneas y aspersores se tuvo en cuenta el catálogo con las especificaciones técnicas del fabricante y además de esto, las sugerencias y observaciones del agricultor Pedro González de acuerdo con su experiencia, lo cual ayudó a que la instalación se realizará de una forma acorde a su parcela.

Las distancias que se manejaron fueron de 5 m entre aspersores y 4,5 m entre laterales, la manguera del elevador es de 1/2” de diámetro y tiene una altura de 60 cm, está a su vez esta soportada por una varilla. En la parte superior se encuentra un acople hembra de manguera al que se conectó el emisor, la línea lateral es de 1/2” de diámetro, esto en el caso de la Zona 7 ya que en la zona 8 y 9 es de 1”. La Zona 8 y 9 tienen un tubo de PVC de un diámetro de 1/2” como elevador, al cual se le conectó el rociador trompo por medio de un adaptador hembra. El tubo de PVC fue conectado por medio de una tee y un reductor de 1-1/2” al lateral.

En la Zona 7 se situaron los aspersores en forma de triángulo o en tres bolillos, en la Zona 8 los dos aspersores se encuentran en línea y por último en la Zona 9 los cuatro aspersores se distribuyeron en diagonal al lote para que toda la zona fuera regada (Ver Figura 12).

Cabe anotar que el material inventariado no fue suficiente, por lo tanto, se incluyó material PVC y accesorios que no afectaron la evaluación.

8.1.2.2 Esquema de instalación y montaje Finca La Conejera. La propietaria Inés González de la Finca La Conejera no pudo estar presente de forma constante en la instalación de las técnicas de riego, por esta razón la instalación se realizó con sus trabajadores, pero la agricultora expresó que técnicas de riego eran de su interés.

En esta parcela se realizó la instalación de las técnicas de riego por microaspersión y aspersión, las cuales por medio de una tubería principal de un diámetro de 3/4” se abastecen de 4 tanques de almacenamiento de agua lluvia. El funcionamiento del riego

ocurre de manera independiente, puesto que cada técnica cuenta con una válvula de operación manual.

El esquema de instalación de las técnicas de riego se planteó únicamente con el fin de proporcionar agua a las hortalizas establecidas, esto por requerimiento de la agricultora.

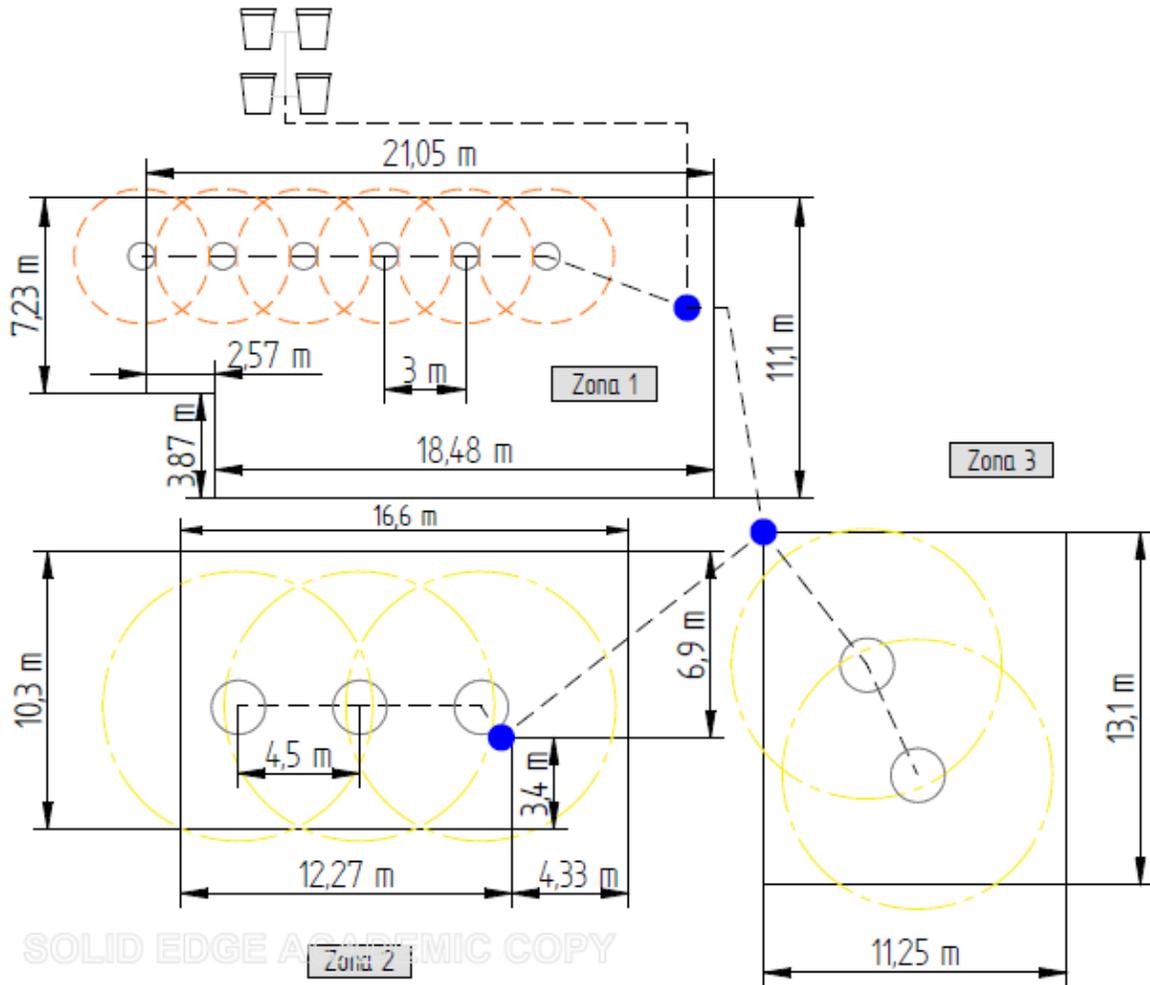


Figura 13. Esquema de instalación Finca La Conejera. Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

- *Zona 1: Técnica de riego por microaspersión.* La técnica de riego por microaspersión consta de una línea lateral de un diámetro de $\frac{1}{2}$ " , en esta se ubican seis (6) emisores a una distancia de 3 m entre ellos, el elevador es una manguera de $\frac{1}{2}$ " de diámetro que tiene una altura de 45 cm y que va conectada a la línea lateral por medio de una tee de $\frac{1}{2}$ " , por último el microaspersor IT $\frac{3}{8}$ " se unió directamente al elevador.

- *Zona 2 y 3: Técnica de riego por aspersión.* En las siguientes dos zonas se instaló riego por aspersión con el Rociador trompo ITN 1/2". En la Zona 2 y 3 se ubicaron tres (3) y dos (2) rociadores respectivamente, estos se instalaron en una línea lateral de 1/2" de diámetro a una distancia de 4,5 m entre emisores; por último, el elevador tiene una altura de 50 cm.

8.1.2.3 Esquema de instalación y montaje Finca Villa Gloria. El propietario de la Finca Villa Gloria es Ingeniero Industrial y lleva 2 años y medio en el municipio de Subachoque dedicándose a la actividad agropecuaria. En esta finca se instalaron cuatro (4) técnicas de riego que fueron: microtubo, cinta, goteo y microaspersión. Se realizó además el montaje dos tanques de almacenamiento al lado del reservorio, esto con el fin de ganar altura y por lo tanto presión en el momento de regar.

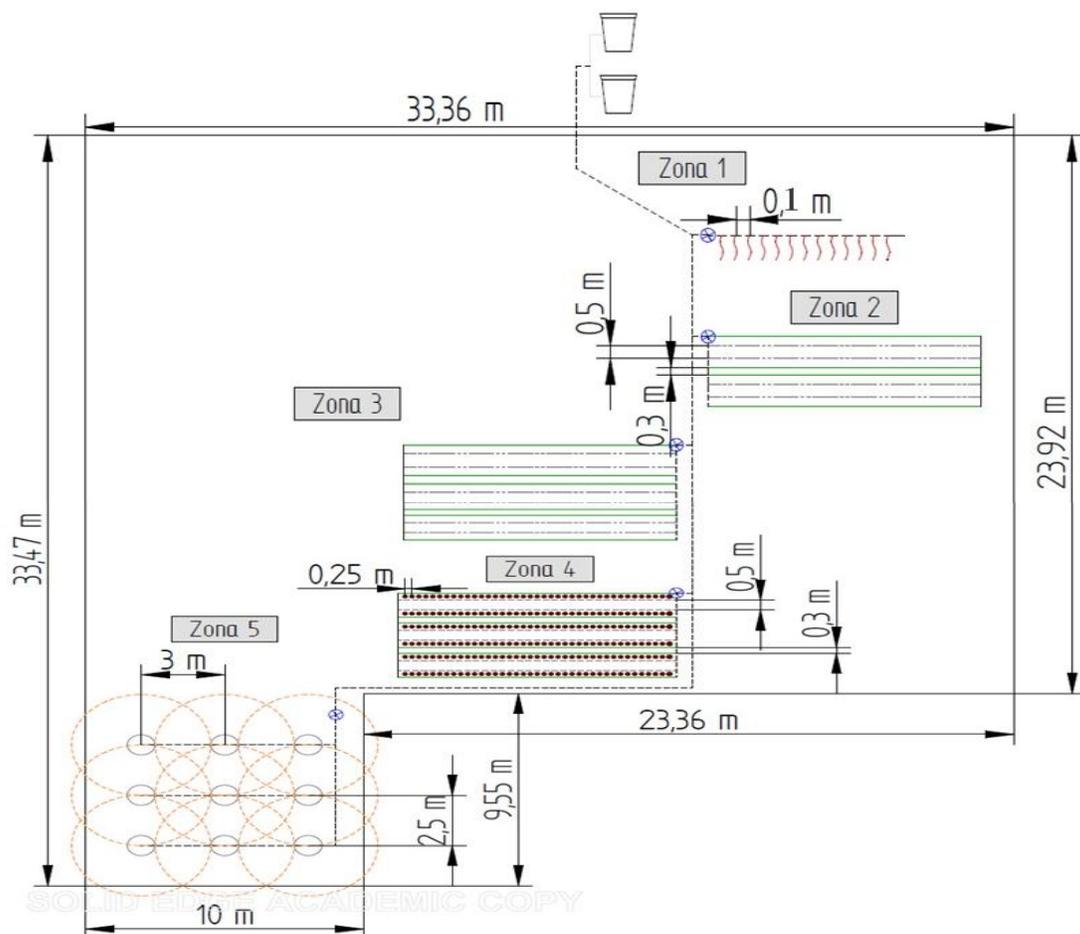


Figura 14. Esquema de instalación Finca Villa Gloria. Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

La red de distribución consta de una tubería principal de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, la cual conduce el agua que proviene de los tanques de almacenamiento a los diferentes puntos de consumo, en este caso son las técnicas de riego que operan con válvulas de apertura independientes.

Al ser parte de la ARAC el agricultor orienta su agroecosistema a la producción de hortalizas, es por esto, que a pesar de no tener cultivos establecidos allí, el esquema de instalación se hizo siguiendo este modelo de producción y de acuerdo con las condiciones de la finca.

El conocimiento que tiene el agricultor acerca de las técnicas de riego es poco, pero a pesar de esto, su iniciativa por investigar lo llevo a participar de forma activa en la planeación del esquema de instalación y en el montaje de las técnicas de riego.

- *Zona 1: Técnica de riego por microtubo.* La primera técnica de riego que se instaló fue microtubo, la cual se distribuyó por medio de una línea lateral de un diámetro de $\frac{1}{2}$ ", que cuenta con setenta (70) puntos a una distancia de 10 cm entre ellos con una longitud de 25 cm cada uno.

- *Zona 2 y 3: Técnica de riego por cinta de goteo.* En estas dos zonas se localizó la técnica por cinta de goteo, se instalaron cuatro (4) laterales en la zona 2 y seis (6) en la zona 3. Se ubicaron dos líneas laterales por cama a una distancia de 50 cm una de la otra, la longitud de estas se determinó de acuerdo al largo de las camas, que en este caso para la zona 2 fue de 9,8 m y para la zona 3 de 10 m, la distancia entre emisores de la cinta empleada es de 10 cm. La línea secundaria tiene un diámetro de $\frac{3}{4}$ " y la cinta va introducida a ella mediante conectores de cinta a manguera.

- *Zona 5: Técnica de riego por botones de goteo.* En esta zona se distribuyeron dos laterales por cama a una distancia de 50 cm entre ellas, con una longitud de 10 m, en total se instalaron seis (6) líneas laterales de goteros, los cuales están localizados a 25 cm uno del otro. La manguera de las líneas laterales es de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y está es la que conduce el agua hacía los goteros.

- *Zona 6: Técnica de riego por microaspersión.* Por último se instaló la técnica de microaspersión en la zona inferior del predio (Ver Figura 14), se localizaron tres laterales distanciados a 2,5 m, en cada uno se ubicó tres (3) emisores a una distancia de 3 m, estas líneas constan de una longitud de 10 m y un diámetro de ½". El sistema se instaló utilizando un microtubo de ¼" de diámetro, el cual transporta el agua hacia el emisor, este microtubo tiene una longitud de 45 cm y está conectado a la manguera mediante un adaptador.

8.2 Fase 2: Evaluación técnicas de riego

8.2.1 Objetivo 1. Evaluación de parámetros técnicos. En la instalación y evaluación de las técnicas de riego, se tuvo en cuenta las especificaciones planteadas por el fabricante, por lo tanto, en la Tabla 9 se indican los valores óptimos bajo los cuales las técnicas de riego deben funcionar.

Tabla 9. *Especificaciones técnicas de los emisores implementados según los fabricantes.*

Emisor	Presión (psi)	Caudal (l/h)
Microtubo (0,88 mm) ¹	>3	3-16
Goteo ²	>5	2-3
Cinta (T-Tape 500) ³	8	0,7
Microaspersión (IT 3/8") ⁴	20-25	140
Rociador trompo (ITN 1/2") ⁵	25	1023,3

Fuente: Tomado y modificado de ¹Netafim, ²Toro, ³T-Tape, ^{4,5}Intecmecol.

Nota: No se encontraron especificaciones técnicas para la técnica de riego por microtubo, es por esto que se tomaron los valores de operación mínimos bajo los cuales funciona el riego localizado citados por Netafim, sin embargo, es un valor sujeto a modificaciones.

De acuerdo con los porcentajes del coeficiente de uniformidad (CU) hallados mediante la fórmula de Christiansen (1942), se realizó una calificación de estos datos a partir de la clasificación de Merriam y Keller (1978), para así determinar si estas técnicas de riego son viables o no de implementar.

Tabla 10. *Valores recomendados para calificar el CU.*

Intervalo	Calificación
90%-100%	Excelente
80%-90%	Bueno
70%-80%	Aceptable
< 70%	Inaceptable

Fuente: Tomado de Merrian y Keller, 1978, citado por Cun, Puig, Morales y Duarte, 2011.

Para el Análisis se tomará la Tabla 9 y 10 como punto de referencia para realizar una comparación con los datos obtenidos en campo, y así poder evidenciar como las condiciones de funcionamiento locales de las técnicas instaladas en predios de los participantes de la ARAC se adaptan y, por tanto qué ajustes se pueden efectuar.

En las tablas 12, 13, 14, 15 y 16 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros técnicos de las técnicas de riego. Como se indicó en la metodología se realizaron tres pruebas a lo largo del proceso y estos datos fueron promediados para conseguir un dato más objetivo.

Por otro lado, de acuerdo con los resultados obtenidos fue necesario determinar las pérdidas de carga en la tubería principal, esto se hizo para cada predio evaluado, pues fueron evidentes las deficiencias de presión para que las técnicas de riego operaran de forma adecuada. A continuación se muestran los resultados de las pérdidas por fricción (Ver Tabla 11), obtenidos por medio de la fórmula de Hazen Williams (1905):

$$hf = \frac{10,64 * Q^{1,852}}{(C)^{1,852} * D^{4,871}} * L$$

hf = Pérdidas por fricción (psi)

Q = Caudal a través del lateral (m³/h)

C = Coeficiente de fricción que depende del material de la tubería y de sus características.

D = Diámetro interno de la tubería (m).

L= Longitud línea principal (m).

Además se incluyen la longitud y el diámetro de la manquera principal, como factores influyentes en las pérdidas.

Tabla 11. *Pérdidas por fricción en la línea principal de las fincas evaluadas.*

Finca	Longitud máxima (m)	Diámetro (")	Pérdidas por fricción (psi)
Buenavista	62,4	2	0,59
La Conejera	56,22	3/4	39,05
Villa Gloria	56,1	3/4	7,53

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

8.2.1.1 Microtubo. A continuación se presenta la lectura de los parámetros técnicos (CU, presión, caudal) evaluados para la técnica de riego por microtubo en las fincas Buenavista y Villa Gloria.

Tabla 12. *Parámetros técnicos de la evaluación en campo de microtubo.*

Finca	Zona	CU (%)	Presión (psi)	Caudal (l/h)
Buenavista	1	70	3,2	11,6
Villa Gloria	1	90	2,0	11,3

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Según los resultados obtenidos en la Finca Buenavista, la presión y el caudal de la técnica por microtubo corresponde a las características de operación de riego localizado (Ver Tabla 9), esto se evidencia con la distribución del agua que la técnica hace, la cual presenta un CU del 70% que de acuerdo con la clasificación de Merrier y Keller (1978) es calificada como aceptable.

En la finca Villa Gloria la aplicación de la lámina de agua a través de la técnica de riego por microtubo alcanzó un CU del 90%, calificado como excelente; sin embargo, la presión registrada no coincide con lo estipulado en la Tabla 9; no obstante, en esta se menciona que es un dato abierto a modificaciones.

Los parámetros técnicos para riego por microtubo no se encuentran claramente definidos, por lo tanto, no se puede concluir que la presión de operación en la finca Villa Gloria no es la indicada, ya que el CU que se obtuvo fue óptimo. Actualmente la técnica de riego por microtubo está siendo ajustada por los agricultores para que se adapte a sus condiciones de campo.

Con la instalación de esta técnica de riego en la finca Buenavista se esperaba alcanzar valores óptimos en el CU; sin embargo, estos valores no se obtienen a lo largo del lateral probablemente porque en el agua de riego se encuentran suspendidos sólidos y material biológico (piedras, algas, hojas, ramas e insectos) que obstruyen la salida de los emisores. El diámetro del microtubo (0,88 mm) hace que esta técnica de riego sea exigente en la calidad física del agua, puesto que es sensible a taparse, por ende, es necesario que el agricultor sea constante en las labores de mantenimiento del sistema (revisar válvulas, limpiar emisores, etc), con el fin de disminuir el riesgo de obturación en los emisores y por lo tanto no se vea afectada la distribución de agua en el cultivo.

8.2.1.2 Goteo. A continuación se presenta la lectura de los parámetros técnicos (CU, presión, caudal) evaluados para la técnica de riego por goteo en las fincas Buenavista y Villa Gloria:

Tabla 13. *Parámetros técnicos de la evaluación en campo de goteo.*

Finca	Zona	CU (%)	Presión (psi)	Caudal (l/h)
Buenavista	2	70	3,2	1,2
Villa Gloria	4	70	7,9	1,8

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

De acuerdo con la lectura de los parámetros técnicos evaluados en la finca Buenavista para la técnica de riego por goteo, estos no se ajustan a las especificaciones del fabricante. La presión de operación registrada (3,2 psi) estuvo por debajo del valor esperado (5 psi), al igual que el caudal, que fue un 40% más bajo con respecto al nominal y finalmente el CU, el cual a pesar de ser aceptable según la clasificación de Merrier y Keller (1978), se encuentra 20 unidades menos de alcanzar una distribución excelente (90%).

En el caso de la evaluación realizada en la finca Villa Gloria la técnica de riego por goteo opera en un intervalo de presión que se ajusta a lo indicado por el fabricante (5 psi); sin embargo, en la lectura el caudal fue menor un 10% con respecto al dato estipulado (Ver Tabla 9). Por último, los resultados obtenidos señalan un CU del 70%, esto indica que la técnica de riego está logrando una aplicación de riego aceptable (Ver Tabla 10).

El riego por goteo se puede trabajar aprovechando la diferencia de nivel de los terrenos, las cuales pueden ser de 3 a 10 m, de acuerdo al tipo de gotero (Mendoza , 2013); sin embargo, para el caso de la finca Buenavista esta no generó la carga hidráulica necesaria para que el emisor empleado funcionara, de manera que impidió que el CU fuera excelente (90%).

