*Facultad de Ciencias Agropecuarias*
*Departamento de Agronomía*

*Título:*

# *Manejo del riego y balance energético de la Empresa "Cultivos Varios Cascajal"*

*Autor:*
*Julio Cesar González Campillo*

*Tutora:*
*Ing. Georgina María Gálvez Cabrera*

*2007 - 2008*

**Resumen**

El trabajo se realizó en áreas de la Empresa de Cultivos Varios “Cascajal”, en las 5 máquinas de riego por aspersión de pivote central del tipo Fregat, con el objetivo de valorar la repercusión del manejo adecuado del riego con las máquinas de pivote central sobre el consumo de agua y el balance energético por riego en la Empresa de Cultivos Varios Cascajal durante las campañas paperas 2006 – 2007 y 2007 – 2008. Se obtuvo que las máquinas de riego trabajaron con una deficiente regulación que afectó la uniformidad; no se aplicaron las láminas de riego requeridas por el cultivo, lo que produje escurrimiento superficial, por lo que existió un manejo poco eficiente del agua de riego. Se recomienda capacitar a los obreros y técnicos de cada área con el manejo adecuado de las máquinas de riego y sus características técnicas y de funcionamiento; y dada la importancia del agua para la vida en el planeta contribuir al desarrollo de una conciencia de ahorro que también favorecería la reducción del consumo de energía eléctrica, lo que reporta un efecto económico y un impacto positivo sobre el medio ambiente.

***Introducción***

El agua, al mismo tiempo que constituye el líquido más abundante en la Tierra, representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida. Es uno de los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía (Anónimo, 2007).

Dada la importancia del agua para la vida de todos los seres vivos, y debido al aumento de las necesidades de ella por el continuo desarrollo de la humanidad, el hombre está en la obligación de proteger este recurso y evitar toda influencia nociva sobre las fuentes del preciado líquido.

El incremento de la producción agrícola demanda, a su vez, la ampliación de áreas de riego y mayor consumo de energía. Los recursos energéticos son también limitados, sin embargo una mayor demanda de estos recursos se requerirá para lograr una agricultura sostenible. Por ello, para alcanzar un desarrollo agrícola sostenido, el riego tendría que planearse y manejarse con criterios de conservación, tanto del agua como de la energía. Asímismo, se requiere de manera urgente asesoría tecnológica apropiada, que considere el concepto de uso eficiente del agua y de la energía en todas las actividades de riego dentro de un marco

económico completo, especialmente para proyectos de pequeña irrigación (Alfaro y Marín, 2007).

Actualmente, el potencial hidráulico de Cuba se ha evaluado en 38.1 $km^3$ por año (31.7 $km^3$ pertenecen a los recursos superficiales y 6.4 $km^3$ a recursos subterráneos); de ellos los aprovechables están evaluados en 24 $km^3$ anuales, de los que corresponde 75% a las aguas superficiales y el restante 25% a las subterráneas; sin embargo, al cierre el año 2000 los recursos hidráulicos disponibles fueron de 13.68 $km^3$ (INRH, 2001, citado por PNUMA, 2006). En 1995, las extracciones totales se cifraban en 5,21 $km^3$. De esta extracción, se estima que el 14 % se perdió en distribución y transporte; y el 50 % se consumió en la actividad del riego.

El riego es necesario en el país pues las precipitaciones durante el período seco del año no son suficientes para obtener un desarrollo adecuado de la mayor parte de los cultivos. Este período coincide con los ciclos completos de muchos cultivos entre ellos, la papa.

Un empleo inteligente y eficaz de cada gota de agua de riego, entre otros factores contribuye grandemente a una mayor calidad del producto y a rendimientos óptimos de las cosechas, al tiempo de cumplir con los principios de una agricultura sustentable.

Según PNUMA (2006) en la Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente de Dublín se estableció el principio de que “El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente”. Dado este principio, y conociendo la necesidad del ahorro de este recurso y de utilizarlo en la actividad del riego con las técnicas de que disponemos y con el uso racional de la energía, se realizó este estudio en la Empresa de Cultivos Varios Cascajal. Los objetivos propuestos fueron los siguientes:

**General**:

- Valorar la repercusión del manejo adecuado del riego con las máquinas de pivote central sobre el consumo de agua y el balance energético de la Empresa de Cultivos Varios Cascajal durante las campañas paperas 2006 – 2007 y 2007 – 2008.

**Específicos**:

- Verificar el estado técnico de las máquinas de pivote central para el inicio de cada campaña papera, a partir de la correcta disposición de los difusores según la carta técnica de las mismas.

- Evaluar en condiciones de explotación el cumplimiento de las normas de riego requeridas y las aplicadas al cultivo y compararlas entre campañas.
- Calcular los coeficientes de uniformidad ponderados por superficie y calificar la uniformidad de riego de las máquinas comparando ambas campañas.
- Evaluar la posibilidad de escurrimiento superficial según la intensidad máxima de las máquinas de riego y la velocidad de infiltración del suelo.
- Comparar los resultados del balance energético en ambas campañas paperas.

## ***Revisión Bibliográfica***

### ***El agua. Su importancia***

La vida en la Tierra ha dependido siempre del agua. Los seres vivos moran inmersos en el agua o en el aire. En su interior son, en gran medida, agua: en el agua se originó la vida y de ella sigue dependiendo y, los grupos zoológicos que han evolucionado hacia una existencia terrestre, siguen manteniendo dentro de ellos su propio medio acuático, encerrado, y protegido contra la evaporación excesiva (Anónimo, 2007).

El agua constituye más del 80% del cuerpo de la mayoría de los organismos, e interviene en la mayor parte de los procesos metabólicos que se realizan en los seres vivos. Desempeña de forma especial un importante papel en la fotosíntesis de las plantas y, además, sirve de hábitat a una gran parte de los organismos.

El agua pura es un recurso renovable, sin embargo puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas, que ya no sea útil, sino nociva, de calidad deficiente.

Con la excepción de productos exóticos, el agua es el mejor disolvente que existe (de sólidos, de líquidos y de gases). Si el agua no fuere así no podría sustentar la vida, pues gracias a esta propiedad conduce los nutrientes a los seres vivos y elimina sus desechos; además, lleva el oxígeno a los seres acuáticos.

El 71 por ciento de la superficie de nuestro planeta está cubierto por ella; millones de toneladas, en forma de vapor, flotan en la atmósfera y sin embargo grandes regiones terrestres carecen de ella.

### ***El agua en la agricultura***

En todo el mundo, el empleo del agua y su gestión han sido un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El agua es esencial para aprovechar el potencial de la tierra y para permitir que las variedades mejoradas tanto de plantas como de animales utilicen plenamente los demás factores de producción que elevan los rendimientos. Al incrementar la productividad, la gestión sostenible del agua (especialmente si va unida a una gestión adecuada del suelo) contribuye a asegurar una producción mejor tanto para el consumo directo como para el comercio, favoreciendo así la producción de los excedentes económicos necesarios para elevar las economías rurales.

Casi un 80% del agua dulce disponible se utiliza para la agricultura. La sobreexplotación del agua subterránea por parte de los agricultores excede los niveles de alimentación natural de los acuíferos en al menos 160.000.000.000 de metros cúbicos cada año. La superficie del suelo destinada a la agricultura ha aumentado un 12% desde los años sesenta, hasta abarcar casi 1.500.000.000 de ha. Se estima que la cantidad de agua extraída en el mundo para el riego está entre 2.000 y 2.555 km cúbicos al año. Los pastos y las cosechas ocupan el 37% de la superficie terrestre del planeta. Las prácticas de riego y el escaso drenaje han conducido a la salinización de aproximadamente el 10% de las tierras irrigadas del mundo (Anónimo, 2006).

El agua es vital para la sobrevivencia y el desarrollo de las plantas, siendo uno de los factores más importantes que determinan la producción (Romero, 2007).

La mayoría del agua absorbida por la planta se elimina en el proceso de la transpiración, siendo solamente una pequeña fracción de aquella (alrededor del 1 %) la que la planta emplea en sus reacciones metabólicas o en aumentar el contenido hídrico de su biomasa, a medida que ésta aumenta.

Al agricultor, no le interesa tanto la cantidad de agua que puedan transpirar las plantas, sino la que tiene que aportar al cultivo para que produzca una buena cosecha. No todo el agua que el agricultor aporte al cultivo va a ser absorbida y transpirada por la planta ya que una parte de ella se evaporará directamente desde el suelo y otra se quedará fuera del alcance de las raíces de las plantas o se perderá por drenaje o escorrentía. Cuanto mejor sea la técnica de aplicación del agua de riego, menores serán estas pérdidas, que en cierta medida pueden ser controladas por el agricultor. Además, al agricultor no le suele interesar toda la biomasa producida por la planta (no suele estar preocupado por la cantidad de raíces

producidas excepto en algunos cultivos específicos) sino solamente la que puede cosechar, y dentro de ésta la que tiene valor comercial (grano, por ejemplo, en el caso de cereales). Por este motivo, el significado de la “eficiencia en el uso del agua” es distinto para los agricultores que para los fisiólogos, aunque es un concepto que se maneja tanto en agronomía como en fisiología vegetal (Fernández, 2008).

