



*TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO*

**TÍTULO: PROPUESTA DE REDISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO
LOCALIZADO DE LA FINCA**

“EL PEDREGAL”

Autor: Misael Peñalver Sarría

Tutores: MSc. Reinaldo Pérez Armas

Ing. Héctor Morejón González

Curso 2014- 2015

PENSAMIENTO

“SOLO LA CIENCIA, LA TÉCNICA Y LA PRODUCTIVIDAD POR HECTÁREA, PODRÁN ENFRENTAR EL GRANDIOSO DESAFÍO QUE TIENE POR DELANTE UN PLANETA QUE SE EMPOBRECE, CUYA TIERRA AGRÍCOLA Y AGUA POTABLE DISMINUYE AÑO POR AÑO”.

Fidel Castro Ruz

Palabras pronunciadas en la cena ofrecida a los participantes en la Exposición de Productos Agroalimentarios de los Estados Unidos. Salón de protocolo del Laguito.

AGRADECIMIENTOS

A:

Wilfredo René Padrón Padrón, por hacer de la finca “El Pedregal”, un lugar de Referencia Nacional.

María del Carmen Capote Díaz, por su apoyo desinteresado para terminar este trabajo.

Osmani García Gómez, técnico de la CPA Mártires de Barbados, por la facilitación de documentos para la realización de este trabajo.

Pedro Liriano Suárez, trabajador de la finca El Pedregal.

Mis tutores, MSc. Reinaldo Pérez Armas y Héctor Morejón González, a quienes les debo el fruto de mi preparación técnica y profesional.

Dr. en Ciencias Ángel Sánchez Iznága, por su ayuda como pedagogo.

Todos los profesores de la Facultad de Ciencias Agrarias, por inculcarme la importancia de la agricultura en los tiempos que vivimos.

Mis compañeros de trabajo Marineé, Fermín, Rosario, Ayelín, Yuleisy, Tirso, Ricardo, Marrero y Daimel.

En general, a todos los que colaboraron de una forma u otra, con la realización de este trabajo de diploma.

DEDICATORIA

A mi madre por su preocupación constante.

A mi tía Ángela por sus enseñanzas y la ayuda incondicional.

A mi familia, que me ayudó para que este esfuerzo constituya la máxima expresión de satisfacción y orgullo del sueño esperado.

RESUMEN

En el periodo comprendido de septiembre del 2014 a marzo del 2015 se llevó a cabo una investigación no experimental en la finca universitaria “El Pedregal” con el objetivo de elaborar una propuesta de rediseño del sistema de riego para lograr una explotación eficiente en las condiciones actuales y futuras. Se caracterizó el sistema y sus componentes a través de revisión documental, observaciones y entrevistas, se evaluó el estado de los parámetros técnicos de explotación del sistema mediante mediciones directas de campo a la pluviometría, al caudal y a la presión de trabajo para evaluar la calidad del riego a través de la Uniformidad de la distribución (UD) y del coeficiente de variación (CV) y se propuso un plan de medidas para rediseñar el sistema. Los resultados de la investigación permitieron identificar los problemas de diseño, en el manejo y de la propia finca entre los que sobresalen la diversidad de emisores en una línea, las bajas presiones de trabajo, la carencia del cabezal de riego que impide filtrar el agua y manejar adecuadamente el caudal y la presión de trabajo. Las conclusiones principales son: El sistema actual de la finca no garantiza ni la satisfacción de las demandas de los cultivos, ni una aplicación eficiente del agua, la uniformidad del riego mostró un comportamiento muy irregular con valores entre 11.70 y 96.6 %, la propuesta de rediseño del sistema permitirá explotar adecuadamente el sistema, atender a las necesidades hídricas de los cultivos y hacer un uso racional del agua.

Palabras claves:

Emisores, pluviometría, riego localizado, sistema de riego, uniformidad.

ABSTRACT

In the period understood of September from 2014 to March of 2015 an investigation took effect not experimental at the “El Pedregal” university farm for the sake of elaborating a proposal of I redesign of the system of irrigation to achieve an efficient exploitation in the present-day and future conditions. The system and his components through documentary revision, observations and interviews were characterized, the intervening system’s status of the technical parameters of exploitation evaluated to the pluviometry, to flow intensity and to the working pressure to evaluate the quality of the irrigation through the Uniformity of distribution (UD) and the coefficient of variation direct farm measurements (CV) and a plan of measures was intended to redesign the system itself. The research findings allowed identifying the designing problems, in handling and of the own farm between the ones they stand out between the diversity of emitters in a line, the casualties working pressures, the scarcity of the truck of irrigation that makes it impossible to filter water and to manage flow intensity and working pressure adequately. The main findings are: The present-day system of the farm guarantees neither the satisfaction of the requests of cultivations, neither an efficient application software of water, the uniformity of irrigation evidenced an irregular behavior with moral values between 11.70 and 96.6 %, the proposal of redesign of the system it will allow exploiting the system adequately, attending to the hydric needs of cultivations and doing a rational use of water.

Key words:

Emitters, pluviometry, localized riego, system of irrigation, uniformidad.

INDICE

Introducción	1
Capítulo I. Revisión Bibliográfica	6
1.1 El riego.....	6
1.1.1 Algunos apuntes de los antecedentes del riego desde la antigüedad hasta la actualidad.....	6
1.1.2 El riego y el medio ambiente	7
1.1.3 Antecedentes del riego en Cuba antes y después de la revolución.....	
1.1.4 Riego localizado. Su empleo e importancia.....	10
1.2 La uniformidad en el riego.....	14
1.3 Los sistemas de riego y su adecuación a las características del área....	18
Capítulo II. Materiales y Métodos	19
2.1 Elementos a caracterizar del sistema de riego en la finca “El Pedregal”.....	19
2.2 Evaluación de los parámetros técnicos de explotación del sistema de riego.....	20
Características del suelo de la finca “El Pedregal”.....	26
2.3 Rediseño del sistema de riego.....	28
Capítulo III. Resultados y Discusión	29
3.1 Caracterización del sistema de riego localizado de la finca “El Pedregal”.....	30
Comportamiento de la presión de agua en el sistema de riego.....	36
3.2 Evaluación de los parámetros técnicos de explotación del sistema de riego.....	38
3.3 Propuesta de rediseño del sistema de riego de la finca “El Pedregal”.....	43
Conclusiones	50
Recomendaciones	51
Bibliografía	52
Anexos	56

INTRODUCCIÓN

“El agua nos acompaña desde la aparición de la especie humana. Ella no expira, simplemente se encuentra contenida en toda manifestación terrenal, como fuente de vida universal (*Rodrigo, 1991*).

La «gestión» del agua no es exclusivamente un problema de carácter ingenieril o técnico, sino de política social. Desde luego, el conocimiento científico juega un papel clave en dicha gestión, pero una cosa es aceptar ese papel y otra muy diferente es aceptar su autoridad incuestionable a la hora de plantear cuáles son las cuestiones que hay que abordar (*Irwin & Wynne, 1996*), citado por (*Aguilera, 2006*).

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (*PNUMA*) calcula que de aquí al año 2027, aproximadamente un tercio de los habitantes del mundo sufrirá escasez de agua seria. Las razones para ello son evidentes: la mayor demanda sobre los recursos de agua dulce provocada por las crecientes poblaciones humanas; el empeoramiento de la calidad de los recursos acuíferos existentes debido a la contaminación y las necesidades creadas por la dinámica expansión industrial y agrícola. (*Cepero, 2014*).

Según (*Orellana & Ortega, 2006*) la gestión del recurso agua está básicamente relacionada con el hecho de que existe una cierta cantidad y hay que usarlo en la mejor forma posible de modo que ello permita a los usuarios el máximo beneficio tanto en términos económicos como sociales.

En Cuba, con la caída del campo socialista a inicios de la década del 90 y con ello la pérdida del 85 % de las exportaciones, comenzaron a escasear los alimentos, las materias primas y resultó indispensable desarrollar producciones locales que pudieran contribuir al mantenimiento de la salud del pueblo y a garantizar la disponibilidad de productos frescos y de mayor calidad. (*González, 2001*).

En este sentido es de vital importancia el aumento de la producción agrícola, dada la demanda creciente de alimentos por la población, en la que el riego es uno de los factores imprescindible considerando que en Cuba el 20 % de la superficie cultivada está bajo riego y produce casi el 80 % de los alimentos. Esta razón explica que el 70 %

del agua disponible se utiliza principalmente para esta actividad, pero aun así es insuficiente en relación con las áreas potencialmente cultivables. Una aplicación eficiente del agua, equivale a un manejo óptimo del riego, lo que permite la obtención de rendimientos elevados y una disminución en el consumo de este preciado líquido utilizado por la población.

La Asociación de Riego de los E.E.U.U. (Irrigation Association), consideró en su congreso del 2002, que para satisfacer el crecimiento en el uso del agua en la agricultura, previsto a nivel mundial para el 2025, se requerirá de:

- El trasvase de agua entre regiones y países, ejecución de nuevas presas y sistemas de bombeos.
- Uso más eficiente del agua con el empleo de nuevas tecnologías adaptadas y al alcance de un número mayor de agricultores.
- Ver más el rendimiento agrícola como rendimiento por metro cúbico de agua utilizada, que rendimiento por hectárea.
- Una capacitación constante de los productores, consultores y extensionistas en el desarrollo de una conciencia del uso eficiente del agua.
- Incrementar el uso de aguas residuales tratadas o recicladas.

Ante la situación del aumento de la población mundial, de la variación de los hábitos de consumo, a la imposibilidad de vivir sin los alimentos es necesario, teniendo en cuenta los efectos del cambio climático y que cada día tenemos menos recursos hídricos, aplicar la alternativa de elevar la eficiencia de los sistemas de riego para contribuir a incrementar los rendimientos de los cultivos en función de las potencialidades de los suelos en aras de alcanzar la necesaria y discutida seguridad alimentaria de los pueblos.

Es importante referir que para el establecimiento de sistemas de riego eficientes es necesario conocerlo para ver cómo se comportan, las condiciones donde están instalados, y que respuestas tienen los cultivos.

El riego aporta agua al suelo para que los vegetales tengan el suministro que necesitan, favoreciendo así su crecimiento. Se utiliza en la agricultura como método principal de entrega de agua al campo, para complementar la que las lluvias no aseguran.

Aproximadamente por el 95 % de los proyectos en todo el mundo emplean el riego por inundación o de surco. Otros sistemas emplean aspersores y riego de goteo. Aunque sean técnicas relativamente nuevas, que requieren una inversión inicial más grande y manejo más intensivo que el riego de superficie. El riego por aspersión y el de goteo suponen una mejora importante en la eficiencia del uso del agua, y reducen los problemas relacionados con el riego.

Una manera moderna de regar, es la utilización del riego por goteo y microaspersión (riego localizado) con un impacto económico, social y medioambiental que justifica su alta popularidad.

El riego localizado se empezó a ensayar en Alemania en 1860 y en Estados Unidos en 1918, mediante tuberías porosas o perforadas enterradas. Este sistema resultó caro por el tipo de tuberías que se empleaban y presentaba problemas de obstrucción, porque las raíces de las plantas acababan taponando las salidas. Puede afirmarse que el riego localizado tal como se conoce en la actualidad, empezó en Inglaterra, después de la Segunda Guerra Mundial, en invernaderos, semilleros y jardinería, utilizándose microtubos como emisores.

Sin embargo otros autores refieren que es en la década de los sesenta, en Israel, cuando se inicia su expansión, tras el perfeccionamiento de las técnicas de extrusión e inyección de los plásticos que en Israel fue uno de los países pioneros de la investigación y desarrollo de este tipo de riegos para sus zonas áridas, semiáridas, desérticas simultáneamente se investigó en Italia, Inglaterra, Francia y Estados Unidos, llegando a buenos resultados, saltando de la etapa experimental a la fase de expansión agrícola (*Wikipedia, 2010*).

Es preciso señalar que el riego localizado supone una mejora tecnológica importante, que contribuirá por tanto, a una mayor productividad. Implica un cambio profundo dentro de los sistemas de aplicación de agua al suelo que incidirá también en las prácticas

culturales a realizar, hasta el punto que puede considerarse como una nueva técnica de producción agrícola que se adapta a las necesidades actuales de producir alimento con menores costos y con un uso racional del agua.

Charles & Burt (2002), refieren que: La gestión del recurso agua está básicamente relacionada con el hecho de que existe una cierta cantidad y hay que usarlo en la mejor forma posible de modo que ello permita a los usuarios, el máximo beneficio tanto en términos económicos como sociales.

Según (*Alabanda, 2001*), la evaluación de un sistema de riego comprende el estudio de la uniformidad de distribución y la eficiencia de aplicación, así como el análisis de todos los elementos del sistema de riego. La determinación de la uniformidad del sistema es el indicador más importante del buen funcionamiento del mismo y su conocimiento es fundamental por varias razones entre las que están:

- Desde el punto de vista ingenieril, para confirmar si un diseño es o no satisfactorio.
- Desde el punto de vista del agricultor, para estimar la producción.
- Desde el punto de vista del regante, para definir la eficiencia de aplicación y los calendarios de riego.

Estas evaluaciones deben realizarse al instalar un nuevo sistema, después de hacer un mantenimiento general y al menos una vez al año con el objetivo de conocer cómo está funcionando y corregir los problemas, para lo cual se necesita un mínimo de recursos materiales y conocimientos por el productor.

En observaciones directas al proceso de producción de la finca universitaria explotada desde el 2009 donde se instaló un sistema de riego localizado con tuberías soterradas para abastecer a los cultivos sembrados y ante la carencia de un mercado seguro tuvo la necesidad de buscar alternativas para ver cuánto emisor podía adquirir; por lo que colocó diferentes tipos y modelos, los que nunca evaluó para conocer su comportamiento real en un diseño que tras cinco años de explotación no se ajusta el estado actual y futuro de la composición de cultivos de este predio.

Ante la situación descrita el autor considera que es preciso buscar alternativas, por lo que se plantea el siguiente problema científico:

Problema Científico:

¿Cuál será el comportamiento real de los parámetros técnicos de explotación del sistema de riego de la finca “El Pedregal”, en las condiciones de su diseño actual?

Hipótesis:

Si se evalúa el comportamiento de los parámetros técnicos de explotación del sistema de riego de la finca “El Pedregal”, se podrá proponer un rediseño que asegure una explotación eficiente para las condiciones actuales y futuras.

Objetivo General:

Elaborar una propuesta de rediseño del sistema de riego localizado en la finca “El Pedregal” para lograr una explotación eficiente en las condiciones actuales y futuras.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar el sistema de riego localizado de la finca “El Pedregal”.
2. Determinar los parámetros de explotación del sistema.
3. Establecer un plan de medidas para el mejoramiento de la explotación del sistema de riego, atendiendo a las características actuales y futuras de la finca.

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 El riego.

1.1.1. Algunos apuntes de los antecedentes del riego desde la antigüedad hasta la actualidad.

En el proceso histórico del riego se considera como una ciencia milenaria, en algunos países se estableció como una actividad de vital importancia, se remonta desde las civilizaciones antiguas surgidas en los valles fértiles de los ríos Yang Tse, Hoang Ho, Indo, Nilo y Eufrates.

En Mesopotamia se regaban por aniego los cereales de que dependía esta civilización. La práctica de este sistema de regadío se enmarca en la historia desde el siglo VI antes de Cristo. Desde aquellos tiempos hasta nuestros días se han conservado muchas obras de irrigación y abundantes documentos, los que ponen de manifiesto la antigüedad del riego.

Según (*Israelsen & Hansen, 1966*) y (*Aidarov, Golovanov, & Mamaev, 1985*), en nuestra América cuando los españoles llegaron por primera vez a México y Perú en el siglo XVI, descubrieron que existían instalaciones de riego de cierta complejidad, que utilizaban para almacenar y conducir el agua. La agricultura de riego fue la base sobre la cual fueron construidas las famosas civilizaciones aztecas e incas.