En la finca Villa Gloria a pesar de que el CU estuvo definido como aceptable, el riego por goteo pudo haber alcanzado un intervalo excelente (90%); sin embargo, esto no fue posible debido a la calidad física del agua de riego, específicamente, porque en ella se encuentran sólidos en suspensión, que para el caso son elementos biológicos (algas, raíces, insectos) y materias físicas (arenas, piedras) que obstruyen los emisores; análogamente, las labores culturales (retirar las arvenses) ocasionaron el taponamiento de los goteros por la tierra y los trozos de las plantas.

8.2.1.3 Cinta. A continuación se presenta la lectura de los parámetros técnicos (CU, presión, caudal) evaluados para la técnica de riego por cinta en las fincas Buenavista y Villa Gloria:

Tabla 14. *Parámetros técnicos de la evaluación en campo de la cinta por goteo.*

Finca	Zona	CU (%)	Presión (psi)	Caudal (l/h)
Buenavista	3	70	5,7	0,67
	4	70	8	0,67
Villa Gloria	2	40	6,7	0,4
	3	80	7,2	0,4

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

La cinta de goteo requiere una presión de operación de 8 psi para funcionar óptimamente, sin embargo, tanto la finca Buenavista como Villa Gloria presentaron valores por debajo de los ideales, a excepción de la zona 4 (finca Buenavista) que arrojó el valor (8 psi) esperado conforme a lo requerido por esta técnica (Ver Tabla 9). En esta zona la técnica evaluada presentó un CU del 70%, definido en el intervalo de aceptable.

La zona 3 de la finca Buenavista, 2 y 3 de la finca Villa Gloria presentaron presiones de 5,7 psi, 6,7 psi y 7,2 psi respectivamente, estos valores no se ajustan a lo estipulado para la técnica de riego (Ver Tabla 9). A la vez, la evaluación señala que el CU para las dos zonas del predio Buenavista es aceptable, ya que la técnica de riego obtuvo CU del 70%.

Basados en la clasificación de Merrier y Keller (1978), la calificación del CU en las dos zonas evaluadas de la finca Villa Gloria es diferente, pues no se encuentran en el mismo intervalo. En la zona 2 el CU fue del 40%, lo cual se define como inaceptable; en la zona 3 este fue del 80% y se establece como bueno.

Por último, el caudal es otro parámetro técnico que no operó de acuerdo con lo indicado por el fabricante. Los datos obtenidos en la evaluación de la técnica de riego (0,4 l/h y 0,67 l/h) están por debajo del intervalo óptimo.

Particularmente, en la Zona 3 de la finca Buenavista el CU se vio afectado por problemas derivados en las bajas presiones, ya que la fuerza de gravedad suministrada por la diferencia de nivel entre el depósito de agua y la cinta por goteo no proporciona la carga hidráulica necesaria, por tanto es posible que no todas las plantas estén recibiendo la misma cantidad de agua. En el caso de la zona 4, la uniformidad de aplicación por parte de la técnica no alcanzó la calificación de excelente debido a las partículas suspendidas en el agua de riego.

En el caso de la finca Villa Gloria la baja presión de operación que afectó el CU de la técnica de riego por cinta, estuvo determinada por la pérdida de carga en la tubería principal, la cual es de 7,53 psi. Esto lo confirma Mott (2006) quien menciona que las pérdidas por fricción provocan que la presión disminuya a lo largo de la tubería.

Las bajas presiones y las partículas suspendidas en el agua de riego también generaron que el caudal no se ajustara a lo recomendado por el fabricante, propiciado un suministro menor de 57% con respecto a este.

8.2.1.4 Microaspersión. A continuación se presenta la lectura de los parámetros técnicos (CU, presión, caudal) evaluados para la técnica de riego por microaspersión en las fincas Buenavista, Villa Gloria y La Conejera:

Tabla 15. *Parámetros técnicos de la evaluación en campo de microaspersión.*

Finca	Zona	CU (%)	Presión (psi)	Caudal (l/h)
Buenavista	5	60	10,1	92
	6	40	8,7	76
Villa Gloria	5	60	6,5	38,4
La Conejera	1	60	7,8	100

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

De acuerdo con la presión de operación la técnica de riego por microaspersión no se adapta a ninguno de los predios evaluados, ya que los valores registrados (10,1 psi, 8,7 psi, 6,5 psi y 7,8 psi) estuvieron por debajo del intervalo al que debe operar, que en este caso es mínimo de 20 psi.

En la finca Buenavista se evaluaron dos zonas de microaspersión, el CU para la Zona 5 fue del 60% y para la Zona 6 de 40%, estos valores son inaceptables según lo clasifica Merrier y Keller (1978). Las zonas de las fincas Villa Gloria y La Conejera también arrojaron un valor del 60%, por lo tanto para estos predios es de igual manera inaceptable.

De modo similar, el caudal estuvo por debajo del valor estipulado por el fabricante (Ver Tabla 9), ya que este es un parámetro técnico que se ve afectado por la presión de operación. Por ejemplo, en la finca Buenavista la técnica de riego por microaspersión registró un caudal de 76 l/h y 92 l/h respectivamente para cada zona (Ver tabla 15); en la Finca Villa Gloria fue igual a 38,4 l/h y finalmente en la finca La Conejera fue de 100 l/h.

Al afectarse este parámetro, se ocasiona que el tiempo de riego se prolongue, exponiéndolo así a mayores pérdidas de agua.

Esta técnica de riego se instaló en la finca Buenavista buscando que la diferencia de nivel le proporcionara la presión de operación ideal; sin embargo, esta no alcanza a generar la carga hidráulica necesaria para que el emisor evaluado funcione como indica el fabricante; por lo tanto la aplicación del agua a lo largo de los laterales que conforma la técnica no es uniforme.

Así mismo, otra de las causas que generó la deficiencia en la presión para la técnica de microaspersión instalada en las fincas Villa Gloria y La Conejera, se deriva en las pérdidas de carga en la tubería principal (Ver Tabla 11), pues al desplazarse el líquido a través de la tubería, la energía de presión se pierde por el rozamiento del fluido contra las paredes de la misma (ITACA (The application of Appropriate Technology), 2003).

Las pérdidas en la línea principal de la finca Villa Gloria (7,53 psi) y la finca La Conejera (39,05 psi) estuvieron determinadas principalmente por el diámetro de la tubería, el cual para ambos casos es reducido, además la amplia longitud de la línea también implicó que se generaran pérdidas. Esto es corroborado por ITACA (2003), el cual plantea que las pérdidas de carga son mayores cuando el diámetro de la tubería es reducido, las paredes de esta son rugosas y la longitud de la línea es larga.

Las válvulas, piezas de derivación, reducción o aumento de diámetro también generaron pérdidas, esto debido a que el flujo en el interior de los accesorios es tridimensional y complejo produciéndose una gran disipación de energía (Taborda, 2012); sin embargo, no se tuvieron en cuenta por ser pérdidas menores y es evidente que el problema radica en las pérdidas por fricción de la tubería principal.

En la finca Buenavista el problema en las bajas presiones estuvo determinado por la diferencia de nivel, que no generó el cabezal hidráulico necesario. Las pérdidas por fricción a lo largo de la tubería principal fueron de 0,59 psi, la diferencia con las otras fincas evaluadas (Villa Gloria y La Conejera) se debe a que el diámetro de la tubería es mayor (Ver Tabla 11).

8.2.1.5 Aspersión. A continuación se presenta la lectura de los parámetros técnicos (CU, presión, caudal) evaluados para la técnica de riego por aspersión en las fincas Buenavista y La Conejera.

Tabla 16. *Parámetros técnicos de la evaluación en campo de aspersión.*

Finca	Zona	CU (%)	Presión (psi)	Caudal (l/h)
Buenavista	7	50	10,1	540
	8	70	11,4	590
	9	70	11	582
La Conejera	2	50	9,4	490
	3	50	10,9	556

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Los emisores empleados en las fincas Buenavista y La Conejera para la técnica de riego por aspersión no registraron la presión de operación recomendada, estas se encontraban en promedio un 57% por debajo al valor sugerido por los fabricantes (25 psi), y como consecuencia el caudal que es función de la presión se afectó, igualmente, el CU en la evaluación no correspondía al ideal o al aceptable para una buena aplicación de agua.

De este modo, la Zona 7 de la finca Buenavista y las dos zonas evaluadas en la Finca La Conejera, presentaron un CU del 50%, es decir, la uniformidad a través de la técnica de riego es inaceptable.

Por el contrario, la zona 8 y 9 de la finca Buenavista obtuvo un CU del 70%, lo cual, califica la técnica de riego en estas dos zonas como aceptable; sin embargo, con la uniformidad de aplicación siempre se buscan valores excelentes (90-100%), por lo tanto no se recomienda en general trabajar con estos intervalos.

El otro parámetro técnico que se vio afectado en la evaluación realizada en las fincas Buenavista y La Conejera fue el caudal, el cual estuvo en promedio un 46% por debajo al valor óptimo. Cuando esto ocurre es necesario aumentar los tiempos de riego

para lograr así aplicar la cantidad de agua necesaria, por consiguiente, esto limita optimizar y hacer una buena gestión del recurso hídrico.

En el predio Buenavista el problema de las bajas presiones se debe a que la diferencia de nivel no proporciona la carga hidráulica necesaria para que el emisor trabaje de forma eficiente, esta misma dificultad ocurrió en la Zona 8 y 9, la cuales presentaron un CU del 70%. En el caso específico de la finca La Conejera los problemas en las bajas presiones estuvieron determinados por las pérdidas de fricción en la tubería principal.

8.2.1.6 Recomendaciones para ajustar las técnicas de riego instaladas. A partir de la evaluación en campo de los parámetros técnicos se sugieren ajustes y se hacen recomendaciones que pueden favorecer el riego en las fincas evaluadas.

De acuerdo con las condiciones de la finca Buenavista es posible emplear las técnicas de riego por microtubo, cinta y goteo, no obstante, se le sugiere al agricultor lo siguiente:

- En la Zona 3 se recomienda no implementar riego por cinta y reemplazar esta por la técnica de riego por botones, pues la diferencia de nivel genera la presión de operación necesaria para que esta funcione.
- En la Zona 2 se sugiere sustituir el riego por goteo con la técnica de microtubo, dado que es una zona de baja presión.

En la finca Villa Gloria y La Conejera los problemas de bajas presiones se deben a las pérdidas por fricción en la tubería principal, ocasionadas especialmente por el diámetro reducido de la tubería, por lo tanto, se le sugiere a los agricultores cambiar la línea principal por una de un diámetro mayor.

De igual manera en la finca Villa Gloria no se recomienda la técnica de riego por microtubo para hortalizas, ya que a lo largo del lateral se ubican varios puntos que emiten caudales altos, los cuales el suelo tarda en infiltrar, generando así problemas por encharcamiento; no obstante esta técnica de riego se podría implementar en el predio para especies vegetales con distancias de siembra amplias (>1 m).

Los emisores que se evaluaron para las técnicas de aspersión y microaspersión están determinados para operar a una mayor presión y la diferencia de nivel de los predios evaluados no la proporciona. Aunque a simple vista pareciera que las técnicas de riego aplican el agua de forma uniforme, la evaluación determinó lo contrario, y esto fue derivado por problemas de presión.

Para las técnicas de riego por aspersión y microaspersión fue necesario hacer ajustes que parten de cambiar los emisores empleados, es por esto, que se recomienda utilizar el aspersor Xcel-Wobbler, comercializado por la compañía Senniger, el cual cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 17. *Especificaciones técnicas emisor Xcel-Wobbler.*

Modelo	Color	Boquilla (mm)	Diámetro húmedo (m)	Caudal (l/h)	Presión de operación (psi)
Xcel-Wobbler	Dorado	2.38	11	177	10

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

A partir de las especificaciones técnicas del emisor Xcel-Wobbler, se describen los criterios bajo los cuales trabajaría el nuevo emisor, esto ajustado de acuerdo con su forma de operar y esperando que se adapte a las condiciones de campo. Se aclara que es una alternativa que puede funcionar mejor que los anteriormente seleccionados; sin embargo, se debe seguir buscando en el mercado nacional e internacional emisores que se adapten a las condiciones locales de la ARAC.

Tabla 18. *Ajustes con emisor Xcel-Wobbler de acuerdo con las condiciones de campo para la técnica de aspersión.*

Criterio	Resultado
Espaciamiento entre aspersores	8 m
Espaciamiento entre laterales	9 m
Tasa de aplicación	2,46 mm/h

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

No obstante, la pendiente del terreno de cada finca evaluada puede ser limitante si se tiene en cuenta los problemas de erosión que se pueden generar con la implementación del Aspensor Xcel-Wobbler; sin embargo, si se realizan las prácticas de manejo y conservación de suelos (barreras vivas, surcos, labranza mínima, etc.) es posible prevenir este tipo de inconvenientes, y además esto puede suscitar en el aprovechamiento eficiente del agua.

Por último, para que se logre un manejo y aprovechamiento eficiente del agua se le recomienda al agricultor definir mejor los tiempos de riego y la cantidad de agua a aplicar.

Para las sugerencias se determinó la lámina bruta y los tiempos de riego teniendo en cuenta la evapotranspiración, la cual es de 3,22 mm/día, este dato se obtuvo con el registro de los elementos climáticos que hace la estación de La Primavera, ubicada en el municipio de Subachoque (4° 51' 28,3' N) (Ver Anexo 9).

A continuación se muestra las sugerencias para las técnicas de riego por: microtubo y cinta en la finca Buenavista.

Tabla 19. *Recomendaciones de riego para la Finca Buenavista.*

Técnica de riego	Tiempo de riego actual (min)	Lámina bruta actual (l)	Tiempo de riego sugerido (min)	Lámina bruta sugerida (l)
Microtubo	20	15,62	45	35,15
Cinta	20	72,36	13,74	49,71

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Para aplicar la cantidad de agua necesaria en el tiempo indicado por medio de la técnica de microtubo, se le recomienda al agricultor aumentar el tiempo de riego 25 minutos, puesto que, actualmente se le está suministrando a la planta 19,53 l menos de agua; por consiguiente, la planta puede sufrir de estrés hídrico si no se modifica el tiempo de riego y no se le proporciona una lámina bruta de 35, 15 l.

De forma similar, se le sugiere al agricultor modificar el tiempo de riego para la técnica de cinta; sin embargo, en este caso se recomienda disminuir el tiempo de riego en

6,26 minutos, esto con el fin de aplicar una lámina igual a 49,71 l, ya que actualmente el sistema está suministrando a las plantas 22,65 l de más.

A continuación se muestra las sugerencias para las técnicas de riego por: goteo y cinta en la finca Villa Gloria.

Tabla 20. *Recomendaciones de riego para la Finca Villa Gloria.*

Técnica de riego	Tiempo de riego sugerido (min)	Lámina bruta sugerida (l)
Goteo	12,78	30,68
Cinta	23.1	30,07

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Como se mencionó anteriormente el agricultor de la finca Villa Gloria no tiene cultivos establecidos actualmente, por lo tanto, no se encuentran definidos tiempos de riego. Para que el agricultor pueda hacer un manejo eficiente del agua a través de las técnicas de riego, se le sugiere en el caso de cinta aplicar una lámina de agua igual a 30,07 l en un tiempo de 23,1 minutos.

En el caso particular de la técnica de riego por goteo se aconseja un tiempo de riego igual a 12,78 minutos, esto con el fin de aplicar una lámina de 30,68 l de agua. El agricultor puede diseñar su programa de riego basado en las sugerencias.

Además de emplear los emisores adecuados y de efectuar una planeación de riego oportuna, es importante que el agricultor realice una manipulación adecuada de los elementos de los sistemas de riego al momento de realizar las diferentes labores culturales, igualmente, es conveniente elaborar prácticas de mantenimiento pertinentes, para que de esta manera se mejore la salida de agua por cada emisor y esto permitiría que la técnica de riego instalada funcione con un CU y caudal óptimo.

Lo anterior es válido, ya que algunos autores como: Levidow, Zaccaria, Maia, Vivas, Todorovic y Scardigno (2014) resaltan que son varios los aspectos que influyen en el buen funcionamiento y por ende en la eficiencia de un sistema de riego, ya que la tecnificación del riego por sí sola no garantiza el mejor aprovechamiento del recurso

hídrico si estos sistemas no se operan adecuadamente bajo las premisas de su diseño, los beneficios potenciales dependen del adecuado diseño del sistema, junto con la correcta instalación, operación y mantenimiento, independientemente de la técnica de riego utilizada.

Las investigaciones hasta ahora consultadas recomiendan para riego por goteo, cinta y microtubo frecuencias de riego diarias; sin embargo, la distribución de forma eficiente dependerá entre otras cosas del mantenimiento del sistema, de las propiedades físicas del suelo y las labores de cultivo de la finca Buenavista y Villa Gloria.

Con las sugerencias anteriormente descritas se busca garantizar que este tipo de tecnología funcione bajo los parámetros técnicos indicados y en consecuencia se integre a las condiciones locales de los agricultores de la ARAC, pues así se asegura que se haga un manejo adecuado del agua y de esta manera sirva como aporte a la variabilidad climática, ya que es necesario que las técnicas de riego se adapten a las condiciones sociales, ambientales y económicas del agricultor.

A partir de la evaluación de los parámetros técnicos fue posible identificar las falencias que presentaron los emisores empleados en las técnicas de riego por aspersión y microaspersión para ajustarse a las condiciones de las fincas Buenavista, Villa Gloria y La Conejera, lo cual refleja que no todas las tecnologías en cuanto a riego están siendo diseñadas para las diferentes condiciones de los agricultores, en consecuencia, esto dificulta que sea una posible estrategia de adaptación a la variabilidad climática; ya que según el IDEAM (2014) estas medidas son específicas del lugar, puesto que resultan de un contexto particular que depende de las condiciones sociales, económicas, institucionales, culturales y de la dinámica misma de los procesos socio-ecológicos.

Las causas de la ineficiente aplicación de la lámina de agua por parte de los emisores evaluados (microtubo, goteo, cinta, microaspersión y aspersión) en las finca Buenavista, Villa Gloria y La Conejera se evidencia en otros estudios, como la investigación realizada en Yucatán-México donde se evaluó el coeficiente de uniformidad para la técnica de riego por microaspersión, este representó una amplia variación, desde un 55% hasta 89%, por consiguiente los investigadores concluyen que algunas de las causas

que propiciaron dicha ineficiencia, van desde una posible obstrucción en el sistema, fugas debido a tuberías rotas, válvulas en mal estado y emisores dañados.

De igual manera, otros estudios han demostrado también la deficiencia en las técnicas de riego atribuidas a fallas en la operación y mantenimiento de los mismos. Esto es respaldado por un estudio realizado por Barrios *et al.* (2003), el cual concluye que la baja eficiencia en el riego por aspersión se debe a la inadecuada gestión y operación del sistema; además, estos autores señalan que en estudios similares como los efectuados por González (2000), en evaluaciones de sistemas de riego en palma aceitera utilizando aspersores giratorios, también se encontró una eficiencia muy baja, con coeficientes de uniformidad entre 55 y 65%; destacando que las presiones de operación, y en consecuencia, el caudal descargado, estaban por debajo de lo recomendado por el fabricante.

Por otro lado, Cun *et al.* (2011) en la evaluación de la uniformidad del riego por goteo en condiciones de explotación de hortalizas, concluye que de acuerdo al CU que obtuvo (93% y 83,37%) permitió que las técnicas de riego funcionaran en muchos casos con presiones superiores a las calculadas por el proyecto, lo que provoca que el gasto de los emisores sea superior a los diseñados por el fabricante; sin embargo no siempre es posible conseguir presiones altas cuando no se cuenta con un sistema de bombeo, tal como es el caso de las fincas evaluadas, que hacen uso de la gravedad para realizar el riego de su predio.

El presente estudio y los citados anteriormente demuestran la importancia de realizar un adecuado diseño con el fin de que a través del funcionamiento oportuno de las técnicas de riego se logre una aplicación de agua eficiente, optimizando así el recurso hídrico.

Finalmente y validando lo anterior, un estudio realizado en Centroamérica busca describir las tecnologías alternativas existentes para el uso eficiente y sostenible del agua en la agricultura, como una contribución de adaptación a la variabilidad climática. Esta investigación concluye que estas herramientas, definidas en los sistemas de riego son viables para apoyar a la adaptación climática siempre y cuando a través de estas el agua tenga un manejo adecuado de acuerdo al área y tipo de cultivo utilizado.