El cuidado del recurso agua es un eje central a toda comunidad, y tomar conocimiento de la relación calidad, uso y manejo del agua no solo beneficia a los individuos en particular, sino también a la sociedad en la que viven y el ecosistema. Con la intensificación de la agricultura y ganadería, el suelo ha sufrido un proceso intenso de degradación, por lo que la contaminación a gran escala de las aguas subterráneas y superficiales ha ido en ascenso y el uso excesivo o inadecuado ha producido salinización o anegamiento (Herrero, 2000).

Con relación a los daños al suelo Dourejanni (1991) alega que el agua que da la vida también es capaz de traer la muerte y la desertización, pues por el impacto directo de las gotas de agua se produce un lavado de minerales y arcillas dejando cada vez menos fértiles los suelos.

***Las aguas subterráneas***

La FAO (1991) hace énfasis planteando que en todos los países el agua subterránea es una reserva importante de agua potable, Morea (2005) alega además que el agua freática o subterránea es una fuente vital de agua para beber y para el riego agrícola. Sin embargo es fácil de agotar porque se renueva muy lentamente.

Un autor anónimo, (2006) plantea que el uso de las aguas subterráneas aumentará en los próximos años, tanto por las necesidades que impone la concentración demográfica, como por la expansión económica y por sus relativas ventajas sobre las aguas superficiales. La situación de la explotación es todavía crítica debido a la visión inmediatista del uso del recurso, y a la falta de control y carencia de mecanismos legales y normativos. En estas condiciones, los acuíferos, en diferentes áreas del continente están sujetos a impactos por la exagerada explotación de los pozos y la ocupación no planificada del suelo. Todo ello pone en riesgo la excepcional calidad natural de las aguas subterráneas. La protección de los recursos hídricos subterráneos se hace aún más evidente cuando se constata que los

acuíferos contaminados por sustancias persistentes y tóxicas no pueden ser recuperados, causando la pérdida de los manantiales o parte de ellos.

En varias zonas, este recurso hídrico está contaminado hasta el punto de que ya no reúne las condiciones establecidas en las normas actuales para el consumo humano o para su uso agrícola (FAO, 1991).

Seoánez *et al*. (1999) hacen referencia a que normalmente, la velocidad real de flujo de las aguas subterráneas es muy lenta, a veces menos de una docena de metros al año, lo que provoca desproporción temporal entre el tiempo que tiene lugar la contaminación y el momento en que esta se detecta en una captación, por otra parte los bombeos producidos en los pozos, provocan perturbaciones locales del gradiente hidráulico en el acuífero que favorecen la entrada de contaminantes.

Toledo, (2005) alega que para conseguir optimizar la explotación de los recursos hídricos deben plantearse sistemas de uso conjuntos de aguas superficiales y subterráneas, en los que la forma más común se centra en la utilización alternativa de unas y otras, fundamentalmente en períodos húmedos y secos, primando el uso de cada una de ellas en función de la disponibilidad del recurso. Esto puede implicar una infrautilización directa del agua subterránea en los períodos húmedos, en los que al mismo tiempo se puede forzar una recarga artificial del acuífero o, simplemente, dejarlo recuperar de forma natural, aprovechando al máximo las aguas circulantes; en los períodos de menor abundancia de caudales fluyentes se bombean las aguas subterráneas almacenadas para completar o sustituir del todo a las superficiales.

***Los recursos hidráulicos y el riego en Cuba***

Al triunfo de la Revolución la capacidad de embalse en Cuba era de 48 000 000 de m3. A pesar de las características climáticas de Cuba, hasta 1958 sólo se habían construido trece obras hidráulicas (incluidas pequeñas presas y micropresas) para un total de 0,48 km3 de agua embalsada, destinadas fundamentalmente al abastecimiento de la población y al riego de la caña de azúcar.

La infraestructura hidráulica actual permite utilizar 57% de los recursos aprovechables. Al cierre del año 2000 los recursos hidráulicos disponibles ascendieron a 13.68 $km^3$. El país cuenta con 241 embalses administrados por el INRH, 60 derivadoras, 759.63 km de canales

magistrados, 798 micropresas, 8 grandes estaciones de bombeo y 2 309.52 km de obras de protección contra inundaciones (INRH, 2001, citado por PNUMA, 2006).

Como componente importante del programa hidráulico cubano se desarrolló la industria de regadío. En tal sentido el país cuenta con una fábrica de sistemas de riego por aspersión semiestacionario y portátil a partir de tuberías de aluminio. Posee una industria para la fabricación de máquinas de pivote central y otras dos industrias con una capacidad de producción anual de 40 000 km de tuberías de materiales plásticos y accesorios, así como una planta para producir emisores y accesorios de riego localizado, válvulas y dispositivos de automatización del regadío.

La superficie regable de Cuba, considerando los factores del clima, suelo y los recursos hídricos disponibles, incluyendo las necesidades de los cultivos y las eficiencias de las diferentes técnicas de riego utilizadas, se estima en 2 700 000 ha. Un incremento en la superficie regable de Cuba sería sólo posible con un aumento en la eficiencia en los sistemas existentes.

***Un riego eficiente***

La severa escasez de agua y la necesidad de un abastecimiento regular de alimentos frescos y procesados requieren de la creación y desarrollo de sistemas avanzados y eficientes de riego y fertilización. (Gal, 2006).

*Solución*: la adopción de innovadoras tecnologías de irrigación basadas en principios de un riego eficiente. Un empleo inteligente y eficaz de cada gota de agua de riego, nutrientes y plaguicidas contribuye grandemente a una mayor calidad del producto y a rendimientos óptimos de las cosechas, al tiempo de cumplir con los principios de una agricultura sustentable.

Principios de un riego eficiente mediante sistemas de aspersión.

- Uniformidad de distribución: CU del 90% y mayor.
- Bajo impacto de las goticas.
- Bajos caudales de aplicación: 3-5 mm.
- Frecuencia del riego.

Uniformidad de distribución significa una distribución pareja sobre la superficie del terreno de todo un campo de cultivo bajo riego. A pesar de constituir un factor de capital importancia para un riego apropiado, la uniformidad de distribución carecerá de valor a menos que exista un perfil hídrico similar bajo la superficie.

Dos factores impiden la formación de un perfil uniforme de suelo:

1. El viento, que afecta la actuación y rendimiento de los aspersores.
2. Las costras de suelo que se generan por la fuerza del golpe de las gotas sobre el terreno.

Bajo impacto de gotitas. El impacto de las gotas sobre la superficie del suelo expone la capa arcillosa del mismo, formándose así una costra rígida. Esta costra afecta la penetración uniforme del agua, nutrientes y pesticidas. Esta formación altera la germinación de las plantas jóvenes, restringiendo su desarrollo y afectando seriamente el rendimiento final.

El impacto de las gotas sobre el suelo puede también provocar la salpicadura de los fertilizantes y plaguicidas, dando como resultado una concentración irregular de los mismos, exponiendo los cultivos a plagas y daños por quemazón de las plantas.

El bajo impacto de las gotitas de riego eliminan totalmente todos estos problemas. Por medio del empleo de gotitas de pequeño tamaño, la arena, los pesticidas y fertilizantes no provocan la salpicadura de las plántulas, evitando así el daño a la planta y los efectos negativos sobre la calidad y el rendimiento de la cosecha.

El bajo impacto permite asimismo el riego de bancos de germinación de escasa profundidad, lográndose así ahorros de un 20% en el volumen de las semillas sin comprometer la emergencia o la uniformidad.

Bajo caudal de aplicación. Un bajo caudal de aplicación (3-5 mm) facilita un mejor movimiento del agua en el suelo, con una distribución lateral y aireada para un óptimo lecho de crecimiento en la zona radicular y una óptima disponibilidad del agua y de los nutrientes para las plantas. El movimiento lateral del agua conlleva un mejoramiento del perfil hídrico del suelo, con una distribución particularmente uniforme de mojado y aireación. Las partículas de suelo se envuelven en agua y dejan espacios aireados entre ellas, mientras que los puntos

más secos tienden a absorber el agua y aumentar los valores de distribución medidos en la superficie.

El bajo caudal de aplicación contribuye asimismo a un control de la profundidad de la zona de mojado y aireación de la zona radicular en el perfil de suelo requerido.

Otro de los valores agregados de un bajo caudal de aplicación es la disminución de la influencia del viento sobre la uniformidad de distribución. El bajo flujo del aspersor permite el riego de áreas amplias con un solo pulso, reduciendo en consecuencia el impacto del viento sobre el rendimiento del aspersor.

La combinación del bajo impacto y el caudal reducido de aplicación contribuyen significativamente a lo siguiente:

1. Una germinación plena y uniforme de semillas a baja profundidad.
2. Estructura del lecho de cultivo libre de terrones y bien desmenuzada, desde la preparación de la tierra hasta la cosecha.

Frecuencia de riego. La frecuencia de riego se define de acuerdo con el tipo de suelo, el cultivo y las condiciones ambientales. Como regla general, el riego frecuente impide las tensiones causadas por un suministro excesivo o deficiente de agua a la planta.

