

Influencia de los métodos de inyección en la calidad de la fertirrigación localizada. Su impacto en los rendimientos de cítricos.

Gloria Saavedra Rodríguez ¹, Gladys del Vallin ², Sergio Barreda ², Herminio Poo ² y Roberto Martínez ²

1 Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical1 “Alejandro de Humboldt”, E-mail: squintero@inifat.esihabana.cu

2 Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical

•INTRODUCCION

En la distribución de los fertilizantes por el riego por aspersión Bryan y Thomas Jr. (1958) señalaron que uno de los elementos fundamentales que determinan la efectividad de la fertirrigación es el método de inyección que se utilice, lo cual demostraron al evaluar los Coeficientes de Uniformidad de tres tipos de fertilizantes, aplicados por los métodos de inyección en tanque fertirrigador y bomba fertirrigadora. El empleo de la fertirrigación mediante el tanque de diferencia de presión en el sistema de riego localizado para la aplicación de los fertilizantes, podría permitir una mayor eficiencia de la fertilización al lograr una adecuada uniformidad en la distribución, y mayor aprovechamiento de los mismos por el cultivo con menor inversión de capital, lo que se reflejaría en un adecuado rendimiento y mayor impacto económico, en la plantación. La elevación de la calidad del fertirrigación por medio de los métodos de la inyección, en el sistema de riego localizado, podría permitir una mayor eficacia en la fertilización al lograr una uniformidad apropiada en la distribución, y mayor aprovechamiento de los mismos por el cultivo con inversión más pequeña, lo que se reflejaría en un rendimiento apropiado y el impacto económico más grande. No existe la información suficiente sobre la eficiencia de la distribución del fertilizante mediante la aplicación de la fertirrigación ni los dispositivos más disponibles y adecuados en Cuba para realizarla. Tampoco existen las precisiones sobre la efectividad de la fertirrigación combinando las técnicas de riego localizado en los cítricos. En consecuencia con lo antes planteado, se presenta los objetivos siguientes.

- Determinar la calidad de la fertirrigación por medio de la distribución espacial y temporal de los fertilizantes con inyectoras hidráulicas bajo las condiciones de laboratorio hidráulico.

- Determinar la calidad de la fertirrigación por medio de la distribución espacial y temporal de los fertilizantes aplicados con equipos inyectoros hidráulicos bajo las condiciones del campo.
- Definir el efecto económico de la aplicación del fertirrigación en el cultivo de las frutas cítricas en la Empresa Citrícola Sandino el cuarcítico por medio del sistema del riego localizado con el método de inyección mas eficaz y teniendo presente la eficacia que representa el bulbo húmedos.

MATERIALES y METODOS

Para la realización del trabajo se concibió investigar en el Laboratorio Hidráulico y a nivel de campo sin cultivo los tres métodos de fertirrigación más usados (tanque fertirrigador, bombas y venturi). El más factible fue utilizado en los campos de cítricos como indicador en la Empresa 'Sandino' en la Fertirrigación Localizada.

Las investigaciones sobre la evaluación los distintos sistemas de riego, se realizaron en campo sin cultivo en la Estación Experimental del IIRD, en Pulido, Alquizar, Provincia Habana cuyas coordenadas son 22° 40' de latitud norte y 82° 30' de latitud oeste, a 10 msnm y en condiciones de Laboratorio Hidráulico en el IIRD. La evaluación de la calidad de la explotación en el cultivo de cítricos se realizó, en áreas de la Empresa "Sandino", en la provincia de Pinar del Río a los 22° 10' latitud norte y 82° 25' de longitud oeste, a 6 msnm, en un campo de naranja "Valencia" (*Citrus sinensis* L.Osbeck), sobre naranja agrio (*Citrus aurantiun* L.) Especie "Valencia' Late", lima "Persa" (*Citrus latifolia*, Tanaka) con marco de 8 x 4 m, y toronja "Marsh" (*Citrus paradisis*, Macfaydin), con marco de 10 x 5 m, sobre suelo Arenoso Cuarcítico típico (Arenosol) según Hernández *et al.* (1999).