Por otro lado destacan (*Aidarov, Golovanov, & Mamaev, 1985*) que un ejemplo clásico de sistemas de riego antiguos son las chinampas, sistemas de producción agrícolas sobre los lagos, utilizados por los aztecas antes de la época de la conquista con la finalidad de producir los cultivos básicos de su alimentación en forma segura; el sistema en sí combina el conocimiento del riego subterráneo con la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo).

Otro antecedente importante es como en la parte del valle de las montañas de Los Andes, en Perú; fueron encontrados restos de tres canales de riego que según las pruebas realizadas fueron construidos en los siglos IV y III a.n.e. y del IX de nuestra era. Estos canales constituyen las más antiguas muestras de riego en el llamado nuevo

mundo (*Dillehay, 2005*). Son estos los primeros indicios del origen del riego, el que tuvo un desarrollo lento hasta que en siglo XX se comenzaron a emplear los motores de combustión interna y eléctricos para esta actividad, lo que permitió extraer el agua de las profundidades de los acuíferos o impulsarla a grandes distancias, favoreciendo de manera directa el desarrollo del riego que avanzaba día a día y se extendía por todo el mundo.

Debemos referir según estudios bibliográficos realizados que el riego es de gran importancia para el desarrollo agrícola de cualquier país para elevar la producción y satisfacer las necesidades del hombre. Sin duda el desarrollo de la agricultura a nivel mundial está sustentado en gran medida por la introducción y posterior avance tecnológicos de los sistemas de riego, los cuales permiten aumentar los rendimientos incluso en lugares de clima seco e inestable.

Sin embargo la mala utilización del riego ha traído consecuencias desastrosas en los recursos agua y suelo, en esto, insiste el autor ha tenido mayor incidencia el manejo inadecuado realizado por el hombre de las tecnologías. (*FAO, 2010*).

El autor de este trabajo considera oportuno hacer referencia al medio ambiente, ya que, es un factor que influye de manera positiva y negativa en el sistema de riego, por la necesidad de evitar impactos adversos o de asegurar beneficios a largo plazo condujo a la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo e *Impactos ambientales de los sistemas de riego*.

1.1.2. El riego y el medio ambiente.

Desde hace mucho tiempo, se ha utilizado el agua superficial (principalmente los ríos) para riego, y, en algunos países, desde hace miles de años; todavía constituye una de las principales inversiones del sector público. Los proyectos de riego en gran escala, que utilizan el agua subterránea, son un fenómeno reciente, a partir de los últimos treinta años. Se encuentran principalmente en las grandes cuencas aluviales de Pakistán, India y China, donde se utilizan pozos entubados para aprovechar el agua freática, conjuntamente, con los sistemas de riego que emplean el agua superficial.

Los potenciales impactos ambientales negativos de la mayoría de los grandes proyectos de riego incluyen la saturación y salinización de los suelos; la mayor incidencia de las enfermedades transmitidas o relacionadas con el agua; el reasentamiento o cambios en los estilos de vida de las poblaciones locales; el aumento en la cantidad de plagas y enfermedades agrícolas, debido a la eliminación de la mortandad que ocurre durante la temporada seca; y la creación de un microclima más húmedo.

La expansión e intensificación de la agricultura que facilita el riego puede causar mayor erosión; contaminar el agua superficial y subterránea con los biocidas agrícolas; reducir la calidad del agua; y, aumentar los niveles de alimentos en el agua de riego y drenaje, produciendo el florecimiento de las algas, la proliferación de las malezas acuáticas y la eutrofización de los canales de riego y vías acuáticas, aguas abajo. Así, se requieren mayores cantidades de productos químicos agrícolas para controlar el creciente número de plagas y enfermedades de los cultivos.

Los grandes proyectos de riego que represan y desvían las aguas de los ríos, tienen el potencial de causar importantes trastornos ambientales como resultado de los cambios en la hidrología y limnología de las cuencas de los ríos.

Al reducir el caudal del río, se cambia el uso de la tierra y la ecología de la zona aluvial; se trastorna la pesca en el río y en el estero, y se permite la invasión del agua salada al río y al agua subterránea de las tierras aledañas. El desvío y pérdida de agua debido al riego reduce el caudal que llega a los usuarios, aguas abajo, incluyendo las municipalidades, las industrias y los agricultores.

La reducción del flujo básico del río disminuye también la dilución de las aguas servidas municipales e industriales que se introducen, aguas abajo, causando contaminación y peligros para la salud. El deterioro en la calidad del agua, debido a un proyecto de riego, puede volverla inservible para los otros usuarios, perjudicar las especies acuáticas, y, debido a su alto contenido de alimentos, provocar el crecimiento de malezas acuáticas que obstruirán las vías fluviales, con consecuencias ambientales para la salud y la navegación.

Los potenciales impactos ambientales negativos directos del uso del agua freática para riego surgen del uso excesivo de estas fuentes (retirando cantidades mayores que la tasa de recuperación). Esto baja el nivel del agua freática, causa hundimiento de la tierra, disminuye la calidad del agua y permite la intrusión del agua salada (en las áreas costeras).

Hay algunos factores ambientales externos que influyen en los proyectos de riego. El uso de la tierra, aguas arriba, afectará la calidad del agua que ingresa al área de riego, especialmente su contenido de sedimentos (erosión causada por la agricultura) y composición química, (contaminantes agrícolas e industriales). Al utilizar el agua que deposita el sedimento en los terrenos, durante el tiempo, o, simplemente, al utilizar el agua que trae un alto contenido de sedimento, se puede alzar el nivel de la tierra a tal punto que se impida el riego.

Los impactos positivos obvios del riego provienen de la mayor producción de alimentos. Además, la concentración e intensificación de la producción en un área más pequeña puede proteger los bosques y tierras silvestres, para que no se conviertan en terrenos agrícolas.

Igualmente la (FAO, 2010) muestra en sus estadísticas que la irrigación moderna ha crecido en importancia, desde los 8 millones de hectáreas que se regaban en el 1 800 hasta los 271.4 millones que se alcanzaron en 1998. Por otra parte Pacheco (2003) alerta sobre los efectos de la degradación en forma de erosión, agotamiento de los nutrientes, salinización de los suelos y contaminación del agua que trae aparejado un uso inadecuado de las técnicas de riego.

La erosión de los suelos es, de todas las existentes, la causa más extendida de la degradación y su principal agente es la erosión hídrica; ya que la agricultura de regadío es esencial para la economía, la salud y el bienestar de una parte considerable del tercer mundo, y por tanto, es uno de los factores más importantes para la seguridad alimentaria del planeta.

Sin embargo, no puede olvidarse que el regadío cambia radicalmente el uso de la tierra y es a su vez el mayor consumidor de agua, entonces puede afirmarse que el desarrollo

del riego tiene un impacto considerable sobre el ambiente, y todo proyecto que no esté bien concebido puede convertirse en un elemento degradante del medio.

En esta dirección (*Febles, 2012*), enunció como las principales causas fundamentales de la degradación de los suelos agrícolas las siguientes:

- Incorrecta elección de las prácticas agrícolas.
- Inadecuada planificación del uso de los suelos.
- Ausencia de un sistema de tecnología de cultivos de acuerdo con los tipos de suelo.
- Ausencia de control de la erosión y escaso conocimiento sobre este fenómeno.
- Uso irracional de fertilizantes y agrotóxicos.
- Violaciones de las instrucciones técnicas de preparación de suelos.
- Violaciones jurídicas de las leyes y disposiciones legales relativas al uso, conservación y mejoramiento de los suelos.
- Riegos con aguas de elevada mineralización.

1.1.3 Antecedentes del riego en Cuba antes y después de la revolución.

En bibliografías revisadas plantean que los primeros indicios del riego en Cuba se encuentran en las zanjas maestras construidas al sur de la ciudad de Güines en la actual provincia de Mayabeque en el río homónimo y donde se constituyó la Comunidad de Regantes del Mayabeque. También es un ejemplo de las primeras manifestaciones del uso del agua para riego en Cuba, las instalaciones de bombas para pozos profundos de Horquita en la provincia de Cienfuegos. (*García, Dehogues, & Tzenova, 1996*).

En artículos publicados en una revista del *Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (2012)*, refieren que en 1958 existían en el país 160 mil hectáreas bajo riego, las cuales generalmente se regaban con instalaciones dispersas, de tecnología atrasada y cuya fuente fundamental era el agua subterránea, explotada a través de pozos en forma indiscriminada. Esto trajo como consecuencia la salinización de grandes acuíferos y el abandono posterior de zonas fértiles.

Además enuncia que el agua superficial se tomaba directamente de los ríos, lagunas o mediante pequeñas obras de toma. Que en los 55 años de pseudorepública se construyeron 13 obras hidráulicas entre presas y micropresas, para embalsar un total de 48 millones de m³, para abasto a la población.

También describen que al triunfo de la revolución y a raíz de eventos extremos ocurridos como una intensa sequía (1961- 1962) y el paso del huracán *Flora* por la isla (1963), comenzó lo que se denominó en Cuba “*Voluntad Hidráulica*”. Esta fue la respuesta coherente al aseguramiento de la cantidad y calidad del agua para el desarrollo económico, social, y la protección ambiental en el país.

En tal caso con el empeño de elevar la producción de alimentos para la población y el desarrollo de la actividad agrícola, se implementó un programa de construcciones de sistemas de riego, posibilitando un incremento notable de las 160 mil en los '50 hasta un millón de hectáreas, al cierre de 1989.

Con relación a la situación del riego en el periodo especial, la crisis económica ocurrida a partir de 1991, motivada por el derrumbe del campo socialista, el desmembramiento de la URSS y el recrudecimiento del bloqueo económico por parte del gobierno de los Estados Unidos, provocó serias afectaciones al desarrollo hidráulico cubano.

Además se significa que se detuvo el proceso inversionista en las obras hidráulicas, incluyendo los sistemas de riego y drenaje, los recursos financieros no fueron suficientes para el mantenimiento de los sistemas ya construidos, por tales razones ya en el año 2000 habían perdido valor de uso para regadíos unas 160 577 ha, disminuyendo el área bajo riego en el país un 27 %.

A finales del 2009 existían 239 embalses, con una capacidad total de 8 810 hm³. Las áreas bajo riego alcanzaban la cifra de casi 500 mil ha. De ellas, el 15,9 % se riega con técnicas de aspersión, el 5,3 % con máquinas, el 6,3% con riego localizado, el 60,9% por gravedad y un 1,5% con otras técnicas. (*Dorticós del Río & Arellano, 2012*)

1.1.4 Riego localizado. Su empleo e importancia.

El riego localizado se empezó a ensayar en Alemania en 1860 y en Estados Unidos en 1918, mediante tuberías porosas o perforadas enterradas. El sistema resultó caro por el tipo de tuberías que se empleaban y presentaba problemas de obstrucción, porque las raíces de las plantas acababan taponando las salidas.

Puede afirmarse que el riego localizado tal como se conoce en la actualidad, empezó en Inglaterra, después de la Segunda Guerra Mundial, en invernaderos, semilleros y jardinería, utilizándose microtubos como emisores. Es en la década de los sesenta, en Israel, cuando se inicia su expansión, tras el perfeccionamiento de las técnicas de extrusión e inyección de los plásticos.

Así, Israel fue uno de los países pioneros de la investigación y desarrollo de este tipo de riegos para sus zonas áridas, semiáridas y desérticas. Simultáneamente se investigó en Italia, Inglaterra, Francia y Estados Unidos, llegándose a buenos resultados, saltando de la etapa experimental a la fase de expansión agrícola. (*Wikipedia, 2010*)

El riego localizado objeto de esta investigación supone una mejora tecnológica importante, que contribuirá por tanto, a una mayor productividad. Implica un cambio profundo dentro de los sistemas de aplicación de agua al suelo que incidirá también en las prácticas culturales a realizar, hasta el punto que puede considerarse como una nueva técnica de producción agrícola.

Sus principales características son:

- El agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical. En esto difiere sustancialmente del riego tradicional en el que predominan las fuerzas de gravedad y por tanto el movimiento vertical.
- No se moja todo el suelo, sino solamente una parte del mismo, que varía con las características del suelo, el caudal del emisor y el tiempo de aplicación. En esta parte húmeda es en la que la planta concentrará sus raíces y de la que se alimentará.

- El mantenimiento de un nivel óptimo de humedad en el suelo implica una baja tensión de agua en el mismo. El nivel de humedad que se mantiene en el suelo es cercano a la capacidad de campo, lo cual es muy difícil conseguir con otros sistemas de riego, pues habría que regar diariamente y se producirían encharcamientos y asfixia radicular.
- Requiere un abonado frecuente, pues como consecuencia del movimiento permanente del agua en el bulbo, puede producirse un lavado excesivo de nutrientes.
- Utiliza pequeños caudales a baja presión.
- Se opera con la frecuencia necesaria para lograr un alto contenido de humedad en el suelo, pueden incluir los siguientes equipos e infraestructura.

En este sentido la función del tipo de emisor utilizado y su colocación se distinguen tres tipos de riego localizado:

- Por goteo.
- Por tuberías emisoras.
- Por microaspersión y microdifusión.

Riego por goteo. Es el sistema de riego localizado más popular. El agua circula a presión por la instalación hasta llegar a los goteros, en los que se pierde presión y velocidad, saliendo gota a gota. Los goteros suelen trabajar a una presión de aproximadamente 1 kg.cm^{-2} conocido popularmente por kilo y suministran caudales entre 2 y 16 L.h^{-1} . Lo más frecuente es que las tuberías laterales y los goteros estén situados sobre la superficie del suelo, y el agua se infiltre y distribuya en el subsuelo.

Es el riego por goteo en superficie, este sistema está basado en la utilización de franjas de humedad que garantizan una buena uniformidad de riego. Tiene como principal inconveniente la obstrucción de goteros y la dificultad de detectar fallos en el funcionamiento de estos así como de su reparación.

Riego por tuberías emisoras. Se caracteriza por la instalación de tuberías emisoras sobre la superficie del suelo creando una banda continua de suelo humedecido y no en

puntos localizados como en el riego por goteo. Su uso más frecuente es en cultivos en línea con muy poca distancia entre plantas. Las más utilizadas son las tuberías goteadoras y las tuberías exudantes.

Riego por microaspersión. El agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia muy fina, mojando una zona determinada que depende del alcance de cada emisor. Está indicado tanto para cultivos leñosos como para cultivos herbáceos de distinto marco de plantación. Se distinguen los emisores denominados microaspersores. Este suele trabajar a presiones entre 1 y 2 kg/cm² y suministran caudales de hasta 200 L.h⁻¹.

Otro elemento importante es especificar las *ventajas y desventajas del sistema de riego localizado*. Entre sus principales *ventajas* están:

- Ahorro de agua dado por la posibilidad de controlar fácilmente la lámina de agua aplicada.
- La reducción de la evaporación directa. la ausencia de escurrimiento y el aumento de la uniformidad de aplicación al reducir la filtración profunda o percolación.
- Mayor rendimiento.
- Ahorro de fuerza de trabajo.
- Facilita el control de las plantas indeseables.
- Permite la aplicación de fertilizantes y otros productos junto con el agua.

Tiene como desventajas:

- Peligro de taponamiento de los emisores.
- Gran inversión inicial.
- Desarrollo radicular limitado.

Para que estas ventajas sean efectivas, es preciso que los componentes tengan un diseño adecuado (agronómico e hidráulico), y los materiales con que están fabricados sean de buena calidad. De no ser así, la inversión realizada en la instalación no producirá ventajas sustanciales.