Las tensiones de exceso conllevan a un terreno saturado, empapado y con carencia de aire, lo cual resulta en una baja actividad radicular. Por otra parte, la deficiencia hídrica produce suelos resecos, que obligan a la planta a gastar energía tratando de conseguir el agua necesaria a expensas de su desarrollo normal.

La prevención de las tensiones causadas por las deficiencias o excesos de agua brindan a la planta condiciones óptimas de desarrollo y actividad radicular. El perfil del suelo permanece constantemente humidificado y aireado, y tanto el agua como los nutrientes son fácilmente obtenibles. El riego con eficiencia por medio de los sistemas de aspersión también contribuyen a salvaguardar el medio ambiente y la salud de la población.

Seis claves para mejorar la eficiencia de riego (Anónimo, 2008)

- reducir las filtraciones de los canales por medio de revestimientos o 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 déficits de humedad del cultivo.

***Sobre las máquinas de riego de pivote central.***

Los Pivotes Centrales son equipos ampliamente utilizados en la Agricultura Cubana. Según González, (2004) las primeras máquinas de Pivote Central, modelo Fregat, de acondicionamiento hidráulico y aspersores de impacto sobre la tubería para el riego en la Agricultura no Cañera, se introdujeron en 1977, beneficiando 469.7 ha; diez años después ya existían 209 máquinas regando 3247.64 ha.

Los factores que se manejan para lograr que los cultivos dispongan del agua necesaria para que su productividad sea óptima, son: energía, agua, mano de obra y sistematización o equipamiento, existiendo una completa interrelación entre ellos, de manera que utilizar menos un factor implica mayor necesidad de otros (Tarjuelo, 1999).

Los pivotes centrales son equipos ampliamente utilizados en la Agricultura Cubana.
La optimización del agua disponible para el riego debe abordarse desde distintos enfoques, 1) programación de riegos para los cultivos existentes en una zona, 2) la mejora de la eficiencia de aplicación de los sistemas de riego, 3) cultivos que permitan la mayor rentabilidad (económica, social, etc.) del agua disponible (Ortega, 2000, citado por González, 2004).

Longitud de los pivotes

Existe una amplia gama de longitudes que permiten la fácil adaptación de los pivotes al tamaño y la forma de superficie a regar. Las longitudes pueden cubrir una amplia gama desde 60 a 800 metros (Tarjuelo, 1999), aunque los modelos más frecuentes no suelen

superar los 500 metros. Las longitudes más frecuentes en Cuba oscilan entre 250 y 450 metros, según se ha podido observar en los estudios de factibilidad y en los informes de balance de áreas del Ministerio de la Agricultura. Es importante tener muy en cuenta que la superficie aumenta con la longitud y la inversión por hectárea disminuye, es por ello que desde el punto de vista económico será preferible la instalación de grandes longitudes (Lujan, 1998).

Por su parte Tarjuelo, (1999), señala que la inversión por hectárea disminuye al aumentar la longitud del equipo, pero el costo de aplicación de agua que contempla, además, el mantenimiento, mano de obra, la energía y el agua consumida, permanece prácticamente constante a partir de 50 – 60 hectáreas regadas (400 – 450 m de lateral), por crecer en gran medida el costo energético.

Separación entre torres

Según Tarjuelo (1999), las distancias entre torres varían de acuerdo a los diferentes tipos de marcas y modelos. Por lo general las separaciones mínimas son del orden de los 25 m y las máximas de 75 m. Alemán (1996) por su parte, determinó la pérdida de área producida por las huellas de las máquinas fregat, que oscilan entre 0.16 ha y 0.74 ha. Las torres no solo sirven de apoyo a la tubería, sino que son las que proporcionan el movimiento al sistema, para lo cual cada una de ellas esta dotada de un mecanismo de propulsión. El movimiento puede ser de diversos tipos: hidráulicos, eléctricos, oleohidráulicos, de aire comprimido, cable, etc. Tarjuelo (1999) señala que actualmente son más usados los eléctricos, por tener ventajas sobre los otros sistemas al permitir una fácil regulación de la velocidad y el sentido de avance, así como poder moverse sin necesidad de regar.

Rolland (1986), citado por González (2004) opina que el hecho de poder modificar esa velocidad da a los pivotes eléctricos gran flexibilidad de uso y por ello son superiores en calidad de riego a los de propulsión hidráulica.

La velocidad de avance del cuerpo se regula actuando sobre el motor de la última torre rueda haciéndola funcionar a diferentes intervalos de tiempo, por lo que el avance es por impulsos y pausas del motor. Cuando esta funciona sin pausas se alcanza el 100 % de la velocidad, que puede ser según el modelo de 1.5 a 1.8 m/min e incluso 3 m/min cuando se trata de laterales de gran longitud.

Ruedas

Los sistemas de pivote central pueden utilizar dos tipos de ruedas: las metálicas y los neumáticos. Las de tipo metálica (similar al modelo Fregat) se plantea que poseen una larga vida útil y que los gastos de mantenimiento son mínimos, sin embargo, la experiencia en Cuba con este tipo de rueda no ha sido favorable. Las ruedas de neumáticos consumen menos energía, la huella es menos profunda y produce menos atascamientos. Los sistemas eléctricos modernos utilizan neumáticos de alta flotación que tienen mayor tamaño y mayor superficie de contacto con el suelo con lo que disminuye la compactación, se mejora la tracción y se consigue una huella menos profunda.

Emisores para la aplicación de agua

Existe una amplia gama de emisores de riego para aplicar agua con los pivotes centrales (Grevenson, 2000, citado por González, 2004). En los últimos 10 años se ha generalizado en el mundo la utilización de las boquillas de baja presión, que trabajan entre 10 y 18 m.c.a, lo cual significa un ahorro considerable de energía. Los principales modelos que hoy se ofertan son: Spray, Rotator, Spinner, Wobler, LDN y LEPA.

El modelo Spray o rociadores es un emisor fijo de baja presión donde el agua al salir por la boquilla choca con un plato estático que está ranurado formando chorros de agua a una presión que oscila entre 4 y 18 m.c.a. Existen varios tipos de plato que pueden proporcionar diferentes chorros de salida del agua (chorros finos, medianos y fuertes). Debido a que la entrega de agua es fija la aplicación instantánea es alta y se recomienda en suelos de poca pendiente y alta velocidad de infiltración. Este alcanza un radio de aplicación de 5 m.

El modelo Spinner que alcanza un radio de aplicación de 6.5 m, en estudios realizados por el IIRD en 4 máquinas con este dispositivo se obtuvieron coeficientes de uniformidad de 86, 87, 88 y 94 % lo que demuestra la eficacia de dicho dispositivo.

Coeficiente de uniformidad

Según Montero *et al*. (2005), una parcela está bien regada cuando se consigue un coeficiente de uniformidad entre el 85 % y 90 %. Con valores mayores al 90 %, la parcela está muy bien regada. En cambio con valores de coeficiente de uniformidad, menores al 85 % se considera que el pívote no riega adecuadamente.

Caudal y pluviosidad a lo largo del lateral

En este tipo de máquinas de riego, la pluviometría crece desde el centro hasta el extremo, ya que cada metro del lateral tiene que regar mayor superficie en el mismo tiempo.

Tarjuelo (1999), señala que otra manera de explicar el crecimiento progresivo de la pluviometría del centro al extremo del equipo es la siguiente: el tiempo de aplicación de agua en un punto del terreno va siendo cada vez menor a medida que nos alejamos del pivote. Todos los puntos tienen que recibir la misma cantidad de agua y para ello es necesario que la pluviometría sea más elevada. Si la pluviometría resulta excesiva puede haber escorrentía. El riesgo de escorrentía se podrá evaluar comparando la curva de pluviometría instantánea con la curva de tasa de infiltración. Si la curva de pluviometría, en un momento dado, supera a la de velocidad de infiltración, se producirá escorrentía (o almacenamiento superficial). Los suelos pesados (textura arcillosa) tienen pequeña velocidad de infiltración, por eso suelen realizarse aplicaciones ligeras y frecuentes para que el agua pueda infiltrarse. Esto mismo es lo que haría en un suelo ligero (textura arenosa) pero por falta de capacidad de almacenamiento. Para que no se produzca escorrentía, la velocidad de infiltración del suelo tiene que ser mayor o igual que la pluviometría del sistema.

Sobre el funcionamiento de los pivotes

- La pluviometría aumenta desde el centro hasta el extremo.
- El tiempo de aplicación de agua disminuye desde el centro hasta el extremo.
- El caudal descargado aumenta desde el centro hasta el extremo.
- La pluviometría en un punto del lateral es fija y no varía con la velocidad.
- La cantidad de agua aplicada en un punto del terreno cambia cuando se modifica la velocidad.
- La pluviosidad descargada en cada punto del lateral depende del diámetro de la boquilla, la presión en ese punto, el espaciamiento entre emisores, la distancia desde el origen, el tipo de emisor y el caudal a la entrada del equipo.

La evaluación de máquinas de riego de pivote central resulta necesaria para validar en condiciones de campo sus reales parámetros de funcionamiento.