8.2.2 Objetivo 2. Caracterización de los parámetros hidrodinámicos del suelo con relación a las técnicas de riego y descripción de las prácticas de cultivo que pueden mejorar el manejo del agua de riego.

8.2.2.1 Parámetros hidrodinámicos. En la tabla 21 y 22 se muestran los resultados de la caracterización de los parámetros hidrodinámicos del suelo de las fincas que fueron objeto de estudio.

Tabla 21. *Caracterización de los parámetros hidrodinámicos a partir de los resultados del Análisis de suelo.*

Finca	Textura	Materia orgánica %	Si (Índice estructural del suelo) %	Densidad aparente gr/cm³
Buenvista	Franco Arenoso	25,96	60,38	1,57
Villa Gloria	Franco Arcilloso Limoso	5,02	6,04	1,5
La Conejera	Franco	23,5	47,0	1,5

Fuente: Tomado del análisis de suelo (Laboratorio Universidad Nacional de Colombia).

Tabla 22. *Caracterización de los parámetros hidrodinámicos del suelo de las fincas objeto de estudio.*

Finca	Infiltración Básica (mm/h)	Total Espacio poroso (%)	Capacidad de Campo (%)	Punto de Marchitez Permanente (%)	Humedad Total Utilizable (%)	Pendiente (%)
Buenvista	25	43	14	7,61	6,39	22
Villa Gloria	8	49	29,23	15,88	13,35	18
La Conejera	13	47	15,82	8,60	7,22	41

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Nota: Los datos de infiltración básica y espacio poroso fueron tomados de Israelsen (1962); los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente fueron determinados a partir de la textura del suelo y finalmente la pendiente se halló directamente en campo.

A continuación en la tabla 23 se muestra la tasa de aplicación de las técnicas de riego, esta se determinó con el fin de compararla con la tasa de infiltración del suelo.

Tabla 23. Tasa de aplicación (mm/h) de los emisores evaluados.

Finca	Goteo	Microtubo	Cinta	Microaspersión	Aspersión
Buenavista	0,94	5,15	17,18	12,27	26,22
Villa Gloria	18,46	144,87	10,26	5,12	X
La Conejera	x	x	X	13,3	23,24

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Nota: La x representa las técnicas de riego no instaladas en esas fincas.

Una vez conocidos los parámetros hidrodinámicos se procede a relacionarlos con las técnicas de riego, esto con el fin de analizar si estos se adaptan o no la condiciones del predio de cada agricultor.

Por último se describe como las prácticas de cultivo que efectúan los agricultores en sus agroecosistemas pueden contribuir a mejorar el manejo del agua de riego, por lo tanto, aprovechar el recurso hídrico de forma eficiente y que sirva como aporte a la variabilidad climática.

- **Pendiente.** Este componente de la topografía del terreno es importante si se considera el papel que cumple en la erosión de los suelos (Leiton, 1985) y en el diseño de riego para operar por gravedad.

La diferencia de nivel del terreno de cada finca evaluada (Buenavista, Villa Gloria y La Conejera) permite la adopción de las cinco técnicas de riego, pues proporciona la energía suficiente para que funcione por gravedad; sin embargo, de acuerdo con la evaluación de los parámetros de operación de cada una (presión, caudal y coeficiente de uniformidad), se determinó que el microaspersor IT y aspersor ITN implementados son exigentes para operar en estas condiciones de campo; no obstante, el aspersor Xcel-Wobbler que se sugiere se ajusta a la topografía y se puede operar por gravedad.

Sin embargo, con la implementación de las técnicas de riego se pueden presentar problemas de erosión debido a la pendiente, por eso es necesario que los agricultores efectuen labores de cultivo que ayuden en la conservación del suelo y del agua; entre las prácticas que se implementan encontramos el arreglo de cultivos en camas siguiendo las

curvas de nivel, el cual ayuda a disminuir las pérdidas de suelo por escorrentía. Si se tiene en cuenta lo anterior y se realiza un esquema de instalación de las técnicas de riego apropiado, estas se pueden adaptar a la condición topográfica del terreno, aprovechando así el beneficio de energía que brindan las parcelas.

- **Textura.** El tipo de textura que presentan las fincas Buenavista y La Conejera permite la implementación de las cinco técnicas de riego presurizado evaluadas, ya que al ser un suelo franco arenoso (57% de arena, 31% limo y 12% arcilla) y franco (49% de arena, 36% limo y 14% arcilla) respectivamente, concede que se logre una buena distribución del agua en el suelo.

Según lo anterior, en el riego por microtubo, goteo y cinta al ser de bajo caudal y al presentarse este tipo de condiciones de suelo, facilita que la dimensión y la forma de bulbo mojado pueda ser aprovechado por el sistema radicular de las plantas, en el caso de las técnicas por aspersión y microaspersión, las cuales distribuyen el agua sobre la superficie simulando la lluvia, sucede algo similar, pues el agua se conduce de forma horizontal y vertical dejando el suelo humedecido de forma homogénea.

Por otro lado, el suelo de la finca Villa Gloria es Franco Arcilloso Limoso (arenas 17%, arcillas 36% y limos 47%), este permite que se lleve a cabo la instalación de las técnicas de riego por cinta, goteo y microtubo; sin embargo, para el caso de microaspersión es importante tener en cuenta el emisor con el cual se trabaje, puesto que el volumen de agua que emiten es mayor, por lo tanto se debe trabajar con emisores con una tasa de aplicación no superior a la tasa de infiltración, esto con el fin de evitar problemas de encharcamiento.

- **Índice estructural.** La estabilidad de los agregados de la finca Buenavista es insatisfactoria según la clasificación descrita por De Leenheer y De Boodt, (1958) (citada por Lobo y Pulido, 2006), ya que el índice estructural del suelo es de 60,38%, pero a pesar de esto, es viable trabajar con riego por microtubo, cinta, goteo, microaspersión y aspersión, ya que las partículas se encuentran lo suficientemente unidas para que la caída de la gota no las afecte.

Por otra parte, el suelo de la finca La Conejera presenta un índice estructural del 47%, este porcentaje determina que la estabilidad de los agregados es mala según la clasificación descrita por De Leenheer y De Boodt, (1958); sin embargo, por el contenido de materia orgánica existente (23%), la velocidad de infiltración no se ve limitada y como resultado es posible implementar las técnicas de riego presurizado, esto siempre y cuando se mejore esta condición, ya sea con la incorporación de materia orgánica, pues esta contribuye a que las partículas minerales individuales del suelo formen agregados estables (Sepúlveda, Tapia y Ardiles, 2010).

Para el caso de la Finca Villa Gloria la implementación de las técnicas de riego se dificulta por la mala estabilidad del suelo, este se encuentra representado con un índice estructural de 6,04%, el cual se debe entre otras cosas, al bajo contenido de materia orgánica (5,02%), sin embargo, si se tiene en cuenta la caída de la gota se puede adaptar la técnica de riego por microtubo, goteo y cinta, las cuales emiten bajos caudales de forma frecuente. Así mismo el riego por microaspersión se puede implementar, claro esta, si opera bajo las condiciones de presión indicadas, pues de no ser así la gota adquiere mayor tamaño y puede fracturar la unión de los agregados.

Finalmente, en función de la estructura del suelo es importante tener en cuenta la pendiente del terreno, pues es posible que se incremente el riesgo por erosión, no obstante, un esquema de instalación adecuado permite prevenir este tipo de inconvenientes; además la incorporación de materia orgánica favorece y mejora la estabilidad de las partículas, lo que a su vez beneficia el riego.

- **Densidad Aparente.** El suelo de las tres fincas posee una densidad aparente similar (Ver tabla 18); sin embargo, es un parámetro altamente variable y depende de muchos factores que van desde la textura, contenido de materia orgánica e incluso el manejo que se le da al suelo (Ingaramo, Paz y Dugo, 2003).

El suelo de la finca Buenavista y La Conejera son de textura liviana y según Leiton (1985) los valores obtenidos de densidad aparente ($1,57 \text{ gr/cm}^3$ y $1,5 \text{ gr/cm}^3$) se ajustan a este tipo de suelo, por lo tanto, favorece la distribución de agua y es posible implementar las técnicas de riego evaluadas.

La materia orgánica y el espacio poroso son propiedades que afectan la densidad aparente, para el caso de la finca Buenavista el contenido de materia orgánica es de 25,96% y el total de espacio poroso es de 43%, datos similares registra el suelo de la finca La Conejera, que presenta un porcentaje de materia orgánica de 23.50% y 47% total de espacio poroso.

De modo similar, el suelo de la finca Villa Gloria posee una densidad aparente de 1,5 gr/cm³; sin embargo, el porcentaje de materia orgánica y de porosidad varía con respecto a la finca Buenavista y La Conejera, al representar un 5,02% de materia orgánica y 49% de porosidad, lo cual a su vez dificulta la velocidad de infiltración.

Si se realizan las prácticas de cultivo adecuadas para mejorar esta condición (labranza mínima, incorporación de materia orgánica), de acuerdo al valor obtenido, es posible implementar las técnicas de riego por cinta, microtubo y goteo para los tres predios evaluados, ya que el volumen de agua que emiten este tipo de emisores puede ser conducido por el suelo sin que se presenten problemas de anegación.

Sin embargo, para trabajar con riego por aspersión y microaspersión es necesario aumentar el porcentaje de materia orgánica, pues así mejorará la aireación del suelo, la porosidad y se evitará problemás de encharcamiento y poco aprovechamiento del agua, la cual por efectos de la variabilidad climática se vuelve escasa.

• **Velocidad de Infiltración.** A la hora de implementar cualquier técnica de riego es importante considerar la velocidad de infiltración del suelo, la cual se encuentra determinada por la textura, estructura y porosidad. Para los casos de las fincas Buenavista, Villa Gloria y La Conejera los parámetros hidrodinámicos del suelo presentaron valores diferentes, por lo tanto la infiltración no es la misma.

A partir de la clasificación sugerida por USDA (United States Department of Agriculture) (1999), se pudo determinar que el suelo de la finca Buenavista tiene una velocidad de infiltración moderadamente lenta, debido a que presenta un valor de 25 mm/h; sin embargo, este parámetro permite que las diferentes técnicas evaluadas (cinta, microtubo, goteo, microaspersión y aspersión) puedan ser implementadas en el predio, ya

que la tasa de aplicación (Ver Tabla 20) no supera la tasa de infiltración. Por otro lado, la técnica por aspersión, requiere utilizar un emisor, cuya tasa de aplicación sea más baja, como es el caso del emisor Xcel- Wobbler, el cual de acuerdo con las condiciones de campo puede generar un valor de 2,46 mm/h y ser apto para esta parcela.

Por el contrario, para el caso de la finca Villa Gloria solo sería posible trabajar con la técnica de riego por microaspersión, ya que la tasa de aplicación (5,12 mm/h) esta por debajo de la velocidad de infiltración, la cual para el suelo del predio es lenta (8 mm/h); pero debido a que esta técnica no cumple con los parámetros técnicos establecidos, no es recomendable; sin embargo, para que sea viable implementar cinta, goteo y microtubo se pueden adecuar prácticas que mejoren las condiciones del suelo y con las cuales se pueda aprovechar mejor el agua.

Cabe resaltar, que la técnica de riego por microtubo se adapta y opera de acuerdo con las condiciones de campo; sin embargo, es necesario realizar la respectiva modificación para mejorar el caudal y por lo tanto generar una menor tasa de aplicación, ya que 144,87 mm/ h representa un valor crítico para la textura de suelo (Franco Arcillosa Limosa) y por lo tanto, puede ser una limitante para la implementación de esta técnica.

Finalmente, aunque la finca La Conejera presenta una infiltración lenta, es posible, al igual que la finca Buenavista adaptar e integrar las técnicas de riego evaluadas, ya que la velocidad de infiltración (13 mm/h) es mayor que la tasa de aplicación, por lo tanto no se producirían problemas por encharcamiento, excepto, en riego por aspersión, el cual presentó en condiciones de campo una tasa de aplicación de 23,24 mm/h, por lo cual se sugiere implementar el aspersor Xcel Wobbler.

- ***Humedad disponible o agua aprovechable.*** El grado de humedad en el suelo después que la fuerza gravitacional ha drenado el agua de los macroporos, dejando los microporos llenos con agua capilar retenida a tensiones muy bajas es lo que se conoce como capacidad de campo (Gliessman, 2002). Este parámetro se determinó a partir de la textura del suelo de las fincas, la cual es de 14% para la finca Buenavista y del 15,82% para la finca La Conejera.

La textura ligera del suelo de ambas fincas tiene buena capacidad para almacenar agua, y al igual que un suelo arenoso puede retener agua a bajas tensiones (1/10 de atmósferas) (Valverde, 2007); por consiguiente, la planta puede disponer del recurso hídrico con facilidad y no gastar la energía que puede aprovechar en otra función.

De modo similar, la textura media del suelo de la finca Villa Gloria también favorece la retención de humedad, puesto que posee gran cantidad de poros que posibilita el almacenamiento del agua, esto genera como resultado que el suelo tenga una capacidad de campo de 29,23%; sin embargo, el agua almacenada no es siempre disponible para las plantas, dado que, para el tipo de suelo del predio (Franco Arcilloso Limoso), la retención del líquido se logra a través de tensiones tan altas que las plantas en crecimiento pueden llegar a marchitarse (Valverde, 2007).

El límite de agua que no es aprovechado por la planta se define como punto de marchitez permanente, para el caso del suelo de la Finca Buenavista y La Conejera este es igual a: 7,61% y 8,60% respectivamente. Estos valores representan el contenido de humedad retenido por las partículas del suelo que las plantas no pueden utilizar para satisfacer sus necesidades hídricas (Valverde, 2007).

El suelo de la finca Villa Gloria tiene un punto de marchitez igual a 15,88%, lo cual hace que la capacidad de agua utilizable sea baja, esto quiere decir, que es el límite mínimo de humedad por debajo del cual las plantas no pueden extraer agua del suelo y en consecuencia es necesario regar con más frecuencia (Israelsen & Hansen, 1985).

Según Valverde (2007) la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, determinada por la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, es conocida como agua disponible y es un parámetro que depende de la textura del suelo. En el caso de las fincas evaluadas estos valores representan: 6,39 % (Buenavista); 13,35% (Villa Gloria) y 7,22 % (La Conejera).

Estos valores simbolizan para cada predio la cantidad de agua que puede ser almacenada en el terreno para su subsiguiente utilización por las plantas (Israelsen & Hansen, 1985). En relación con las técnicas de riego es importante ajustar los tiempos de

riego en función de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, esto con el fin de evitar anegamiento.

8.2.2.2 Prácticas de cultivo que ejecutan los agricultores. A continuación se muestran las prácticas de cultivo que ejecutan los agricultores en sus agroecosistemas y las cuales contribuyen a mejorar la condición del riego.

Tabla 24. *Prácticas realizadas por los agricultores en campo.*

Finca Buenavista	Finca Villa Gloria	Finca La Conejera
Cultivos en surcos o camas	Cultivos en surcos o camas	Cultivos en surcos o camas
Incorporación de materia orgánica	Incorporación de materia orgánica	Incorporación de materia orgánica
Coberturas muertas	Coberturas muertas	Coberturas muertas
Policultivos	Policultivos	Policultivos
Barreras vivas	Abonos verdes	Barreras vivas
Rotación de cultivos	Rotación de cultivos	Rotación de cultivos
Labranza mínima	Labranza mínima	Labranza mínima

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Para que el riego se adapte mejor a su modelo agrícola, los agricultores de la ARAC diseñan y ejecutan prácticas de cultivo respetando los procesos naturales; además, trabajan por crear un ambiente que mejore la relación suelo-agua, optimizando las condiciones de infiltración, densidad aparente, materia orgánica, estructura y porosidad del suelo.

A la hora de instalar un sistema de riego la topografía del terreno constituye un factor clave, ya que como lo menciona la FAO (2008) a medida que aumenta la pendiente, se incrementa el riesgo de erosión debido al desprendimiento de partículas de suelo que causa el impacto de las gotas del riego por aspersion.

Por otro lado, Testi, Orgaz, Argüelles, y Cifuentes (2009) afirman que el riego localizado, por su baja intensidad, no aumenta el fenómeno de la escorrentía superficial incluso con fuertes pendientes, en otras palabras, se evitan problemas de erosión debido a que la fracción de suelo mojado por el riego es muy reducida.

Considerando los posibles problemas de erosión que se pueden presentar en el suelo debido a las pendientes de sus terrenos, los agricultores de las fincas Buenavista, Villa Gloria y La Conejera establecen sus cultivos en camas siguiendo las curvas de nivel, las cuales ayudan a mantener la estructura del suelo y evitar la pérdida del mismo por escorrentía y el impacto de las gotas de los emisores.

Los agricultores mejoran la estabilidad de la estructura de un suelo bajo riego mediante las labores de cultivo que favorecen la porosidad del suelo, la unión de los agregados y el movimiento del agua y el aire, esto lo logran a través de la incorporación de materia orgánica, la cual es un factor estabilizador de la estructura del suelo, ya que ayuda a mantener las partículas minerales unidas frente a las fuerzas desestabilizadoras como el humedecimiento y el impacto de las gotas de lluvia (Lado *et al.*, 2004 citado por Pulido, Lobo y Lozano, 2009).

El porcentaje de materia orgánica de las fincas Buenavista y La Conejera es de 25,96% y 23,50% respectivamente; sin embargo, de acuerdo al diseño de prácticas, la incorporación de materia orgánica es constante y se hace a partir del uso de abonos orgánicos y verdes; también las labores de labranza mínima y rotación de cultivos aumentan la materia orgánica del suelo (Espinoza, Lozano y Velásquez, 2007).

La materia orgánica que adicionan los agricultores tiene efecto en las propiedades biológicas del suelo, sirviendo de alimento a los microorganismos (Julca, Meneses, Blas y Bello, 2006). La actividad de los microorganismos conduce a la producción de estructuras que influyen directamente en el aumento de la porosidad, la intensificación de la velocidad de infiltración, la mejora en la conductividad hidráulica y la estabilidad estructural del suelo (Aina *et al.*, 1984, citado por Jiménez, Decaéns, Thomas y Lavelle, 2003). Al mejorar estas condiciones en el suelo, la distribución del agua por medio de las técnicas de riego sería más eficiente y provechosa para las plantas.

La densidad aparente es otra propiedad que se ve beneficiada con la incorporación de abonos orgánicos, pues cuando el suelo presenta bajos contenidos de materia orgánica y el total de espacios porosos es reducido, la densidad aparente es alta (Salamanca & Sadeghian, 2005).

Otra de las prácticas que ejecutan los agricultores que contribuyen a mejorar la velocidad de infiltración, la densidad aparente del suelo y por consiguiente el riego, es la labranza mínima, la explicación es que los agregados del suelo no se destruyen, por lo cual se conserva la porosidad formada por la estructura del suelo, las raíces de las plantas, la edafo-fauna e incorporación de materia orgánica (Martínez *et al.*, 2014).

Según Rodríguez (citado por Ceballos, Hernández, y Vélez, 2010) la intensidad de las operaciones de la labranza convencional tienden a la deformación de la porosidad del suelo y en consecuencia eleva la densidad aparente y disminuye su estabilidad estructural afectando así la velocidad de infiltración del suelo.

La velocidad de infiltración y la densidad aparente son propiedades importantes a la hora de definir el riego del cultivo, pues ambas son condiciones que limitan la relación suelo-agua. La velocidad de infiltración es primordial, pues cuando la cantidad de agua de riego excede la velocidad de infiltración, puede haber escurrimiento, lo que causa una distribución desigual del agua y posiblemente erosión (Govaerts, Cox y Verhulst, 2013).

Por otro lado, en la relación suelo-agua el comportamiento de los elementos climáticos es fundamental para lograr aprovechar el agua de riego de la forma más eficiente. Para evitar la pérdida de agua por efecto del aumento de la temperatura, los agricultores disponen como estrategia, la adopción de los sistemas de policultivos, ya que estos pueden crear una diversidad de microclimas (Gliessman, 2002), resguardándolo de condiciones meteorológicas adversas, como heladas, alta velocidad del viento o exceso de sol (Guzmán y Alonso, 2008).

Según Altieri y Nicholls (2000) muchos procesos ecológicos se pueden optimizar a partir de los sistemas diversificados. Las oportunidades de coexistencia y de interacción entre especies vegetales, generalmente lleva a aprovechar mejor los recursos, como el agua y la luz (Universidad de Barcelona, 2007).