RESULTADOS Y DISCUCION

Cuando se utiliza el sistema de riego con microtubos con diferentes longitudes para que todos emitan iguales cantidades de agua, la fórmula utilizada está representada por la ecuación $q = 2,087 h^{0,60}/L^{0,5006}$ según Rodríguez (1996). Sin embargo al tener el denominador constante, la fórmula se convirtió en $q = 5,24 h^{0,6}$ y representa un gotero no autocompensado, denominado por Ferrer Talón (1994) como turbulento por tener el exponente de descarga cercano a 0,5 y espaciados a 0,4 m, ajustados a una presión de

1 Kfg/cm² (100 Kpa) para obtener un gasto total de 1 770 l/h en el sistema evaluado y 12,46 l/h gasto promedio por volúmenes.

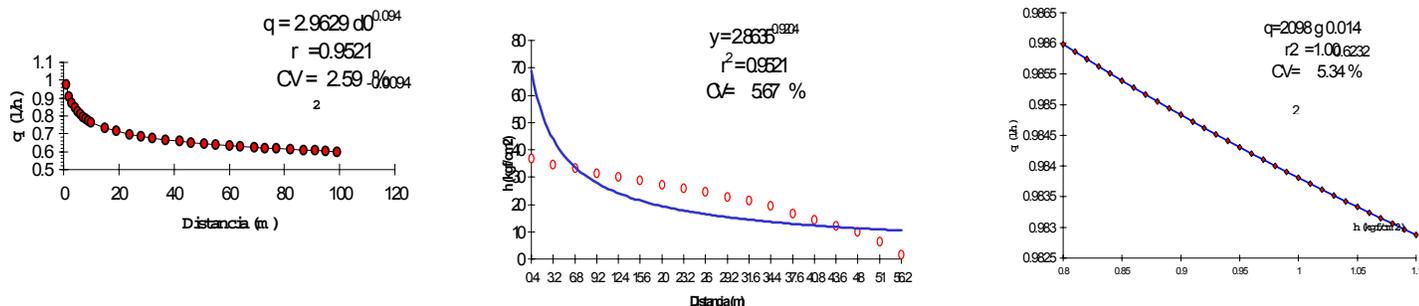


Figura 1, 2 y 3. Curvas de Regresión de los gastos vs distancias, gastos vs presión y presión vs distancias.

En la Figura 4 se presenta el comportamiento de las concentraciones del fertilizante a la salida del tanque fertirrigador y se observa que en los primeros 30 minutos ha pasado ya 60% del fertilizante, y se detectó a partir de este momento, muy bajas concentraciones de la solución, y a las dos horas que los niveles descubiertos eran del orden de 1,64% de la solución inicial. Resultados similares a aquéllos obtenidos en el experimento resultados similares fueron detectados por Shani (1981) 1,83% para un periodo de tiempo de dos horas

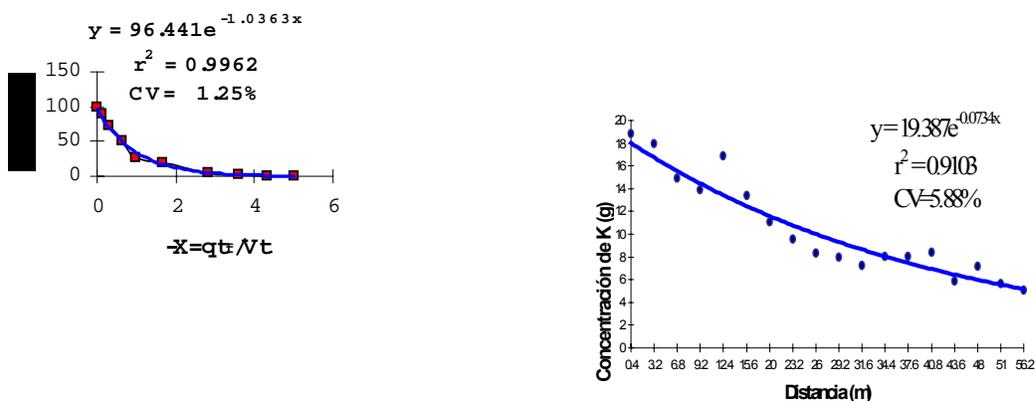


Figura 4. La relación entre la concentración inicial (Co) del fertilizante K y la concentración del fertilizante (Ct) pasado un tiempo en el tanque.

Figura 5. Relación entre la cantidad del fertilizante entregada de K la y la distancia de los laterales con el tanque fertirrigador.

La variación de los resultados entre ambas investigaciones puede estar dado por el coeficiente de la dilución usado, desde que ese autor recomienda un valor de 4 y el utilizado en el experimento es de 5. Y en la Figura 5 se muestra la distribución del fertilizante en el sistema de la irrigación.