Eficiencia general de aplicación

La idoneidad de un riego depende del incremento del agua almacenada en la zona radicular del cultivo producido por el riego, de las pérdidas por percolación profunda y por escorrentía superficial, de la uniformidad de la lámina infiltrada y del déficit de humedad del suelo después del riego (Tarjuelo 1999). Según Fuentes (1996), la eficiencia de aplicación en un sistema de riego es la proporción porcentual entre la cantidad de agua almacenada en la zona radicular (disponible para la planta) y la cantidad de agua aplicada por el sistema de riego. De esta manera se tienen en cuenta las pérdidas debidas a una falta de uniformidad de aplicación, a la percolación profunda, a las fugas en tuberías y a la evaporación y arrastres por el viento.

***Sistemas de riego moderno***

La modernización de sistemas de riego en países en desarrollo implica reemplazar sistemas intensivos de riego y el bajo consumo de energía, por sistemas más eficientes pero con un mayor consumo de energía y mayores costos de operación.

Según Alfaro (1988) de experimentos de campo en Brasil, con suelos arenosos y velocidades medias de viento de 5 m/s, se obtuvieron eficiencias en la aplicacion del riego del 40% como eficiencia real (Ea) y del 60% de eficiencia potencial (Ep), empleando sistemas convencionales de riego por aspersión en parcelas de 8 ha promedio. En tanto los valores promedio de riego por goteo y microaspersión fueron de Ea=60% y Ep=85%, respectivamente. Las principales pérdidas de agua se debieron fundamentalmente al exceso de tiempo de riego, fugas en las tuberías y por escurrimiento superficial. El efecto de la evaporación, del viento y las pérdidas debido a la infiltración, se consideraron iguales tanto para las eficiencias reales como para las potenciales. El tiempo en exceso fue la mayor fuente de pérdida de agua (de 10 a 25% en sistemas por aspersión y de 2 a 10% en sistemas por goteo), seguido por las fugas en las tuberías.

Romero (2007) plantea que la tecnología de riego permite asegurar la demanda de agua por los cultivos, pero por tratarse de un recurso limitado, es importante que la misma se utilice de manera estratégica y eficiente.

***Energia empleada en el riego***

Otro factor indispensable para el desarrollo regional es la energía, siendo el riego su mayor consumidor. Los requerimientos anuales de energía para operar los equipos de riego son de

cerca de cinco veces los requeridos para su fabricación, lo que equivale a 86 millones de joules por kilogramo (Stout *et al*, citado por Alfaro y Marín*,* 2007). En los Estados Unidos de Norteamérica la energía empleada solamente para el bombeo de agua puede ser muchas veces mayor que la usada para las otras actividades agrícolas (Barnes *et al*, citado por Alfaro y Marín*, 2007*), y el 23% de la energía empleada es para actividades parcelarias asociadas a la producción agrícola (Sloggett, citado por Alfaro y Marín*, 2007*). En forma similar el consumo de energía para riego en los países en desarrollo se ha incrementado. Smerdon y Hiler (citados por Alfaro y Marín*, 2007*) estimaron que entre 1972 y 1986 el empleo de la energía se elevará en 55% en los países mencionados anteriormente. En el 14o. Congreso del Comité de la Conferencia de Conservación de la Energía Mundial, celebrado en Montreal en 1989, se estimó que el consumo de la energía se incrementará entre el 50 y el 75% de 1985 al año 2020. Se espera que mucho de este incremento ocurra en los países en desarrollo.

Los requerimientos de energía se elevan a medida que el manejo del agua se vuelve más ineficiente. Los requerimientos de energía (ER) para distintos sistemas de riego, de acuerdo a su eficiencia potencial (Ep) y eficiencia real (Ea), se muestran en la siguiente tabla:

| **Sistema de riego** | **ER (kwH/ha/año)** | |
|---|---|---|
| | **Ep** | **Ea** |
| Aspersión<br>• Convencional<br>• Pivote | 1897<br>3612 | 2846<br>NA |
| Puntual<br>• Goteo<br>• Micro-aspersión | 765<br>957 | 1084<br>1355 |

Existe la posibilidad de mejorar la eficiencia en el manejo del agua de tal manera que Ea sea igual a Ep. De esta forma los ahorros en el costo de la energía podrían ser de US 51,000 dólares para riego por aspersión convencional y de US 17,000 dólares para riego por goteo por cada mil hectáreas. Considerando la superficie actual de riego por aspersión (así como

se plantea con sistemas modernos de riego) la importancia de la energía para el riego eficiente no puede subestimarse. Sólo el ahorro en energía pagará una asistencia técnica efectiva.

Con las técnicas de evaluación y mejora de los sistemas de riego, se puede conseguir ahorrar agua, mano de obra y energía, para lo cual se necesita que el sistema esté bien diseñado, manejado y conservado. (Llanes *et al*, 2007).

***La energía renovable***

Según Pimentel (2005), además de conservar la energía fósil, las prácticas agrícolas sostenibles deben dar prioridad al uso de energía de fuentes renovables y a la conservación del suelo, el agua y los recursos biológicos.

Por otra parte Enciso y Mecke, (2007) explican cómo el agricultor puede ahorrar dinero, a la vez que contribuye a la reducción de la contaminación ambiental, mediante el uso de fuentes de energía renovable como lo son la energía solar y la energía eólica para el bombeo de agua para el consumo doméstico, para el riego por goteo o para abrevar el ganado; también estas fuentes de energía pueden ser una alternativa favorable en área remotas donde los costos de instalación de una nueva línea para la transmisión de energía eléctrica son muy elevados.

Debido a la gran cantidad de agua que consumen las plantas, la energía eólica se utiliza únicamente en condiciones excepcionales para el riego de cultivos. A medida que se desarrollen turbinas de viento más grandes y/o más eficientes, se puede predecir que turbinas individuales, o grupos de turbinas de viento, serán capaces de generar suficiente electricidad como para ser utilizadas en proyectos de riego. Algo similar ocurre con la energía solar para el riego de los cultivos.

***El agua en el cultivo de la papa***

El cultivo de la papa en Cuba es típico de regadío, ya que sus necesidades hídricas son elevadas y la época óptima de siembra coincide con el inicio del período seco, por ello la humedad es un factor a considerar (Van der. Zaag, 1981).

La intensidad de consumo de agua se incrementa considerablemente hasta los 42 días posteriores a la siembra sufriendo ligeros cambios para comenzar a reducirse nuevamente a partir de los 84 días; paralelamente a las interacciones en el consumo de agua, varía la intensidad de la respiración. El estrés de humedad constituye uno de los principales factores que influyen más significativamente en el rendimiento de la papa (Buxton y Zalewski, 1983).

La papa es susceptible tanto al déficit como al exceso de humedad porque su sistema radical superficial es bastante limitado y se le dificulta la penetración en los suelos compactos, lo que reduce la capa activa de raíces, el poder de succión de estas es relativamente bajo y sus funciones pueden ser afectadas por plagas, enfermedades, labores de cultivo, etc. El efecto del déficit de humedad acelera el envejecimiento del cultivo y la reducción del número de tallos en las primeras estaciones vegetativas (Vázquez, 1996).

Los excesos de humedad conducen a la podredumbre de la semilla, susceptibilidad a enfermedades fungosas y bacterianas, fallas a lo largo de las hileras y sistema radical superficial. La estimación y uso de la lámina necesaria en relación con el clima, condiciones edáficas y del cultivo, según la etapa de su ciclo, constituyen la esencia de la planificación del riego fisiológico (Solórzano, 2006). El cultivo es muy sensible a la humedad y por lo tanto al riego, lo que influye en el rendimiento, la calidad y la resistencia a las enfermedades (Trebejo1990).

Según un estudio realizado por Sepúlveda *et al*. (1999), sobre dos cultivares de papa, las plantas que crecieron en suelos con altos niveles de humedad (50 a 55% de humedad aprovechable en el suelo), tuvieron en promedio un período vegetativo más largo y mayores rendimientos que aquellas que se desarrollaron con niveles más bajos de humedad en el suelo (20 a 25%). Lo anterior concuerda con lo señalado por Jara (1999), quien afirma que una disminución del agua aprovechable en el suelo disminuye los rendimientos. Además de ello, estimula la respiración y acelera el envejecimiento del cultivo (Solórzano *et al*., 1993).

Finalmente Varas *et al* (1995), señalan que cuando existen niveles muy altos de humedad, la mayor parte del espacio poroso del suelo es ocupado por agua, reduciéndose la cantidad de aire, lo que perjudica el proceso respiratorio normal de las raíces limitando su desarrollo en condiciones extremas, por lo que el cultivo no puede expresar su potencial de rendimiento.

Los tubérculos semillas son especialmente sensibles a la pudrición. Si el exceso de agua ocurre justo después de la siembra puede reducir la emergencia, debido al crecimiento excesivo de las lenticelas lo que permite la entrada de parásitos (Haverkort, 1986). Lo anterior conduce a la podredumbre de la semilla, susceptibilidad a enfermedades fungosas y bacterianas, fallas a lo largo de las hileras y favorece la presencia de un sistema radical superficial (Solórzano *et al*., 1993).