La cobertura del dosel producida por los policultivos evita la evaporación del suelo, ya que disminuye el contacto de la luz solar; además, esta cobertura puede aumentar la

infiltración del agua en el suelo y disminuir la erosión reduciendo el impacto de las gotas de lluvia en la superficie del suelo (Liebman, 1999).

Otra práctica que tiene efecto similar a la cobertura de dosel producida por los policultivos, es el uso de coberturas muertas. Cuando el suelo está cubierto se reduce la energía aportada por la radiación solar directa, por lo cual baja la evaporación del agua desde el suelo y el contenido de materia orgánica se mantiene (Fundación Chile, 2004).

Con la disminución de la evaporación se conserva la humedad en el suelo, para los agricultores esto es muy importante, pues disminuye la frecuencia de riego y además funciona como estrategia para enfrentar las heladas. El agua retenida tiene la capacidad de almacenar calor, de manera que brinda un adecuado nivel de protección a la planta. Mantener el suelo húmedo a través de las técnicas de riego y el uso de coberturas, crea una situación de protección contra las heladas (Altieri y Nicholls, 2000).

Otra forma en que los agricultores conservan la humedad, reducen los posibles problemas de erosión en el suelo y brindan protección contra fluctuaciones extremas del clima, es a través de las barreras vivas que rodean y protegen su sistema productivo.

Las barreras vivas que conforman las parcelas de los agricultores sirven como complemento para que la aplicación del agua por medio de las técnicas de riego sea eficiente, pues al conservar y plantar árboles, la cobertura forestal reduce la temperatura, la velocidad del viento, la evapotranspiración y protege el agroecosistema a la exposición directa al sol (Altieri y Nicholls, 2009).

Las prácticas de cultivo de la agricultura tradicional como las que ejecutan los agricultores de la ARAC han permitido desarrollar sistemas agrícolas adaptados a los escenarios locales generados por la variabilidad climática (Altieri y Nicholls, 2009). Estas prácticas ayudan a conservar la estabilidad del suelo y por lo tanto influyen en las características hidrodinámicas de este, las cuales a su vez están estrechamente relacionadas con el manejo del agua de riego.

Así mismo, otras investigaciones como la realizada por Holzapfel *et al.*, (2009) resaltan que en el diseño, la gestión y operación de las técnicas de riego se deben tener en

cuenta: el suelo, la hidráulica, el factor económico, energético, y ambiental, factores que tienen gran importancia dentro del modelo agroecológico en el que vienen trabajando los agricultores de la ARAC.

Para entender la integración de estos factores, es importante reconocer que en un agroecosistema intervienen factores de todo tipo, los cuales se pueden agrupar en los recursos: humano, capital, de producción y natural, este último, es determinante en los procesos de producción agrícola (Restrepo, Ángel y Prager, 2000). Los aspectos a considerar del recurso natural en las áreas agrícolas son: el agua, el clima, el suelo y sus elementos, los cuales gracias a sus procesos de interacción hacen posible el funcionamiento del sistema agrario.

Así pues, de acuerdo con lo anterior, no podemos ver las técnicas de riego ajenas a los otros factores que componen el agroecosistema, el riego debe ser trabajado desde una visión integral, con el fin de fortalecer los procesos que lleven al sistema de producción a tener mayor sostenibilidad (Carrazón, 2007) y a fortalecer las capacidades del agricultor para que así logre adaptarse a los efectos que trae consigo la variabilidad climática. Algunos de los factores que se relacionan con el riego para definir un mayor potencial productivo son: origen de las semillas, labores de cultivo, sanidad y nutrición de este, cosecha, comercialización, etc.

8.2.3 Objetivo 3. Análisis participativo. Con el fin de conocer la percepción que tienen los agricultores hacia las técnicas de riego implementadas en este proyecto, se realizó un taller participativo en la finca Buenavista, donde asistieron los agricultores de las fincas objeto de estudio (Buenavista, Villa Gloria y La Conejera). Además, a esta actividad asistieron: ocho (8) miembros del ARAC, el docente Mario Molano, quien asesoró el taller y un estudiante del programa Ingeniería Agroecológica que aportó sus conocimientos en el transcurso del taller.

Se realizó un reconocimiento en campo en el que se describían los aspectos más relevantes a tener en cuenta al momento de implementar un sistema de riego en una parcela, para esto se tuvo en cuenta los criterios establecidos en el formato para la evaluación de la

perspectiva de los agricultores (Ver anexo 7) y además la participación del agricultor Pedro González quien dio a conocer su experiencia con las técnicas de riego instaladas.

Siendo un ejercicio de participación, los agricultores daban a conocer su punto de vista a partir de conocimientos previos acerca de cada técnica de riego, las experiencias que habían tenido con estas, además, resaltaban las ventajas y desventajas que veían en utilizar una u otra técnica.

Según Riera (2013) entre las estrategias que se pueden generar a partir de los ejercicios participativos como el efectuado en el taller con la ARAC, es la de integrar nuevas tecnologías que pueden ser una herramienta de adaptación exitosa a la variabilidad climática ya que prevé seguridad y estabilidad en la producción, pero esta capacidad va de la mano de otras disposiciones para la acción que tienen que ver con un proceso que se desarrolla dentro del agroecosistema.

Al finalizar el taller se realizó una socialización y los miembros de la ARAC expresaron las impresiones que tuvieron acerca de las técnicas de riego, resaltaron la importancia de desarrollar una planeación y un diseño de instalación adecuado de las técnicas de riego según sus condiciones, además notaron que era importante un sistema de filtrado para que el mantenimiento y las labores de operación se puedan realizar con mayor facilidad.

Por último, los participantes realizaron una evaluación de cada técnica de riego con respecto a los ítems expuestos en el taller, con un intervalo de calificación de 1 a 5, y así dieron un juicio de valor acerca de las técnicas allí instaladas.

La Tabla 25 muestra los datos obtenidos a partir del análisis realizado con el programa estadístico SPSS, en el cual se muestra la media y la varianza de los valores que se le asignaron a cada criterio de evaluación de acuerdo con la técnica de riego.

Tabla 25. *Análisis de percepción de los agricultores hacia las técnicas de riego instaladas.*

Criterios	Estadístico	Técnicas de Riego				
		Micro-tubo	Goteo	Cinta	Micro-aspersión	Aspersión
Instalación	Media	3,27	4,09	4,09	3,09	3,55
	Varianza	1,018	0,291	0,291	0,691	1,273
Operación	Media	3,36	3,18	3,27	3,27	4,09
	Varianza	0,455	0,564	0,218	0,818	0,891
Mantenimiento	Media	3,18	2,91	2,73	3,27	3,82
	Varianza	0,764	1,091	0,818	1,018	1,364
Fragilidad del sistema.	Media	2,91	3,27	3,00	3,27	4,00
	Varianza	0,891	0,82	1,00	1,618	1,000
Distribución de agua en el cultivo	Media	3,55	3,27	3,36	3,82	3,82
	Varianza	1,673	1,82	1,055	1,164	1,964
Adaptable al modelo agrícola	Media	3,73	3,55	3,64	3,82	4,27
	Varianza	1,218	1,07	1,055	1,164	0,818
Efecto ambiental	Media	4,09	4,09	4,20	3,91	3,55
	Varianza	0,491	0,691	0,622	0,491	1,273
Consumo de agua	Media	3,55	3,91	3,64	3,09	2,82
	Varianza	0,873	0,491	0,455	0,291	0,964

Fuente: Carvajal e Ibáñez, 2015.

Los resultados que se obtuvieron a partir del análisis estadístico elaborado por medio del programa SPSS, demostraron que los agricultores no cuentan con la misma percepción hacia algunos aspectos que influyen en las técnicas de riego. Por esta razón para efectos de la investigación el análisis se hizo tomando la varianza como medida de referencia, ya que este estadístico nos arroja el grado de homogeneidad, es decir, permite ver que tan dispersa es la perspectiva de los agricultores frente a cada criterio de evaluación con respecto a las técnicas implementadas.

A continuación, se presenta el análisis que da a conocer el punto de vista de los agricultores de la ARAC frente a las técnicas de riego, en función de cada criterio de evaluación.

8.2.3.1 Instalación. Los miembros de la ARAC concluyeron que las técnicas de riego que presentan un nivel de dificultad menor al momento de instalar, es decir, de realizar la labor de montaje de todos los elementos que hacen parte de la técnica de riego, son: goteo y cinta. Según los participantes estas dos técnicas son fáciles de instalar, esto se debe a que este tipo de riego no requiere de demasiados accesorios y tampoco de herramientas especiales que dificulten su implementación. Además los agricultores resaltan que la experiencia es muy importante en este tipo de procesos ya que facilita la instalación y no exige personal externo.

Las técnicas de riego por microtubo, microaspersión y aspersión presentaron un grado de homogeneidad bajo en la evaluación del criterio, es decir, que los participantes del taller no presentaron una opinión en común sobre la instalación de estas técnicas, lo anterior se debe en el caso de microtubo, a que este tipo de riego es poco conocido por parte de los agricultores y aunque su instalación no requiere de accesorios y demasiada mano de obra, resulta ser algo nuevo para esta comunidad, por lo tanto la percepción hacia esta técnica es variable.

Por otro lado, para el caso de las técnicas de riego por microaspersión y aspersión la instalación requiere de más accesorios y herramientas, además, el trabajo por parte del agricultor es más arduo, ya que es importante que las mangueras de conducción sean enterradas para extender su vida útil.

8.2.3.2 Operación. La labor de operación puede resultar más compleja, ya que no solo requiere abrir la válvula de apertura, además implica verificar si los emisores realmente están funcionando, comprobar si las conexiones entre accesorios no están presentando fugas de agua que ocasionen mayores pérdidas, entre otras tareas.

De acuerdo con lo anterior, los participantes de la ARAC consideran que las técnicas por microtubo y cinta se encuentran en un nivel 3 de dificultad, es decir que son

medianamente difíciles de operar, debido a que tanto microtubo como la cinta demandan y exigen mayor calidad física del agua para riego, pues el diámetro de salida del agua es reducido y puede llegar a taparse con facilidad, esto resulta ser para el agricultor una labor ardua, ya que requiere revisar constantemente el sistema.

Las técnicas de riego por goteo, microaspersión y aspersión presentaron un grado de dispersión mayor con respecto al riego por microtubo y cinta, sin embargo, es importante resaltar que la técnica de goteo también se ve afectada por la calidad del agua, lo que requiere de una mayor inspección por parte del agricultor y hace que operarla no sea fácil. Por su parte, las técnicas de aspersión y microaspersión pueden presentar limitantes debido a sus requerimientos técnicos, como lo son la presión, esto puede provocar que el sistema no opere de forma adecuada y por lo tanto que no sea sencillo de emplearlo.

8.2.3.3 Mantenimiento. La labor de mantenimiento es importante porque ayuda a garantizar un adecuado funcionamiento y además asegura el periodo de vida útil de los elementos del sistema, no obstante, los agricultores coinciden en que es una tarea que requiere de tiempo y dedicación.

Para la mayoría de los participantes las técnicas de microtubo y cinta son medianamente difíciles de mantener, ya que, el microtubo requiere una revisión constante para verificar que el emisor no este tapado, por lo tanto es necesario retirar el microtubo y dejar correr las partículas que lo puedan estar obstruyendo, la labor es dispendiosa si se tienen en el sistema gran cantidad de puntos o microtubos.

Por otra parte, para el mantenimiento de la técnica de riego por cinta se requiere mayor cuidado, puesto que, según el agricultor Pedro González, esta técnica es apropiada para cultivos de larga duración, pero para cultivos de ciclo corto la vida útil puede ser menor, ya que para realizar actividades como la siembra, es necesario recogerla, y esta manipulación puede incurrir en que se produzca un daño mecánico en los laterales.

Las técnicas por goteo, microaspersión y aspersión presentaron un alto grado de dispersión en su valoración, pero como se mencionó en el criterio de operación, la técnica

por goteo requiere de agua de mayor calidad para que la salida no se vea obstaculizada, lo mismo sucede con microaspersión, esto hace que su labor de mantenimiento sea ardua.

Por otra parte, aspersión cuenta con una boquilla de mayor diámetro, lo cual implica que la tarea de mantenimiento sea más fácil de realizar, claro está si esta labor se hace solo en los emisores, porque si se requiere hacer mantenimiento a nivel interno, esto sí podría representar un nivel de dificultad mayor.

8.2.3.4 Fragilidad del sistema. Las técnicas de riego pueden verse afectadas por factores como: aire en la tubería, la presión, el clima, partículas en el agua, roedores, etc. Para los agricultores de la ARAC las técnicas de microtubo y goteo son medianamente sensibles a este tipo de elementos, ya que al estar sobre la superficie están más expuestos y por ende tienden a deteriorarse más, por ejemplo las labores de manejo como podar, guadañar, realizar el plateo, pueden ocasionar el taponamiento en los emisores o dañarlos.

Otro factor que puede llegar a perjudicar la calidad de los diferentes elementos del sistema es el clima, ya que los accesorios, mangueras y emisores se encuentran expuestos al calor y a la humedad. Los colores en los emisores también son un factor que influye, pues algunos tonos pueden atraer o llamar la atención de algunos animales, los cuales pueden causar daños en los accesorios o emisores del sistema.

Estas dos técnicas cuentan con orificios con un diámetro pequeño, para los agricultores esto representa una dificultad ya que son sensibles ante cualquier partícula presente en el agua y al no poseer un sistema de filtración que permita que la calidad del agua sea óptima, estos serán más frágiles.

Este tipo de técnicas de riego de bajo caudal en especial microtubo, son sensibles a la presión, ya que si esta supera cierto nivel, los microtubos podrían ser expulsados de la línea lateral. En el caso de goteo, esta técnica se puede ajustar a presiones más altas que microtubo, pero de igual manera, el sistema debe operar a la presión indicada pues los goteros también se podrían ver afectados.

Las técnicas de riego por cinta, microaspersión y aspersión presentaron un grado de varianza alto, debido a que los agricultores no opinan lo mismo acerca del nivel de

sensibilidad de los sistemas, por ejemplo algunos agricultores afirman que la cinta es muy sensible debido a las prácticas de cultivo que se deben realizar en el sistema productivo. Las técnicas de microaspersión y aspersión pueden sufrir deterioro en sus boquillas, al estar expuestas al ambiente, además si no se hace una labor de mantenimiento constante, los emisores podrían reducir su vida útil.

Sin embargo, otros agricultores piensan lo contrario y aseguran que las técnicas de riego por microaspersión y aspersión no son sensibles, puesto que al estar las líneas laterales enterradas el sistema no se ve expuesto a los posibles daños ocasionados por el sol y las prácticas de cultivo.

8.2.3.5 Distribución de agua en el cultivo. La forma de distribución de agua que hace una técnica de riego es fundamental para determinar qué tan efectiva es para las condiciones de los agricultores, además se garantiza que las plantas estén aprovechando y recibiendo el agua de forma homogénea.

Según esto, los participantes determinaron que la técnica de cinta es medianamente uniforme en la aplicación de agua, ya que las labores de mantenimiento y operación influyen en el buen desempeño de este tipo de sistemas, y al tener la cinta una mayor manipulación, debido a todas las labores de manejo, hace que la uniformidad de distribución del agua se vea afectada.

Del mismo modo, la técnica por microaspersión cuenta con una uniformidad media para los participantes de la ARAC, dado que distribuye el agua sobre la superficie del suelo simulando la lluvia, esto hace que los agricultores puedan visualizar la uniformidad de riego y por lo tanto generar esta calificación.

La percepción que tienen los agricultores en cuanto a la distribución de agua en el cultivo por parte de las técnicas de microtubo, goteo y aspersión no presentan una homogeneidad en su valoración, esto se puede deber a que las condiciones con las que cuenta cada agricultor influyen en el funcionamiento de las técnicas de riego, por ejemplo, si el terreno cuenta con una diferencia de nivel significativa, es posible que técnicas como aspersión funcionen de forma eficiente y su distribución sea uniforme.

Los agricultores mencionan que las técnicas de microtubo y goteo tienden a ser más uniformes ya que su método de riego es localizado; no obstante este puede llegar a ser menor, si no se hace una buena labor de mantenimiento en el sistema.

8.2.3.6 Adaptable al modelo agrícola. Cada sistema productivo cuenta con características y condiciones propias, lo cual hace que las técnicas de riego deban ajustarse ante este tipo de contextos. Para los agricultores el riego por cinta y aspersión se logran adaptar a las especies vegetales, al diseño de siembra y a las labores de mantenimiento de los cultivos.

La cinta aunque requiere una manipulación cuidadosa, logra adaptarse con facilidad a diferentes condiciones topográficas, sin embargo, la limitante que puede presentar esta técnica se da en cuanto a la planeación del sistema productivo, ya que al realizar la rotación de cultivos se modifican las distancias en que la cinta se estableció.

La técnica de aspersión presenta una valoración de 4, es decir que para los agricultores esta técnica es adaptable al modelo agrícola, esto se debe a que el riego por aspersión de la manera que fue instalado permite que las especies sean establecidas según la planeación del agricultor y al estar la manguera de conducción enterrada no impide realizar las tareas de campo correspondientes a cada cultivo.

El grado de dispersión en la evaluación realizada por los agricultores para las técnicas de riego por microtubo, goteo y microaspersión fue alto, debido a que algunos agricultores creen que este tipo de técnicas se pueden adaptar al modelo agrícola, ya que al ser riego localizado este puede ajustarse a las dimensiones del sistema productivo, pero hay que tener en cuenta las labores que se deben realizar en el cultivo.

8.2.3.7 Efecto ambiental. El impacto que pueda causar una técnica de riego en las especies establecidas es un factor a tener en cuenta, tanto en el diseño de riego como también en la planeación de los cultivos establecidos. Algunos agricultores concuerdan en que las técnicas de riego por microtubo y microaspersión son las que presentan un efecto ambiental bajo, esto se debe a la forma en que operan estas dos técnicas.

La técnica de microtubo es considerada como un método de riego localizado, el cual mantiene húmeda la zona próxima a las raíces de la planta, por lo tanto está no causa ningún impacto en el follaje, y al emitir bajo caudal tampoco se está generando un efecto negativo en el suelo; sin embargo, es importante manejar una longitud y distancia adecuada entre emisores, para evitar que del microtubo salga más agua de la necesaria y esto produzca encharcamiento.

Por otro lado, la operación y el funcionamiento de la técnica de microaspersión permite que el agua se distribuya en forma de lluvia sobre el suelo, emitiendo así un gota fina que genera un impacto mínimo en la planta, es por esto que para los agricultores esta técnica tiene un efecto ambiental bajo.

No todos los agricultores tienen la misma percepción sobre el efecto ambiental generado por las técnicas de goteo, cinta y aspersión, los participantes del taller no coincidieron al momento de la evaluación, esto debido que para algunos la técnica de aspersión puede causar un impacto alto en el follaje de la planta, debido a que el peso de la gota es mayor y puede ocasionar daños en las hojas o flores; además la caída de la gota puede generar problemas de erosión y fracturar la unión de los agregados.

Así mismo, las técnicas por goteo y cinta pueden presentar un efecto ambiental alto, si no se controlan y planean de forma correcta los tiempos y las frecuencias de riego, ocasionando tanto un déficit hídrico en la planta como saturación en la misma.

8.2.3.8 Consumo de agua. La cantidad de agua que las técnicas de riego emplean depende de varios factores, entre estos la operación del sistema, los tiempos y frecuencias de riego que el agricultor maneje.

Para los agricultores de la ARAC, la cinta y microaspersión consumen un volumen de medio a bajo, esto se debe a que son técnicas de riego que funcionan bajo el principio del método de riego localizado, por lo tanto la aplicación del agua se hace directamente a la planta y las pérdidas son menores.

Por otro lado, la dispersión en la percepción de los agricultores frente a las técnicas: microtubo, goteo y aspersión, no varía en gran medida con respecto a las técnicas

anteriormente mencionadas, esto quiere decir que para los agricultores estas generan un consumo entre medio y bajo, por lo tanto, las cinco técnicas hacen un uso adecuado del recurso hídrico ya que no representan mayor gasto en el consumo de agua.

Este tipo de ejercicios de participación como el realizado con la ARAC son importantes para la investigación, ya que como lo menciona Mazabel *et al.* (2010) a partir de este tipo de escenarios de intercambio de conocimientos se generan acciones con impacto positivo en las condiciones de vida de las poblaciones involucradas, donde muchas tecnologías como los sistemas de riego se pueden desarrollar y explotar; además, con esto se fortalece la capacidad para realizar un manejo sustentable de los recursos hídricos.