1.2 La uniformidad en el riego.

La evaluación de un sistema de riego comprende el estudio de la uniformidad de distribución y la eficiencia de aplicación así como el análisis de todos los elementos del sistema de riego. La determinación de la uniformidad del sistema es el indicador más importante del buen funcionamiento del mismo y su conocimiento es fundamental por varias razones entre las que están:

1. Desde el punto de vista ingenieril, la determinación de la uniformidad en el campo es importante para confirmar si un diseño es o no satisfactorio.
2. Desde el punto de vista del agricultor, la determinación de la uniformidad en el campo es importante para estimar la producción.
3. Desde el punto de vista del regante, la determinación de la uniformidad en el campo es importante para definir la eficiencia de aplicación y los calendarios de riego.
4. La utilización de evaluaciones de campo, de modelos de simulación y de modelos de decisión está entre las herramientas necesarias para desarrollar la integración entre la mejora de los riegos y la respuesta económica de la producción bajo riego.

La uniformidad en el reparto del agua en el riego localizado depende principalmente del diseño hidráulico de la red y no de las características del suelo ni de las condiciones climáticas (especialmente el viento), dando en general buena uniformidad de aplicación para pequeñas diferencias de presión que puedan ocurrir en la red. La eficiencia de aplicación del agua puede ser elevada si el diseño y el manejo son correctos. (IIRD, 2005).

La uniformidad del riego constituye un elemento que siempre ha estado presente al evaluar un sistema de riego, compararlo con otro o elegir el más conveniente o factible para una determinada zona, siempre aspirándose a encontrar aquel que logre que en todos los puntos que atiende llegue la misma cantidad de agua o lo que es la mismo una aplicación con el 100 % de uniformidad.

Existen algunas claves para lograr la eficiencia y uniformidad de los sistemas de riego (FAO, 2002). Entre ellas están:

- Reducir las filtraciones de los canales por medio de revestimientos utilizar tuberías.
- Reducir la evaporación evitando los riegos de medio día y utilizar riego por aspersión por debajo de la copa de los árboles en vez de riego por aspersión sobre la copa de los mismos.
- Evitar el riego excesivo.
- Controlar las malas hierbas en las fajas entre cultivos y mantener secas estas fajas.
- Sembrar y cosechar en los momentos óptimos.
- Regar frecuentemente con la cantidad correcta de agua para evitar déficit de humedad.
- Disposición correcta de los emisores.
- Como se sabe, el objetivo del riego es optimizar en lo posible la eficiencia de la aplicación de agua, entendiendo como tal la fracción del agua aplicada que es consumida como Etc. Para ello es necesario minimizar las pérdidas por escorrentía, y sobre todo por percolación profunda, para lo cual se requiere que el sistema esté bien diseñado, manejado y conservado, consiguiendo así que la uniformidad de riego sea lo más alta posible.

En riego localizado, la uniformidad de riego suele expresarse mediante la uniformidad de emisión (UE), que para una subunidad de riego se define como:

- **UE = q_{25}/q_a**
- Siendo q_a el caudal medio de todos los emisores y q_{25} el caudal medio de los emisores que constituyen el 25% de más bajo caudal.

- En el procedimiento más comúnmente aceptado, la UE se evalúa en base a las medidas de caudal de 16 plantas uniformemente distribuidas dentro de la subunidad de riego representativa del conjunto de la instalación.
- A la hora de realizar el diseño de la instalación, son los factores económicos los que determinan la elección de la UE, debiendo comparar el coste del mayor consumo de agua (y su posibilidad) con una mayor inversión inicial de la instalación.
- La falta de uniformidad de una instalación de riego localizado es consecuencia principalmente de:
 - La irregularidad propia de los emisores. Esta se mide a través del coeficiente de variación de fabricación (CV), estando el fabricante obligado a suministrarlo. Sobre la base de este se establece la siguiente clasificación:
 1. $CV < 0,05$ categoría A (alta uniformidad).
 2. $0,05 < CV < 0,1$ categoría B (baja uniformidad).
 - Las diferencias de presión existentes en la subunidad son consecuencia de los desniveles topográficos y de las pérdidas de carga en las tuberías. Depende, pues del diseño hidráulico de la instalación.
 - Envejecimiento y obstrucciones de los emisores.
 - Sensibilidad de los emisores a los cambios de temperatura, modificándose las Secciones de paso del agua.
 - Para conocer la potencialidad de uniformidad de riego de una instalación es imprescindible realizar una prueba de evaluación antes de la recepción de la misma. Durante la campaña de riego se recomienda realizar al menos dos evaluaciones, una al inicio y otra a mediados de ella, para tratar de controlar los problemas ligados al manejo y mantenimiento de la instalación (envejecimiento y obstrucciones).
 - Para prevenir las obstrucciones se realizará un adecuado programa de limpieza de filtros (por ejemplo cada 15- 20 días), tomando las debidas precauciones de

solubilidad de abonos y sus mezclas, usando tratamientos preventivos que eviten la proliferación de algas o bacterias y la formación de precipitados.

- La uniformidad de emisión (UE) de instalaciones nuevas suele estar próxima al 90%, pero esta, al igual que la eficiencia potencial de aplicación, puede disminuir de forma considerable con el uso continuado. Por ello, un valor de (UE) del 80% suele ser más realista, y los valores de eficiencia suelen ser menores debido a problemas de manejo. Estos problemas suelen ser corresponder a un desconocimiento de esta tecnología por parte de los agricultores, si bien es cierto se ha avanzado mucho en este sentido, sobre todo en las zonas donde este método de riego tiene cierta tradición.
- Una evaluación completa analiza muchos aspectos, constituyendo en realidad un nuevo diseño y cálculo del sistema, partiendo de los datos reales medidos y no los fijados empíricamente en el proyecto. Sin embargo, en la mayoría de los casos es suficiente una evaluación simplificada de la instalación que se limita prácticamente a la determinación de la uniformidad de distribución del agua, pudiendo complementarse con algunos aspectos de la evaluación agronómica, como profundidad mojada, forma y dimensiones de los bulbos, etc.
- Otro aspecto a destacar es que, en el riego localizado, la uniformidad necesaria para un buen desarrollo del cultivo es superior a la tolerable para otros métodos de riego, al estar el volumen radicular más concentrado en las zonas húmedas y trabajar con bajas tensiones de humedad en el suelo.

1.3 Los sistemas de riego y su adecuación a las características del área.

Para que una técnica de riego sea eficaz es indispensable disponer de un sistema bien diseñado y con buenos materiales con objeto de aplicar el agua con alta uniformidad. Esto permitirá suministrar la misma dosis de agua en todos los puntos, cubriendo así las necesidades de cada planta, evitando pérdidas innecesarias y reduciendo los efectos medioambientales negativos. (IIRD, 2005).

Para que el bulbo moje una determinada superficie de suelo y el agua pueda ser absorbida por las raíces de las plantas adecuadamente, es importante tener en cuenta

como se extiende el bulbo horizontalmente. La extensión horizontal del bulbo no se puede aumentar indefinidamente incrementando el caudal del emisor y/o el tiempo de riego, y para conseguir una extensión de agua adecuada hay que actuar sobre el número de emisores que se colocan en las cercanías de las plantas. Por otra parte, la profundidad del bulbo estará relacionada con la velocidad de infiltración del suelo y con el tiempo de aplicación. Por ello es preciso tener en cuenta los factores que afectan a la forma del bulbo húmedo para decidir el número de emisores a colocar y el caudal que deben suministrar para que se produzca una buena distribución del agua en el suelo. (Ajete & Bonet, 2007).

En cuanto a los pasos para el establecimiento de una finca integral de frutales. Se deben considerar los siguientes aspectos como:

- Realizar estudios de factibilidad y tener presente la composición de policultivos en función de la eficiencia de la finca y su sustentabilidad.
- Evaluar las condiciones edafoclimáticas de la zona, vinculadas a los requerimientos de los cultivos y las posibilidades de manejo agronómico de las plantaciones en el cual resulta indispensable garantizar las necesidades hídricas de los cultivos.
- Disponer de un área que no sea inferior a las 6 ha ni sobrepase las 20 ha, que permita el equilibrio en la asociación de cultivos.
- Respetar el espacio vital requerido para cada planta, de acuerdo a su edad, con la finalidad de incrementar la población por hectárea, evitando la competencia entre las mismas por la luminosidad, el agua y los nutrientes.
- Definir los destinos de la producción, mercado local de fruta fresca, industria y turismo, existentes en el territorio.
- Considerar la disponibilidad de fuerza de trabajo, con el aseguramiento de un sistema de pago por el resultado de la producción, básico para lograr un alto sentido de pertenencia.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en la finca El Pedregal en el período comprendido de septiembre del 2014 a marzo del 2015, para lo que se lleva a cabo una investigación no experimental de tipo explicativa.

La finca está explotada en usufructo por el productor Wilfredo René Padrón Padrón desde el año 2009 adquirida por el Decreto Ley 259 con una superficie de 4 ha, que luego se extendió a 7 ha.

Se encuentra ubicada geográficamente en el Consejo Popular Rancho Luna y sus límites: Al Norte. Finca Tierras Rojas, Sur. Área sol maleza y tanque Rancho Luna, Este. Carretera a playa Rancho Luna y Oeste. Área de cultivo de la CPA Mártires de Barbados.



Figura 1. Ubicación de la finca El Pedregal

2.1 Elementos a caracterizar del sistema de riego en la finca “El Pedregal”.

Para caracterizar el sistema de riego se parte de la entrevista con el productor, un recorrido por el área y la observación de los elementos del sistema, que incluyó:

- Fuente de abasto.

- Obra de toma.
- Red conductora.
- Red distribuidora.
- Emisores.

Para desarrollar la caracterización del sistema de riego y la finca se utilizaron registros de campos, cinta métrica, cámara fotográfica y los documentos que caracterizan la finca y los elementos del sistema.

2.2. Evaluación de los parámetros técnicos de explotación del sistema de riego.

Para la evaluación de los parámetros de explotación del sistema se utilizó la metodología descrita por (*Lamelas, 2010*), detallada en el artículo "*Elementos para la evaluación de riego a presión*", sustentada en los siguientes parámetros la cual asume el autor para la evaluación del sistema de riego localizado en la finca "El Pedregal", en el Consejo Popular Rancho Luna, del municipio de Cienfuegos.

Las evaluaciones de los sistemas de riego localizados se realizan cumplimentando uno o varios de los objetivos siguientes:

- Evaluar el diseño y el manejo actual para investigar si reúnen las condiciones necesarias para aplicar los riegos adecuados.
- Comprobar el estado técnico de los diferentes componentes de la instalación, si el mantenimiento es adecuado y si los parámetros de diseño se corresponden con el proyecto de riego.
- Determinar la uniformidad de los emisores.
- Detectar si existe problemas de diseño, manejo o funcionamiento y plantear soluciones sencillas y económicas para solucionarlos.
- Analizar los criterios seguidos por el usuario para decidir la lámina de riego a aplicar.

Materiales necesarios para la evaluación:

- Manómetro de glicerina.
- Cronómetro.
- Probeta graduada de 100 cm³.
- Cinta métrica de 30 o 50 m.
- Picos, palas.
- Medidor de gasto.

Procedimiento para evaluar la uniformidad del riego

- Una forma de saber si una instalación de riego es más o menos uniforme consiste en medir el volumen de agua que sale por los emisores seleccionados durante determinado tiempo.
- Para determinar la uniformidad del riego, se puede medir el volumen de agua que sale durante un tiempo por emisores previamente establecidos y distribuidos en las subunidades de riego.
- El criterio más común es el escoger 16 emisores y determinar los volúmenes de agua que salen por los mismos durante 2, 3 o 5 minutos, determinando los gastos de los emisores dada la relación volumen y tiempo. A continuación se calcula la media aritmética de los cuatro valores más bajos y se divide entre la media aritmética de los 16; este valor multiplicado por 100, será la Uniformidad de Distribución (UD) en un lateral de un sector. En un lateral los puntos en que se seleccionan los emisores, deben ser al inicio y final del lateral, así como a 1/3 y 2/3 de distancia del inicio del mismo.
- En la subunidad analizada se selecciona el primer y último lateral y los situados a 1/3 y 2/3 de distancia del punto de alimentación y se ejecuta el proceso según lo antes descrito.

- Se miden presiones diferentes de trabajo en cada uno de los emisores seleccionados cercanos a la toma principal de la subunidad y se determinan sus caudales.
- Se miden las presiones en una subunidad representativa a lo largo de un lateral, al inicio, final, 1/3 y 2/3, previa selección de los emisores, se determina la media aritmética del 25 % de las presiones más bajas y la media aritmética general.
- Se miden las presiones mínimas en todas las subunidades, se determina la media aritmética del 25 % de las presiones mínimas más bajas y la media aritmética general de las presiones mínimas.

Procedimiento evaluativo

- La expresión utilizada para el cálculo de la uniformidad de distribución (UD) es la siguiente:

$$UD = q_{25\%} / q_m \cdot 100$$

$q_{25\%}$: Gasto medio (L.h⁻¹) del 25 % de goteros muestreados con más bajo caudal.

q_m : Gasto medio (L.h⁻¹)

UD (%)	Condición
> 90	Muy bueno
80 – 90	Bueno
70 – 80	Aceptable
< 70	Inaceptable

Tabla 1. Condición del riego en función de la uniformidad de la distribución (UD)

- Determinación del Coeficiente de Variación de emisores no solamente de fábrica, sino que han tenido un uso en el tiempo.

$$CV = \frac{s}{q_{\text{medio}}} \quad q_m = \frac{q_1}{n}$$

s : Desviación típica

q_{medio} : Gasto medio (l/segundo)

$$= [(q_1 - q_{\text{medio}})^2 / n - 1]^{1/2}$$

q_m : Gasto medio (l/horas)

q_1 : Gasto puntual

n : Número de observaciones

CV	Clasificación
< 0.05	Excelente
0.05 - 0.10	Bueno
0.10 - 0.15	Regular
> 0.15	Malo

Tabla 2. Clasificación de la aplicación del riego en función del coeficiente de variación del caudal.

Con los valores de caudales determinados para cada uno de los valores de presión se halla la ecuación de descarga del emisor

$$Q = K_d \cdot H^x$$

Q: Caudal del emisor

K_d : Coeficiente de descarga del emisor

H: Presión hidráulica a la entrada del agua del emisor

x: Exponente de descarga

Con las mediciones de las presiones medidas en la unidad representativa, se determina el coeficiente de uniformidad de caudales (CU).

$$CU = (P_{25\%} / P_m)^x \cdot 100$$

$P_{25\%}$: Presión media del 25 % de los valores más bajos.

P_m : Presión media medida

Con las mediciones de las presiones mínimas, se determina el factor (f) y se halla la uniformidad del riego de la instalación (CUS).

$$f = (P_{25\%} / P_m)^x$$

$P_{25\%}$: Presión mínima media del 25 % de los valores más bajos.

P_m : Presión mínima media medida

$$CUS = f \cdot CU$$

Con el coeficiente de variación (CV), se determina la uniformidad estadística de riego (U_s).

$$U_s = 100 (1 - CV)$$

De acuerdo con la uniformidad estadística del riego (U_s) esperada y los límites de confianza para una probabilidad de un 95 % que se desea conseguir se determina en el cuadro siguiente el número de observaciones a realizar (n).

Us	Número de observaciones (n)				CV
	18	36	72	144	
90	3.5	2.4	1.7	1.2	0.1
80	7.3	5	3.4	2.4	0.2
70	11.5	7.8	5.4	3.8	0.3
60	16.2	10.9	7.6	5.8	0.4

Tabla 3. Matriz para determinar el número de observaciones en una medición.

En el cuadro siguiente se compara la uniformidad estadística (Us) con la uniformidad de la distribución (UD).

Grado de susceptibilidad	Us	UD
Excelente	100 - 95	100 - 94
Bueno	90 - 85	100 - 81
Normal	80 - 75	75 - 68
Mala	70 - 69	62 - 56
Inaceptable	< 60	< 50

Tabla 4. Grado de susceptibilidad de la aplicación en función del UD y la US.