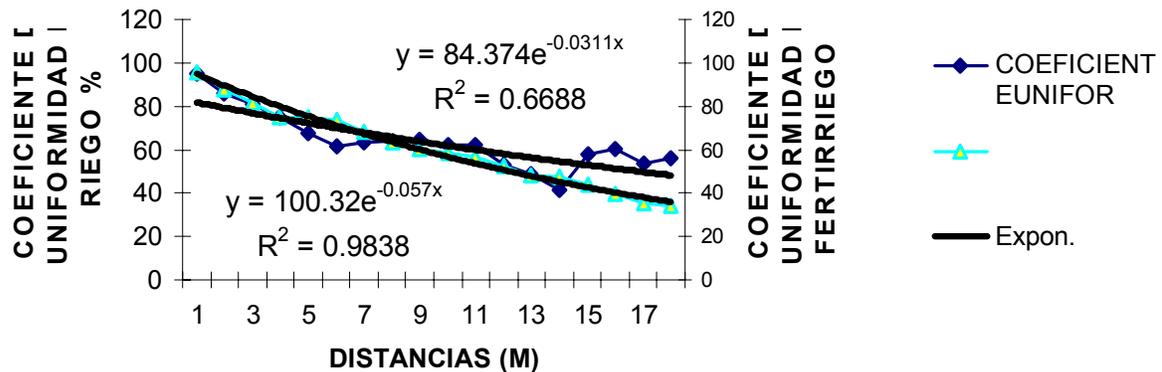


Figura 6. Comparación del coeficiente de uniformidad del riego y del fertirriego NK vs la distancia con el tanque fertirrigador.

Los resultados de esta investigación permitieron determinar a través de los gastos, los Coeficientes de Uniformidad del Fertirrigación (CUCFR) y del riego (CUCR) bajo las condiciones de un sistema no autocompensados, con lo que se comprobó la mala calidad de la explotación del mismo, al registrar valores de 77,43% por el CUCFR y de 76,5% en CUCR, cuando se muestra en la Figura 6. Es importante destacar que los resultados obtenidos en el Laboratorio Hidráulico, se corresponden con los expuestos por Abromov *et al.* (1988), Zanini y Olitta (1988 a), Feitosa Filho (1990) y Alves (1992) al evaluar sistemas de riego de este tipo. Las curvas obtenidas a partir de los datos experimentales que comparan los niveles de gastos con los de la entrega de fertilizantes, indican un comportamiento similar y no existen las diferencias significativas al evaluarlos estadísticamente, entre ellos. Las ecuaciones logradas permiten predecir el comportamiento que tendrán ambos coeficientes (CUCR y CUCFR) bajo las condiciones del campo, cuando se emplee este tipo de emisor.

Cuando se utiliza la Bomba fertirrigadora AMIAD el comportamiento es el siguiente:

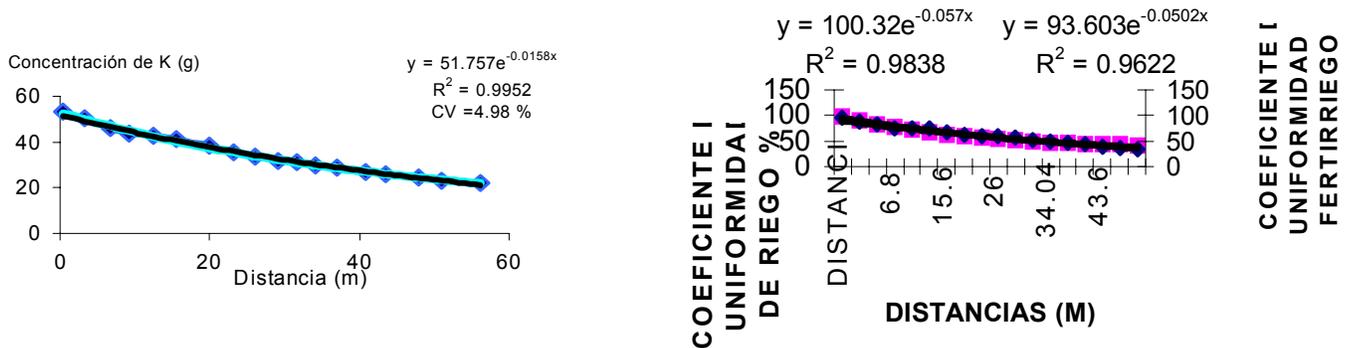


Figura 7. Relación de la concentración de K entregada vs distancia en los laterales con la bomba AMIAD.