Uno de los impactos positivos que se genera a partir de estos ejercicios participativos, según King (2014) es que se puede lograr una adaptación comunitaria a la variabilidad climática, lo cual sería un enfoque eficaz, puesto que se gestionan estrategias con un fuerte sentido de pertenencia y se cumplen sus prioridades ya que se toman decisiones más flexibles en un contexto apropiado.

Por otra parte, analizando la percepción que tienen los agricultores acerca de las técnicas de riego, se pudo conocer que no todos tienen el mismo conocimiento de este tipo de tecnologías, y es ahí como según Cruz, *et al.* (2011) muchos de los nuevos equipos en cuanto a sistemas de riego están en desuso por diversas razones, entre las que predomina el rechazo de los usuarios por desconocimiento de las técnicas de riego, esto se debe en gran medida a que en el momento de la implementación de este tipo de técnicas de riego no se cuenta con el agricultor.

Finalmente, Riera (2013) afirma que es con base en el conocimiento de los principios de acción y percepción de los individuos que podrán reconstruirse objetivos colectivos, o en otras palabras, medidas de adaptación que se entiendan desde la percepción de los agricultores, las cuales dependen de las condiciones sociales, culturales y económicas; además de las experiencias de los individuos.

9. Conclusiones

- En las fincas objeto de estudio el CU para las técnicas de riego presurizado registraron los siguientes porcentajes: microtubo 70%-90%, goteo 70%, cinta 70%-80%, microaspersión 40%-60% y aspersión 50%-70%, a partir de esto, se concluye que la variación de este parámetro técnico estuvo determinado por problemas derivados en las bajas presiones y por consiguiente en el caudal, además de esto, la obstrucción de los emisores debido a las prácticas de mantenimiento y operación no oportunas, las labores de cultivo y las partículas en suspensión en el agua de riego, fueron otros de los factores que generaron que el CU no tuviera una valoración excelente (90% - 100%).

- Las pérdidas por fricción en la tubería principal fueron de 7,5 psi para la finca Villa Gloria y 39,05 psi para la finca La Conejera, estos valores influyeron en las bajas presiones de operación de las técnicas de riego instaladas y en consecuencia ningún CU fue igual al 90%, es decir excelente, excepto en el caso de microtubo que es una técnica que funciona con bajas presiones (>3 psi).

- La diferencia de nivel de las parcelas evaluadas favorece la implementación de las cinco técnicas de riego presurizado; sin embargo, es importante trabajar con los emisores que operen a ultrabaja y baja presión, esto con el fin de obtener un CU excelente, es decir que se ubique en el intervalo de 90% - 100%.

- Las técnicas de riego por microaspersión y aspersión presentaron falencias en su funcionamiento ya que los emisores evaluados (microaspersor IT y rociador trompo ITN) no lograron la presión de operación ideal bajo las condiciones locales de las fincas. Una de las posibles causas se debe a que estos emisores como muchos otros, son diseñados para satisfacer la demanda de grandes productores, olvidando así al pequeño agricultor, quien debe adaptar las herramientas existentes, las cuales no dan resultados eficientes por no estar ajustadas a su contexto.

- Bajo los parámetros hidrodinámicos del suelo de las fincas Buenavista y La Conejera, las cinco técnicas de riego presurizado se adaptan. La textura ligera, la velocidad de infiltración, la densidad aparente, estabilidad estructural y porosidad del suelo son

óptimas para el riego, creando así una condición favorable que con el tiempo y la frecuencia de aplicación apropiada, pueden contribuir a aprovechar mejor el agua cuando el recurso hídrico es escaso por efecto del fenómeno del Niño.

- De acuerdo con las propiedades hidrodinámicas del suelo de la finca Villa Gloria es posible trabajar con riego localizado (microtubo, goteo, cinta y microaspersión). En el caso de la técnica de riego por aspersión, la implementación se dificultan debido a que el suelo es de textura media, por lo tanto, limita el movimiento del agua produciendo posibles problemas por encharcamiento; sin embargo, para la adopción de esta técnica el agricultor debe trabajar con el emisor apropiado, garantizando que la tasa de aplicación no supere la velocidad de infiltración.

- A través del efecto que tienen las prácticas de cultivo sobre los parámetros hidrodinámicos del suelo es factible trabajar con las cinco técnicas de riego presurizado en las fincas evaluadas, ya que por medio de estas labores se mejora la densidad aparente y la estabilidad de los agregados; además, aumenta la porosidad, la velocidad de infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua; así pues, las propiedades físicas del suelo son muy importantes si se busca aprovechar el agua de riego de forma eficiente.

- Las técnicas de riego se adaptan a los sistemas productivos de los agricultores de la ARAC, ya que se integran y complementan con los recursos existentes, como los son: las barreras vivas, cultivos en surco, los policultivos, entre otras; además, son estrategias que aportan a la variabilidad climática haciendo el agroecosistema menos vulnerable.

- Los agricultores de la ARAC difieren en la percepción acerca de las técnicas de riego, principalmente en los criterios de mantenimiento, fragilidad del sistema, distribución de agua en el cultivo y adaptabilidad al modelo agrícola; posiblemente, esto se debe porque no todas las condiciones físicas de los agroecosistemas son iguales; sin embargo, la problemática de los impactos generados por la variabilidad climática los motiva a dirigir sus esfuerzos en adaptar una tecnología a sus sistemas productivos.

- La percepción y conocimiento que tienen los agricultores de la ARAC acerca de las técnicas de riego, posibilita que se dirijan los esfuerzos de la comunidad en mejorar el

diseño de las técnicas, esto con el fin de ajustarlas a las condiciones reales de cada agricultor; además, son medidas que permiten un buen manejo del recurso hídrico y por lo tanto mayor aprovechamiento del agua cuando se presenta escasez.

- Seleccionar e integrar tecnologías de riego que logren constituirse como medida de adaptación de la agricultura frente a la variabilidad climática dependen de múltiples factores, algunos de estos son: que se ajuste al modelo agrícola, por ende, que vaya acorde a los parámetros hidrodinámicos del suelo, que opere bajo las premisas técnicas del fabricante, para que de esta manera sea eficiente en su funcionamiento y por último pero no siendo menos importante, que responda a las necesidades y expectativas del agricultor.

- Esta investigación evidencia que una de las medidas de adaptación más eficientes para responder a los escenarios generados por la variabilidad climática es la implementación de tecnologías de riego, esto, dado su aporte a la sustentabilidad de la ARAC; en otras palabras, es un medio que aporta al enfoque social, económico y ambiental, puesto que, es una herramienta que le brinda la posibilidad al agricultor de fortalecer su sistema productivo, puede trabajar bajo el concepto de mínimo costo, y además, ayuda a hacer un mejor manejo del recurso hídrico de manera que no afecta el medio ambiente.

10. Recomendaciones

- Dar continuidad al trabajo con los demás asociados de la ARAC; instalando, evaluando y ajustando las técnicas de riego de acuerdo con las condiciones de cada finca.
- A través de las sugerencias descritas, continuar con las mejoras a las técnicas de riego de cada finca objeto de estudio.
- Implementar y evaluar un filtro para evitar que partículas suspendidas en el agua afecten el correcto funcionamiento de los emisores y por consiguiente los dañen.
- Mejorar el efecto multiplicador de las técnicas de riego a través de la unión y trabajo entre agricultores.
- Continuar y fortalecer las prácticas de cultivo que actúen en sinergia con las técnicas de riego.
- Diseñar proyectos orientados en mejorar la capacidad de adaptación a la variabilidad climática de los agricultores de la ARAC a partir del manejo adecuado del agua y el suelo.

11. Referencias bibliográficas

Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006). Part A. Reference evapotranspiration (ET_o). En R. Allen, L. Pereira, D. Raes, y M. Smith, *FAO Irrigation and Drainage Paper* (págs. 15-27). Roma: FAO.

Altieri, M., y Nicholls, C. (2000). Definiendo una estrategia de manejo de los recursos naturales (MRN) para agricultores pobres. En M. Altieri, y C. Nicholls, *Teoría y práctica para una agricultura sustentable* (págs. 99-113). México D. F: PNUMA.

Altieri, M., y Nicholls, C. (2009). Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA*, 5-8.

Amemiya, M. (2010). Energía y Sustentabilidad: algunas características de la energía sustentable. *Revista Digital Universitaria*, 13(10).

Barrios, R., Arteaga, A., Florentino, A., y Amaya, G. (2003). Evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersion en suelos cultivados con palma aceitera. *UDO Agrícola*, 39-46.

Bergkamp, G., Orlando, B., y Burton, I. (2006). Mounting evidence, emerging responses. En G. Bergkamp, B. Orlando, & I. Burton, *Change. Adaptation of Water Management to Climate Change* (págs. 5-15). Switzerland and Cambridge: Chris Spence.

Boshell, F. (2010). *Contextualización de los efectos del cambio climático en la agricultura*. Perú. InWent.

Cabrera, M., Cuervo, P., Duarte, M., González, J., Lamprea, P., y Lozano, R. (2010). Adaptación. En IDEAM, *Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (págs. 325-363). Bogotá: Scripto Ltda.

Calvente, A. (2007). El concepto moderno de sustentabilidad. *Socioecología y desarrollo sustentable*.

Canal, N. (2006). Técnicas de muestreo. Sesgos más frecuentes. *Seden*, 121-132.

Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Roma: FAO.

Ceballos, D., Hernández, O., y Vélez, J. (2010). Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas en un andisol del departamento de nariño. *Revista de Agronomía*, 27 (1), 40-48.

Cedillo, E., y Calzada, M. (sf). *Los sistemas de riego y las semillas mejoradas en la agricultura moderna*. México: UNAM.

Cisneros, R. (2003). *Apunte de la materia de riego y drenaje*. San Luis de Potosi: Universidad Autónoma de San Luis Potosi.

Cruz, D. I., Ramirez, Sanchez, Lomas, y Cano. (2011). Diagnostico y Evaluacion De Sistemas De Riego En El Distrito 048 Ticul, Yucatán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5-18.

Cun, R., Puig, O., Morales, C., y Duarte, C. (2011). Evaluación de la uniformidad del riego por goteo en condiciones de casas de cultivo en explotación. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 36-39.

Dazé, A., Ambrose, K., y Ehrhart, C. (2010). *Manual para el Análisis de Capacidad y Vulnerabilidad Climática*. Perú: Care.

Departamento Nacional de Planeación. (2008). *Documento CONPES 3527. Política Nacional de Competitividad y Productividad*. Bogotá.

Departamento Nacional de Planeación. (2012). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio climático*. Bogotá.

Diaz, J. (2006). *Riego por gravedad*. Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.

Espinoza, Y., Lozano, Z., y Velásquez, L. (2007). Efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo. *INCI*, 32(8), 554-559.

FAO. (2008). Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego adecuado. En FAO, *El desarrollo del microrriego en América Central* (págs. 27-39). Santiago de Chile: FAO.

FAO. (2013). *Ley marco Derecho a la alimentación, seguridad y soberanía alimentaria*. Panamá: Comité asesor editorial.

FAO. (sf). *Adaptación de la agricultura al cambio climático*. América Latina: Comité asesor editorial.

Fresco, A. (2003). Manejo del agua en el antiguo Ecuador. *Revista Española de Antropología Americana*, 245-257.

Fundación Chile. (2004). Labranza del suelo y el efecto del rastreo en las rotaciones. En F. Chile, *Rotaciones de cultivos y sus beneficios para la agricultura del sur* (págs. 41-53). Santiago de Chile: Rouanet, J.L.

Gliessman, S. (2002). Diversidad y estabilidad del agroecosistema. En S. Gliessman, *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible* (págs. 229-247). Costa Rica: AGRUCO-CATIE.

Govaerts, B., Cox, R., y Verhulst, N. (2013). *Infiltración: guía util para comparar las prácticas de manejo de cultivo*. México DF: CIMMYT.

Gutierrez, M., y Espinosa, T. (2010). *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático*. Washington D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.

Guzmán, G., y Alonso, A. (2008). *Buenas prácticas en producción ecológica*. Granada: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Holzapfel, E., Pannunzio, A., Lorite, I., de Oliveira, A., y Farkas, I. (2009). Design and management of irrigation systems. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 17-25.

ICA. (2010). *Alertas sanitarias y fitosanitarias en función de la predicción climática-recomendaciones de manejo fenómeno de La Niña*. Bogotá: Comité asesor editorial.

IDEAM. (2010). *Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Bogotá.

IDEAM; PNUD; Alcaldía de Bogotá; Gobernación de Cundinamarca; CAR; Corpoguavio; Instituto Alexander von Humboldt. (2014). *Vulnerabilidad de la región capital a los efectos del cambio climático*. Bogotá: Plan Regional Integral de Cambio Climático (PRICC).

IDEAM; PNUD; Bogotá, Alcaldía de; Cundinamarca, Gobernación de; CAR; Corpoguavio; Humboldt, Instituto Alexander von; Colombia, Parques Nacionales Naturales de; MADS; DNP. (2012). *Incorporación de la gestión adaptativa de los riesgos hidroclimáticos en el ordenamiento territorial*. Bogotá D.C.: Comité asesor editorial.

Ingaramo, O., Paz , A., y Dugo, M. (2003). *Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la Península Ibérica*. Argentina: Comité asesor editorial.

IPCC. (2001). *Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001, Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Ginebra: Comité asesor editorial.

IPCC. (2002). *Cambio Climático y Biodiversidad*. Comité asesor editorial.

IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Ginebra: Comité asesor editorial.

IPCC. (2014). *Cambio climático 2014- Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Suiza: Comité asesor editorial.

IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas*. Ginebra: Comité asesor editorial.

Israelsen, O., y Hansen, V. (1985). *Principios y Aplicaciones del Riego*. Barcelona: Reverté, S. A.

Julca, A., Meneses, L., Blas, R., y Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA*, 24(1), 49-61.

King, S. (2014). *Community-Based adaptation in practice: A global overview of CARE International's practice of Community-Based Adaptation (CBA) to climate change*. Care.

Lau, C., Jarvis, A., y Ramírez, J. (2011). Agricultura colombiana: Adaptación al cambio climático. *CIAT Políticas en Síntesis no. 1*, 4.

Leiton, J. S. (1985). *Riego y Drenaje*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.

Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R., Vivas, E., Todorovic, M., y Scardigno, A. (2014). Improving water- efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. *Agricultural Water Management*, 84-94.

Liebman, M. (1999). Sistema de policultivos. En M. Altieri, *AGROECOLOGIA: Bases científicas para una agricultura sustentable* (págs. 191-202). Montevideo: Nordan-Comunidad.

Lobo, D., y Pulido, M. (2006). *Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela.

Lop, A., Peiteado, C., y Bodas, V. (2005). *Curso de riego para agricultores*. España: WWF.

Martínez, M., Jasso, C., Osuna, E., Reyes, L., Huerta, J., y Figueroa, B. (2014). Efecto del fertirriego y labranza de conservación en propiedades del suelo y el rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5 (6), 937-949.

Mazabel, D., Romero, M., y Hurtado, M. (2010). La evaluación social de la sustentabilidad en la agricultura de riego. *Ra Ximhai*, 199-219 .

Mendoza, A. (2013). *Riego por goteo*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2012). *Plan mitigación de los efectos del Fenómeno El Niño en el sector agropecuario, acuícola y pesquero*. 2012: Comité asesor editorial.

Ministerio de Agricultura. (9 de Septiembre de 2015). *Minagricultura*. Obtenido de Minagricultura: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Corpoica-avanza-en-prevencion-agroclimatica.aspx>

Montealegre, J. (2012). *Análisis de la variabilidad climática inter-anual (El Niño y La Niña) en la Región Capital, Bogotá Cundinamarca* . Bogotá: Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital Bogotá .

Neugebauer, B. (1993). Selección de tecnologías. En B. Neugebauer, *Agricultura Ecológicamente apropiada* (pág. 29). Alemania: Internationale Entwicklung (DSE).

Ocampo, O. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. *Revista de Ingeniería*, 115-123.

PNUD. (2008). *Adaptación al cambio climático: el nuevo desafío para el desarrollo en el mundo en desarrollo*. Copenhague: Comité asesor editorial.

PNUD. (sf). *Tecnologías apropiadas para el desarrollo rural sustentable*. Chiapas: Comité asesor editorial.

Pulido, M., Lobo, D., y Lozano, Z. (2009). Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. *Agrociencia*, 221-230.

Ramírez, A., Sánchez, J., y García, A. (2004). El Desarrollo Sustentable: Interpretación y Análisis. *Revista del Centro de Investigación. Universidad de la Salle*, 55-59.

República, B. d. (2007). *El fenómeno del Niño y su posible impacto en Colombia*. Bogotá.

Restrepo, J., Ángel, D., y Prager, M. (Septiembre de 2000). Agroecosistemas. En J. Restrepo, D. Ángel, y M. Prager, *Actualización Profesional en Manejo de Recursos Naturales, Agricultura Sostenible y Pobreza Rural* (págs. 17-26). Santo Domingo, República Dominicana: Ensanche Paraíso.

Riera, C., y Pereira, S. (2013). Entre el riesgo climático y las transformaciones productivas: la agricultura bajo riego como forma de adaptación en Río Segundo, Córdoba, Argentina. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 52-65.

Salamanca, A., y Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé*, 56(4), 381-397.

Santos, L., Valero, J., Picornell, M., y Tarjuelo, J. (2010). *El riego y sus tecnologías*. Albacete: Europa-América.

Sedano, K., Carvajal, Y., y Avila, A. (2012). *Variabilidad climática, cambio climático y gestión integrada del riego de inundaciones en Colombia*. Cali.

Sepúlveda, F., Tapia, F., y Ardiles, S. (2010). *Beneficios de la materia orgánica en los suelos*. CHILE: INIA-URURI.

Smith, A. (2003). Tecnología y Desarrollo Sustentable. Una Perspectiva Europea. *THEOMAI*.

Sotelo, J. (2003). Tecnologías para un desarrollo sostenible. *R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat*, 303-318.

Taborda, M. (2012). *Simulación del flujo turbulento en un codo de 90° de tubería de sección circular*. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente.

Testi, L., Orgaz, F., Argüelles, A., & Cifuentes, V. (2009). Riego. En J. Gomez, *Sostenibilidad de la producción de Olivar en Andalucía* (págs. 33-66). Córdoba: Taguas2000.

Torres, P., Cruz, J., y Acosta, R. (2011). Vulnerabilidad agroambiental frente al cambio climático. *Política y Cultura*, 205-232.

Turbay, S., Nates, B., Jaramillo, F., Vélez, J., y Ocampo, O. (2014). Adaptación a la variabilidad climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia. *Investigaciones Geográficas*, 95-112 doi 10.14350/rig.42298.

UNGRD . (2014). *Plan Nacional de Contingencia ante el fenómeno del Niño 2014-2015*. Bogotá: Comité asesor editorial.

Universidad de Barcelona. (Enero de 2007). La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas*, 16(1), 44-49.

USDA. (1999). *Soil Quality Test Kit Guide*. Washington.

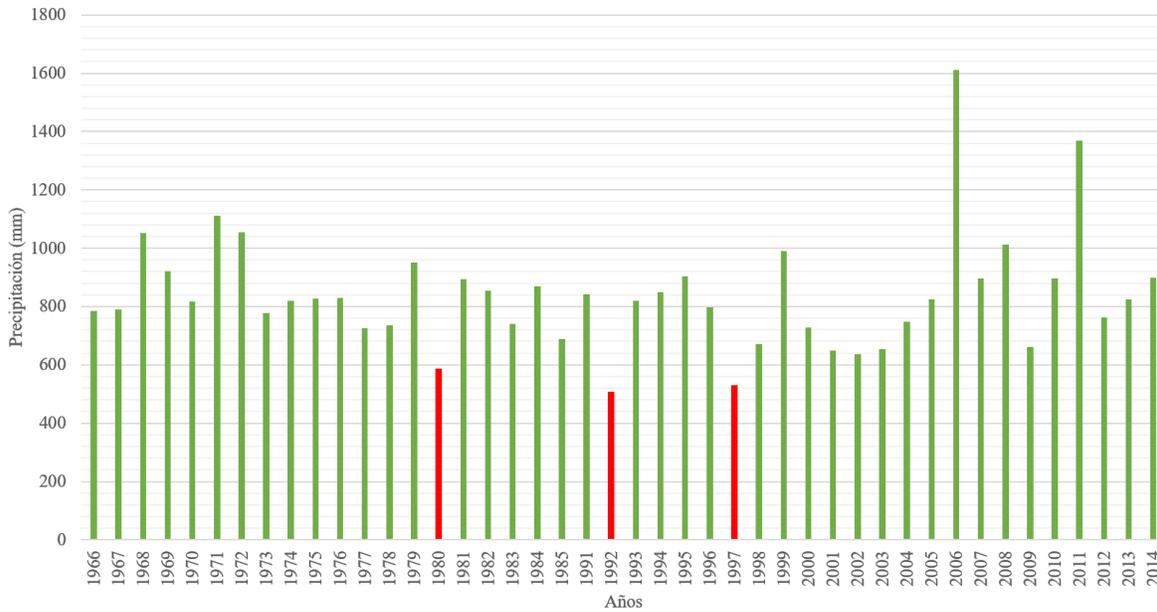
Valverde, J. C. (2007). *Riego y Drenaje*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.