Durante las primeras fases del desarrollo, hasta la formación del tubérculo, es esencial que el suelo se mantenga constante y uniformemente mojado hasta una profundidad de 10-15 cm. Durante la segunda etapa, cuando se desarrolla el tubérculo, se reducirá la frecuencia del riego aplicándose cada 3 - 5 días. Esto permite una eficiente respiración de la planta, estimulando e intensificando la tasa de crecimiento. Las papas pueden ser regadas casi hasta el momento de la cosecha (Vered, 2002). A partir de estudios de campo fue posible determinar al menos dos períodos críticos de necesidades hídricas en el cultivo de la papa; inmediatamente después de la emergencia y durante la tuberización (Martínez y Moreno, 1992).

Aún siendo la papa un cultivo que requiere en todo su ciclo un elevado contenido de agua en el terreno, se podrán restringir los riegos en el período hasta los 30 a 40 días de plantación, es decir, hacia el momento del inicio de crecimiento de los tubérculos, incrementando a partir de este momento la cantidad de riego durante el período de crecimiento del tubérculo. Una vez alcanzado un tamaño mínimo, se podrán volver a restringir los riegos hasta su restricción total los últimos 10 a 15 días de fase de maduración de la cosecha (Cárdenas, 2006, citado por Fonseca, 2006).

## Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en áreas de la Empresa de Cultivos Varios “Cascajal”. Dicha entidad cuenta con un área total de 1049 hectáreas y de ellas el 60.85%, se encuentra bajo condiciones de riego. Se explotan 5 máquinas de riego por aspersión de pivote central del tipo Fregat, las cuales fueron evaluadas durante dos campañas paperas sucesivas (2006 – 2007 y 2007 – 2008).

La fuente de abasto para todos los casos fueron las aguas subterráneas, extraídas con motobombas de pozo profundo electrificadas. La tabla 1 muestra las características de las máquinas de riego con sus respectivas fuentes de abasto.

**Tabla 1**. Características de las máquinas Fregat de la E. C. V. Cascajal y sus fuentes de abasto.

| FREGAT | # TORRES | ÁREA (Ha) | Q (L/s) | LONGITUD (m) | Ø (m) SPRAY | NO. POZO | VOLUMEN DISPONIBLE ($m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **7** | 12 | 32.20 | 65 | 320 | 10.20 | I-181 | 241 000 |
| **8** | 7 | 9.66 | 75 | 196 | 11.60 | SG- 592 | 434 000 |
| **13** | 9 | 17.44 | 75 | 235 | 5 | I-310 | 126 000 |
| **9** | 12 | 32.20 | 45 | 320 | 14 | SG- 591 | 91 000 |
| **2** | 12 | 37.17 | 75 | 352 | 14.60 | IA-199 | 213 000 |
| Cuenca Subterránea VC-VII-2f Capacidad disponible: 6 055 000 $m^3$<br>Recurso explotable: 4 445 000 $m^3$ | | | | | | | |

El suelo se clasifica como Ferralítico Rojo Típico (Hernández et al, 1999), dividido en dos áreas en las que existen pequeñas variaciones de sus propiedades hidrofísicas, las que aparecen en las tablas 2 y 3 respectivamente.

En el anexo 1 aparecen las curvas de la velocidad de infiltración instantánea.

**Tabla 2**: Propiedades hidrofísicas del suelo Ferralítico Rojo Típico (Fregat 7, 8 y 13)

| Prof. (cm) | P.E. ($g/cm^3$) | P.V. ($g/cm^3$) | Prs (%) | % en peso de suelo seco | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Hn | CC | CM |
| **0 – 10** | 2.86 | 1.34 | 53 | 22.25 | 29.46 | 15.73 |
| **10 – 20** | 2.86 | 1.34 | 53 | 22.46 | 24.33 | 13.16 |
| **20 – 30** | 2.87 | 1.47 | 49 | 24.60 | 25.63 | 13.81 |
| **30 – 40** | 2.87 | 1.47 | 49 | 22.17 | 23.60 | 12.80 |

***Leyenda***
volumen Pe-> Peso específico
Pv-> Peso volumétrico Prs-> Porosidad
Hn-> Humedad
Cc-> Capacidad de campo CM-> Coeficiente de marchitez
$V_i = 5.2067 * t^{-0.597}$, donde Vi= Veloc. Instantánea de infiltración en mm/min.
t= tiempo transcurrido en min.

| |
|---|
| $Vi_{estabilizada}$ = 0.83 mm/min = 50 mm/h |

**Tabla 3**: Propiedades hidrofísicas del suelo Ferralítico Rojo Típico (Fregat 2 y 9)

| Prof. (cm) | P.E. ($g/cm^3$) | P.V. ($g/cm^3$) | Prs (%) | % en peso de suelo seco | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Hn | CC | CM |
| **0 – 10** | 2.74 | 1.34 | 51.4 | 25.1 | 25.2 | 15.6 |
| **10 – 20** | 2.74 | 1.34 | 51.4 | 25.2 | 30.2 | 16.1 |
| **20 – 30** | 2.74 | 1.34 | 51.1 | 27.9 | 31.1 | 16.55 |
| **30 – 40** | 2.80 | 1.32 | 52.9 | 29.0 | 32.1 | 17.05 |

***Leyenda***
Pe-> Peso específico
Pv-> Peso volumétrico Prs-> Porosidad
Hn-> Humedad
Cc-> Capacidad de campo CM-> Coeficiente de marchitez
$V_i = 6.575 * t^{-0.505}$ , donde Vi= Veloc. Instantánea de infiltración en mm/min.
t= tiempo transcurrido en min.
$V_{estabilizada}$=1.3 mm/min = 76 mm/h

**Metodología general**

Para determinar las normas adecuadas para cada fase de desarrollo de la papa se realizaron los cálculos correspondientes.

La revisión de la distribución de las boquillas atendiendo a la carta técnica de cada máquina se realizó al inicio de cada campaña. En la 2006 – 2007 sólo se revisaron pues la dirección del riego en la empresa no permitió hacer modificaciones; para lo que sí se tuvo el consentimiento en la siguiente campaña 2007 – 2008; pero sólo 3 admitieron los cambios (Fregat 7, 9 y 2) y fueron las que se evaluaron en esta campaña.

Para comprobar la uniformidad del riego en las diferentes etapas a partir de la medición de la lámina de riego aplicada, y además para determinar el uso adecuado del agua en cada una de ellas se efectuaron las evaluaciones pluviométricas en cada máquina en diferentes momentos de desarrollo del cultivo y en ambas campañas, todo acorde con la metodología

que se establece en el Reglamento para la organización, operación y mantenimiento de los sistemas de riego y drenaje (González 2004).

Se utilizaron 70 pluviómetros y una probeta graduada. La velocidad del viento se midió cada 15 minutos con un anemómetro colocado a dos metros de altura. Con la brújula se orientó su dirección. Las distancias entre pluviómetros se midieron con una cinta métrica de 50 cm de longitud. Se calculó la velocidad de desplazamiento de la última torre, por medición de distancia contra tiempo. La figura 1 muestra el esquema de evaluación utilizado.

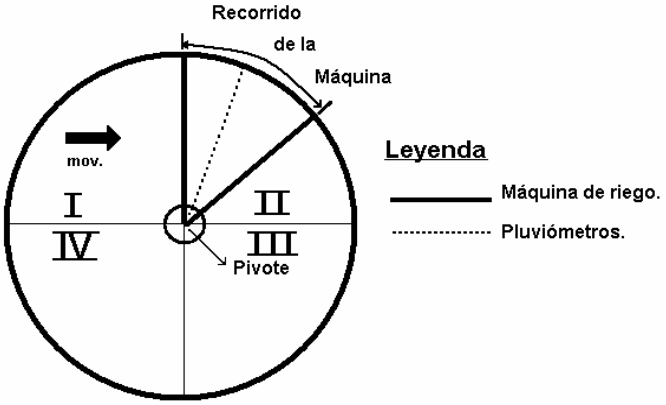


**Figura 1**: Esquema de evaluación de las máquinas

Los datos fueron procesados por el software Pluviopivot (Pacheco, 2004), que se basa en la fórmula de Christiansen (Pacheco, et al., 1995), para el cálculo del Coeficiente de Uniformidad Ponderado.

$$CU_p = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} n_i (m_i - m_p)}{m_p \times \sum_{i=1}^{n} n_i} \right] \times 100$$

Donde:

CUp = coeficiente de uniformidad ponderado de las alturas de agua recogidas en %.
mp = media ponderada de las alturas de agua recogidas.
mi = altura de agua recogida en el pluviómetro “i”.
n = número de pluviómetros.
ni = posición ocupada por el pluviómetro “i” con valor de 1 para el más cercano al pivote, 2 para el siguiente y así sucesivamente.