Figura 8. Comparación del coeficiente de uniformidad del riego y del fertirriego NK vs la distancia con la bomba AMIAD. Las concentraciones de fertilizantes cuando se utiliza el K como indicador, muestran en la curva que a mayor distancia se obtiene menor gasto, y por lo tanto, una menor entrega de producto a las plantas en esas posiciones. La variación de las concentraciones a lo largo del lateral, oscila entre 50,211 al inicio y 23,031g al final y el análisis estadístico muestra que después de los 15,6 m del largo del lateral, no hay diferencias significativas entre los valores de potasio.

El análisis del CV 28.11 % de este experimento confirma la gran variabilidad en el gasto del sistema de emisores no autocompensados a pesar de haber utilizado la bomba AMIAD, lo que coincide con los resultados de Abromov *et al.* (1988).

Las curvas obtenidas a partir de los datos experimentales que comparan los niveles de gastos con los de la entrega de fertilizantes, indican un comportamiento similar, y no existen diferencias significativas donde se evaluó estadísticamente, entre ellos. Las ecuaciones logradas permiten predecir el comportamiento que tendrán ambos

coeficientes (CUCR y CUCFR) en las condiciones de campo, cuando se emplee este tipo de emisor.

Cuando se utiliza el Inyector el comportamiento es el siguiente:

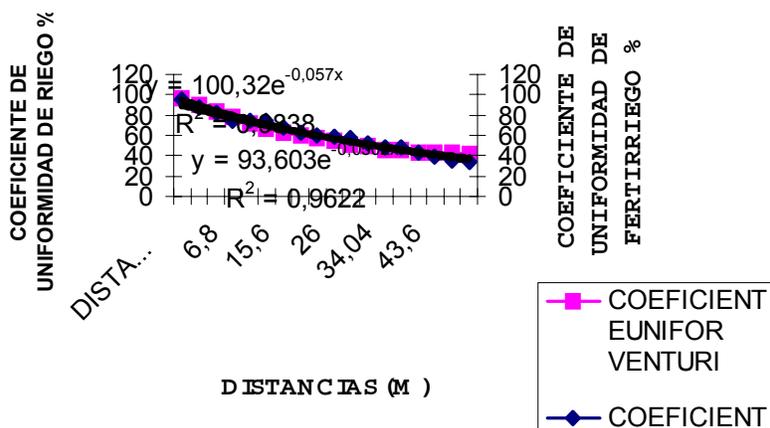
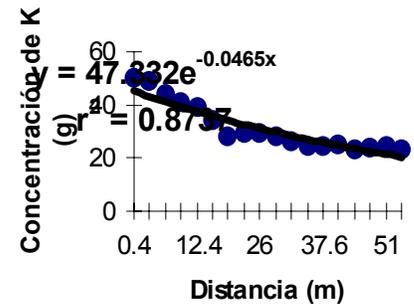


Figura 9. Relación entre la cantidad de K entregada y la distancia de los laterales con el inyector Venturi.

Figura 10. Comparación del coeficiente de uniformidad del riego y del fertirriego NK vs la distancia con el inyector del el Venturi

En la Figura 9 se observan los registros de los niveles de potasio detectados en cada emisor, cuando se utilizó el Inyector Venturi cuya representación gráfica es similar a lo observado cuando se emplea el tanque fertirrigador como se presentó en la Figura 7.

Las concentraciones de fertilizantes cuando se utiliza el K como indicador, muestran en la curva que a mayor distancia se obtiene menor gasto, y por lo tanto, una menor entrega de producto a las plantas en esas posiciones. La variación de las concentraciones a lo largo del lateral, oscila entre 53,075 al inicio y 22,056 g al final y el análisis estadístico muestra que después de los 29,20 m del largo del lateral, no hay diferencias significativas entre los valores de potasio.

Al estudiar el Coeficiente de Uniformidad de Riego y Fertirriego del inyector, como se observa en la Figura 10 existe un comportamiento similar al detectado en el tanque y la bomba, lo que indica que estos coeficientes son válidos para determinar la eficiencia o calidad de la explotación del sistema de riego, utilizado con independencia de los equipos de fertirriego que se empleen. El CUCR en este experimento fue de 73,11% y el CUCFR del 75,86%, sin observar diferencias significativas entre ellos ni entre cada punto de la línea de emisores, por ello se puede afirmar que no existe una dependencia total entre la uniformidad del riego y del fertirriego con un ajuste de un 95% de confiabilidad.