Zou, X., Li, Y., Cremades, R., Gao, Q., Wan, Y., y Qin, X. (2013). Cost-effectiveness analysis of water-saving irrigation technologies based on climate change response: A case study of China. *Agricultural Water Management*, 9-20.

Zuñiga, E. (2004). *Diseño y evaluación de riego a presión*. Editorial de la Universidad de Costa Rica: San José.

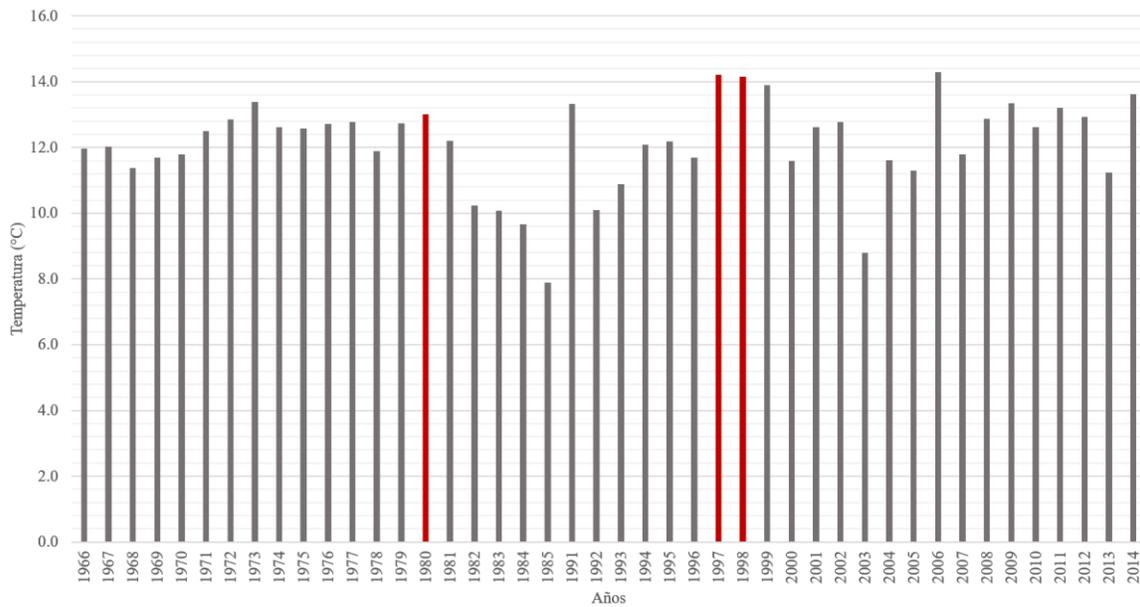
Anexos

Anexo 1. Precipitación anual del municipio de Subachoque.



Nota: Datos tomados y modificados (método racional deductivo) de la estación La Primavera (1966-2014), CAR.

Anexo 2. Temperatura anual del municipio de Subachoque.



Nota: Datos tomados y modificados (método racional deductivo) de la estación La Primavera (1966-2014), CAR.

Anexo 3. Precipitación media mensual (abril, mayo y octubre).

Prec. media mensual (mm)	1980	1992	1997	
	Prec. total mensual (mm)			
Abril	107,1	52,7	29,7	83,5
Mayo	100,9	58,4	33,3	53
Octubre	115,1	-	37,8	63,5

Nota: El dato faltante se debe a que en el mes de octubre de 1980 la precipitación no varió con respecto a la media, por lo tanto, este mes no se tuvo en cuenta.

Anexo 4. Inventario de materiales disponible para la ARAC.

Inventario Material de riego ARAC.	
Rociador trompo	Llave de pvc de 1/2"
Microaspersor amarillo	Registros de 1/2"
Microaspersor rojo	Registros de 1"
Goteros	Reductor de 1" a 1/2"
Goteros autocompensados	Reductor de 3/4"-1/2"
Manguera polietileno de 1/2"	Tee de 1"
Manguera microaspersor	Unión de 1" pvc
Microtubo (0,88 mm)	Buching
Adaptador trompo	

Anexo 5. Ficha para registrar parámetros técnicos.

Evaluación #	Fecha	Técnica	Presión	Caudal
		Microtubo		
		Goteo		
		Cinta		
		Microaspersión		
		Aspersión		

Anexo 6. Propiedades Físicas de los suelos en función de la textura de los suelos.

Textura del suelo	Infiltración Básica	Total Espacio Poroso	Densidad Aparente	Capacidad de Campo	Marchitez Permanente	Humedad Total Utilizable		
						Peso Seco	Base volumen	Fácilmente utilizable
						mm/h	%	gr/cm ³
Arenoso	50	38	1,65	9	4	5	8,25	41,25
	(25 - 255)	(32 - 42)	(1,55 - 1,80)	(6 - 12)	(2 - 6)	(4 - 6)	(6 - 10)	(30 - 50)
Franco Arenoso	25	43	1,5	14	6	8	12	60
	(13 - 76)	(40 - 47)	(1,40 - 1,60)	(10 - 18)	(4 - 8)	(6 - 10)	(9 - 15)	(45 - 75)
Franco	13	47	1,4	22	10	12	16,8	84
	(8 - 20)	(43 - 49)	(1,35 - 1,50)	(18 - 26)	(8 - 12)	(10 - 14)	(14 - 20)	(70 - 100)
Franco Arcilloso	8	49	1,35	27	13	14	18,9	94,5
	(2,5 - 15)	(47 - 51)		(23 - 31)	(11 - 15)	(12 - 16)	(16 - 22)	(80 - 110)
Arcilloso Arenoso	2,5	51	1,3	31	15	16	20,8	104
	(0,3 - 5)	(49 - 53)	(1,25 - 1,35)	(27 - 35)	(13 - 17)	(14 - 18)	(18 - 23)	(90 - 115)
Arcilloso	5	53	1,25	35	17	18	22,5	112,5
	(0,1 - 10)	(51 - 55)	(1,20 - 1,30)	(31 - 39)	(15 - 19)	(16 - 20)	(20 - 25)	(100 - 125)

Fuente: Tomada de Israel Hansen, 1965, Editorial Reverte S. A.

Anexo 7. Entrevista semiestructura para prácticas que realizan los agricultores.

ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA

Con la siguiente entrevista se pretende conocer las prácticas que realizan los agricultores de la Asociación Red Agroecológica –ARAC de Subachoque que actúan en sinergia con las técnicas de riego para fortalecer su capacidad de adaptación a la variabilidad climática.

1. ¿En la actualidad que cultivos maneja? ¿Por qué?
2. ¿Por qué usted siembra diferentes especies y no una sola?
3. ¿Qué ventajas ha encontrado en sembrar varios tipos de especies?
4. ¿En qué se basa para asociar especies vegetales cuando realiza el plan de siembra? (Heladas, lamina neta o sea conservación de agua)
5. ¿Cuál es su fuente de agua para el riego? ¿Cuándo no llueve a qué fuente de agua recurre (si tiene cultivos)?
6. ¿De qué forma irrigaba los cultivos anteriormente?
7. ¿Emplea prácticas para conservar el agua en el suelo? ¿Qué prácticas?
8. ¿De qué forma reduce los efectos negativos del viento sobre sus cultivos?

Anexo 8. Formato para analizar la percepción de los agricultores de la ARAC frente a las técnicas de riego.

Criterios	Definición	Valor	Sistemas de Riego				
			Goteo	Cinta	Microaspersión	Aspersión	Microtubo
Instalación	Labor de montaje de tubería, accesorios y demás elementos que hacen parte del sistema de riego.	Muy Difícil (1)					
		Difícil (2)					
		Medianamente Difícil (3)					
		Fácil (4)					
		Muy Fácil (5)					
Operación	Labor permanente para lograr distribuir el agua en el cultivo. Algunas tareas de operación son: verificación de salida de aire y control de funcionamiento de emisores.	Muy Difícil (1)					
		Difícil (2)					
		Medianamente Difícil (3)					
		Fácil (4)					
		Muy Fácil (5)					
Mantenimiento	Labor constante para conservar y prolongar el buen estado del sistema de riego.	Muy Difícil (1)					
		Difícil (2)					
		Medianamente Difícil (3)					
		Fácil (4)					
		Muy Fácil (5)					
Fragilidad del sistema.	Grado de sensibilidad del sistema para verse afectada por factores internos (aire en la tubería, presión, etc.) y externos (elementos climáticos, partículas en el agua, etc.)	Muy Sensible (1)					
		Sensible (2)					
		Medianamente sensible (3)					
		Resistente (4)					
		Muy resistente (5)					

Distribución de agua en el cultivo	Repartición del agua en el cultivo de forma homogénea para garantizar el aprovechamiento de todas las plantas.	Nada uniforme (1)					
		Baja uniformidad (2)					
		Medianamente uniforme (3)					
		Uniforme (4)					
		Alta uniformidad (5)					
Adaptable al modelo agrícola.	Se ajusta a las especies vegetales establecidas, al diseño de siembra y a labores de mantenimiento de los cultivos.	Inadaptable (1)					
		Poco adaptable (2)					
		Medianamente adaptable (3)					
		Adaptable (4)					
		Totalmente adaptable (5)					
Efecto ambiental	Implica cualquier impacto que se genera en el suelo o en las plantas al utilizar la técnica de riego.	Muy alto (1)					
		Alto (2)					
		Medio (3)					
		Bajo (4)					
		Muy bajo (5)					
Consumo de agua	Comprende la cantidad de agua que los sistemas de riego hacen.	Muy alto (1)					
		Alto (2)					
		Medio (3)					
		Bajo (4)					
		Muy bajo (5)					

Anexo 9. Condiciones agroecológicas del municipio de Subachoque.

DATOS METEOROLÓGICOS MENSUALES

Estación 1506501HIMAT Municipio Subachoque Departamento Cundinamarca
 Latitud 4 51 28.3 N Altura 2.609 m.s.n.m. Presión atmosférica (P) 74,03 kPa
 Longitud 74 12 42.8 W

MES	TEMPERATURA (°C)			Humedad Relativa % 3/	BRILLO SOLAR (horas) 4/		EVAPORACIÓN (mm) 5/		PRECIPITACIÓN (mm) 6/	Velocidad del viento en m/s 7/
	Media 1/	Temperatura máxima 2/	Temperatura mínima 2/		Mensual	Diario	Mensual	Media en mm/día	Mensual	
ENERO	11.8	22.8	-0.7	76.8	180.1	5.81	90.6	2.92	34.8	2.0
FEBRERO	12.3	23.0	-0.1	78.5	146.2	5.22	86.5	3.09	42.5	2.0
MARZO	12.5	22.5	1.1	78.7	128.9	4.16	90.7	2.93	71.6	1.9
ABRIL	12.7	22.1	2.7	80.0	108.2	3.61	79.5	2.65	108.4	1.7
MAYO	12.5	21.9	3.3	79.0	113.3	3.65	80.6	2.60	97.8	1.7
JUNIO	12.2	21.3	2.7	77.4	115.9	3.86	79.9	2.66	63.6	2.0
JULIO	11.9	20.6	2.1	76.7	133.7	4.31	76.0	2.45	52.4	2.0
AGOSTO	11.9	20.9	1.1	76.4	127.8	4.12	80.9	2.61	51.2	1.9
SEPTIEMBRE	12.1	22.0	1.6	76.6	119.1	3.97	77.5	2.58	70	1.8
OCTUBRE	12.2	22.1	1.8	80.3	114.9	3.71	81.8	2.64	115.4	1.8
NOVIEMBRE	11.9	22.0	1.5	82.4	137.8	4.59	82.2	2.74	85.7	1.7
DICIEMBRE	11.6	22.2	-0.1	81.0	160.4	5.17	84.9	2.74	45.8	1.9
PROMEDIO	12.1	22.0	1.4	78.7	132.19	4.35	82.59	2.72		1.87
TOTAL					1718.5		991.1		839	

MES	Temperatura Media (°C) 1/	Humedad Relativa % 3/	BRILLO SOLAR (horas) 4/		EVAPORACIÓN (mm) 5/		PRECIPITACIÓN (mm) 6/		RADIACIÓN (MJ/m ² día)		ET _o		Déficit o excesos mensuales (mm)
			Mensual	Diario	Mensual	Media en mm/día	Mensual	Efectiva	Extraterrestre	Neta	ET _o mm/día	ET _o mm/mes	
ENERO	11.8	76.8	180.1	5.81	90.6	2.92	34.8	32.8	34.2	10.0	3.19	98.9	66.1
FEBRERO	12.3	78.5	146.2	5.22	86.5	3.09	42.5	39.8	36.1	10.3	3.22	90.1	50.3
MARZO	12.5	78.7	128.9	4.16	90.7	2.93	71.6	63.7	37.5	10.0	3.07	95.2	31.4
ABRIL	12.7	80.0	108.2	3.61	79.5	2.65	108.4	85.8	37.5	9.5	2.89	86.7	0.9
MAYO	12.5	79.0	113.3	3.65	80.6	2.60	97.8	80.8	36.2	9.1	2.85	88.3	7.5
JUNIO	12.2	77.4	115.9	3.86	79.9	2.66	63.6	57.2	35.2	8.9	2.84	85.1	28.0
JULIO	11.9	76.7	133.7	4.31	76.0	2.45	52.4	48.0	35.5	9.3	2.84	88.1	40.1
AGOSTO	11.9	76.4	127.8	4.12	80.9	2.61	51.2	47.0	36.7	9.6	2.88	89.4	42.4
SEPTIEMBRE	12.1	76.6	119.1	3.97	77.5	2.58	70	62.4	37.3	9.7	3.03	90.9	28.5
OCTUBRE	12.2	80.3	114.9	3.71	81.8	2.64	115.4	88.9	36.4	9.3	2.87	88.9	0.0
NOVIEMBRE	11.9	82.4	137.8	4.59	82.2	2.74	85.7	73.0	34.5	9.4	2.82	84.5	11.5
DICIEMBRE	11.6	81.0	160.4	5.17	84.9	2.74	45.8	42.7	33.5	9.4	2.89	89.5	46.8
PROMEDIO	12.1	78.7		4.35		2.72							
TOTAL			1586.3		991.1		839.2	88.9				1075.6	353.6

Nota:

1/ Tomado de estación primavera promedio de 44 años (1966-2014) CAR., completados con método racional deductivo.

2/ Tomado de estación primavera promedio de 45 años (1966-2015) CAR. Solo se tienen en cuenta registros reportados.

3/ Tomado de estación primavera promedio de 44 años (1967-2015) CAR. Solo se tienen en cuenta registros reportados.

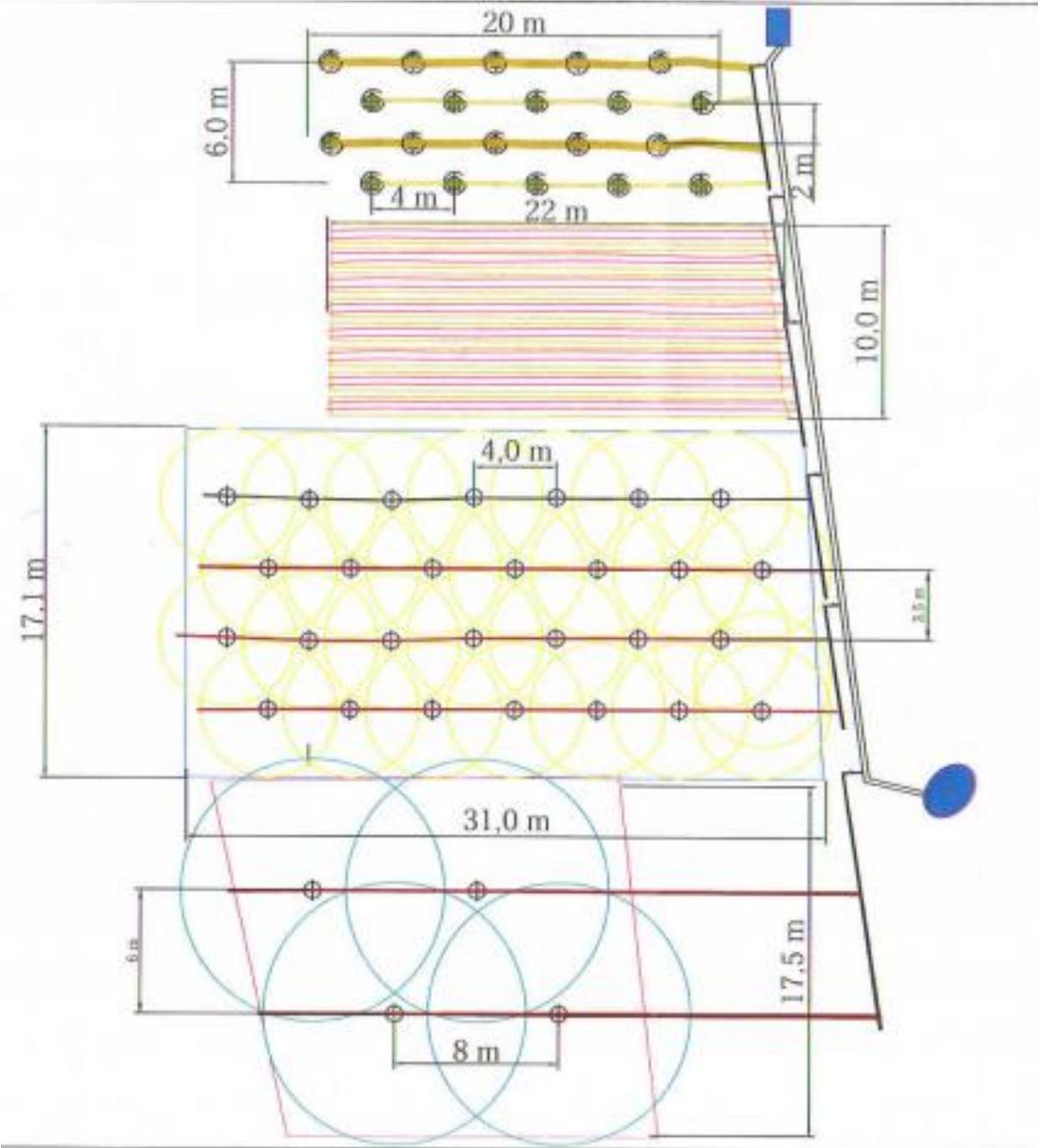
4/ Tomado de estación primavera promedio de 46 años (1966-2015) CAR. Solo se tienen en cuenta registros reportados.

5/ Tomado de estación primavera promedio de 43 años (1966-2014) CAR. Completados con metodo racional deductivo.

6/ Tomado de estación primavera promedio de 49 años (1966-2014) CAR. Completados con metodo racional deductivo.

7/ Tomado de estación primavera promedio de 22 años (1991-2014) CAR. Solo se tienen en cuenta registros reportados.

Anexo 10. Primer esquema de instalación Finca Buenavista.



Anexo 11. Instalación y evaluación de las técnicas de riego en las fincas participantes.

<p>Buenavista</p>	<p>Instalación</p>  <p>Evaluación</p> 
<p>La Conejera</p>	<p>Instalación</p>  <p>Evaluación</p> 
<p>Villa Gloria</p>	<p>Instalación</p>  <p>Evaluación</p> 

Anexo 12. Diagramas de evaluación de uniformidad de riego.

- **Finca Buenavista.**

Microtubo.

Evaluación 1 - Microtubo - Volumen													
Línea	99.3	90.5	23.4	51.6		118.2	171.7	149.3	113.2	200.0	200.0	140.2	121.2
Evaluación 2 - Microtubo - Volumen													
Línea	63.7	149.1	89.2	34.3		173.5	200.0	200.0	182.5	38.7	147.0	10.0	121.8
Evaluación 3 - Microtubo - Volumen													
Línea	123.2	125.3	101.4	94.3		81.0	109.2	114.6	73.8	83.6	134.2	105.7	96.9

Goteo.