El criterio de uniformidad depende del valor del coeficiente de uniformidad, que según Montero:

Cu mayor 90 % → Uniformidad excelente

Cu entre 85 - 90 % → Uniformidad buena

Cu menor de 85 % → Uniformidad baja

Escurrimiento superficial

Para el cálculo de la intensidad máxima (Im) de la máquina se utilizó la expresión:

$$I_m = \frac{28800 * Q_{máq}\ (L/s)}{(\pi * \text{Long máq (m)} * \text{Diámetro Spray(m)})}$$

Se tuvo en cuenta la ecuación de infiltración instantánea de cada área de suelo, donde se despejó t y se sustituyó la velocidad de infiltración ($V_i$) por la intensidad máxima ($I_m$), así se obtuvo el tiempo máximo que la máquina puede demorar en pasar por un punto sin escurrimiento.

$$t_{máx} = \left(\frac{6.575}{Im}\right)^{(1/0.505)} \quad \text{.....minutos} \quad \text{(Fregat 9 y 2)}$$

$$t_{máx} = \left(\frac{5.2067}{Im}\right)^{(1/0.597)} \quad \text{.....minutos} \quad \text{(Fregat 7)}$$

Se calculó entonces la velocidad mínima que puede tener la máquina para no producir escurrimiento ($V_{min}$) y se comparó con la velocidad en la última torre, obtenida durante la evaluación pluviométrica.

$$V_{min} = \frac{\text{Diámetro del Spray}}{t_{máx}} = \text{m/min}$$

Si la velocidad de la última torre es menor que la velocidad mínima, entonces hay escurrimiento.

El análisis anterior se basa en que cuando en la fórmula de $V_i$ se sustituye $V_i$ por la $I_m$ de la máquina y se despeja t, lo que se está buscando es conocer a qué tiempo (t) en la curva de

infiltración corresponde una $V_i$ igual a $I_m$. Luego el t encontrado es el mínimo que se puede demorar la máquina aplicando agua en un punto, porque como la curva de infiltración desciende con el tiempo, a mayor tiempo será menor la $V_i$ y estará por debajo de $I_m$ produciéndose escurrimiento.

Economía del agua

Se realizaron los cálculos económicos correspondientes teniendo en cuenta el gasto de agua, combustible y energía eléctrica, y atendiendo a los mismos se compararon ambas campañas.

## Resultados y Discusión

### Norma de riego, coeficientes de uniformidad y uniformidad de riego

Atendiendo a las características de suelo y cultivo, se obtuvieron las normas de riego que aparecen en el anexo 2.

En el anexo 3 aparecen las evaluaciones pluviométricas de las máquinas en las dos campañas.

Como se aprecia, en la tabla 4 que resume las evaluaciones pluviométricas realizadas durante la campaña 2006 – 2007, se pueden comparar las normas parciales requeridas atendiendo a las características del suelo y la profundidad del cultivo con las aplicadas en cada una de las evaluaciones realizadas.

**Tabla 4**. Resumen de las evaluaciones pluviométricas en Cultivos Varios Cascajal, Campaña 2006 – 2007

| PARÁME-TROS | MÁQUINAS DE RIEGO | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fregat 7 | | Fregat 8 | | Fregat 13 | | Fregat 9 | | Fregat 2 | |
| | Edad papa (días) | | Edad papa (días) | | Edad papa (días) | | Edad papa (días) | | Edad papa (días) | |
| | 25 | 53 | 37 | 77 | 51 | 67 | 6 | 62 | 46 | 80 |
| Norma requerida ($m^3$/ha) | 180 | 274 | 250 | 361 | 300 | 320 | 84.4 | 289.8 | 274 | 289.8 |
| Norma aplicada ($m^3$/ha) | **279.5** | 243.6 | **262.3** | 254.2 | **319** | **346.13** | **216.8** | **299.7** | 231.9 | 197.3 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Exceso o déficit ($m^3$/ha)** | **99.5** | -30.4 | **12.3** | -107 | **19** | **26.13** | **132.4** | **9.9** | -42.1 | -92.5 |
| **Coeficiente uniformidad (%)** | 75.4 | 71.8 | 73.3 | 73.2 | 73.1 | 78.2 | 72.7 | 66.3 | 74.8 | 77.2 |

En sombreado se representan los momentos en que se detectó el riego con exceso de agua y de cuánto fue ese exceso. Excepto en la Fregat 2, en todas las evaluaciones realizadas en el momento en que el cultivo necesitaba las normas más bajas, los excesos fueron elevados. Martínez y Moreno, (1992) refieren que inmediatamente después de la emergencia es un período crítico de necesidades hídricas en el cultivo de la papa; sin embargo, según Haverkort (1986) los tubérculos semillas son especialmente sensibles a la pudrición y si el exceso de agua ocurre justo después de la siembra se puede reducir la emergencia, debido al crecimiento excesivo de las lenticelas lo que permite la entrada de parásitos.

Con relación a los coeficientes de uniformidad, estos variaron entre 66.3 y 78.2 %.

Según Montero *et al*. (2005), una parcela está bien regada cuando se consigue un coeficiente de uniformidad entre el 85% y 90%. Con valores mayores al 90%, la parcela está muy bien regada. En cambio con valores de coeficiente de uniformidad, menores al 85% se considera que el pívot no riega adecuadamente. Precisamente este último caso es el que se presenta en todas las evaluaciones en la campaña 2006 – 2007.

Al comparar las dos campañas paperas (tabla 5) después de haber realizado la rectificación de boquillas atendiendo a la carta técnica de la máquina se observa que en la Fregat 7 se mantienen los excesos de aplicación de agua, no obstante estos fueron menores que en la campaña anterior.

Según Solórzano, (1993), los excesos de humedad en el cultivo de la papa conducen a la podredumbre de la semilla, susceptibilidad a enfermedades fungosas y bacterianas, fallas a lo largo de las hileras y sistema radical superficial.

Con relación a las consecuencias del exceso de agua en el suelo, Dourejanni (1991) alega que el impacto directo de las gotas de agua produce un lavado de minerales y arcillas dejando cada vez menos fértiles los suelos.

Debe tenerse en cuenta que esta agua que se malgasta, si bien se considera un recurso renovable, tiene una disponibilidad limitada (PNUMA y CITMA, 2006) y debe ahorrarse. Es la agricultura, en gran parte, responsable del agotamiento del agua subterránea disponible, y recalca Morea (2005) que es fácil de agotar porque se renueva muy lentamente.

**Tabla 5**. Evaluaciones pluviométricas en Cultivos Varios Cascajal Campañas 2006 – 07 y 2007 – 08

| PARÁME-TROS | MÁQUINAS DE RIEGO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fregat 7 | | Fregat 9 | | Fregat 2 | |
| | Campaña | | Campaña | | Campaña | |
| | 2006-07 | 2007-08 | 2006-07 | 2007-08 | 2006-07 | 2007-08 |
| | 25 días | 30 días | 62 días | 77 días | 80 días | 75 días |
| Norma requerida ($m^3$/ha) | 180 | 180 | 289.8 | 289.8 | 289.8 | 289.8 |
| Norma aplicada ($m^3$/ha) | 279.5 | 233.2 | 299.7 | 219.9 | 197.3 | 188.2 |
| Exceso o déficit ($m^3$/ha) | 99.5 | 53.2 | 9.9 | -69,9 | -92.5 | -101.6 |
| Coeficiente uniformidad (%) | 75.4 | 77.9 | 66.3 | 78.1 | 77.2 | 79.4 |

En las fregat 9 y 2 después del acondicionamiento técnico de las boquillas se presentó déficit en la norma aplicada, sin embargo ello no implica afectaciones en el resultado de la cosecha según investigaciones realizadas por Hidalgo (2007), quien demostró que estas restricciones en la aplicación de agua no mostraron diferencias significativas en el rendimiento de los tubérculos de papa en esa zona.

Con relación a los coeficientes de uniformidad de trabajo de las máquinas (tabla 5), se mantuvieron sus valores por debajo del 80 %, por lo que el pívot continúa sin regar adecuadamente, no obstante, con la rectificación de boquillas realizadas, los por cientos se elevaron con relación a la campaña 2006 – 2007.

Según Gal, (2006) la solución a la severa escasez de agua y a la necesidad de un abastecimiento regular de alimentos frescos y procesados requiere la adopción de innovadoras tecnologías de irrigación basadas en los principios de un riego eficiente, y uno de estos principios mediante sistemas de aspersión es que la uniformidad de distribución (CU) sea del 90% y mayor.

**Escurrimiento superficial**

La figura 2 representa la pluviometría instantánea que reciben tres puntos de un equipo con pivote. Como puede comprobarse, en el punto más alejado del centro pivote (caso 1) el tiempo de aplicación es el más pequeño y la pluviometría instantánea más elevada. Conforme el punto se acerca al centro de pivote (caso 2 y 3), recibe una menor pluviometría instantánea y el tiempo que dura la aplicación es mayor. La parte coloreada representará a la posible escorrentía superficial. En la figura se comprueba que en el punto de mayor pluviometría y menor tiempo de aplicación (1), la escorrentía puede ser más significativa. Para que los tres puntos del terreno representados reciban la misma cantidad de agua, las áreas limitadas por las tres curvas deben ser iguales.