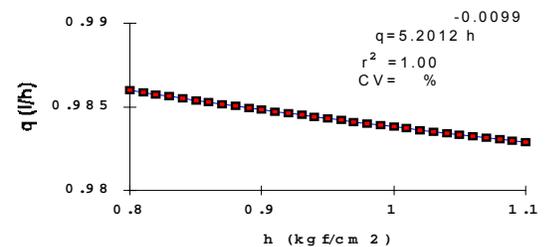
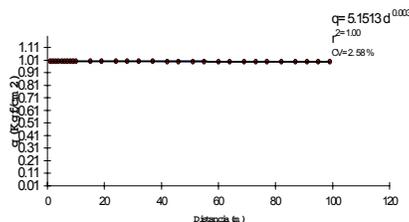
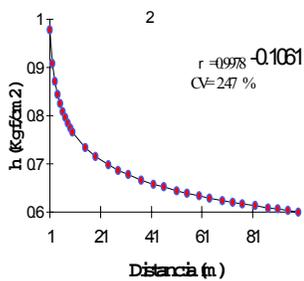


Figura 11. Curva de la regresión de los gastos vs las Distancias.

Figura 12 Curva de la regresión de las diferencias de las presiones vs distancias.

Figura 13. Curva de la regresión de las diferencias de los gastos vs de presión. Los resultados de este estudio permitieron confirmar que la ubicación de los emisores

autocompensados, en función de la presión y los gastos, cumplan adecuadamente, la norma de explotación del sistema de riego localizado en el campo. Como se observa en la Figura , con los valores del registro de los gastos de cada emisor, se logró una recta y su correspondiente ecuación de regresión, fue paralela al eje de las x (distancia) lo que indica una adecuada uniformidad en el sistema y con ello, una buena fertirrigación al permitir la distribución homogénea de los fertilizantes en el campo. Estos resultados coincidieron con aquéllos obtenidos en el laboratorio y con aquéllos de Rodríguez (1996) en el estudio de este tipo de goteros.



Figura 14. Relación entre la concentración inicial del fertilizante (C_o) K y la concentración del fertilizante (C_t) pasado un tiempo en el tanque.

Figura 15. Relación entre la cantidad de K y la distancia de la ubicación de los laterales con el tanque fertirrigador en campo sin cultivo.

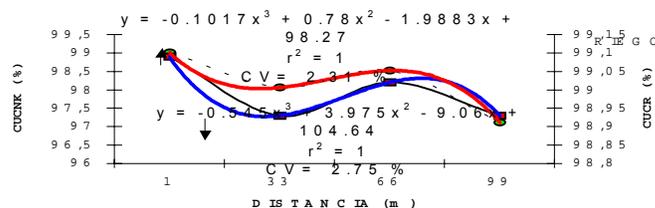


Figura 17. Comparación del coeficiente de uniformidad del riego y del fertiriego NK vs la distancia de los laterales con el tanque fertirrigador.

Los resultados obtenidos en el campo coincidieron con el Laboratorio Hidráulico del presente trabajo, así como con los informados por autores como Abromov *et al.* (1988), Zanni y Olitta (1988a), Zanini y Olitta (1989), Feitosa Filho (1990), Leo Sarabia *et al.*

(1991), Alves (1992) y Bonomo *et al.* (1995) quienes plantean la necesidad de tiempos entre 30 y 60 minutos de fertirriego, para lograr una adecuada distribución de los fertilizantes.

Este comportamiento, indica la alta eficiencia del sistema con emisores autocompensado. La cantidad del producto entregado por planta como se observa en la Figura 18, sólo presenta una ligera variación de 0,034 g entre el inicio y el final del lateral, lo que ratifica la confiabilidad de este sistema. El CV de 2,402% de esta prueba, indica la poca variabilidad de los datos, lo que se le atribuye a las características de los goteros autocompensados utilizados en este sistema de riego. Los resultados obtenidos en el experimento coincidieron con los de Abromov *et al.* (1988) y Leo Sarabia (1994) en situaciones semejantes de explotación de riego.

