

Influencia del riego con agua depurada municipal de diferentes calidades sobre los suelos y el cultivo de platanera

M.P. Palacios¹E. Del-Nero¹ y N. Pavón²

1. Agronomía. Prod. Animal. ULPGC. 35416. Arucas. Las Palmas. E-mail: mpino@infovia.ulpgc.es
2. Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas Depuradas de Gran Canaria.

RESUMEN. La calidad del agua empleada para el riego debe interpretarse desde un punto de vista agronómico, ya que además de los parámetros químicos deben considerarse: la influencia del suelo, cultivo, método de riego, manejo del agua, etc. En la experiencia se utilizan 5 tipos de agua de diferente calidad resultado del uso de agua depurada, agua convencional y/o sus mezclas: Efluente Secundario (ES), Efluente Secundario posteriormente Desalinizado mediante un tratamiento de electrodiálisis (ESD) y su mezcla, ESD+ES, (30% y 70% respectivamente), y Agua Blanca (de riego convencional) mezclada con Efluente Secundario, AB+ES, (30%, 70%), además de un tratamiento control regado con Agua Blanca (AB).

En esta experiencia se estudia el efecto de estas calidades de agua sobre la producción, el suelo y el sistema de riego empleado, utilizando dos fincas comerciales: una al aire libre y otra bajo invernadero, con un diseño de tres bloques al azar. Se realizan medidas periódicas de la conductividad hidráulica saturada (medida *in situ*) de 9 puntos por tratamiento y bloque, en dos profundidades. Se pesan los racimos de 9 plantas marcadas por tratamiento y bloque. Se realiza una medida anual de los coeficientes de uniformidad. Se controlan así mismo otros parámetros, cuyos resultados no se presentan en esta ocasión.

Los resultados demuestran que la calidad del agua empleada afecta significativamente tanto a la conductividad hidráulica saturada como a la producción obtenida, obteniéndose los peores resultados para el agua depurada y posteriormente desalinizada ESD, con un SAR proporcionalmente alto para la reducida salinidad del agua utilizada. El efluente secundario (ES) no ha mostrado ningún efecto desfavorable, ni en la producción ni en el suelo.

ABSTRACT. Water quality for agricultural irrigation has to be interpreted following agronomical criteria, which includes besides chemical parameters its effects on soils, plants, the influence of water management and so on. Bananas was grown for three years under five different irrigation water quality treatments, both under greenhouse conditions and without them. The treatments consisted of: secondary effluent (ES), fresh ground water (AB), fresh ground water (70%) mixed with secondary effluent (30%) (AB+ES), desalinized secondary effluent (70%) mixed with secondary effluent (30%) (ESD+ES), and desalinized secondary effluent (ESD). Their effects on soils and banana production are presented here. The experimental design was a completely randomized

block design with three replications and the treatments mentioned above.

For each treatment, nine replications of hydraulic saturated conductivity were measured *in situ* three times during the experiment for both horizons A and B. The bunch weight for each treatment was calculated using the mean weight of nine bunches per block.

Water quality affected soils and plant production. Plants irrigated exclusively with desalinated secondary effluent showed significantly lower yield than those irrigated using fresh water, due to its combination of high SAR and low salinity level. There was no significant difference in yield in the higher salinity treatment, SE.

1.- Introducción.

La reutilización de aguas depuradas es un aporte de un recurso no convencional en el balance hidrológico, desequilibrado por el excesivo consumo de agua en la isla de Gran Canaria. (Consejo Insular, 1995).

En Gran Canaria se cultivan aproximadamente 2000 ha de platanera, con un consumo medio de agua de 9.900 m³/ha y año (Consejería de Economía, 1989). La reutilización de aguas depuradas en este cultivo podría, por tanto, liberar un volumen equivalente de recursos de agua convencional para otros usos (casi 20 Hm³).

La platanera es una especie sensible a la salinidad (Wardlaw, 1961; Galán Saucó, 1992) por lo que la salinidad del agua depurada preocupa a los agricultores. Éstos demandan tratamientos avanzados de desalinización del efluente secundario producido en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, para evitar que la salinidad del agua depurada produzca efectos desfavorables en sus explotaciones. Sin embargo, la combinación de agua con baja salinidad y alto SAR puede afectar a la estructura de los suelos, por lo que la calidad de agua que debe ser producida por las desaladoras debe establecerse cuidadosamente, tras realizar los correspondientes estudios en campo.