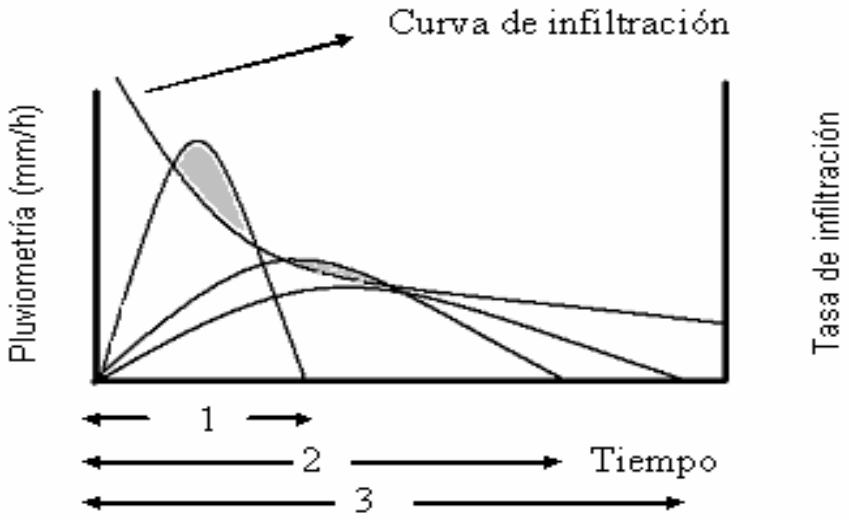


**Figura 2**. Representación de la pluviometría instantánea y del tiempo de aplicación en tres puntos de un pivote. (El caso 1 representa un punto del extremo del pivote, el 2 un punto del centro del lateral y el 3 un punto cercano al centro del pivote).

La tabla 6 resume entre otros parámetros, las velocidades de las máquinas en la última torre, así como la velocidad mínima a partir de la cual ocurre escurrimiento.

**Tabla 6**. Intensidad máxima, tiempo máximo y velocidades de las Fregats 7, 9 y 2.

| Parámetros | Fregat 7 | Fregat 9 | Fregat 2 | Fregat 8 | Fregat 13 |
|---|---|---|---|---|---|
| Intensidad máxima (mm/min) | 3.04 | 1.53 | 2.23 | 3.03 | 5.85 |
| Tiempo máximo (min) | 2.45 | 17.81 | 8.50 | 2.48 | 0.82 |
| Velocidad mínima (m/min) | 2.07 | 0.78 | 1.71 | 2.05 | 6.20 |
| Velocidad ultima torre (m/min) | **0.83** | **0.76** | **0.9** | **1** | **1.11** |

Al comparar la velocidad de la última torre y la mínima que se obtuvo, llegamos a la conclusión de que en todas las evaluaciones hubo escurrimiento, es decir, las máquinas de riego se trasladaron a menor velocidad que la mínima velocidad a la que se produce escurrimiento. Una vez más las actividades humanas y agrícolas principalmente están reduciendo considerablemente el nivel de reservas de aguas subterráneas, y según Herrero (2000) el uso excesivo o inadecuado puede producir salinización o anegamiento.

Es imprescindible el cuidado del recurso agua por ser el eje central de toda comunidad; Gal (2006) hace alusión a la necesidad de la adopción de innovadoras tecnologías de irrigación basadas en principios de un riego eficiente.

Tomar conocimiento de la relación calidad, uso y manejo del agua no solo beneficia a los individuos en particular, sino también a la sociedad en la que viven y el ecosistema,

**Economía del agua**

Los datos de riego de la Fregat 7 aparecen en la tabla 7; a partir de los mismos, en forma de ejemplo, se presentan los gastos energéticos.

**Tabla 7**. Datos de riego en la Fregat 7.

| Indicadores de riego | Fregat 7 (Motor eléctrico) |
|---|---|
| **Exceso de agua en un riego ($m^3$/ha)** | 99.5 |
| **# riegos totales** | 16 |
| **Área regada (há)** | 32.20 |
| **Volumen de agua adicional para el riego ($m^3$)** | **51262.4** |
| **Caudal de la bomba (L/s)** | 65 |

| | |
|---|---|
| **Horas de bombeo (h)** | 219.07 |
| **Consumo del Motor** | 86 kW/h |
| **Kw gastados** | 18840.02 kW |
| **Precio del kW** | $0.06 |
| **Gasto energético adicional** | **$1130.4** |
| **Gasto energético total adicional de 5 máquinas** | **$5652** |

Se observa que si en un riego se aplicaron 99.5 $m^3$/ha por encima de la norma establecida, en un área de 32.20 ha, y durante todo el ciclo del cultivo, al que aproximadamente se le realizaron 16 riegos, entonces se gastarían 51262.4 $m^3$ de agua adicionales a los que requiere la papa para su total desarrollo; pero si la bomba entrega 65L/s (234 $m^3$/h) se tendría que bombear durante 219.07 h más, y si el motor consume 86 kW/h entonces ello representaría 18840.02 kW adicionales, cada uno de los cuales importa $0.06 y por tanto el total representaría $1130.4 por encima. Si tenemos en cuenta las 5 máquinas existentes, el gasto total por consumo de electricidad será de **$5652** y el volumen de agua adicional, de **256 312** metros cúbicos.

Es de destacar que el agua hasta la fecha, no se cobra por el volumen consumido, sino por la capacidad en litros de la bomba, a $9.30 cada litro al año. Sin embargo, se está estudiando cobrarla por el volumen consumido y a precios más altos para buscar ahorro de agua en los usuarios (Martínez, 2007).

Los gastos totales por riego en la Empresa Cultivos Varios Cascajal en las dos campañas aparecen en la tabla 8; de los $15 582.70 gastados por consumo de electricidad en la campaña 2006 - 07, aproximadamente la mitad se debió a la aplicación de normas de riego excesivas al cultivo de la papa; sin embargo, en la, 2007 – 2008, esto se cuadruplicó.

**Tabla 8**. Gastos totales por riego E.C.V. Cascajal

| Indicadores | Pesos en MN ($) | |
|---|---|---|
| | Campaña 2006-07 | Campaña 2007-08 |
| Por electricidad | **15 582.70** | **24653.36** |
| Por agua | **8 106.00** | **5405** |
| Por salario | 73 030.78 | 181736.84 |
| Por petróleo | 4 987.50 | 0 |
| Por amortización | 2 491.71 | 1942.25 |
| Gastos totales por riego | $104 198.69 | 658950.36 |

Las máquinas que no se pudieron regular por desgastes y falta de componentes continuaron gastando tanta agua o más que en la pasada campaña; además, se sembraron áreas que fueron regadas con el sistema de riego superficial. Por todo esto los gastos en electricidad se elevaron en 1.5 veces  a los anteriores y los totales, en 6 veces.

De esto se desprende que los requerimientos de energía se elevan a medida que el manejo del agua se vuelve más ineficiente, lo que coincide con lo planteado por Alfaro y Marín (2007); y  sólo el ahorro en energía pagará una asistencia técnica efectiva.

Con relación al agua, su costo, podrá incrementarse en los próximos años; no obstante, más importante que pagar el agua es crear la conciencia en todos los que nos rodean de cuidar nuestros recursos hidrológicos pues es el agua el recurso más preciado en la naturaleza, por el papel que desempeña en la vida de todos los seres vivos.

Según la ONU, (2003) citado por PNUMA, (2006) el agua está atravesando una aguda crisis que puede incrementarse si no se toman urgentes medidas. En un futuro no muy lejano se avizoran conflictos regionales y entre países, debido a la escasez de fuentes de agua, lo que significa que muchas personas carecerán  de ese recurso básico, y que las consecuencias para la salud  y el ambiente serán graves.
Se coincide entonces con lo planteado por Llanes, *et al* (2007), quienes aseguran que con las técnicas de evaluación y mejora de los sistemas de riego, se puede conseguir ahorrar agua, mano de obra y energía, para lo cual se necesita que el sistema esté bien diseñado, manejado y conservado.

## Conclusiones

Analizados y discutidos los resultados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Sólo 3 máquinas de riego de pivote central de la Empresa de Cultivos Varios Cascajal permitieron modificaciones y ajustes a su carta técnica.
- Las normas de aplicación del riego no se ajustan a las necesidades del suelo y cultivo, por lo que existe un manejo poco eficiente del agua.
- La uniformidad de aplicación del agua es deficiente.

- En todos los casos la velocidad de desplazamiento de las máquinas de riego produce escurrimiento superficial.
- Los requerimientos de energía se elevan a medida que el manejo del agua se vuelve más ineficiente

## Recomendaciones

De acuerdo con las conclusiones expuestas hacemos las siguientes recomendaciones:

- Sustituir las máquinas de riego con mayores dificultades técnicas por otros sistemas que sean más eficientes en el uso del agua y la energía.

- Capacitar a los obreros y técnicos de cada área con el manejo adecuado de las máquinas de riego y sus características técnicas y de funcionamiento.

- Dada la importancia del agua para la vida en el planeta contribuir al desarrollo de una conciencia de ahorro que también favorecería la reducción del consumo de energía eléctrica, lo que reporta un efecto económico y un impacto positivo sobre el medio ambiente.