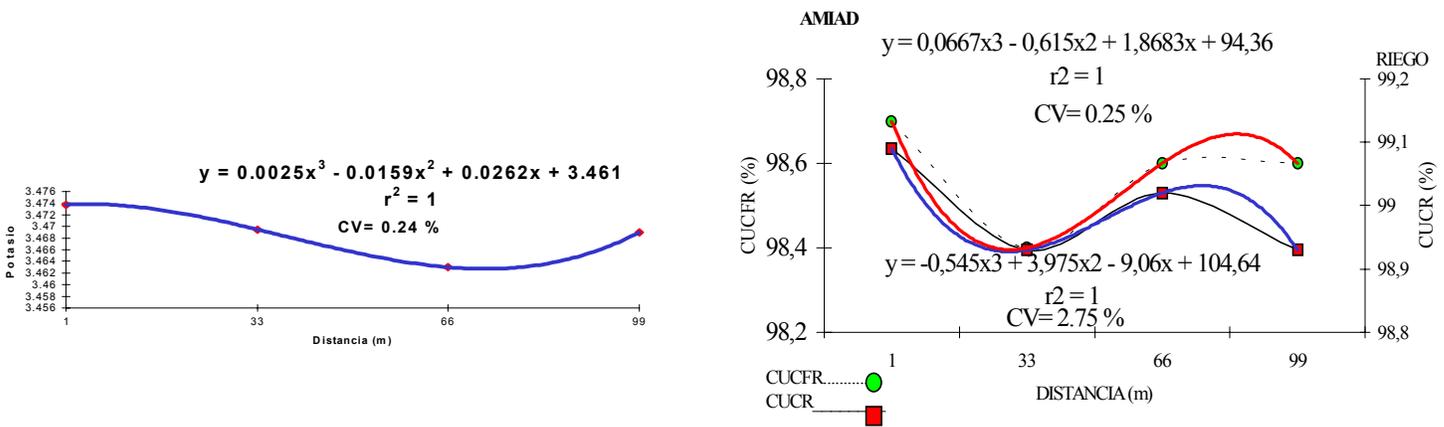


Figura 18. Relación entre la cantidad de K entregada y la distancia de los laterales con Bomba Hidráulica AMIAD.

Figura 19. Comparación del coeficiente de uniformidad del riego y del fertirriego NK vs la distancia con la bomba AMIAD.

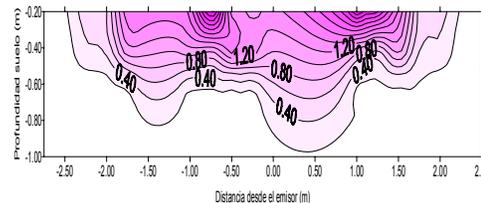
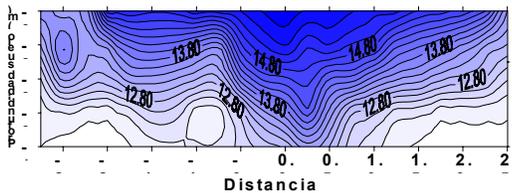
Las concentraciones de fertilizantes de K como indicador, mostraron en la curva, gran estabilidad del sistema, debido a la pequeña diferencia entre la entrega del primer emisor

de 3,474 g y el último que fue de 3,464 g. Bajo estas condiciones de trabajo, con esta ecuación de regresión, se pueden predecir los g de K que podrían salir con laterales de 100 m de largo. Estos resultados coincidieron con los obtenidos por Zanini y Olitta (1989).

Los Coeficientes de Uniformidad del Fertirriego fueron de 96,61% y el Coeficiente de Uniformidad del Riego resultó de 99,01%, lo que se puede observar en la Figura 19, donde se manifiesta una estrecha relación entre los mismos con la distancia. Esto evidencia la calidad del sistema de riego utilizado. Estos resultados coincidieron con los de Bryan y Thomas (1958), en aspersion portátil y en riego localizado, Zanini y Olitta (1989), Feitosa Filho (1990), Feitosa Filho *et al.* (1991) y Leo Sarabia *et al.* (1991). Este comportamiento fue ajustado por las ecuaciones de regresión del mejor ajuste y sirve para predecir bajo estas condiciones que los Coeficientes de Uniformidad del Fertirriego y del Riego se pueden interpolar para cualquier valor de la distancia. Estos resultados fueron obtenidos por primera vez en Cuba.