Con las presiones medidas en n puntos se obtiene un coeficiente de variación de presiones (CV_h)

$$CV_h = \frac{s_h}{h}$$

s_h : desviación típica de n presiones medidas

h: presión media de n medidas

El coeficiente de variación de caudales debido a las diferencias de presión (CV_{qh}), se expresará por:

$$CV_{qh} = x \cdot CV_h$$

x: exponente de descarga

El coeficiente de variación de caudales por variaciones de fabricación y obturaciones (CV_p) se expresa por la siguiente expresión:

$$CV_p = (CV^2 - CV_{qh}^2)^{1/2}$$

Se determinó el caudal de entrada al sistema, la presión del agua a la entrada de los ramales y al final de cada uno y el caudal de entrega de los emisores, para este último parámetro se escogieron 16 emisores por línea, replicándose en varias líneas, se les determinó los volúmenes de agua que salen por los mismos en un tiempo determinado.

Se determinó el gasto de los emisores dada la relación volumen y tiempo. A continuación se calculó la media aritmética de los cuatro valores más bajos y se divide

entre la media aritmética de los 16; este valor multiplicado por 100, será la Uniformidad de Distribución (UD) en un lateral de un sector. En un lateral los puntos en que se seleccionan los emisores, deben ser al inicio y final del lateral, así como a 1/3 y 2/3 de distancia del inicio del mismo (cuatro emisores en cada tramo).

Se miden presiones diferentes de trabajo en cada uno de los emisores seleccionados cercanos a la toma principal de la subunidad y se determinan sus caudales.

Características del suelo de la finca “El Pedregal”.

Para la caracterización de suelo se tomaron en cuenta los datos aportados por el Instituto de Suelos de la Delegación Provincial de la Agricultura (MINAG), en un estudio realizado en el 2013. En ella se encontró el tipo de suelo Rendzina Roja (figura 2).

- Cuenta con pH de 7,2, siendo neutro.
- El contenido de materia orgánica alcanza el 5,07 %.
- Su valor térmico es de 28,9 mg.100g⁻¹.
- El drenaje es bueno.
- La topografía es ondulada.
- La profundidad efectiva es de 18 cm (muy poco profundo).
- Presenta baja fertilidad natural.
- El suelo es pedregoso y calcáreo.



Figura 2. Vista aérea de la finca con imagen satelital

Se utilizó el procedimiento de **pluviometría** que consiste en el estudio y tratamiento de los datos de precipitación que se obtienen en los pluviómetros ubicados a lo largo y ancho del territorio, obteniendo así unos datos de gran interés para las zonas agrícolas y regulación de las cuencas fluviales, a fin de evitar inundaciones por exceso de lluvia. (Se utilizó el pluviómetro no. 957 La Marina para verificar la cantidad de precipitación en los meses de enero a diciembre).

2.3 Rediseño del sistema de riego.

A partir de la caracterización del sistema de riego y con ello la identificación de los principales problemas que afectan su explotación adecuada y con los resultados de las evaluaciones realizadas que también revelaron problemas y sus causas se elaboró un plan de medidas para rediseñar el sistema a nivel de elementos componentes del mismo siguiendo el orden en que se presentan.

1. Fuentes de abasto.
2. Toma de agua.
3. Cabezal de riego.
4. Tuberías laterales.
5. Emisores.

El plan de medidas contiene el objeto de obra, el problema principal, las medidas de solución, el plazo y el responsable.

Elemento	Problema	Medidas	Plazo	Responsable

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La finca El Pedregal está destinada a la siembra de frutales tropicales y subtropicales, principalmente, es un ejemplo de integración de prácticas agroecológicas para obtener frutos de alta calidad. La distribución adecuada de los cultivos en las 4 ha de tierras con que cuenta han permitido dar un aprovechamiento óptimo a la superficie total donde se combinan acertadamente especies de diferentes portes (Figura 3), tomando en consideración las características y exigencias de cada una de la especies y los tipos de suelos predominantes.

El empeño puesto por el productor tanto en la búsqueda de las especies en diferentes lugares del país, su establecimiento y cuidado le han permitido llegar en esta finca a 118 especies de plantas y con ello obtener la condición de jardín botánico de frutales que otorga el movimiento nacional de la Agricultura Urbana y Suburbana, el cual le fue conferido en el año 2014 durante el recorrido por la provincia.

Es este escenario un excelente espacio de capacitación para docentes, investigadores, productores, decisores y población en general. Aquí sesiona muchas veces el Círculo de Interés de la Escuela Primaria de la comunidad que trabaja la temática del medio ambiente y la agroecología.



Figura 3. Especies de diferentes portes.

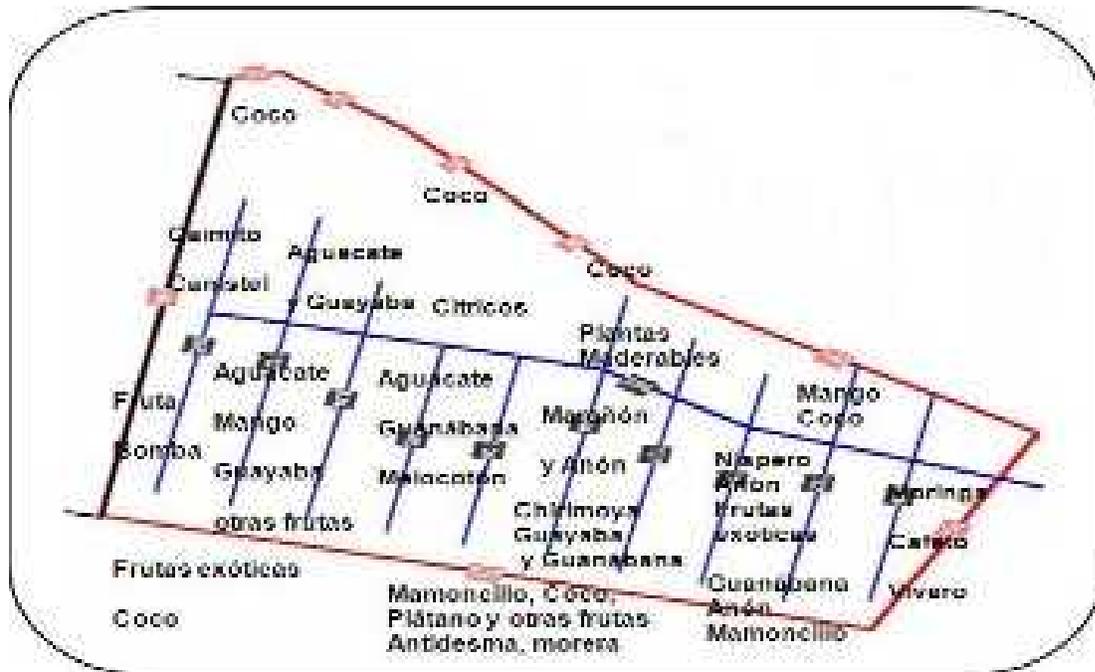


Figura 4. Distribución de los frutales en la finca.

3.1. Caracterización del sistema de riego localizado de la finca El Pedregal.

El riego tiene como meta garantizar al cultivo las necesidades hídricas no cubierta con la lluvia *Pacheco (2008)*. De esta afirmación se deriva que para poder realizar una aplicación efectiva de agua se debe considerar los volúmenes de precipitación y su distribución.

A partir del pluviómetro 957 La Marina del INRH se pudo conocer el comportamiento de las precipitaciones en la zona en el período comprendido desde el 2009 hasta el 2014 (Figura 5). Para este periodo el promedio de lluvias es de 849.2 mm al año, el que está muy por debajo de la media nacional y con un año en que solo se registraron 522.3 mm, razón que justifica la necesidad del riego.

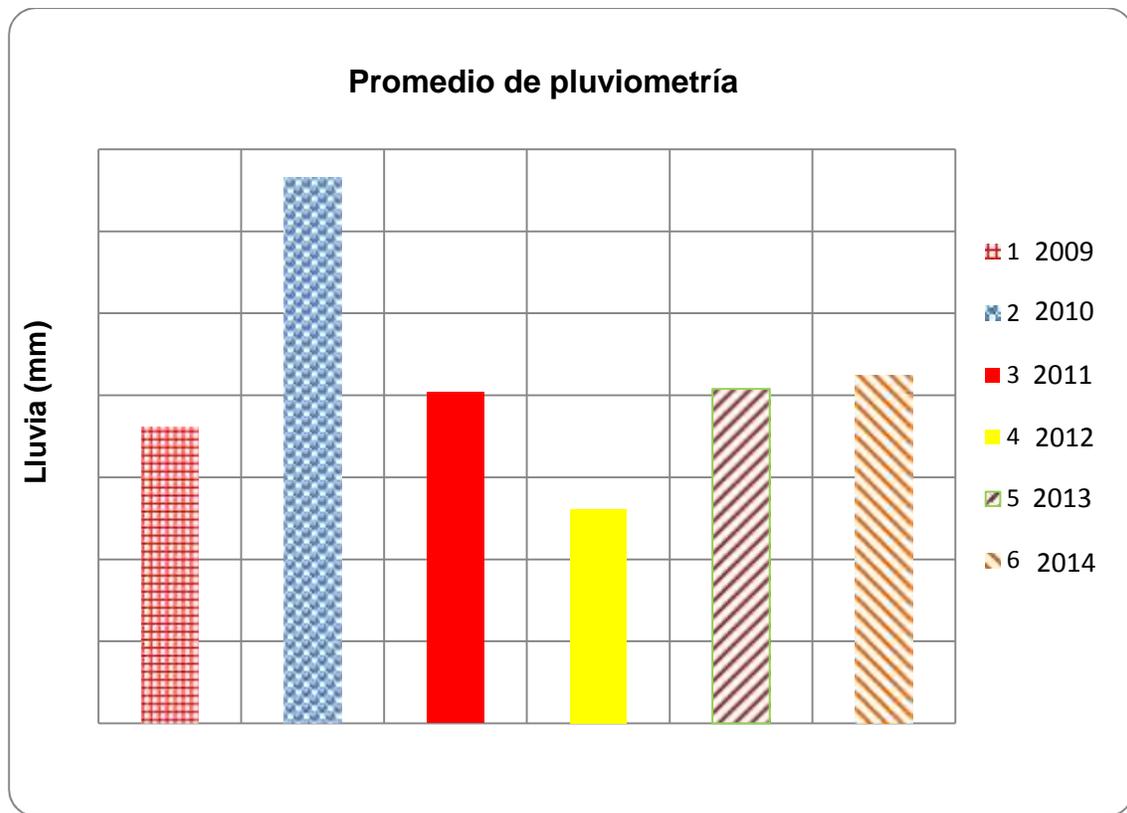


Figura 5. Comportamientos de las precipitaciones en la zona durante el periodo 2009-2014.

El sistema de riego de la finca fue diseñado y conformado a partir de las gestiones y posibilidades del propietario para adquirir los diferentes componentes, los que una vez instalados formaron el actual sistema, el que está compuesto por los siguientes elementos

- Fuente de abasto,
- Equipo de bombeo,
- Red conductora,
- Red distribuidora,
- Emisores,

El sistema se caracteriza por:

Fuente de abasto.

El agua que se utiliza en la finca procede de una fuente de abasto superficial, el río Arimao, el cual nace en el macizo montañoso Guamuhaya, específicamente en la parte correspondiente a la provincia de Villa Clara. Tiene una longitud total en su afluente principal de 82.6 km, con una pendiente de 2.7/00 y un área total de su cuenca de 994.5 km², la que a su vez tiene una pendiente de 130/00. Desemboca por dos lugares: en el Mar Caribe y en la bahía de Cienfuegos, específicamente en la Laguna Guanaroca. Tiene un caudal medio de 18,4 m³.s⁻¹, con una variación amplia entre las estaciones de lluvia y seca.

La calidad del agua de la fuente, a partir del análisis realizado (*SIG-ENAST-UEB-CF, 2015*), evidenció los siguientes resultados (tabla 5).

Tabla 5. Análisis al agua del sistema de riego de la finca El Pedregal.

Parámetros	Unidad	Resultados	Límites máximo admisible	Norma
pH	---	7,08	6 a 9	(NC 93-11, 1986)
Temperatura	°C	24,4	Más de 2.5	(NC 93-11, 1986)
Nitratos (NO ₃)	mg/l	6,0	45	(NC 93-11, 1986)
Nitritos(NO ₂)	mg/l	0,004	0,2	(NC 827, 2012)
Cloruros (Cl)	mg/l	22,51	250	(NC 827, 2012)
Calcio (Ca)	mg/l	22	200	(NC 827, 2012)
Magnesio (Mg)	mg/l	24	150	(NC 827, 2012)
Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	335	3000	(Ayers & Westcot, 1985)
Sulfato (SO ₄)	mg/l	10.560	400	(NC 827, 2012)
Bicarbonato (HCO ₃)	mg/l	184	600	(Ayers & Westcot, 1985)

Amonio (NH ₄)	mg/l	0,04	No presencia	(NC 827, 2012)
Carbonato (CO ₃)	mg/l	0	3	(Ayers & Westcot, 1985)

Para casos de riego de cultivos con un nivel estático del acuífero freático no alto, la U.S. EPA considera que concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT) en el agua de irrigación comprendidas en el rango 500-5000 mg/l requieren algún tipo de consideración local. Por debajo de 500 mg/l no se reportan problemas y por arriba de 5000 mg/l el agua no se recomienda para riego (U.S. EPA, 1973).

El sodio en el agua de irrigación puede incrementar la presión osmótica en la solución del suelo y afectar específicamente a los frutales. Genera problemas en la estructura del suelo y altera la tasa de infiltración. Cuando la cantidad de sodio adsorbido excede a 10-15 % del total de cationes en el complejo de intercambio del suelo, la arcilla se dispersa y disminuye la permeabilidad.

Para estimar el grado en que el sodio del agua de irrigación será adsorbido por el suelo, el Laboratorio de Salinidad de E.E.U.U. propuso la relación de adsorción de sodio (RAS) (U.S. EPA, 1973): que vincula las concentraciones iónicas de Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en el agua de irrigación, expresadas en mequivalentes.L⁻¹.

$$RAS = \frac{Na^+}{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}$$

RAS puede vincularse con la cantidad de cationes intercambiables del suelo, la que se denomina porcentaje de sodio intercambiable del suelo (PSI).

Los sólidos solubles totales y la conductividad eléctrica son dos de los elementos más importantes a tener en cuenta para decidir si un tipo de agua está apta para ser utilizada en el riego (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación de aguas de riego en función de la salinidad y la conductividad eléctrica.

Tipo de Agua	SDT [mg.L ⁻¹]	CE [mmhos.cm ⁻¹]
Aguas sin efectos detrimentales.	500	0.75
Aguas que pueden ser perjudiciales para cultivos sensibles.	500-1000	0.75-1.50
Aguas que pueden ser perjudiciales para muchos cultivos y que requieren prácticas de manejo cuidadosas.	1000-2000	1.50-3.00
Aguas que pueden aplicarse para cultivos resistentes en suelos permeables con prácticas de manejojuidadosas.	2000-5000	3.00-7.50

Estación de bombeo.

La estación de bombeo que suministra el agua al sistema es la #7, la cual cuenta con un motor eléctrico con una potencia de 75 kw y 440 de voltaje y una bomba marca Sagua 2, de 50 L.s⁻¹ de caudal y 80 m.c.a. de carga. Está destinada a llevar el agua a una máquina de pivote central Kuban LK 1, perteneciente a la CPA Mártires de Barbados y a una Unidad Porcina de esta propia cooperativa por lo que no está destinada solamente a suministrar agua para la finca. Esto constituye una limitante a la hora de planificar el riego, pues su uso depende de la necesidad los otros usuarios tanto en el momento como en la derivación del caudal que bombea.

Red conductora.

La red conductora que lleva el agua desde la estación de bombeo hasta la zona de riego está conformada por dos tramos de diferentes diámetros y longitudes (Figura 6).

- El primero que comienza en la estación de bombeo, con una tubería de 300 mm de hierro fundido y tiene una longitud de 1 879 m.
- El segundo tramo de tubería de 330 mm de acero, con una longitud de 509 m. En general el estado de ambas tuberías es bueno.