Evaluación 1 - Goteo - Volumen						
Línea 1	39.7	149.3	122.3	170.6	143.1	35.2
Línea 2	188.0	169.0	96.0	124.2	168.0	200.0
Línea 3	128.4	142.9	116.1	138.1	151.8	133.9
Línea 4	102.0	39.6	163.2	85.1	146.8	113.4
Evaluación 2 - Goteo - Volumen						
Línea 1	139.9	137.5	135.4	144.6	143.3	123.6
Línea 2	146.0	134.7	145.0	145.1	92.7	91.6
Línea 3	146.9	141.2	2.2	3.4	125.3	83.7
Línea 4	11.3	15.4	101.9	153.7	103.2	31.3
Evaluación 3 - Goteo - Volumen						
Línea 1	118.5	131.2	91.1	120.2	105.0	139.9
Línea 2	128.0	156.0	115.7	121.7	120.0	118.5
Línea 3	102.7	104.5	107.8	99.8	105.2	81.0
Línea 4	100.9	98.7	95.8	87.2	92.7	93.2

Cinta 1.

Evaluación 1 - Cinta - Volumen												
Cama 1	Línea 1	200.0	165.8	48.7	103.1	158.0	132.0	38.5	172.4	170.3	143.7	
	Línea 2	181.3	189.3	200.0	186.2	200.0	200.0	200.0	174.8	16.4	200.0	
Cama 2	Línea 3	131.6	125.6	123.6	112.9	200.0	176.2	134.4	68.0	121.0	132.5	
	Línea 4	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	134.3	26.2	121.5	132.6	142.0	
Evaluación 2 - Parcela #1 - Cinta - Volumen												
Cama 1	Línea 3	175.0	168.2	24.4	136.0	56.2	53.4	95.0	85.3	68.5	53.8	
	Línea 4	184.9	33.1	174.6	200.0	200.0	120.0	92.8	95.5	132.7	168.0	
Cama 2	Línea 5	62.4	63.7	159.8	32.5	128.5	132.8	140.5	162.2	94.2	154.7	
	Línea 6	162.8	114.7	168.2	164.0	180.5	177.0	170.5	35.0	156.2	168.3	
Evaluación 3 - Parcela #1 - Cinta - Volumen												
Cama 1	Línea 3	200.0	178.3	200.0	58.8	186.1	187.2	190.3	39.4	20.3	200.0	
	Línea 4	165.2	200.0	200.0	173.2	16.2	101.8	135.2	200.0	114.8	88.7	
Cama 2	Línea 5	128.3	143.6	200.0	61.2	200.0	169.3	155.0	162.0	200.0	200.0	
	Línea 6	200.0	18.5	200.0	77.0	42.8	200.0	200.0	52.2	200.0	200.0	

Cinta 2.

Evaluación 1 - Cinta - Volumen											
Cama 1	Línea 1	72.0	72.0	72.0	72.0	72.0	129.7	129.7	129.7	129.7	129.7
Cama 2	Línea 3	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6
Cama 3	Línea 5	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	104.1	104.1	104.1	104.1	104.1
Cama 4	Línea 7	97.7	97.7	97.7	97.7	97.7	110.2	99.2	98.3	97.3	96.2
Evaluación 2 - Cinta - Volumen											
Cama 1	Línea 1	123.3	200.0	200.0	114.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
Cama 2	Línea 3	200.0	180.4	22.8	189.4	200.0	190.4	132.1	153.2	149.0	176.2
Cama 3	Línea 5	103.2	200.0	162.8	200.0	200.0	200.0	178.3	189.3	160.7	200.0
Cama 4	Línea 7	132.0	169.3	145.9	156.2	145.2	137.9	140.3	150.3	138.6	145.3
Evaluación 3 - Cinta - Volumen											
Cama 1	Línea 1	180.4	37.3	189.1	178.2	32.9	200.0	132.0	200.0	19.9	190.5
Cama 2	Línea 3	200.0	168.3	140.0	85.6	200.0	178.4	180.2	186.2	176.2	184.7
Cama 3	Línea 5	95.5	200.0	200.0	200.0	200.0	176.2	164.7	200.0	103.0	115.8
Cama 4	Línea 7	200.0	70.0	200.0	200.0	200.0	19.9	176.2	165.9	100.1	154.2

Microaspersión 1.

Evaluación 1 - Microaspersión - Volumen								Evaluación 2 - Microaspersión - Volumen								Evaluación 3 - Microaspersión - Volumen							
18.3	6.9	11.5	22.8	5.5	22.4	17.2	10.2	11.8	9.7	13.3	3.2	1.1	12.1	7.1	9.1	6.4	8.2	13.9	8.3	9.4			
18.5	9.8	16.3	16.5	3.4	6.0	4.1	9.0	6.9	0.1	11.1	2.4	2.8	6.8	11.6	1.8	4.3	7.4	5.2	7.5	18.8			
13.2	15.9	16.9	17.2	3.9	2.4	2.5	5.2	3.2	16.2	9.0	4.2	5.6	3.5	1.9	4.3	12.4	12.8	3.1	4.2	3.4			
14.7	11.1	16.8	9.0	11.0	5.1	2.0	1.6	1.6	4.6	5.7	4.1	3.6	4.2	5.0	6.9	3.2	7.1	5.4	3.3	1.8			
21.3	20.2	21.9	16.2	10.2	13.1	11.9	15.3	13.6	13.2	37.3	12.2	8.2	12.4	6.2	4.1	5.2	1.9	9.1	18.0	0.7			
9.1	16.4	9.3	9.2	6.9	24.7	14.6	10.0	12.3	11.2	12.4	7.5	11.0	10.2	4.3	5.2	6.2	1.8	2.2	3.4	7.5			
11.8	16.3	14.1	12.6	1.8	14.2	5.3	10.1	2.5	13.7	3.2	10.8	9.1	10.2	5.2	4.1	5.5	6.1	5.2	5.9	6.2			

Microaspersión 2.

Evaluación 1 - Microaspersión - Volumen						Evaluación 2 - Microaspersión - Volumen						Evaluación 3 - Microaspersión - Volumen					
0.1	19.9	22.6	7.6	7.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	15.7	17.1	11.1	14.2	16.2	5.7	
2.8	19.9	17.5	4.6	2.5	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	2.9	7.3	6.3	2.2	5.2	4.7	
9.3	13.1	13.9	10.2	7.9	10.5	11.0	4.1	0.1	5.5	12.0	2.1	1.8	9.2	7.1	6.7	3.1	
18.2	19.4	8.7	15.6	9.2	3.9	6.7	5.4	5.2	1.8	1.7	2.0	2.1	5.0	7.9	2.4	3.7	
15.6	7.2	6.4	14.3	17.2	3.8	4.2	5.8	5.1	1.9	2.2	15.2	6.1	7.9	8.2	6.5	4.8	
10.1	6.8	6.6	7.5	6.4	8.5	7.9	13.5	14.7	4.1	15.4	13.5	13.1	14.6	12.9	12.8	8.5	
1.8	8.8	9.7	9.6	6.5	18.3	18.6	17.9	17.5	19.2	17.4	4.3	19.9	18.4	16.2	15.7	15.1	
					8.5	7.9	13.5	14.7	4.1	15.4	12.6	13.1	15.3	10.5	12.2	17.6	
					3.8	4.2	5.8	5.1	1.9	2.2	15.7	17.1	11.1	19.4	20.1	5.7	
					3.9	6.7	5.4	5.2	1.8	1.7							
					10.5	11.0	4.1	0.1	5.5	12.0							
					0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2							
					0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1							

Cuchara 1.

Evaluación 1 - Cuchara - Volumen									Evaluación 2 - Cuchara - Volumen								
18.0	16.8	12.0	9.4	3.2	3.4	7.2	17.0	19.0	14.2	14.9	9.4	10.4	6.6	6.7	10.2	8.5	13.6
8.6	3.3	15.7	10.0	3.8	3.5	9.6	9.9	11.7	7.8	4.5	6.8	8.6	2.8	3.1	10.4	16.5	7.2
4.2	5.9	25.2	18.1	8.0	17.2	19.2	14.8	3.1	6.7	3.2	5.3	3.8	4.4	5.1	12.0	8.3	7.0
2.3	3.8	23.7	25.0	27.0	25.2	21.0	18.0	16.5	3.6	6.2	15.0	5.6	6.1	4.3	6.2	3.8	5.9
0.6	3.4	23.2	25.0	29.6	25.0	17.0	10.4	19.6	2.6	1.9	5.4	3.2	8.7	5.4	6.1	4.8	6.6
7.0	8.0	13.4	25.3	34.4	25.0	15.4	8.6	7.0	2.2	2.1	5.7	6.3	6.9	7.1	3.8	5.2	3.4
15.0	19.5	21.2	20.4	29.2	25.0	21.6	23.4	11.4	7.1	6.8	6.4	7.9	7.6	7.2	7.5	7.0	7.2
22.3	36.8	4.2	8.9	12.7	27.1	6.9	27.0	13.4	17.6	17.2	18.9	19.3	21.1	20.2	20.9	21.1	16.3
10.9	3.1	4.2	5.0	9.3	25.1	26.6	4.1	6.7	15.0	13.4	2.1	9.5	14.6	17.3	18.4	6.8	5.6

Evaluación 3 - Cuchara - Volumen									
12.3	7.2	7.8	9.3	2.9	4.7	9.9	7.2	12.0	
4.8	13.0	23.2	12.4	5.0	5.9	16.1	28.1	23.1	
3.7	6.8	26.2	3.8	6.9	7.6	7.6	24.9	5.7	
5.3	1.3	6.3	29.0	14.1	16.0	6.7	2.0	10.5	
4.4	1.7	28.7	20.1	16.4	14.0	12.5	10.0	8.0	
4.3	53.7	16.1	11.2	10.1	6.0	4.1	3.3	8.9	
33.0	14.9	18.2	19.8	41.9	37.9	26.2	19.1	18.4	
11.8	12.0	11.7	11.6	12.3	11.9	12.1	11.6	11.5	
9.5	8.7	2.9	9.2	14.9	13.2	11.2	9.5	4.8	

Cuchara 2.

Evaluación 1 - Cuchara - Volumen										Evaluación 2 - Cuchara - Volumen											
1.2	1.7	2.2	2.7	3.2	3.7	2.1	5.2	6.0	5.2	5.8	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	5.5	15.0	13.9	10.1	13.8	14.1
1.4	2.0	2.6	3.3	3.9	4.5	2.5	6.3	7.2	6.2	7.0	8.5	8.5	8.6	8.6	8.7	5.5	15.1	14.0	10.2	13.9	14.2
2.1	3.1	4.0	4.9	5.8	6.8	7.1	6.9	7.0	6.9	4.7	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4.7	5.7	8.4	4.6	6.9	3.2
2.1	3.0	3.9	4.8	5.7	6.6	7.0	5.9	6.9	6.1	5.1	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	1.4	5.2	3.8	10.2	3.2	8.2
0.6	0.8	1.1	1.3	1.5	1.8	3.8	5.6	4.7	4.5	2.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	3.8	3.0	3.9	4.4	6.0
0.8	1.1	1.4	1.7	2.1	2.4	2.9	3.5	3.7	2.6	3.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1.5	3.9	3.6	2.6	2.4	3.2
0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.6	2.6	4.8	5.1	3.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	5.8	3.9	4.1	3.7	5.5	3.2
0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	3.5	3.8	6.5	9.3	8.1	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.9	4.2	3.6	5.8	11.2	9.4
0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2	1.8	3.3	7.1	13.0	5.3	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	2.9	2.1	2.0	7.1	9.5	6.2
1.2	1.7	2.2	2.7	3.2	3.0	3.0	5.2	0.4	10.2	7.9	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	1.9	2.4	3.8	6.7	6.9	8.2
1.8	2.6	3.3	4.1	4.9	2.0	4.6	4.4	5.2	6.6	6.8	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	1.9	1.8	1.4	2.9	8.4	8.1
1.2	1.7	2.2	2.8	3.3	2.8	1.9	2.4	2.8	5.8	6.6	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	2.2	1.6	1.2	1.9	3.0	4.1
1.2	1.8	2.3	2.9	3.4	3.3	2.9	2.1	2.7	5.9	4.5	3.9	3.9	4.0	4.0	4.0	2.4	1.2	1.0	0.8	4.0	2.8
1.9	2.7	3.5	4.3	5.1	3.3	2.8	2.1	3.1	3.8	4.8	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	2.6	2.2	1.9	1.2	3.3	3.8
1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	3.1	3.5	2.2	2.5	3.1	3.5	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	1.4	3.4	4.8	2.6	3.5	2.6
0.9	1.3	1.8	2.2	2.6	3.0	3.4	3.3	3.2	2.4	3.6	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	1.0	3.7	3.4	1.6	2.8	3.9
1.4	2.0	2.6	3.2	3.8	4.4	5.0	3.4	3.7	3.3	3.2	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	1.5	1.4	3.6	3.7	3.8	2.7
1.2	1.7	2.2	2.7	3.3	3.8	4.3	5.3	6.4	4.4	3.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	1.5	1.4	3.6	3.7	3.8	2.7
1.0	1.4	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6	4.4	5.3	3.7	3.1	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	1.5	1.4	3.6	3.7	3.8	2.7

Evaluación 3 - Cuchara - Volumen										
2.4	2.7	3.0	3.2	3.5	3.8	4.7	3.6	7.0	7.1	4.8
2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	5.2	4.0	7.7	7.9	5.3
2.2	2.4	2.7	2.9	3.2	3.4	3.8	4.4	8.4	8.6	5.8
1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0	5.0	3.7	6.7	8.2	7.6
1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0	3.0	4.0	3.3	4.0	4.6
2.0	2.3	2.5	2.7	3.0	3.2	3.1	4.7	3.8	2.8	3.6
2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	3.9	3.5	5.5	5.2	4.3
2.4	2.7	3.0	3.2	3.5	3.8	3.6	3.4	6.9	5.7	4.1
2.3	2.5	2.8	3.1	3.3	3.6	3.7	3.5	7.3	6.3	6.1
5.7	6.4	7.7	2.9	3.2	3.4	1.9	2.2	4.7	6.2	7.1
6.5	7.3	6.6	5.0	4.0	3.8	5.6	8.0	7.1	6.9	7.3
0.1	0.1	2.6	4.3	4.0	3.4	4.8	3.6	4.2	6.4	5.8
6.1	6.8	4.6	4.8	3.0	2.1	2.2	2.8	2.8	4.4	3.9
3.4	3.8	3.2	4.3	2.4	2.7	0.5	1.6	2.3	3.0	2.4
3.1	3.5	3.1	2.6	1.1	0.8	0.6	1.3	1.9	2.4	1.4
1.2	1.3	0.8	0.6	1.1	0.6	0.8	2.3	2.0	1.9	2.6
0.0	0.0	0.0	2.3	2.4	2.5	2.1	2.0	2.4	2.1	2.4
0.0	0.0	0.0	2.1	2.2	2.3	1.9	1.8	2.2	1.9	2.2
0.0	0.0	0.0	1.9	2.0	2.1	1.7	1.7	2.0	1.7	2.0

Cuchara 3.

Evaluación 1 - Cuchara - Volumen											Evaluación 2 - Cuchara - Volumen										
5.2	5.3	5.5	5.7	5.8	6.0	6.2	5.7	7.8	6.2	6.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.6	6.1	6.6	0.6	5.3	4.8	3.4
5.3	5.5	5.7	5.9	6.0	6.2	6.4	5.9	8.0	6.4	6.7	3.9	4.5	5.1	5.7	6.3	6.9	7.5	0.7	6.0	5.4	3.9
5.7	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7	6.9	5.5	8.2	7.5	6.8	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	4.6	5.2	5.4	3.7
6.3	6.5	6.7	7.0	7.2	7.4	7.6	9.1	7.8	7.1	6.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	3.0	4.4	5.1	4.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	3.6	5.6	5.6	5.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	5.6	3.0	4.8	4.0
2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	5.3	4.0	5.0	6.1	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	3.2	3.0	4.5	4.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	7.0	3.6	6.2	8.2	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	3.9	3.1	2.4	5.9
6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	7.8	8.0	1.6	5.0	8.6	11.9	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.3	0.4	3.8	4.6	10.8
1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	11.2	17.0	10.4	9.6	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.8	4.1	7.4	8.5	6.2	5.3
2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	1.4	7.6	8.1	8.3	9.4	1.4	1.6	1.9	2.1	2.3	0.1	1.0	2.0	9.2	11.8	10.2
3.6	3.7	3.8	4.0	4.1	4.2	7.0	5.1	7.7	6.2	7.4	1.7	2.0	2.3	2.5	2.8	2.2	4.3	5.6	9.1	7.5	8.2
3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9	4.5	5.3	5.5	10.5	9.5	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	5.6	3.7	8.5	12.6	11.2
2.1	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	1.3	2.4	3.8	5.1	6.8	2.2	2.6	2.9	3.3	3.6	4.5	4.6	3.5	4.9	6.7	7.6
2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	3.1	4.6	4.1	4.0	6.4	3.2	3.7	4.2	4.7	5.2	2.8	2.5	5.8	5.0	4.8	5.2
4.8	5.0	5.1	5.3	5.4	5.6	4.1	4.6	6.8	6.8	7.2	2.2	2.5	2.8	3.2	3.5	1.6	3.7	4.7	6.0	6.1	6.7
5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	7.1	5.3	7.4	9.5	9.0	2.2	2.6	2.9	3.3	3.6	3.5	6.2	6.0	8.5	12.2	9.3
4.3	4.4	4.6	4.7	4.8	5.0	2.4	9.5	8.1	8.7	8.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	8.0	12.8	6.0	10.0	11.1	12.7
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	7.9	7.6	8.8	7.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	3.4	4.6	6.8	3.3	9.8	7.2
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	7.7	7.4	8.5	7.2	0	0	0	0	0	0	0.8	1	6.6	4	3.8

Evaluación 3 - Cuchara - Volumen										
4.4	4.8	5.3	5.7	6.1	6.5	7.0	6.1	5.6	5.4	3.9
4.8	5.3	5.7	6.2	6.7	7.1	7.6	6.6	6.1	5.9	4.2
3.9	4.3	4.7	5.1	5.4	5.8	6.2	4.0	5.7	6.4	6.1
4.0	4.4	4.8	5.1	5.5	5.9	6.3	5.1	5.8	6.4	5.8
3.7	4.0	4.4	4.7	5.1	5.4	5.8	2.0	4.1	5.1	4.9
1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.6	3.8	4.5	5.4
1.6	1.8	2.0	2.1	2.3	2.4	2.6	4.4	4.0	4.8	5.6
0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	3.7	5.1	6.6	8.3
3.2	3.5	3.8	4.2	4.5	4.8	5.1	6.6	10.4	9.8	11.4
3.0	3.3	3.6	3.9	3.3	2.4	5.1	7.7	11.0	10.2	6.4
3.2	3.5	3.8	4.1	2.7	2.7	4.5	7.1	5.8	0.0	6.1
4.1	4.5	4.9	5.3	2.7	3.5	6.7	1.4	6.9	9.8	11.6
5.2	5.7	6.2	6.7	5.2	3.6	4.6	3.3	5.7	3.2	8.6
4.0	4.3	4.7	5.1	2.7	1.9	2.9	4.8	6.3	5.4	7.1
2.7	3.0	3.2	3.5	3.9	3.3	3.5	4.4	0.2	8.3	8.1
0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	2.2	14.1	10.6	0.8	14.7	13.7
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	6.2	11.2	10.5	8.2	12.1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	3.7	12.8	6.2	6.3	6.4
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	3.4	11.7	5.7	5.8	5.9

- Finca Villa Gloria.

Microtubo.

Evaluación 1 - Microtubo - Volumen											
Línea	155.1	126.0	138.2	143.5	149.9		138.9	172.3	165.1	200.0	200.0
Evaluación 2 - Microtubo - Volumen											
Línea	139.0	144.5	200.0	147.5	200.0		177.3	155.4	200.0	124.9	147.2
Evaluación 3 - Microtubo - Volumen											
Línea	192.5	197.3	200.0	170.5	200.0		200.0	200.0	154.2	200.0	79.0

Goteo.