Todo lo analizado permitió caracterizar los métodos de fertirrigación y la forma metodológica de evaluar la explotación del riego (la calidad) para obtener la mejor uniformidad y eficiencia en la inyección de fertilizantes de forma espacial y temporal; a lo largo de los laterales, por lo que resultó imprescindible para la cuantificación de los Coeficientes de Uniformidad de Riego y Fertirriego. También se evidencia la no dependencia de ambos Coeficientes. Para completar esta demostración se analizan las comparaciones de la fertirrigación en condiciones de campo y los tres métodos de mayor uso se realizan el Laboratorio Hidráulico. Con el mejor resultado el tanque fertirrigador (él más promisorio) se utilizó en las investigaciones siguientes.

-Inyección de la Fertirrigación Localizada en los Cítricos en la Empresa “Sandino. En las Figuras 20 y 21 se puede observar el bulbo de humedad, su distribución gravimétrica (% suelo seco) formado en el perfil del suelo, por el riego localizado de alta frecuencia lo cual indica que el agua aplicada diariamente estuvo en el mismo, debido a que se logró con el fraccionamiento de la norma de riego, un mayor y un constante humedecimiento, el proceso se hace lento en la distribución del agua al igual que las pérdidas por percolación, en la Figura 20 se observa el bulbo potásico donde ocurre que los iones aumentan el potencial osmótico este fenómeno del bulbo húmedo se invierte y donde hay mayor humedad hay menor área con potasio, este bulbo ratifica en estos suelos la causa del aumento de los rendimientos del área con fertirriego contra la aspersión portátil. Se refieren al respecto Según, Bielorraí (1977), Pizarro (1987), Rincón Sánchez (1996), Koo (1996), Uri Or (1997), Spielen (1998), Alarcón (1999), Goldhamer *et al.* (1998). Faguet *et al.* (1998) y Hernández *et al.* (1999)



En la Tabla 1 se presentan las medias de

los rendimientos de los cinco años de investigación, se observa que existe dependencia significativa entre el fertirriego y los rendimientos. Para verificar la validez práctica de los resultados encontrados se pone de manifiesto la relación existente de la eficiencia de la inyección localizada y los rendimientos y la técnica de riego y así se puede predecir el comportamiento de las cosechas y lo reafirman Koo (1988), Rodríguez (1996), Foguet *et al.* (1998) y Hernández *et al.* (1999), al señalar que el fertirriego en los cítricos son rentables por los altos rendimientos. Las ventajas del riego localizado sobre la aspersión

es precisamente el ascenso vertical de los rendimientos, limita la altura de la planta, induce a la precocidad de las especies, por lo tanto esta demostrado que la aspersión portátil no puede ser la solución para el desarrollo de una tendencia tecnológica con una agricultura intensiva que debe ser encaminada hacia un riego con alta producción, con un máximo de aprovechamiento de los recursos hídricos por parte del cultivo, para así mantener disponible la nutrición adecuada y en general lograr condiciones ambientales óptimas, cuidadosas y sostenibles al no aplicar todas las dosis de fertilizantes de una sola vez, el riego localizado no impacta las gotas al suelo como la aspersión portátil y así evita la erosión. Tabla1

Tabla No.1 Análisis de las medias de los tratamientos de los cinco años en estudio

MEDICION/TRAT.	TORONJA	LIMA 'PERSA'	NARANJA
Testiao	2.69b	3.47b	5.68b
Fertirriego	24.36a	19.33a	15.76a
ES _x +.-	2.539	2.475	0.2392
CV %	4.319	6.056	2.083
SIGNIFICACION	***	***	***

El Valor de la Producción sin fertirriego oscila de 1 209 a 3 410 en las tres especies (naranja Valencia, toronja Marsh y lima Persa)y con fertirriego de 9 454 a 10 963 pesos /ha es alto en los tratamientos por lo que el costo de producción entre el testigo y el tratamiento es de 2 633 a 3 381 pesos /ha; esto hace que el costo por peso producido sea tan bajo en el tratamiento y oscilen entre 0,31 a 0,36 y en el testigo de 0,77 a 2,18 lo que demuestra la factibilidad económica de la fertirrigación.

Con la aplicación del fertirriego se obtuvo un rendimiento adicional de 17,86 t/ha, en la Lima 'Persa', 21,67 t/ha en la Toronja y en la Naranja 10,08 t/ha.

El Costo de Producción Agrícola promedio fue superior al sin fertirriego con relación al área fertirrigada, con valores de 2 633,00 \$/ha y al con fertirriego 3 381,00\$/ha respectivamente.