Uno de los problemas principales de esta red y que afectan de manera considerable el riego en la finca es que hay otros usuarios no concebidos conectados a esta conductora que derivan en su conjunto un volumen determinado de agua que puede ser considerable debido a la calidad de las instalaciones que han hecho, a las pérdidas de agua por estas deficiencias, etc. Unido a ello están las pérdidas de carga que esto provoca y que son responsables de que en el sistema la carga sea inestable y en ocasiones muy baja. También pudieran presentarse roturas en la bomba o la conductora.

Red distribuidora.

La red distribuidora que es la que reparte el agua dentro de la finca y comienza en el segundo tramo de la red conductora. La misma está formada por:

- Tubería principal de 63 mm de PEAD, que atraviesa la finca por uno de sus lados con una longitud de 350 m y a la que van conectadas las tuberías secundarias.
- 10 tuberías secundarias, de PEAD, con un diámetro de 32 mm y una longitud total de 1 314 m. Estas tuberías están colocadas por debajo de la superficie terrestre pero muy cerca de ella. Las mismas están espaciadas a 24 m entre ellas.
- 94 tuberías laterales de PEAD de 16 mm de diámetro y van colocadas por debajo de la superficie de la tierra y al lado de cada hilera de plantas. Es en ellas donde se inserta la variedad de emisores con que cuenta el sistema, las que en su conjunto tienen una longitud total de 9890m.

Dadas las características de los cultivos en el momento que se comenzó a instalar el sistema las tuberías fueron colocadas cerca de la planta para poder suministrarle el agua muy cerca de su sistema de raíces. Con el paso del tiempo las plantas se han desarrollado y sus sistemas de raíces se han extendido, han aumentado las especies de plantas y ya el sistema no se corresponde con las exigencias de los cultivos.

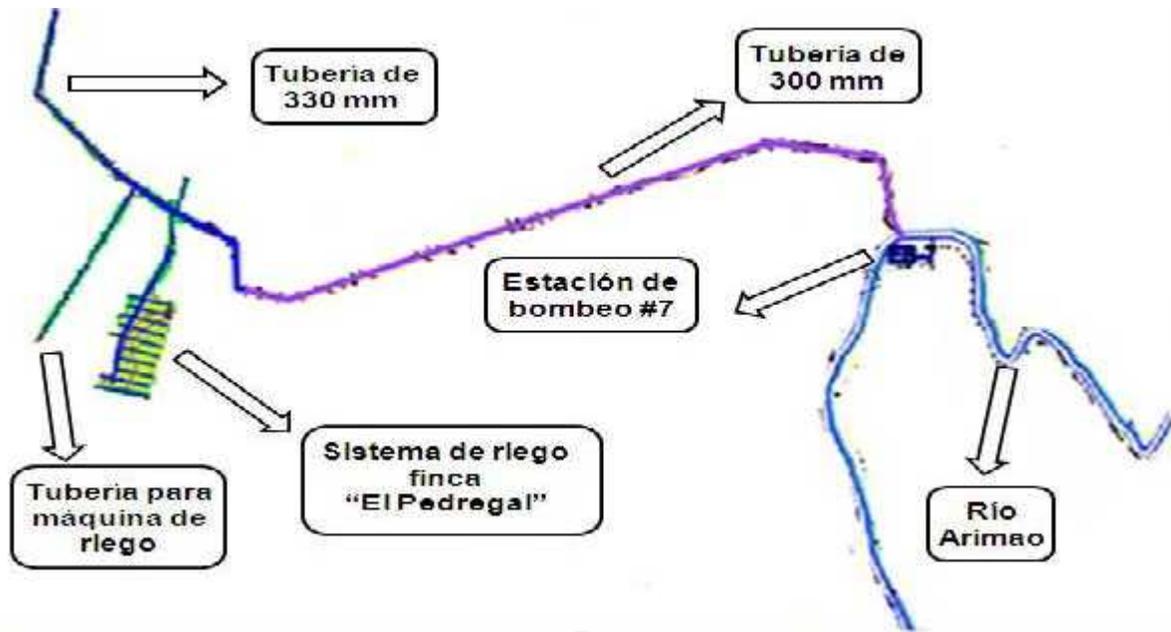


Figura 6. Sistema de riego de la finca El Pedregal.

Por lo que el autor opina que al evaluar sistema de riego según parámetros, la primera limitante que existe es la no tenencia de una estación de bombeo propia que le garantice un caudal permanente, pueda planificar el riego incluyendo a qué hora hacerlo para evitar regar con aguas salinizadas cuando sube la marea.

Emisores.

En el sistema de riego existen varios tipos, entre ellos:

- Goteros estaca. Estos emisores están soportados por una estaca.
- Goteros botón israelita.
- Microaspersores tipo bailarines (vivero). Se encuentran dentro del grupo de emisores que entregan un caudal superior a 16 L.h^{-1} y menor de 150 L.h^{-1} .
- Goteros integrados a la manguera. Estos entregan un caudal de 2.46 L.h^{-1} .
- Microjet.

Contar en un sistema de riego localizado con diferentes tipos de emisores no es un problema, pero sí es un problema que en una misma tubería haya diversidad de emisores que por tanto entregan caudales desiguales y no requieren la misma presión.

de trabajo para asegurar un riego óptimo. Este es uno de los primeros problemas detectados en la caracterización del sistema y que atentan seriamente contra la uniformidad del riego, con la satisfacción de las necesidades hídricas de cada planta y también contra el uso racional del agua.

Al concluir la caracterización del sistema es evidente que hay aspectos que merecen ser señalados y que atentan contra la calidad del riego y el funcionamiento del sistema además de los señalados anteriormente:

- El primero de ellos es la no tenencia de una fuente de abasto propia que le permita tener autonomía al sistema para poder aplicar el riego en el momento que lo considera necesario.
- El segundo es no disponer de una bomba propia que le permitiría manejar adecuadamente el riego en función de la presión lo que haría posible asegurar un riego uniforme
- El tercero es la falta de un filtro a la entrada del sistema para evitar que pasen las partículas que se mueven junto con el agua y al llegar a los emisores lo obstruyan.

Comportamiento de la presión de agua en el sistema de riego.

Otro elemento importante para el correcto funcionamiento de un sistema de riego localizado es la presión del agua para que esta se distribuya uniformemente por cada emisor sin embargo se constata que esta fluctúa continuamente al no ser un caudal constante por cuestiones subjetivas al productor (figura 7).

Por otro lado la presión varía según las operaciones internas que se realizan en el sistema de riego, cuestión que se da por no tener un tanque elevado o apoyado para compensar las presiones del agua, así como válvulas de aire (ventosas) suficientes para impulsar para extraer el aire que limita la presión de este preciado líquido. Situación que se muestra en la siguiente gráfica se muestra el comportamiento de la presión de agua con que trabaja el sistema de riego.

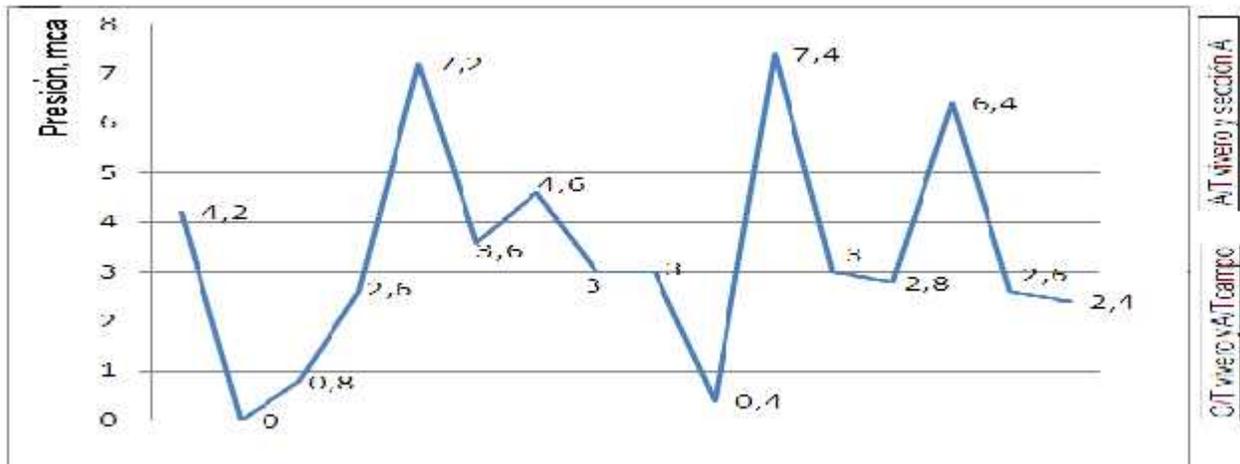


Figura 7. Comportamiento de la presión de agua en la finca El Pedregal.

3.2 Evaluación de los parámetros técnicos de explotación del sistema de riego.

Para evaluar el comportamiento de los parámetros de explotación del sistema se realizaron evaluaciones pluviométricas a los emisores seleccionados en diferentes partes de cada tubería lateral y a la presión del sistema en diferentes partes.

La uniformidad de la distribución se determinó para cada uno de los laterales evaluados a partir de la pluviometría y el caudal entregado por los emisores evaluados cuyos resultados aparecen reflejados en la tabla 7.

De los 13 laterales que utilizan como emisor el gotero Israelita se pudo verificar que la uniformidad de la distribución es en general muy baja por lo que siete de los 13 laterales son evaluados de Inaceptable, tres de Aceptables, dos de Bien y uno de Excelente según criterio de *Lamelas (2010)*.

La existencia de dos o más emisores diferentes en una línea o lateral es una de las causas más importantes de este problema lo que es posible demostrar si por ejemplo se desechara la pluviometría de los emisores 10, 12 y 13 que registraron valores de 132, 620 y 468 mm en el lateral uno, esto elevaría el valor de UD de 17.26 % hasta un 84.3 %.

Resultados superiores fueron encontrados por *(Ajete & Bonet, 2007)* y *(Bonet, Miriel, Duarte, Vargas, & Pérez, 2011)*, en evaluaciones realizadas a sistema de riego localizado en casas de cultivo de 12 m x 45 m con goteros, donde los coeficientes de

uniformidad obtenidos estuvieron cercanos al 94 %, lo que demuestra las potencialidades que tienen los mismos.

Tabla 7. Evaluación de la UD de los laterales.

Lateral	UD	Evaluación	Tipo(s) de emisor(es)
1	17.26	I	Estaca y botónisraelita
2	50.15	I	
3	48.07	I	
4	12.49	I	
5	91.67	MB	
6	11.70	I	
7	39.87	I	
8	58.03	I	
9	71.79	A	
10	72.22	A	
11	77.01	A	
12	82.76	B	
13	84.91	B	

Para los siete laterales en que el gotero está integrado a la tubería se observaron valores de UD bajos también, como se aprecia en la tabla 8, donde se refleja que un

solo lateral riega con valores por encima del 90 %, uno se evalúa de bien, uno de aceptables y el resto, es decir cuatro laterales, son evaluados de Inaceptables al conseguir valores inferiores a 70 %. A pesar de lograr UD bajos en cinco de los siete laterales esta sección muestra mejores resultados que la anterior por lo que con acciones mínimas se pudieran colocar estos parámetros de explotación en el rango óptimo para poder evaluarlos como que aplican el riego bien, solo depende de homogenizar los emisores y estabilizar la presión. Esta valoración coincide con (Gal, 2006), quien plantea que uno de los principios para realizar un riego eficiente es lograr una correcta uniformidad de distribución (Coeficiente de uniformidad (CU) del 90 % o mayor).

Las causas de este problema probablemente estén en la baja presión del sistema y en obstrucción de los emisores.

Tabla 8. Evaluación de la UD de los laterales con emisor integrado a la tubería.

Lateral	UD	Evaluación	Tipo(s) de emisor(es)
1	43,41	I	Integrado a la manguera
2	57,53	I	
3	51,90	I	
4	48,87	I	
5	89,94	B	
6	75,24	A	
7	96,66	MB	

Al analizar el comportamiento del coeficiente de variación en función del gasto para las dos secciones de laterales mencionadas anteriormente se constata la misma afectación en la calidad de riego.

En la *sección* de laterales con goteros Israelitas soportado por estacas, que aparece representada en la figura 8, se puede evaluar de excelente los laterales 5, 11, 12 y 13 con CV inferiores a 0.05 %, mientras los laterales 1, 4, 6, 7 y 8 se evalúan de mal al lograr CV por encima de 0.15 % siguiendo los criterios de clasificación planteados por *Lamelas (2010)*, el resto se evalúa entre regular y bien. Estos criterios coinciden con la clasificación planteada por *(Merriam & Keller, 1978)*.

Si se logra colocar el mismo tipo de emisor en cada lateral y estabilizar la presión en los parámetros exigidos para cada uno de ellos el CV mejoraría ostensiblemente y se colocaría en el rango adecuado para ser evaluado de bien e incluso de excelente. Una muestra de ello es el lateral 1, si se deja de considerar los tres emisores que son diferentes y que entregaron láminas muy superiores al resto, el CV sería evaluado de bien aun cuando queda por lograr la elevación de la presión.

Un sistema de riego debe distribuir el agua uniformemente por toda la superficie regada, lo que se expresa entre otros elementos en un CV inferior a 0,05 %, de manera que se logre que todas las plantas reciban la misma cantidad y esta sea la adecuada para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos durante el intervalo entre riegos *(Pizarro, 1987)*.

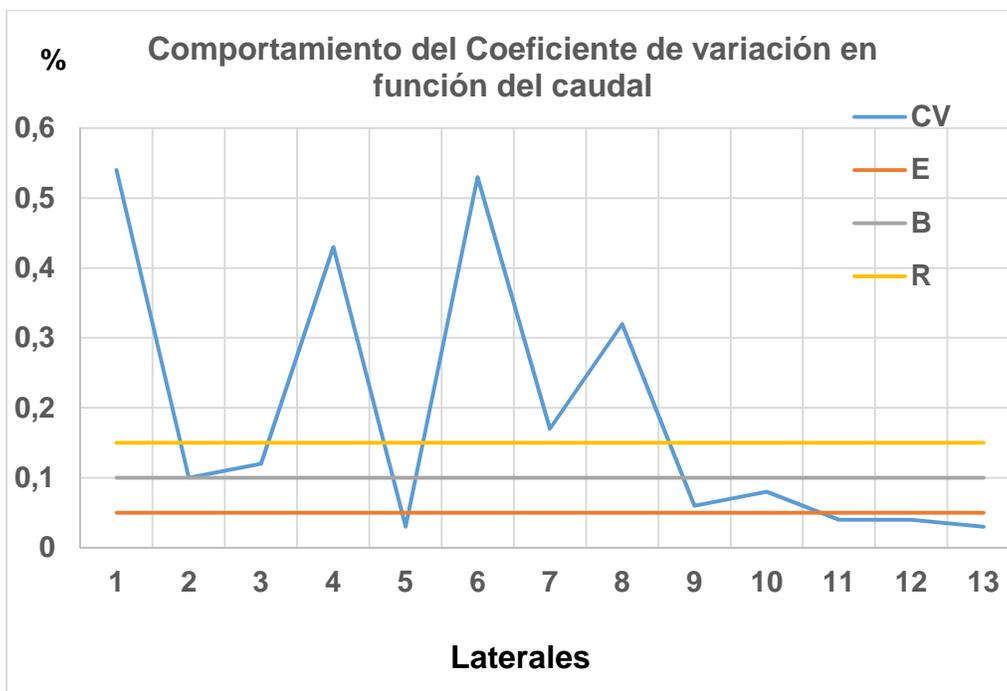


Figura 8. Coeficiente de variación (CV) en la sección de laterales con goteros estacas e israelitas.