## Bibliografía


- **Alfaro, J. F. y Marín, J. (2007).** Uso de agua y energía para riego en América Latina. [Consultado 27-05-08]. Disponible en: http://www.unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/indice.html#jf
- **Alfaro, J. F (1988)**. Adaptabilidad de dos Sistemas de Irrigação Localizada e por Aspersção, aos solos arenosos nos projectos de Irrigação Pública do Nordete Brasileiro. Relatorio de consultoria. The World Bank, Ministry of Irrigation, PROINE. Brasilia, August 1988, 85 pp.
- **Anónimo (2006).** Contaminación de aguas subterráneas. [Consultado 15-12-06] Disponible en: http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/repindex/ repi046html.
- **Anónimo (2007).** La importancia del agua. [Consultado 27-02-07] Disponible en: http://contaminacion-purificacion-agua.blogspot.com/

- **Buxton, D.R. y M.W. Zalewski (1983).** Tillage and cultural management of irrigated potatoes. Agronomy Journal. Vol. 75 March – April: 219 – 225.
- **Dourejanni, A. (1991).** Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable; Comisión Económica para América Latina y el Caribe; Santiago de Chile. pp 73.
- **Dracup, A.; Lee, S.; Perzyna, G. (1980).** On the definition of droughts, Water Resources research 16 (2). pp 297-302.
- **Enciso, J. y M. Mecke, (2007).** El bombeo de agua con energía renovable. Revista Internacional de Agua y Riego. Vol. 27, No. 3, p. 46 – 48.
- **FAO. (2006).** El riego en Cuba.
- **FAO/CEPE. (1991).** Legislation and Measures for the Solving of Environmental Problems Resulting from Agricultural Practices (With Particular Reference to Soil, Air and Water), Their Economic Consequences and Impact on Agrarian Structures and Farm Rationalization. Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, (CEPE) Y FAO, Agri/Agrarian Structures and Farm Rationalization Report No. 7. Naciones Unidas, Ginebra.
- **Fernández, J. (2008).** Agua y agricultura sostenible. [Consultado 12-6-08] Disponible en: http://www.energiasostenible.net/agricult_sostenible_01.htm
- .**Fonseca, Y. (2006).** Análisis de la calidad del riego y de la agrotecnia de la papa (*Solanum tuberosum Sw*) en la máquina de riego Fregat 3 de la E. C. V "Manacas". Trabajo de diploma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central de Las Villas.
- **Fuentes, J. (1996).** Técnicas de riego. Ed. Mundi – Prensa. p 471. Madrid, España.
- **Gal, Z. (2006).** Principios de un riego eficiente. Revista Internacional de agua y riego. Vol. 26, No. 2, 2 p.
- **González, P. (2004).** Manual para el diseño y operación de máquinas de pivote central, pp – 64.
- **Havercort, A. (1986).** Manejo de agua en la producción de papa. Boletín de Información Técnica 15 CIP. Lima, Perú. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Centro Internacional de la Papa. p-24.
- **Hernández, A. (2006).** Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales y nacionales: una herramienta útil para la investigación, docencia y producción agropecuaria. Publicado en las Memorias del XV Congreso Científico del Instituto Nacional de

Ciencias Agrícolas, celebrado en La Habana del 7 al 10 de noviembre de 2006. ISBN 959-7023-36-9

- **Herrero, A.; Sardi, G.; Maldonado, V.; Flores, M.; Orlando, A.; Carbó, L. (2000).** Distribución de la calidad del agua subterránea en sistemas de producción agropecuarios bonaerenses - I – Calidad físico química y condiciones de utilización del agua, Revista Argentina de Producción Animal (AAPA), Vol 20, N° 3-4. pp 229 – 237.
- **Herrero, A.; Sardi, G.; Orlando, A.; Maldonado, V.; Carbó, L.; Flores, M.; Ormazábal, J. (1997).** Protagonistas del desarrollo sustentable: El agua en el sector agropecuario, caracterización de la Pradera Pampeana en Agua: Uso y Jackson, M. L. (1970). Análisis Químico de suelos. Editora Revolucionaria. Instituto Cubano del Libro. La Habana.
- **Hidalgo, F. (2007).** La calidad y el uso eficiente del agua en la explotación de las máquinas de riego por aspersión de la Empresa "Cultivos Varios Cascajal". Trabajo de Diploma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central de Las Villas.
- **Lujan, G. (1998).** Sistemas de riego por aspersión. Tomo IV. Madrid.
- **Llanes, E.; Milanes, Y. y Saavedra, J. Análisis del Sistema de riego Ballama. (2007).** [Consultado 10-6-08] Disponible en: http://www.monografias.com/trabajos36/ sistema-riego-ballama/sistema-riego-ballama.shtml
- **Martínez, A. (2007).** Jefe zona de explotación de los recursos hidráulicos, Santo Domingo. Comunicación personal.
- **Martínez, C; Moreno, U. (1992).** Expresiones fisiológicas de resistencia a la sequía en dos variedades de papa sometidas a estrés hídrico en condiciones de campo. Revista Brasileira de Fisiología Vegetal 4(1).
- **MINAGRI. 2004**. Reglamento para la organización, operación y mantenimiento de los sistemas de riego y drenaje. Resolución No. 190/2004. Instituto de investigaciones de riego y drenaje. La Habana. (De la calidad del agua para riego). pp 5.
- **Montero, J.; Ortega, J. F.; Honrubia, F. T.; Ortiz, J.; Valiente, M. (2005).** Recomendaciones para un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión. Centro regional de Estudios del Agua. Instituto de Desarrollo Regional.

Universidad de Castilla. Disponible en: http://4w.cajaduero.es/agro/public/remolacha/Riego2.htm

- **Morea, L. (2005).** Contaminación del agua. [Consultado 26-02-06] Disponible en: http://www.monogrfias.com/trabajos/contamagua/contamagua.shtml.
- **Pacheco, J; Alonso, N.; Pujol, P. y Camejo, E. (1995).** Riego y Drenaje. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.
- **Pimentel, D. y M. Pimentel, (2005).** El uso de la energía en la agricultura una visión general. Revista Leisa de Agroecología. Vol 21, No. 1. p. 5-7.
- **Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2006).** Estado del medio ambiente en Cuba. GEO Juvenil Cuba. Casa Editora Abril. ISBN: 959-210-380-1.
- **Romero, R. (2007).** Uso eficiente del agua de riego en agricultura. Disponibilidad de agua en maíz. [Consultado 11-6-08] Disponible en: http://www.iica.org.uy/p2-3.htm
- **Seoánez, M. (2005).** Aguas que lloran por los humanos. [Consultado 15-02-06] Disponible en: http://www.epa.gov/safewater/agua/apsalud.html.
- **Seoánez, M.; Chacón, J.; Gutiérrez, Ana.; Angulo, Irene. (1999).** Contaminación del suelo; estudios, tratamiento y gestión. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona.
- **Sepúveda, P.; López, H y Núñez, D. (1999).** Efecto de diferentes niveles de humedad en el suelo sobre el desarrollo del carbón de la papa (Angiosorus solani) en dos variedades de papa (Solanum tuberosum) bajo condiciones de invernadero. Agricultura Técnica. 60(4): pp 313 – 319. Octubre – diciembre, 2000.
- **Solórzano G.; Lacruz C.; García A.; Becerra F. (1993).** Riego en el cultivo de la papa (Solanum tuberosum) y su efecto sobre el ataque de polilla a nivel de tubérculo. FONAIAP Divulga. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado de Mérida. [en línea]: documento electrónico fuente en internet. (44) septiembre – diciembre, 1993 [Consultado 10-6-2004]. Disponible en: http://www.ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd44/texto/riego.htm
- **Solórzano G.; Lacruz C.; García A.; Becerra F. (1993).** Riego en el cultivo de la papa (Solanum tuberosum) y su efecto sobre el ataque de polilla a nivel de tubérculo. FONAIAP Divulga. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado de Mérida. [en línea]: documento electrónico fuente en internet. (44) septiembre – diciembre, 1993 [fecha de consulta: 10 de junio 2004]. Disponible en: http://www.ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd44/texto/riego.htm

- **Tarjuelo, J. M. (1999).** El riego por aspersión y su tennología. Editoral Mundi-Prensa, 2da Edición.
- **Toledo, O. (2005).** Las aguas subterráneas en la gestión de los recursos hídricos. [Consultado 27-02-06] Disponible en: http://www.riob.org/ag2002/OctaviodeToledoyUbieto.htm.
- **Trebejo, I., Midmore, D., J. (1990).** Effect of water stress on potato growth, yield and water use in a hot and a cool tropical climate. J. Agr. Sci. 1143.
- **Van Der Zaag, D. E. (1981).** Cultivo de la papa en los pises bajos. Instituto Holandés de Consulta sobre la Patata. La Haya. Holand.
- **Varas, E. (2005).** Efecto del Riego en la producción y calidad de la papa (Solanum tuberosum L.). [Consultado 27-01-06] Disponible en: http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos_verde/TC-153.htm
- **Vázquez, L. R. (1997).** Comportamiento del cultivo de la papa en la UBPC N º 3 de la E.C.V. "Valle del Yabú". Trabajo de Estancia. Fac. Ciencias Agropecuarias. UCLV. Cuba.
- **Vered, Eli. (2002).** Cosechando Papa con Riego por Goteo. [Consultado 15-06] Disponible en: http://www.netafim.com.ar/1158/