El costo por peso producido se obtuvo en el área fertirrigada 0,312 \$/ha y 0,77\$/ha, siendo el mayor costo en el área sin fertirriego con valores de 1,38 y 2,18 \$/ha.

El valor de la producción adicional debido al fertirriego fue de 8 721,00 y 9 754,00 \$/ha con un beneficio neto adicional de 9 470,00\$/ha y 9293,00, superior al área sin fertirrigar

La rentabilidad de la producción agrícola fue superada con el fertirriego con 259,00 hasta 303,72%.

El valor actual neto VAN para el caso del fertirriego fue de 3,33 hasta 3,75 siendo superior al del sin fertirriego que fue de 0,35 hasta 0,98, lo que indica que la diferencia es de 2,98 se ganó por cada 100 pesos invertido.

La tasa interna de retorno TIR fue inferior en el tratamiento sin fertirriego con valores de -25,66 y -75,46 y al compararla con el área con fertirrigación fue alrededor de 63,14 en los tres cultivos. El signo negativo indica pérdidas en el testigo. En este caso se evalúa de positivo.

El impacto costo beneficio de esta innovación tecnológica es alto y positivo por tener incremento en la eficiencia económica debido al ahorro de salarios, de combustible y lubricantes y sobre todo el incremento de rendimientos, que reporta

CONCLUSIONES.

1. La cantidad de fertilizantes distribuida a lo largo de toda la línea de emisores, pudo ser calculada por un modelo exponencial obtenido, de tipo multiplicativo, que permitió

determinar la uniformidad de la distribución de la cantidad de fertilizantes, desde el inicio de los emisores, hasta el final del lateral.

2. Los Coeficientes de Uniformidad del Fertirriego CUCFR fueron similar para los métodos: tanque fertirrigador, bombas hidráulicas, e inyector; por lo que desde el punto de vista técnico y agronómico no existen diferencias.

3. El Coeficiente de Uniformidad del Riego de Christiansen pudo utilizarse para evaluar el Coeficiente de Uniformidad del Riego Localizado y del Fertirriego.

4. El Coeficiente de Uniformidad de distribución de los fertilizantes no depende matemáticamente de los métodos de inyección utilizados, y sí esta condicionada a la uniformidad de aplicación del agua de riego.

5. Queda demostrada que el tanque fertirrigador es la técnica más eficiente de inyección de fertilizantes desde el punto de vista económico.

6. La cantidad de agua aplicada (q) se ajustó y la presión de trabajo (h) a las expresiones $q = 5.2012 h^{-0.0099}$ para los goteros autocompensandos y $q = 5.24 h^{-0.6}$ para los microtubos. Dichas expresiones pueden ser utilizadas para la evaluación de la explotación del riego localizado.

7.-La aplicación de la fertirrigación en los cítricos en los suelos arenosos permitió elevar los rendimientos durante los cinco años de investigaciones produce un efecto económico y una rentabilidad que puede variar en dependencia de la especie.

9.- El fertirriego en los cítricos cultivados en las condiciones de la Empresa Citrícola Sandino permitió alcanzar, los potenciales productivos de una forma tecnológicamente sostenible, lo que equivale a decir que fue económicamente viable, socialmente aceptable y no inicuo al medio ambiente demostrado por el bulbo húmedo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS BASICAS.

1. Christiansen, J.E (1942) Irrigation by sprinkler. Agric.ExSta. Berkeley Bulletin. 670. USA.
2. Ferrer. T. (200) Consideraciones en torno al manejo de las instalaciones del riego localizado. <http://www.fertiberia.com./informacion>.
3. García Petillo, M y Wells, M (2000) Respuesta a diferentes manejos del riego y balance hídrico en cítricos. <http://www.dpv.es/informa/dvp/dep/tesis2000>
4. Keller, J. and Karmeli, D. (1975). Trickle irrigation design. California. Rain Bird Sprinkler Cor Glendora CA, 100-112. U.S.A.
5. Koo, R.C. (1996) Results of citrus fertigation studies The Citrus Industry. 1 (6): 24-29.USA.
6. Thompson, T.L (1998) Saving water with pressurized irrigation systems. En Memorias 3^{er} Simposium Internacional de Ferti-irrigación León – Guanajato, 141-148. México.
7. Zanini J.R. y Olitta, AFL. (1988). Uniformidade de destribuições de fertilizantes e a linha de gotejadores ITEM 33 Brasil. (Tese de doutorado).