En la otra *sección* de laterales, que aparece representada en la figura 9, las calificaciones que se dan a cada lateral por el coeficiente de variación en función del gasto muestran resultados superiores aunque aún insuficientes de acuerdo a las posibilidades de estos sistemas. El lateral cinco es el único que logra CV con evaluación de Excelente con 0.02 %, el que al ser superior a 0.03 % permite situarlo en la categoría A de la clasificación que da el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD, 2005). El seis se evalúa de Bien, por lo que son los únicos dos laterales que alcanzan una calificación satisfactoria. El resto se evalúa entre regular (laterales dos, tres y cuatro) y de Mal (laterales de los extremos es decir el uno y el siete. Estos criterios de evaluación coinciden plenamente con la clasificación planteada por (Merriam & Keller, 1978).

En todos los casos evaluados en ambas *secciones* de laterales los resultados están por debajo de los obtenidos en otros estudios de sistemas de riego localizado en la provincia y en otras provincia como son los casos de los realizado por Cepero (2014) en

casa de cultivos protegidos de la Empresa Agropecuaria Horquita, (Cun, Puig, & Morales, 2009), en casas de cultivos, organopónicos y huertos intensivo de La Habana.

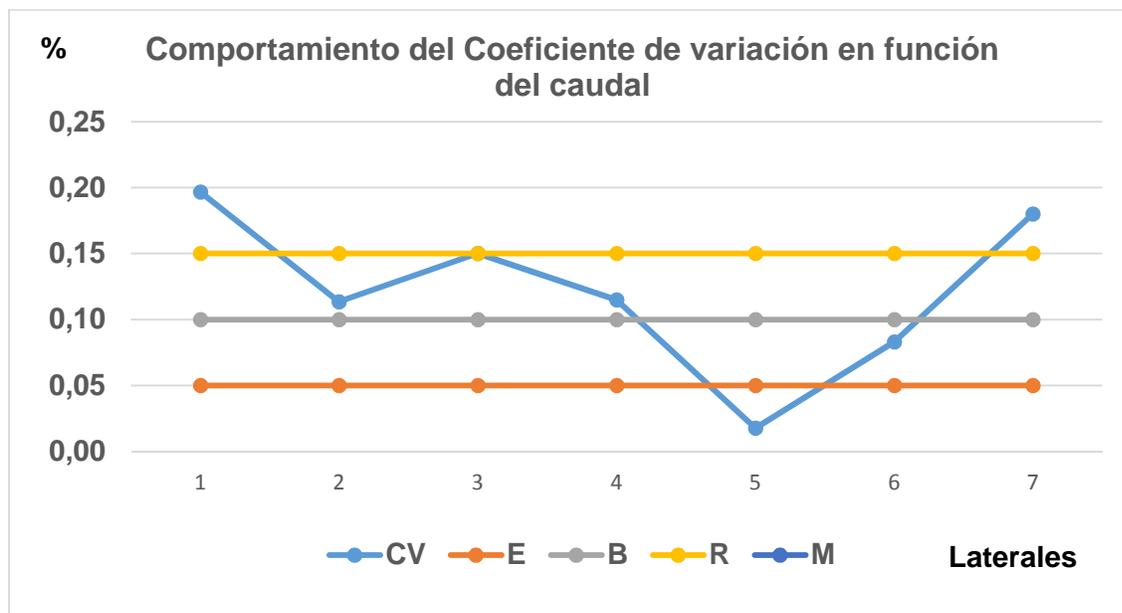


Figura 9. Coeficiente de variación (CV) en la sección de laterales con el emisor insertado en la tubería.

3.3 Propuesta de rediseño del sistema de riego de la finca “El Pedregal”.

La caracterización realizada al sistema permitió conocer en profundidad la composición del mismo y su influencia en la calidad del riego. La evaluación de la pluviometría y su procesamiento para determinar la uniformidad del riego permitió identificar los elementos que obstaculizan la realización de un riego de calidad, lo que sirvió de base para realizar la siguiente propuesta de rediseño del sistema de riego de la finca. El mismo se concentra en cinco de los elementos del sistema:

1. Fuentes de abasto.
2. Toma de agua.
3. Cabezal de riego.
4. Tuberías laterales.
5. Emisores.

Las acciones propuestas para cada uno de los elementos antes citados se describen a continuación y están recogidas en el plan de acción que aparece en el anexo.

1. La fuente de abasto del sistema debe ser propia y para ello se propone:

- Construir una cisterna que permita almacenar el agua durante todo el tiempo de bombeo que no se está regando y poder utilizar esa agua después en el momento que el productor lo decida.
- Evaluar las potencialidades hidrogeológicas de la finca para perforar pozo(s) que le permitan tener un suministro estable de agua. Esta acción parece ser posible debido a los resultados de análisis empíricos que han indicado la presencia de agua subterránea en varios puntos de la finca muy cercanos a la superficie.

2. Toma de agua:

Para resolver el problema de este elemento del sistema y que cumpla su función de tomar e impulsar el agua en el momento oportuno, en las cantidades necesarias y con la presión requerida para que todos los emisores trabajen adecuadamente se propone:

- Como solución temporal una estación de rebombeo que permita estabilizar la presión e incrementar el caudal de entrada al sistema.
- Una vez que se tenga la cisterna y el pozo establecer un sistema de bombeo que utilice las fuentes renovables de energía que puede ser el molino de viento y el empleo de paneles fotovoltaicos para generar la corriente eléctrica que utilizaría el sistema para el motor que acciona la bomba.
- Instalar un tanque elevado con dominio suficiente del área el cual estaría recibiendo agua en el momento que no se riega y que pueda estar trabajando el molino de viento (de día o de noche) o que se esté recibiendo energía fotovoltaica (de día). Esto permitiría regar también de noche que es más efectivo al reducirse considerablemente las pérdidas de agua por evaporación, tanto la provocada por el viento como por el sol y las altas temperaturas.

3. Cabezal de riego.

Un elemento imprescindible en todo sistema de riego localizado es el Cabezal, donde se encuentran las válvulas para regular la entrega de agua a cada unidad o subunidad de riego, los manómetros para controlar la presión del agua a fin de garantizar que a cada emisor llegue el agua con la presión con que estos deben trabajar de acuerdo a su diseño, los filtros que eliminan cualquier impureza contenida en el agua que puede obstruir los emisores incluso hasta del propio fertilizante cuando se aplica disuelto en el agua (fertirriego).

En el sistema de la finca, la no existencia del cabezal y especialmente el filtro es uno de los obstáculos principales para lograr un riego de calidad sobre todo si tenemos en cuenta que el agua que se utiliza procede de un río y generalmente viene acompañada de partículas que flotan en el agua, partículas de suelo, restos de animales y vegetales y que fácilmente tupen los emisores.

Todas las aguas tienen un cierto contenido de sales que en determinadas condiciones (cambios de pH, evaporación, etc.), pueden precipitar obturando los emisores, e igual puede ocurrir con los fertilizantes añadidos al agua de riego. La lucha contra las obturaciones comprende dos tipos de medidas. Unas son preventivas y consiste en el filtrado y en algunos tratamientos de agua. Las otras medidas se aplican cuando la obturación se ha producido total o parcialmente y consisten fundamentalmente en el tratamiento del agua, aunque hay otros procedimientos de desobturación, como la aplicación de alta presión con agua o aire.

Existe gran variedad de métodos de filtrado que comprenden desde las instalaciones de pre filtrado, como decantadores o separadores de arena, hasta los filtros propiamente dicho. Estos se pueden agrupar en dos clases: filtros de arena y filtros de malla. Los primeros son necesarios para eliminar partículas orgánicas de pequeño tamaño.

Los de malla son adecuados para partículas mayores, tipo arena. Los filtros de malla son el elemento mínimo imprescindible en un sistema de filtrado. Debe colocarse siempre, bien en el cabezal o en otra parte de la red. En el caso que se instalen además filtros de arena, el orden conveniente es primero el filtro de arena y después el de malla, que de ésta forma actúa como una garantía para el caso de que el agua arrastre la

propia arena del filtro. Otra norma es que aguas abajo de todo punto en que se inyectan fertilizantes debe instalarse un filtro de malla.

El cabezal de riego que se propone incluir debe ser aquel que resuelva los problemas que se presenta hoy en este sistema como el que se representa en la figura 10, con un mayor o menor grado de tecnificación pero lo que no le puede faltar son los tres elementos básicos: Válvulas, manómetros y filtro.



Figura 10. Cabezal de riego.

4. Tuberías laterales

Las tuberías laterales no satisfacen el estado actual de desarrollo que han alcanzado las especies vegetales presentes y por tanto no están colocando el agua donde la planta lo puede aprovechar con mayor eficiencia.

Para este elemento del sistema se propone:

- Mover las tuberías laterales hacia una posición más alejada de la hilera de plantas de manera que la entrega de agua se haga en el lugar donde se concentra el mayor volumen de raíces de acuerdo al nivel de desarrollo de las plantas.
- Instalar una nueva tubería lateral entre dos hileras de plantas de manera que se humedezca esta zona donde ya existe un volumen considerable de raíces de acuerdo con el desarrollo alcanzado ya por las plantas.

5. Emisores.

Los emisores son tal vez los elementos más importantes de las instalaciones de RLAF y desde luego, los más delicados. Toda la dificultad de su diseño constructivo reside en el siguiente problema: los emisores deben proporcionar un caudal bajo, con el objeto de que los diámetros de las tuberías, sobre todo laterales y terciarias, sean reducidos, las grandes longitudes de estas tuberías que se emplean en los RLAF hacen que un ligero incremento de su diámetro encarezca de forma importante la instalación.

Por otra parte la presión de servicio de los emisores no debe ser muybaja para minimizar el efecto que sobre la uniformidad del riego tienen los desniveles del terreno y las pérdidas de carga a la largo de terciarias y laterales. Ambas condiciones, caudal bajo y presión alta conducen, desde un punto de vista exclusivamente hidráulico, a emisores en los que el paso de agua sea pequeño, pero que ello está en contradicción con otra condición que han de cumplir los emisores: su diámetro de paso ha de ser lo mayor posible con objeto de evitar las obturaciones, que son el principal problema en el manejo de los RLAF. Esta contradicción es resuelta por los fabricantes de forma muy variada e ingeniosa y en consecuencia existen en el mercado muchos tipos de emisores.

Señalan (*Hernández, Torralba, & Baca, 1986*), que para los fines prácticos se considera que un sistema de riego localizado está técnicamente calculado cuando el coeficiente de uniformidad en la emisión alcanza valor igual o superior al 90 %.

La mayoría de los emisores trabaja a una presión próxima a los 10 m.c.a., aunque los de alto caudal pueden hacerlo a 20 m.c.a. y en el otro extremo, las cintas de exudación trabajan entre 1 y 3 m.c.a. los caudales varían entre 2 y 16 L.h⁻¹ en los emisores de bajo caudal y en los de alto caudal pueden llegar hasta 150 L.h⁻¹. y en las cintas de exudación a menos de 0.5 L.h⁻¹ y metro lineal.

En la propuesta de rediseño del sistema para la finca puede utilizarse cualquiera de estos emisores pero con la condición de que haya un solo tipo de emisor por línea y si es posible por subunidad de riego para evitar excesos o déficit de humedecimiento en algún lugar mientras en otros se entrega la dosis necesaria.

Uno de los indicadores importantes en la determinación del buen funcionamiento de estos sistemas es la uniformidad del riego, ésta es una magnitud que interviene en su diseño hidráulico. En función de la misma, se definen los límites entre los que se permite que varíen los caudales de los emisores, de ahí la importancia de evaluar dicho indicador en las instalaciones en funcionamiento. (Ruiz, 1988) y (Rodrigo, 1991).

Una propuesta de rediseño para el sistema de riego se ilustra en la figura 10 donde aparecen integrados todos los elementos que garantizan un funcionamiento con autonomía, potenciando el uso de las fuentes renovables de energía y otros componentes que aseguran un uso racional del agua para continuar potenciando las buenas prácticas que esta finca tiene bien implementadas.

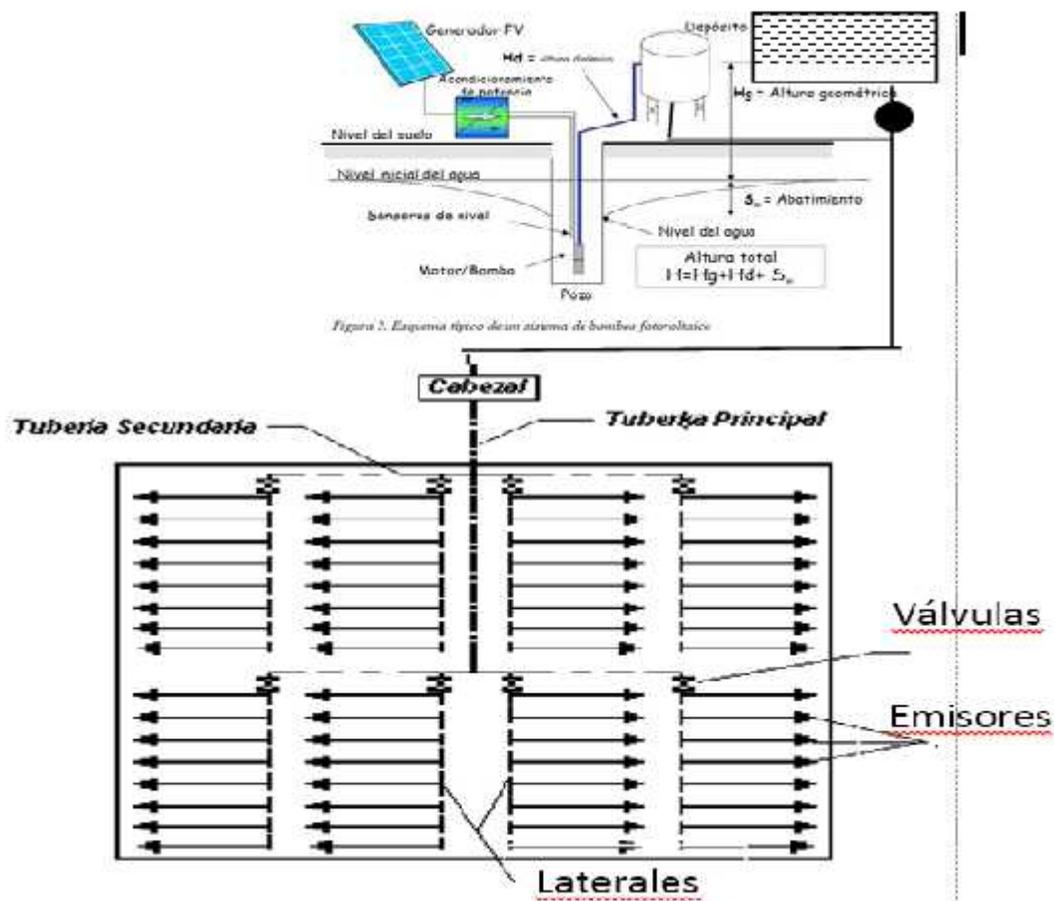


Figura 11. Propuesta de diseño del sistema de riego de la finca "El Pedregal".

A partir de la valoración que se pudo hacer de la calidad del riego con las observaciones, evaluaciones e intercambios permitió establecer los siguientes criterios para lograr un uso efectivo y prolongado del sistema de riego alargando su vida útil:

- Para evitar los cortes y daños a las tuberías cuando se realizan chapeas, eliminación de restos de cosecha, etc., se establece que antes de comenzar hay que levantar los laterales y amarrarlos a las plantas.
- Evaluar con sistematicidad la calidad del riego según el porcentaje de emisores que trabajan mal (tupidos, semiobturados, sin la verticalidad requerida). Cuando la afectación sea superior al 8 % se considera crítico, y se debe parar y solucionar el problema.
- Observar permanentemente la presión en el sistema, cuando es inferior a 1.3 kg/cm² (13 m.c.a.), la presión de trabajo se considera deficiente y hay que parar para solucionar el problema.
- Al menos una vez cada seis meses deben limpiarse las tuberías, abriendo sus extremos y dejandocorrer el agua. Esta operación debe hacerse primero en las tuberías primarias y después en las secundarias, terciarias y laterales.
- Dar mantenimiento sistemático al cabezal (una vez que se instale) protegiéndolo con pintura anticorrosiva.