Evaluación 1 - Goteo - Volumen											
Cama 1	Línea 1	161.2	154.5	153.0	177.0	174.0	162.8	133.4	130.9	182.9	172.9
	Línea 2	171.3	177.9	156.8	162.2	172.3	159.6	164.2	82.1	149.1	141.9
Cama 2	Línea 3	177.8	171.1	183.2	10.3	157.3	200	123.1	169.1	178.5	178.6
	Línea 4	50	174.2	163.0	155.0	177.4	186.3	151	100	116.5	107.6
Evaluación 2 - Goteo - Volumen											
Cama 1	Línea 1	124.5	74.0	179.5	232.0	200.0	127.1	185.0	174.6	135.7	84.2
	Línea 2	50.0	20.0	10.9	174.5	177.0	200.0	163.4	194.0	152.8	190.0
Cama 2	Línea 3	60.0	154.4	50.0	3.0	200.0	157.5	91.0	200.0	200.0	180.0
	Línea 4	38.3	1.2	167.2	189.9	184.5	200.0	174.2	176.7	200.0	113.0
Evaluación 3 - Goteo - Volumen											
Cama 1	Línea 1	25.5	200.0	167.5	170.0	200.0	173.1	180.1	135.0	200.0	191.1
	Línea 2	180.1	200.0	200.0	2.8	200.0	200.0	200.0	173.5	169.9	200.0
Cama 2	Línea 3	200.0	200.0	200.0	1.8	2.6	180.2	200.0	200.0	200.0	200.0
	Línea 4	31.3	200.0	190.0	200.0	200.0	200.0	178.3	175.0	200.0	141.3

Cinta 1.

Evaluación 1 - Cinta - Volumen											
Cama 1	Línea 1	1.7	200.0	2.5	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	3.1	2.2
	Línea 2	59.2	200.0	200.0	42.9	200.0	16.7	132.0	136.8	32.4	3.3
Cama 2	Línea 3	1.2	2.4	2.0	23.0	200.0	47.5	200.0	200.0	200.0	200.0
	Línea 4	35.2	200.0	97.4	1.6	26.1	200.0	200.0	200.0	1.4	200.0
Evaluación 2 - Cinta - Volumen											
Cama 1	Línea 1	126.8	150.0	200.0	163.2	182.1	48.5	131.9	40.0	200.0	0.1
	Línea 2	170.2	135.0	175.5	200.0	128.6	146.2	109.1	154.3	200.0	136.1
Cama 2	Línea 3	23.8	38.4	26.4	2.3	62.9	7.0	18.2	200.0	186.5	167.8
	Línea 4	101.2	158.7	190.2	170.6	131.5	0.1	200.0	200.0	143.5	200.0
Evaluación 3 - Cinta - Volumen											
Cama 1	Línea 1	200.0	200.0	136.1	119.0	200.0	158.6	200.0	200.0	200.0	104.1
	Línea 2	72.4	106.8	6.8	23.7	15.8	185.0	137.7	200.0	200.0	96.7
Cama 2	Línea 3	28.1	53.8	200.0	200.0	159.4	200.0	151.5	200.0	200.0	3.6
	Línea 4	16.1	200.0	200.0	142.0	66.7	200.0	200.0	200.0	169.2	2.0

Cinta 2.

Evaluación 1 - Cinta - Volumen											
Cama 1	Línea 1	130.1	132.6	129.3	131.8	131.9	123.5	125.9	128.2	126.42	112.3
	Línea 2	138.82	130.6	137.1	133.7	132.9	121.3	127.8	118.6	125.2	160.0
Cama 2	Línea 3	135.62	132.6	131.9	134.2	123.2	130.82	127.1	112.6	116.4	121.4
	Línea 4	148.56	141.8	140.1	132.7	130.3	137.2	131.1	136.4	139.6	139.54
Cama 3	Línea 5	141.0	140.5	139.5	137.2	132.4	129.4	126.4	133.48	121.1	117.8
	Línea 6	145.52	132.4	126.5	112.5	126.5	137.5	128.9	126.7	113.9	133.62
Evaluación 2 - Cinta - Volumen											
Cama 1	Línea 1	174.2	150.0	96.0	180.5	191.0	170.2	187.2	165.1	177.1	131.5
	Línea 2	137.5	148.6	200.0	200.0	200.0	200.0	180.0	200.0	137.8	157.1
Cama 2	Línea 3	194.5	162.6	200.0	200.0	21.9	135.0	135.2	190.1	181.2	102.2
	Línea 4	185.1	199.2	200.0	200.0	59.1	200.0	132.8	124.1	154.2	170.0
Cama 3	Línea 5	1.3	176.3	200.0	173.5	178.2	200.0	200.0	166.6	200.0	184.2
	Línea 6	2.9	200.0	172.2	200.0	170.6	200.0	154.9	160.0	178.2	200.0
Evaluación 3 - Cinta - Volumen											
Cama 1	Línea 1	64.0	158.2	200.0	180.0	113.5	92.0	200.0	178.6	107.7	51.5
	Línea 2	26.7	159.7	62.2	1.0	36.2	107.1	114.5	200.0	162.8	200.0
Cama 2	Línea 3	126.7	175.0	200.0	200.0	36.8	157.1	73.2	138.7	200.0	78.8
	Línea 4	94.9	200.0	200.0	179.2	176.3	200.0	200.0	3.0	158.6	200.0
Cama 3	Línea 5	0.0	38.4	186.0	200.0	200.0	100.9	0.3	85.9	162.0	200.0
	Línea 6	134.6	200.0	6.8	143.8	200.0	200.0	4.9	174.4	200.0	181.8

Microaspersión.

Evaluación 1 - Microaspersión - Volumen								Evaluación 2 - Microaspersión - Volumen						Evaluación 3 - Microaspersión - Volumen								
7.2	12.8	9.9	13.1	16.7	12.5	10.8			12.4	7.2	8.4	1.3	4.5	12.2		8.4	7.3	8.2	8.1	6.4	7.0	9.9
11.2	8.8	8.1	12.3	16.2	1.6	3.2		14.6	16.7	12.1	13.2	2.6	1.3	17.6		15.0	13.5	24.0	23.1	14.0	4.5	10.0
11.8	15.5	17.0	10.2	11.0	9.5	4.0		6.3	6.8	19.0	9.2	10.7	9.1	8.4		7.2	5.8	16.6	9.1	5.5	8.4	8.7
12.5	17.0	8.4	7.3	6.6	2.8	5.4		9.4	9.0	14.0	13.1	13.2	12.4	21.2		7.4	7.2	12.1	11.2	14.8	5.2	6.6
10.5	13.6	13.6	11.2	0.1	1.2	9.2		9.6	7.1	4.0	8.7	7.2	4.3	9.4		9.0	9.5	11.6	11.2	11.5	3.7	2.7
								4.7	7.9	9.3	9.8	8.2	6.9	7.1		9.7	10.1	7.1	5.9	7.2	6.1	8.8

• **Finca La Conejera.**

Microaspersión.

Evaluación 1 - Microaspersión - Volumen												
13	12.6	7.2	5.5	10.8	13.2	7.8	5.0	8.2	4.2	12.0	13.5	
18.4	9.5	3.8	4.2	9.8	16	7.6	10.2	8.4	4.6	9.5	14.2	
11.9	9.5	7.2	9.1	13.4	4	2.7	4.4	4.5	5.8	10.2	3.7	
5.2	10.4	19.4	7	3.2	2.9	2.6	4.4	13.5	8.2	9	2.6	
Evaluación 2 - Microaspersión - Volumen												
18.8	17.0	15.0	13.0	5.4	5.1	10.1	5.6	4.8	2.4	7.3	6.9	
8.3	11.4	14.6	17.0	13.7	13.0	20.0	8.8	3.4	3.8	5.4	5.9	
8.7	8.1	23.2	23.6	14.4	3.3	3.7	4.5	5.6	9.5	12.0	13.3	
0.5	3.4	4.0	4.5	5.0	3.8	4.3	7.3	27.9	4.6	6.0	6.7	
0.9	7.5	1.8	0.0	4.6	5.3	3.9	0.0	0.4	1.6	2.0	2.9	
Evaluación 3 - Microaspersión - Volumen												
	5.8	6.2	7.8	17.6	14.6	8.3	9.6					
	14.4	7.0	8.1	10.1	14.7	13.0	1.4					
	14.2	13.6	11.2	8.7	5.5	7.7	9.1					
	5.2	7.5	8.8	6.5	15.7	8.8	4.8					
	14.2	13.6	11.2	8.7	5.5	7.7	9.1					
	14.4	7	8.1	10.1	14.7	13	1.4					
	14.2	13.6	11.2	8.7	5.5	7.7	9.1					

Cuchara 1.

Evaluación 1 - Cuchara - Volumen										Evaluación 2 - Cuchara - Volumen									
12.1	15.9	14.0	9.8	3.8	7.9	8.3	17.2	11.9		18.1	13.3	22.4	7.3	4.2	4.4	6.4	22.0	12.2	17.3
19.8	29.4	18.6	14.2	9.7	8.2	12.4	26.8	18.4		24.7	10.1	25.7	10.8	5.3	9.5	11.5	19.6	11.7	10.7
12.0	37.2	17.0	16.2	8.2	6.5	8.8	12.0	12.2		6.4	5.4	12.1	9.2	3.6	3.5	16.0	16.5	17.9	25.1
6.7	4.2	10.7	7.1	5.2	14.0	9.9	11.0	12.6		2.9	8.9	7.1	27.6	9.1	8.6	11.2	0.4	18.6	24.9
3.4	2.1	8.9	17.2	27.2	16.2	11.2	10.8	7.6		1.5	3.7	9.8	28.6	20.2	11.6	11.2	10.2	15.8	22.4
										1.1	1.5	3.6	26.6	11.3	13.9	12.4	11.5	9.0	18.2
Evaluación 3 - Cuchara - Volumen																			
22.5	19.5	19.5	7.5	11.1	5.5	9.4	19.0	7.2	9.4										
15.0	22.8	18.7	10.0	9.1	8.0	10.5	16.3	26.6	12.7										
6.3	12.0	8.1	7.3	10.5	10.9	9.2	11.5	9.5	19.5										
3.4	8.6	6.2	23.5	18.0	10.0	9.0	7.2	15.0	11.9										
2.6	0.1	3.3	4.1	10	5.4	11.5	1.4	2.8	11.0										
2.5	0.0	0.2	3	1.6	7.0	6.1	11.3	22.1	5.4										
0.6	0.0	0.2	1.8	15.6	10.7	14.1	4.6	12.3	13.3										

Cuchara 2.

Evaluación 1 - Cuchara - Volumen								
0.4	0.6	3.2	4.0	6.4	15.6	13.3	15.0	17.1
3.2	3.1	2.2	5.2	9.0	8.8	8.4	6.2	10.2
3.0	0.5	1.6	2.0	6.6	11.8	15.5	4.1	2.0
1.6	1.8	5.5	15.2	19.4	23.5	7.4	4.9	2.9
2.9	3.3	2.2	17.4	18.5	15.3	8.4	3.6	2.5
3.9	2.6	3.4	5.5	15.3	9.2	15.4	5.9	3.7
2.4	3.4	0.8	6.2	12.0	8.3	7.3	8.4	3.8
3.2	4.2	5.2	4.8	7.0	3.9	3.7	3.4	4.0
4.0	4.6	4.8	4.0	3.8	2.2	3.2	2.2	3.7

Evaluación 2 - Cuchara - Volumen								
1.1	1.9	1.5	0.3	1.4	0.3	1.5	1.9	1.1
4.0	6.6	5.3	1.1	5.0	1.1	5.3	6.6	4.0
6.7	11.1	9.0	1.8	8.4	1.8	9.0	11.1	6.7
11.4	14.0	10.9	2.4	0.4	2.4	10.9	14.0	11.4
12.0	20.4	10.4	6.2	2.0	6.2	10.4	20.4	12.0
9.1	23.4	24.4	11.8	4.8	11.8	24.4	23.4	9.1
13.5	12.7	12.2	7.2	2.8	7.2	12.2	12.7	13.5
8.5	11.9	9.5	5.8	4.4	5.8	9.5	11.9	8.5
15.9	9.7	13.4	7.9	6.4	6.6	7.1	5.5	16.0
12.9	20.7	19.8	11.1	8.6	11.1	19.8	20.7	12.9
9.9	6.2	8.2	8.3	8.8	8.3	8.2	6.2	9.9
6.8	6.1	9.0	12.8	2.8	12.8	9.0	6.1	6.8
1.5	3.9	7.7	5.8	6.4	5.8	7.7	3.9	1.5
4.8	9.6	15.8	7.2	5.2	7.2	15.8	9.6	4.8
4.3	5.3	7.7	5.6	5.2	5.6	7.7	5.3	4.3
4.1	3.3	6.8	5.5	5.2	5.5	6.8	3.3	4.1
1.2	1.0	2.0	1.6	1.5	1.6	2.0	1.0	1.2

Evaluación 3 - Cuchara - Volumen									
2.4	2.0	2.6	8.1	9.5	5.2	13.6	8.7	5.4	4.1
1.0	2.5	3.3	8.0	5.2	8.3	7.8	7.1	6.2	1.8
0.4	3.4	0.2	9.3	6.4	12.0	13.4	13.6	10.7	2.8
12.2	11.0	8.5	7.9	20.1	22.5	16.9	28.3	13.3	12.0
18.4	26.0	20.0	13.1	23.3	17.1	14.7	18.5	18.8	18.0
8.2	9.7	19.4	19.2	21.9	15.1	17.5	18.5	19.5	7.5
19.7	26.0	18.6	47.0	17.8	12.2	13.1	13.2	16.1	19.3
8.2	9.7	19.4	19.2	21.9	15.1	17.5	18.5	19.5	7.5
18.4	26.0	20.0	13.1	23.3	17.1	14.7	18.5	18.8	18.0
12.2	11.0	8.5	7.9	20.1	22.5	16.9	28.3	13.3	12.0
0.4	3.4	0.2	9.3	6.4	12.0	13.4	13.6	10.7	2.8
1.0	2.5	3.3	8.0	5.2	8.3	7.8	7.1	6.2	1.8
2.4	2.0	2.6	8.1	9.5	5.2	13.6	8.7	5.4	4.1

Anexo 13. Memorias de cálculo.

• **Finca Buenavista**

Para determinar el volumen, lamina bruta y tiempo de riego se tuvo en cuenta la evapotranspiración, la cual es:

$$Etc = 3,22 \text{ mm/día}$$

$$Etc \text{ (modificado)} = 3,22 \text{ mm/día} * 1,1 = 3,54 \text{ mm/día}$$

Cálculos de Volumen-Lámina bruta-Tiempo de riego.

	Microtubo	Cinta
Volumen	$\frac{5,5 \text{ m}^2 * 2,5 \text{ m}^2 * 0,65 * 3,54 \text{ mm/día}}{1000}$ = 0,03164 m ³ → 31,64 l	$\frac{12,64 \text{ m}^2 * 3,54 \text{ mm/día}}{1000}$ = 0,05 m ³ → 44,75 l
Lamina bruta	$\frac{31,64 \text{ l}}{0,9} = 35,15 \text{ l}$	$\frac{44,75 \text{ l}}{0,9} = 49,71 \text{ l}$
Tiempo de riego	$tr = \frac{35,15 \text{ l} * 1 \text{ h}}{46,4 \frac{\text{l}}{\text{h}}}$ = 0,76 h → 45 min	$\frac{49,71 \text{ l} * 1 \text{ h}}{217,08 \frac{\text{l}}{\text{h}}}$ = 0,23 h → 13,74 min

Cálculo de Tasa de aplicación

Técnica de riego	Tasa de aplicación
Microtubo	$\text{mm/h} = \frac{1000 * 0,046 \text{ m}^3/\text{h}}{8,94 \text{ m}^2} = 5,15$
Goteo	$\text{mm/h} = \frac{1000 * 0,0084 \text{ m}^3/\text{h}}{8,94 \text{ m}^2} = 0,94$
Cinta	$\text{mm/h} = \frac{1000 * 0,21708 \text{ m}^3/\text{h}}{12,636 \text{ m}^2} = 17,18$
Microaspersión	$\text{mm/h} = \frac{1000 * 0,092 \text{ m}^3/\text{h}}{(3 * 2,5) \text{ m}^2} = 12,27$
Aspersión	$\text{mm/h} = \frac{1000 * 0,59 \text{ m}^3/\text{h}}{(5 * 4,5) \text{ m}^2} = 26,22$

- Finca Villa Gloria

Cálculos de Volumen-Lámina bruta-Tiempo de riego.

	Goteo	Cinta
Volumen	$\frac{7,8 \text{ m}^2 * 3,54 \text{ mm/día}}{1000} = 0,028 \text{ m}^3 \rightarrow 27,61 \text{ l}$	$\frac{7,644 \text{ m}^2 * 3,54 \text{ mm/día}}{1000} = 0,027 \text{ m}^3 \rightarrow 27,06 \text{ l}$
Lamina bruta	$\frac{27,61 \text{ l}}{0,9} = 30,68 \text{ l}$	$\frac{27,06 \text{ l}}{0,9} = 30,07 \text{ l}$
Tiempo de riego	$\frac{30,68 \text{ l} * 1 \text{ h}}{144 \frac{\text{l}}{\text{h}}} = 0,21 \text{ h} \rightarrow 12,78 \text{ min}$	$\frac{30,07 \text{ l} * 1 \text{ h}}{78,4 \frac{\text{l}}{\text{h}}} = 0,38 \text{ h} \rightarrow 23,1 \text{ min}$

Cálculo de Tasa de aplicación.

Técnica de riego	Tasa de aplicación
Microtubo	$\text{mm/h} = \frac{1000 * 0,791 \text{ m}^3/\text{h}}{5,46 \text{ m}^2} = 144,87$
Goteo	$\text{mm/h} = \frac{1000 * 0,144 \text{ m}^3/\text{h}}{7,8 \text{ m}^2} = 18,46$
Cinta	$\text{mm/h} = \frac{1000 * 0,0784 \text{ m}^3/\text{h}}{7,644 \text{ m}^2} = 10,26$
Microaspersión	$\text{mm/h} = \frac{1000 * 0,0384 \text{ m}^3/\text{h}}{(3 * 2,5) \text{ m}^2} = 5,12$

- Finca La Conejera

Cálculo de Tasa de aplicación

Técnica de riego	Tasa de aplicación
Microaspersión	$\text{mm/h} = \frac{1000 * 0,1 \text{ m}^3/\text{h}}{(3 * 2,5) \text{ m}^2} = 13,3$
Aspersión	$\text{mm/h} = \frac{1000 * 0,523 \text{ m}^3/\text{h}}{(5 * 4,5) \text{ m}^2} = 23,24$

- Pérdidas por fricción tubería principal de las fincas evaluadas.

Finca Evaluada	Pérdidas por fricción
Buenvista	<p>Longitud máxima= 62,4 m $Q= 1023,3 \text{ l/h} * 4 = 4093,2 \text{ l/h} \rightarrow 1,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ $D= 2'' \rightarrow 0,0508 \text{ m}$ Salidas= 4</p> $hf = \frac{10,64 * (1,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})^{1,852}}{(150)^{1,852} * (0,0508 \text{ m})^{4,871}} * 62,4 \text{ m}$ $hf = 0,4134 \text{ m H}_2\text{O} \rightarrow 0,5880 \text{ psi}$
Villa Gloria	<p>Longitud máxima= 56,1 m $Q= 140 \text{ l/h} * 9 = 1260 \text{ l/h} \rightarrow 3,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ $D= 3/4'' \rightarrow 0,01905 \text{ m}$ Salidas= 9</p> $hf = \frac{10,64 * (3,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})^{1,852}}{(150)^{1,852} * (0,01905 \text{ m})^{4,871}} * 56,1 \text{ m}$ $hf = 5,297 \text{ m H}_2\text{O} \rightarrow 7,534 \text{ psi}$
La Conejera	<p>Longitud máxima = 56,22 m $Q= 1023,3 \text{ l/h} * 3 = 3069,9 \text{ l/h} \rightarrow 8,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ $D= 3/4'' \rightarrow 0,01905 \text{ m}$ Salidas= 3</p> $hf = \frac{10,64 * (8,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})^{1,852}}{(150)^{1,852} * (0,01905 \text{ m})^{4,871}} * 56,22 \text{ m}$ $hf = 27,46 \text{ m H}_2\text{O} \rightarrow 39,0496 \text{ psi}$

- Cálculos aspersor Xcel- Wobbler.

Aspersor Xcel-Wobbler	
Viento Promedio	1,9 m/s \rightarrow 0,114 km/h
Espaciamiento a lo largo del lateral	75% \rightarrow 11 m * 0,75 = 8 m
Espaciamiento entre laterales	86 % \rightarrow 11 m * 0,86 = 9 m
Tasa de aplicación	$\text{mm}/\text{h} = \left(\frac{1000 * 0,177 \text{ m}^3/\text{h}}{(8 \text{ m} * 9 \text{ m})} \right) = 2,46$