CONCLUSIONES

1. El sistema actual de la finca no garantiza ni la satisfacción de las demandas de los cultivos, ni una aplicación eficiente del agua.
2. La uniformidad del riego mostró un comportamiento muy irregular con valores entre 11.70 y 96.6 % afectada considerablemente por la presencia de diferentes tipos de emisores en una misma línea y fluctuaciones de la presión que generalmente es baja.
3. La propuesta de rediseño del sistema de riego brinda las posibilidades de explotar adecuadamente el sistema, atender a las necesidades hídricas de los cultivos y hacer un uso racional del agua.

RECOMENDACIONES

1. Implementar la propuesta de rediseño del sistema de riego de manera paulatina.
2. Evaluar la efectividad de la propuesta de rediseño una vez que se haya implementado.

BIBLIOGRAFÍA

- 827, N. (2012). Agua Potable - Requisitos Sanitarios.
- 93-11, N. (1986). Fuentes abastecimiento de agua. Protección sanitaria.
- Aguilera, F. (2006). Hacia una nueva economía del agua: cuestiones fundamentales.
- Aidarov, I. P., Golovanov, A. I., & Mamaev, M. G. (1985). *El Riego*. Moscu: Mir.
- Ajete, M., & Bonet, C. (2007). Criterios sobre la uniformidad del riego en casas de cultivos protegidos y sistemas semiprotegidos de las provincias centrales, En: Memorias de Cubariego. La Habana, Cuba.
- Alabanda, J. (2001). Evaluación y manejo de los sistemas de riego.
- Alemán, C., & otros. (2003). Organización. Aspecto clave en la sostenibilidad de los sistemas de riego y la eficiencia del uso del agua. 31-36.
- Alonso Bella, M., & Chenlo Romero, F. (s.f.). Sistemas de bombeo fotovoltaico.
- Anónimo. (2006). La competencia por el agua en la agricultura. 173-200.
- Aragüés Lafargo, R. (Junio de 2011). Digital. CSIS Calidad del agua para riego: efectos sobre plantas y suelos. (R. d. Aragon, Ed.)
- Arbat, G., Puig-Bargués, J., Duran-Ros, M., Barragán, J., & Ramírez de Cartagena, F. (2011). DRIP-IRRIWATER: Una herramienta informática para el diseño agronómico en riego localizado.
- Ayers, R., S.; Westcot, D.,W. (1985). Calidad del agua para la agricultura. Estudio FAO- Riego y Drenaje n° 29. Roma.
- Bonet Pérez, C., Ajete Gil, M., Duarte Díaz, C., Vargas Cruz, M. C., & Pérez García, V. (2011). Criterios sobre la uniformidad de riego en cultivos protegidos de las provincias centrales. *Vol. 20, No. 2* .
- California, C. o. (s.f.). Agua para riego. California, EE. UU.
- Cepero, I. (2014). Comportamiento de la uniformidad del riego en las casas de cultivos protegidos de la Empresa Agropecuaria Horquita. Disponible en <http://biblioteca.ucf.edu.cu>.
- Charles, M., & Burt, P. (2002). *Riego por goteo y por micro aspersion para árboles, vides y cultivos anuales*. Vida Rura.

- Cisneros, R. (2003). *Apuntes de Riego y Drenaje*.
- Cun, R., Puig, O., & Morales, C. (2009). Comportamiento del coeficiente de uniformidad del riego por microaspersión en condiciones de organopónico y huerto intensivo. Bayamo, Granma: ISBN 978-959-282-088-3.
- Del Amor, F. M. (1999). Riego por Goteo Subterráneo en almendro. Aspectos de manejo y respuesta del cultivo.
- Dillehay, T. D. (2005). "Pre-ceramic irrigation canals in the Peruvian Andes". Proceedings of the National Academy of Sciences.
- Dorticós del Río, P. L., Arellano Acosta, M., Ambiente, A. d., Agua, C. y., & Cuba, A. d. (Septiembre de 2012). Agua y agricultura. 12-13. La Habana: ISBN: 978-959-287-032-1.
- Dorticós del Río, P. L., Arellano Acosta, M., Ambiente, A. d., Agua, C. y., & Cuba, A. d. (Septiembre de 2012). Recursos hidráulicos potenciales. Volúmenes. Indicadores de Disponibilidad de Recursos Hidráulicos. Estrés Hídrico. 9. La Habana: ISBN: 978-959-287-032-1.
- España, W. (Octubre de 2009). Manual de buenas prácticas de riego. Propuestas de WWF para un uso eficiente del agua en la agricultura. WWF/Adena . Madrid, España.
- FAO. (2002). *El agua fuente de seguridad alimentaria, Día Mundial de la Alimentación*.
- FAO. (2010). Expectativas futuras para la agricultura regional. Roma, Italia.
- Febles, P. (2012). Conferencia en el curso de agricultura sostenible.
- Fernández, R., Yrueala, M. d., Milla, M., García, J., Oyanarte, N., Avila, R., & et.al. (2010). Manual de riego para agricultores Módulo 4. Riego Localizado. (I.S.B.N.: 84-8474-135-4). Sevilla, España: Junta de Andalucía, Institución de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca.
- Gal, Z. (2006). Principio de un riego eficiente. 22-23.
- García, R., Dehogues, E., & Tzenova, L. (1996). El Riego (Primera). Pueblo y Educación.
- González, P. (2001). La Eficiencia Institucional. Factor de gran peso en la eficiencia global de los sistemas de riego.
- Hernández, P., Torralba, V., & Baca, O. (1986). Manual para la proyección y explotación de sistemas de riego localizado para cítricos. La Habana Cuba.

- IIRD. (2005). Proyecto de riego localizado para cultivos protegidos y semiprotegidos en la finca "La Quinta". Sancti Spiritus, Cuba, (monografía).
- Irwin, A., & Wynne, B. (eds.)(1996). *Misunderstanding Science? The public reconstruction of science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Israelsen, O., & Hansen, V. (1966). *Principios y aplicaciones del riego*. La Habana: Editora Revolucionaria.
- James, W., Hanks, J., & Jurinak, J. (1982). *Modern irrigated Soils*. John Wiley and Sons. EE. UU.
- Keller, J., & Bliesner, R. (2005). *Riego por goteo, Ministerio de la Agricultura, Pesca y Alimentación*. Ediciones Mundi-Prensa, España.
- Lamelas, C. y. (2010). *Elementos parciales para la evaluación de los sistemas de riego a presión*. INICA- MINAZ.
- Leonardo Chow, J. (.). Método Fácil de Diseño de Riego por Goteo (MEFADERG).
- Llauger, R., Beltrán, A., Betancourt, M., Farrés, E., Jardines, D., Hernández, L., y otros. (Julio- Diciembre de 2012). Establecimiento de fincas integrales de frutales en Cuba. 29. ISSN 1607- 5072.
- Madramootoo, C., & H., F. (2010). *Irrigation in the context of today's global food crisis. Irrigation and Drainage, 59*.
- Merriam, J. L., & Keller, J. (1978). *Irrigation system evaluation a guide for management*. Utah State University, Logan, UTA, USA,.
- MINAG. (2005). *El riego en la agricultura*.
- Montero, J. (2005). Recomendaciones para un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión. Albacete, España.
- Orellana, R., & Ortega, F. (2006). Del riego al manejo del agua: un cambio de paradigma necesario en Agricultura Sostenible.
- Pacheco, J. e. (2003). In Memorias en CD de la II Conferencia Internacional sobre Desarrollo Agropecuario y Sostenibilidad. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
- Pacheco, J. (2008). *Servicio de Asesoramiento al Regante en la provincia Villa Clara*. Informe final del Proyecto Ramal del MINAG, Santa Clara, Villa Clara.
- Pacheco, J., Alonso, N., Pujol, P., & Camejo, E. (1995). *Peculiaridades agronómicas del riego localizado* (ISBN 959-13-0146-4 ed.). Pueblo y Educación.

- Pizarro, F. (1987). *Riego Localizado de Alta Frecuencia (RLAF): gotero, microaspersión, exudación*. Madrid, España: Ediciones Mundi-prensa.
- Rodrigo, J., Hernández, J., Pérez, A., & González, J. (1997). *Riego Localizado*. (ISBN: 84-7114-677-0). Ediciones Mundi- Prensa.
- Rodrigo, P. (1991). *Proyecto TCP/CUB/005. Riego localizado automatizado para el cultivo del plátano*. Primer Informe, FAO, Cuba.
- Rodríguez, A., Jardines, D., Farrés, A., Placeres, G., Peña, G., Fornaris, R., y otros. (2009). *Las fincas integrales de frutales en Cuba*. 52- 55.
- Ruiz, J. (1988). *Explotación de los sistemas de riego localizado. Curso para explotadores*. Melena del Sur, La Habana, Cuba.
- Ruiz, N., & et. al.(2007). *El Servicio de Asesoramiento al Regante de Andalucía, AIMCRA, España*.
- SIG-ENAST-UEB-CF. (2015). *Río Arimao M-1818*. Empresa de Análisis y Servicios Tecnicos, Cienfuegos.
- Sourell, H. (1985). *Desarrollo y uso del riego por goteo móvil*.
- Tarjuelo, J. (2005). *El riego por aspersión y su tecnología*. Madrid, España: Mundi-Prensa, Tercera edición.
- Tornés, N. (2008). *Revista Electrónica Granma Ciencia, 12 (2)*.
- U.S. EPA, (. E. (1973). *Water Quality Criteria 1972*.
- Valle, F. (1997). *Experimento preliminar en invernaderos con riego por succión para el diseño de capsulas porosos*. Chapingo, Nueva época, No. 7.
- Wikipedia. (2010). *El riego*.
- Wikipedia. (2012). *Calidad del agua para uso agricola*.

ANEXOS

Anexo 1. Especies y variedades sembradas hasta la fecha.

	Especies	Sembradas (Ptas.)
1	Aberia. <i>Dovyalis hebecarpa</i>	6
2	Abri�. Couroupitaguianensis	X
3	Acerola. <i>Malpighia glabra</i>	12
4	Aegle. <i>Aeglemarmelos</i>	10
5	Aguacate. <i>Persea americana.</i>	114
5.1	Clon Catalina, <i>Grupo A</i>	25
5.2	Buena Esperanza <i>Grupo B</i>	27
5.3	Criollo Berl�n	5
5.4	Choquette <i>Grupo A</i>	15
5.5	Gov�n <i>Grupo A</i>	7
5.6	Pollok <i>Grupo B</i>	11
5.7	Due�as <i>Grupo A</i>	3
5.8	Elio <i>Grupo B</i>	8
5.9	La Bola <i>Grupo A</i>	1
5.10	Garc�a # 1 <i>Grupo A</i>	2
5.11	Suard�a <i>Grupo B</i>	2
5.12	Criollo Castell�n	1
5.13	Pref. Castell�n	2
5.14	Prieto Castell�n	1

5.15	Wilson popenoe <i>Grupo A</i>	2
5.16	Monroe	1
5.17	Jaruco	1
6	Albaricoque. <i>Prunus armeniaca</i>	X
7	Almendra. <i>Terminaliacatappa</i>	2
8	Anacagüita. <i>Sterculiaapetala</i>	3
9	Anón. <i>Annona squamosa</i>	440
10	Anón rojo. <i>Annona púrpura</i>	5
11	Anón amarillo. <i>Annona lutescens</i>	2
12	Árbol de la vela. <i>Parmentiera cereifera</i>	0
13	Árbol del pan. <i>Artocarpus hypargyreus</i>	2
14	Bagá. <i>Annona glabra</i>	6
15	Bacurí. <i>Platonia insignis</i>	X
16	Cacao. <i>Theobroma cacao</i>	8
17	Caimitillo. <i>Crysophyllum oliviforme</i>	4
18	Caimito. <i>Crysophyllum caimito</i> (3 var.)	12
19	Canistel. <i>Pouteria campechiana</i>	15
20	Cañandong. <i>Cassia grandis</i>	1
21	Cañafístula. <i>Cassia fistula</i>	1
22	Carambola. <i>Averrhoa carambola</i>	8
23	Castaño de guinea. <i>Pachiraaquatica</i>	2
24	Cereza. <i>Prunus ceresus</i>	X
25	Chayote. <i>Sechium medula</i>	3

26	Chirimoya. <i>Annona cherimola</i>	82
27	Ciruela. <i>Spondias purpúrea</i> (3 var.)	17
28	Ciruela gobernadora. <i>Flaucortia indica</i>	6
29	Ciruela india. <i>Ziziphus mauritiana</i>	9
30	Ciruela venezolana. <i>Bunchosia glandulosa</i>	34
31	Coco. <i>Cocos nucíferas</i>	92
32	Cola. <i>Cola acuminata</i>	X
33	Corojo. <i>Gastrococos críspa</i>	X
34	Cuajilote. <i>Parmentiera aculeata</i>	3
35	Cupuazú. (Cacao blanco) <i>Theobroma grandiflorum</i>	1
36	Dátil. <i>Phoenix dactylifera.</i>	9
37	Dyteris. <i>Dyteris panamensis</i>	X
38	Serení (Flor de Jamaica). <i>Hibiscus sabdariff</i>	X
39	Frambuesa. <i>Rubís glaucus</i> (sin confirmar)	1
40	Fresa. <i>Fragaria vesca</i> L.	0
41	Fruta bomba. <i>Carica papaya</i> L.	350
42	Garcinia. <i>Garciniatinctoria</i>	4
43	Granada. <i>Púnica granatum</i> L.	1
44	Granadilla. <i>Passiflora quadrangularis</i>	3
45	Grosella. <i>Phyllanthus acidus</i>	2
46	Grosella de la Florida. <i>Pereskia aculeata</i>	2
47	Guanábana. <i>Annona muricata</i>	1100
48	Guanábana amarilla. <i>Annona montana</i>	5

49	Guayaba. <i>Psidium guajaba</i> L. (4 var.)	1220
50	Guayaba agria. <i>Psidium friedrichstahlianum</i>	3
51	Guayaba fresa. <i>Psidium littorale</i>	2
52	Guayabita del Pinar. <i>Psidium salutare</i>	2
53	Guayabita del Brasil(Feijoa). <i>Accase llowiana</i>	2
54	Güira. <i>Crescentia cujete</i> L.	5
55	Higo. <i>Ficus carica</i>	5
56	Icaco. <i>Chrysobalanus icaco</i>	2
57	Inga. <i>Inga edulis</i>	2
58	Jaboticaba. <i>Myrciaria culiflora</i>	X
59	Jaca. <i>Artocarpus heterophyllus</i>	3
60	Jagua. <i>Genipa americana</i>	2
61	Jambolán. <i>Syzygium cuminii</i>	2
62	Kaki. <i>Diospyros kaki</i>	5
63	Lima. <i>Citrus limetta</i>	4
64	Lima persa <i>Citrus x latifolia</i>	36
65	Limón criollo. <i>Citrus x aurantiifolia</i>	5
66	Limón mandarina. <i>Citruss nobilis.</i>	2
67	Limón francés. <i>Citrus jambhiri</i>	3
68	Limoncito. <i>Triphasia trifolia</i>	3
69	Mabolo. <i>Diospyrosblancoi</i>	6
70	Mamey colorado. <i>Pouteriasapota</i>	68
70.1	<i>Clon Fariñas (Junio- Julio)</i>	2

70.2	<i>Clon SFH-1 (Julio- Agosto)</i>	2
70.3	<i>Clon MAH-1 (Marzo- Abril)</i>	2
70.4	<i>Clon Bruner</i>	2
70.5	Otros	60
71	Mamey de Santo Domingo. <i>Mammea americana</i>	4
72	Mamón. <i>Annonareticulata</i>	3
73	Mamoncillo criollo. <i>Melicoccus bijugatus</i>	25
74	Mamoncillo chino. <i>Litchí chinensis</i>	0
75	Mandarina. <i>Citrus reticulata</i>	4
76	Mango. <i>Mangifera indica</i>	102
76.1	“Macho”	4
76.2	Super Haden	16
76.3	Key	8
76.4	Chino	6
76.5	“Mantecal”	3
76.6	Minin	12
76.7	Goran	2
76.8	La Paz	6
76,9	Florida	2
76.10	Bizcochuelo	22
76.11	Corazón	2
76.12	Naranja	2
76.13	Compota	3

76.14	Hade	2
76.15	Junco I	2
76.16	Mamey	10
77	Manzana. <i>Pyrus malus</i>	0
78	Maracuya. <i>Passiflora edulis</i>	20
79	Mapen. <i>Artocarpus sartzii</i>	1
80	Marañón. <i>Anacardium occidentale</i>	187
81	Melocotón. <i>Prunus persica</i>	220
82	Morera blanca. <i>Morus alba</i>	30
83	Morera negra. <i>Morus nigra</i>	40
84	Naranja. <i>Citrus sinensis</i>	53
84.1	Var. Nebo	10
84.2	Var. China	8
84.3	Var. Valencia	35
85	Naranja agria. <i>Citrus aurantium</i>	5
86	Naranja blanca. <i>Citrus spp.</i>	3
87	Naranja cajel. <i>Citrus aurantium</i>	2
88	Naranjilla (Lulo). <i>Solanum quitoense</i>	0
89	Níspero. <i>Manilkara zapota</i>	60
90	Níspero del Japón. <i>Eriobotrya japonica</i>	1
91	Noní. <i>Marindaca trifolia</i>	4
92	Nuez (Nogal del país). <i>Juglans insularis</i>	2
93	Nuez de California. <i>Lycythis usitata</i>	2

94	Nuez del Brasil. <i>Lecythis taylorana</i>	2
95	Olivo. <i>Olea europaea</i>	0
96	Pepinillo. <i>Averrhoa bilimbi</i>	3
97	Pomarrosa de Malaca. <i>Syzygium malaccense</i>	5
98	Pera. <i>Pyrus communis</i>	5
99	Piña. <i>Ananas comosus</i> (2 var.)	50
100	Pitahaya. <i>Hylocere usundatus</i>	2
101	Pitanga. <i>Eugenia uniflora</i>	10
102	Plátano fruta. (Tres clones)	64
103	Pomarosa. <i>Syzygium jambos</i>	0
104	Rolinia. <i>Rollinia mucosa</i>	1
105	Salchicha. <i>Kigelia africana</i>	2
106	Sauce	1
107	Seso vegetal. <i>Blighia sapida</i>	2
108	Tamarindo. <i>Tamarindus indica</i>	33
109	Toronja criolla. <i>Citrus máxima</i>	4
110	Toronja. <i>Citrus x paradisi</i>	30
111	Uchuva (Aguaymanto). <i>Physalis peruviana</i>	0
112	Uva negra. <i>Antidesma bunius</i> 69	28
113	Uva parra. <i>Vitistili aefolia</i>	3
114	Uva. <i>Vitisvi nifera</i> L.	3
115	Uva caleta. <i>Coccolo bauvifera</i>	2
116	Zapote blanco. <i>Casimiro aedulis</i>	3

117	Zapote blanco. <i>Casimiro atetrameria</i>	2
118	Zapote negro. <i>Diospyros digyna</i>	1
Otras especies perennes		
	Brazilete. <i>Caesalpinia bahamernsis</i>	5
	Cedro. <i>Cedrela odorata</i>	9
	Futete	82
	Majagua. <i>Hibiscus elatus</i>	8
	Moringa. <i>Moringa oleifera</i>	130
	Sabicú. <i>Lysilomata lisiliquum</i>	5
	Teca. <i>Tectona grandis</i>	3

Anexo 2. Resultados de la uniformidad de distribución del sistema de riego.

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min ⁻¹)	Caudal (L.h ⁻¹)
A	1	1	0,02	1,2
		2	0,015	0,9
		3	0,016	0,96
		4	0,015	0,9
		5	0,0175	1,05
		6	0,021	1,26
		7	0,0185	1,11
		8	0,021	1,26
		9	0,021	1,26
		10	0,066	3,96
		11	0,019	1,14
		12	0,62	37,2
		13	0,468	28,08
		14	0,021	1,26
		15	0,021	1,26
	q 25%=	0,02	Desv T	0,05
	q m=	0,0920	CV	0,54
	UD=	17,25543		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min⁻¹)	Caudal (L.h⁻¹)
A	6	1	0,012	0,72
		2	0,012	0,72
		3	0,013	0,78
		4	0,013	0,78
		5	0,023	1,38
		6	0,022	1,32
		7	0,027	1,62
		8	0,01	0,6
		9	0,0215	1,29
		10	0,028	1,68
		11	0,032	1,92
		12	0,024	1,44
		13	0,026	1,56
		14	0,026	1,56
		15	0,029	1,74
		16	0,028	1,68
		17	0,036	2,16
		18	0,036	2,16
		19	0,055	3,3
		20	0,025	1,5
	q 25%=	0,01	Desv T	0,00242
	q m=	0,0249	CV	0,10
	UD=	50,15045		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min⁻¹)	Caudal L.h⁻¹
B	10	1	0,018	1,08
		2	0,01	0,6
		3	0,008	0,48
		4	0,012	0,72
		5	0,014	0,84
		6	0,018	1,08
		7	0,019	1,14
		8	0,028	1,68
		9	0,022	1,32
		10	0,017	1,02
		11	0,03	1,8
		12	0,027	1,62
		13	0,054	3,24
		14	0,029	1,74
		15	0,025	1,5
		16	0,031	1,86
		17	0,027	1,62
	q 25%=	0,01	Desv T	0,002703
	q m=	0,022882	CV	0,118106
	UD=	48,07		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min ⁻¹)	Caudal L.h ⁻¹
B	16	1	0,009	0,54
		2	0,009	0,54
		3	0,012	0,72
		4	0,015	0,9
		5	0,027	1,62
		6	0,021	1,26
		7	0,017	1,02
		8	0,022	1,32
		9	0,28	16,8
		10	0,26	15,6
		11	0,264	15,84
		12	0,025	1,5
	q 25%=	0,01	Desv T	0,034237
	q m=	0,080083	CV	0,427520
	UD=	12,49		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min ⁻¹)	Caudal L.h ⁻¹
B	23	1	0,012	0,72
		2	0,012	0,72
		3	0,013	0,78
		4	0,012	0,72
		5	0,011	0,66
	q 25%=	0,011	Desv T	0,000354
	q m=	0,012000	CV	0,029463
	UD=	91,67		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min ⁻¹)	Caudal L.h ⁻¹
B	24	1	0,012	0,72
		2	0,208	12,48
		3	0,232	13,92
		4	0,033	1,98
		5	0,028	1,68
	q 25%=	0,012	Desv T	0,074626
	q m=	0,102600	CV	0,727349
	UD=	11,70		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min ⁻¹)	Caudal L.h ⁻¹
C	30	1	0,019	1,14
		2	0,053	3,18
		3	0,019	1,14
		4	0,028	1,68
		5	0,043	2,58
		6	0,009	0,54
		7	0,055	3,3
		8	0,044	2,64
		9	0,046	2,76
	q 25%=	0,014	Desv T	0,005899
	q m=	0,035111	CV	0,168002
	UD=	39,87		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min⁻¹)	Caudal L.h⁻¹
C	35	1	0,144	8,64
		2	0,012	0,72
		3	0,017	1,02
		4	0,016	0,96
		5	0,014	0,84
		6	0,013	0,78
		7	0,014	0,84
		8	0,015	0,9
		9	0,016	0,96
		10	0,014	0,84
		11	0,018	1,08
		12	0,015	0,9
		13	0,017	1,02
		14	0,018	1,08
		15	0,016	0,96
		16	0,019	1,14
		17	0,015	0,9
		18	0,018	1,08
	q 25%=	0,01325	Desv T	0,007349
	q m=	0,022833	CV	0,321836
	UD=	58,03		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min⁻¹)	Caudal L.h⁻¹
C	41	1	0,016	0,96
		2	0,015	0,9
		3	0,015	0,9
		4	0,012	0,72
		5	0,011	0,66
		6	0,014	0,84
		7	0,012	0,72
		8	0,018	1,08
		9	0,018	1,08
		10	0,02	1,2
		11	0,011	0,66
		12	0,019	1,14
		13	0,019	1,14
		14	0,021	1,26
	q 25%=	0,01	Desv T	0,000956
	q m=	0,015786	CV	0,060542
	UD=	71,79		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min⁻¹)	Caudal L.h⁻¹
C	44	1	0,029	1,74
		2	0,031	1,86
		3	0,015	0,9
		4	0,019	1,14
		5	0,019	1,14
		6	0,019	1,14
		7	0,02	1,2
		8	0,018	1,08
		9	0,019	1,14
		10	0,018	1,08
		11	0,023	1,38
		12	0,015	0,9
		13	0,013	0,78
	q 25%=	0,01	Desv T	0,001495
	q m=	0,019846	CV	0,075312
	UD=	72,22		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min⁻¹)	Caudal L.h⁻¹
C	48	1	0,017	1,02
		2	0,018	1,08
		3	0,018	1,08
		4	0,019	1,14
		5	0,021	1,26
		6	0,018	1,08
		7	0,02	1,2
		8	0,015	0,9
		9	0,019	1,14
		10	0,016	0,96
		11	0,021	1,26
		12	0,018	1,08
		13	0,013	0,78
		14	0,013	0,78
		15	0,014	0,84
		16	0,013	0,78
		17	0,013	0,78
		18	0,012	0,72
	q 25%=	0,01275	Desv T	0,000726
	q m=	0,016556	CV	0,043870
	UD=	77,01		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min ⁻¹)	Caudal L.h ⁻¹
C	53	1	0,012	0,72
		2	0,012	0,72
		3	0,013	0,78
		4	0,012	0,72
		5	0,016	0,96
		6	0,015	0,9
		7	0,016	0,96
		8	0,016	0,96
		9	0,014	0,84
		10	0,016	0,96
		11	0,015	0,9
		12	0,017	1,02
	q 25%=	0,012	Desv T	0,000553
	q m=	0,0145	CV	0,038136
	UD=	82,76		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min⁻¹)	Caudal L.h⁻¹
C	56	1	0,016	0,96
		2	0,014	0,84
		3	0,011	0,66
		4	0,013	0,78
		5	0,016	0,96
		6	0,013	0,78
		7	0,014	0,84
		8	0,015	0,9
		9	0,016	0,96
		10	0,015	0,9
		11	0,017	1,02
		12	0,015	0,9
		13	0,012	0,72
		14	0,013	0,78
		15	0,012	0,72
	q 25%=	0,012	Desv T	0,000005
	q m=	0,014133	CV	0,000321
	UD=	84,91		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min ⁻¹)	Caudal L.h ⁻¹
A	1	1	0,065	3,9
		2	0,03	1,8
		3	0,042	2,52
		4	0,064	3,84
		5	0,036	2,16
		6	0,024	1,44
		7	0,015	0,9
		8	0,015	0,9
		9	0,02	1,2
	q 25%=	0,015	Desv T	0,006801
	q m=	0,034556	CV	0,196813
	UD=	43,41		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min ⁻¹)	Caudal L.h ⁻¹
A	4	1	0,016	0,96
		2	0,014	0,84
		3	0,014	0,84
		4	0,025	1,5
		5	0,025	1,5
		6	0,029	1,74
		7	0,033	1,98
		8	0,033	1,98
		9	0,03	1,8
	q 25%=	0,014	Desv T	0,002761
	q m=	0,024333	CV	0,113480
	UD=	57,53		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min ⁻¹)	Caudal L.h ⁻¹
B	3	1	0,054	3,24
		2	0,037	2,22
		3	0,035	2,1
		4	0,066	3,96
		5	0,069	4,14
		6	0,034	2,04
		7	0,023	1,38
		8	0,021	1,26
		9	0,02	1,2
		10	0,036	2,16
	q 25%=	0,0205	Desv T	0,000361
	q m=	0,039500	CV	0,000000
	UD=	51,90		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min ⁻¹)	Caudal L.h ⁻¹
C	1	1	0,013	0,78
		2	0,085	5,1
		3	0,014	0,84
		4	0,02	1,2
		5	0,022	1,32
		6	0,025	1,5
		7	0,027	1,62
		8	0,015	0,9
	q 25%=	0,0135	Desv T	0,003174
	q m=	0,027625	CV	0,114878
	UD=	48,87		

Sección	Hilera no.	Planta	Gasto (L*min⁻¹)	Caudal L.h⁻¹
C	1	1	0,023	1,38
		2	0,026	1,56
		3	0,021	1,26
		4	0,027	1,62
		5	0,028	1,68
		6	0,025	1,5
		7	0,026	1,56
		8	0,024	1,44
		9	0,025	1,5
		10	0,025	1,5
		11	0,023	1,38
		12	0,025	1,5
		13	0,026	1,56
		14	0,024	1,44
		15	0,027	1,62
		16	0,028	1,68
				17
	q 25%=	0,02275	Desv T	0,001302
	q m=	0,03	CV	0,051476
	UD=	89,94		

Anexo 3. Plan de acción para el rediseño del sistema.

Elemento	Problema	Medidas	Fecha	Responsable
Fuente de abasto	Insuficiente abasto de agua al sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Construir una cisterna que permita almacenar el agua durante todo el tiempo de bombeo que no se está regando y poder utilizar esa agua después en el momento que el productor lo decida. • Evaluar las potencialidades hidrogeológicas de la finca para perforar pozo(s) que le permitan tener un suministro estable de agua. Esta acción parece ser posible debido a los resultados de análisis empíricos que han indicado la presencia de agua subterránea en varios puntos de la finca muy cercanos a la superficie. 	2015	Productor
Toma de agua	No tiene toma de agua propia	<ul style="list-style-type: none"> • Montar una estación de rebombeo que permita estabilizar la presión e incrementar el caudal de entrada al sistema. • Establecer un sistema de bombeo propio que utilice las fuentes renovables de energía que puede ser el molino de viento y el empleo de paneles fotovoltaicos para generar la corriente eléctrica que utilizaría el sistema para el motor que acciona la bomba. • Instalar un tanque elevado con dominio suficiente del área para regar usando la fuerza de gravedad y de noche con lo que se disminuyen las pérdidas de agua por evaporación. 	2015	Productor
Cabezal de riego	No existe	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporar un cabezal de riego al sistema que incluya al menos, Manómetros, filtros, válvulas para el control de caudal y la presión. 	2016	Productor
Tuberías laterales	Las tuberías laterales no satisfacen el estado actual de desarrollo que han	<ul style="list-style-type: none"> • Mover las tuberías laterales hacia una posición más alejada de la hilera de plantas de manera que la entrega de agua se haga en el lugar donde se concentra el mayor volumen de raíces de acuerdo al nivel de desarrollo de las plantas. • Instalar una nueva tubería lateral entre dos hileras de plantas de manera que se humedezca esta zona donde ya existe un volumen considerable de raíces 	2015	Productor

	alcanzado las especies vegetales.	<p>de acuerdo con el desarrollo alcanzado ya por las plantas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efectuar lavado a las tuberías para mantener su pleno funcionamiento eliminando los sedimentos que se acumulan producto de las impurezas del agua. • Soterrar las tuberías para evitar daños mecánicos y el efecto de la temperatura sobre ellas. 	Bimen-sual	
Emisores	Entrega de agua con baja uniformidad y alto coeficiente de variación.	<ul style="list-style-type: none"> • Homogenizar los emisores por cada línea. • Ubicar los microjet u otros emisores de mayor alcance y caudal donde están cultivos que más agua requieren y donde están intercalados lo vegetales. • Incorporar góteros autocompensantes para evitar efectos negativos de las fluctuaciones de presión. 	2015-2016	Productor