Estudios anteriores (Israelí *et al.*, 1986) parecen demostrar que a partir de un valor de conductividad eléctrica (CE) próximo a 1 dS/m puede existir un efecto desfavorable en la producción. El umbral de salinidad que produce una disminución en los rendimientos obtenidos es diferente en las distintas variedades, edad del cultivo y condiciones

microclimáticas, y también varía en función del manejo del agua aplicada en campo (fundamentalmente en función de las dosis de lavado, frecuencias de riego y tipo de suelo). Por tanto, la realización de estudios en zonas próximas a las del cultivo comercial y en condiciones similares a las utilizadas por los agricultores resulta imprescindible.

Por otro lado, la salinidad del agua depurada se debe en parte a los nutrientes aportados, a diferencia de las aguas salinizadas de origen marino, cuya salinidad se debe casi exclusivamente a las elevadas concentraciones de cloruros y sodio. Debido a este hecho, para determinar el umbral de salinidad para el agua depurada es necesario realizar nuevos estudios. Estos son los objetivos que llevaron al planteamiento de esta experiencia, financiada por el Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas Depuradas de Gran Canaria.

2.- Materiales y métodos.

2.1.- Descripción de las fincas.

El experimento se realiza en dos fincas comerciales, una al aire libre cultivando la variedad Pequeña Enana y otra en invernadero, con la variedad Gran Enana. Las fincas se sitúan en el municipio grancanario de Gáldar. Se encuentran próximas a la costa noreste de la isla, dentro de la franja óptima para este cultivo, en la denominada "zona I" para platanera.

En la finca al aire libre se utiliza una antigua plantación, a la que se le sustituye el antiguo riego "a manta" por un sistema de riego por goteo. En esta finca se controla la producción correspondiente a la cosecha I del año 1996, regada exclusivamente con agua blanca. Para la finca bajo invernadero se establece una nueva plantación que coincide con el principio del experimento, iniciado en octubre de 1996.

El manejo de ambas fincas es el convencional para una buena explotación comercial. Las operaciones de cultivo son llevadas a cabo directamente por sus propios operarios, bajo la supervisión de su técnico. El programa de riego y abonado es el determinado por el citado técnico (teniendo en cuenta que se realizan las correcciones debidas a los aportes de nutrientes del agua depurada, como se describe en el apartado correspondiente), aunque se realiza directamente por el personal de esta experiencia.

La parcela experimental ocupa aproximadamente una hectárea de ambas fincas. Las plantas del cultivo al aire libre se sitúan en filas más o menos regulares, separadas por un pasillo. Al comienzo de esta experiencia se sustituye el riego tradicional a manta por un riego por goteo, con un "loop" de 5 goteros autocompensantes de 3.5 l/h por planta.

En el invernadero se utilizan líneas pareadas separadas 1.75 m, con esa misma distancia entre plantas dentro de la línea. Pasillos de 5.5 m separan unas líneas pareadas de otras. Se utilizan tres líneas de goteros (ram – netafim¹) por cada línea

pareada, con emisores autocompensantes de 3.5 l/h, separados 60 cm.

La cantidad de agua utilizada varía en ambas fincas y con la época del año. También se incrementa a medida que crece la plantación bajo invernadero.

El suelo del invernadero ha sido transportado por camiones procedente de otros lugares de la isla. Aún así se distinguen dos horizontes, separados aproximadamente a 25 cm de profundidad. Como características generales más importantes (y sin entrar en detalles en este artículo) podemos destacar que en invernadero la textura es variable, desde franco-arcilloso-arenosa hasta franca o, incluso franco-arenosa en algunos lugares. El suelo de la finca al aire libre es más homogéneo, distinguiéndose en él los mismos horizontes. Su textura varía entre arcillosa y franco-arcillosa fundamentalmente. Los niveles de materia orgánica para el horizonte superficial de ambas fincas raramente superan el 2% (normalmente 1%), el pH es ligeramente básico y el porcentaje de intercambio catiónico, superior en aire libre, raramente supera el 35%.

2.2.- Diseño experimental.

Se utiliza un diseño con tres bloques aleatorios en los que se aplican los diferentes tratamientos, consistentes en las siguientes calidades de agua: agua blanca (AB); agua blanca mezclada con efluente secundario (AB + ES), en proporción 70/30; efluente secundario (ES); efluente secundario desalinizado mezclado con efluente secundario (ESD + ES) en proporción 70/30 y efluente secundario desalinizado (ESD) para la finca al aire libre y sólo 4 de esos 5 tratamientos (excepto el tratamiento ES, que no se utiliza en invernadero debido a su mayor nivel de salinidad). Se dispone de un depósito subdividido en el que se realizan las mezclas y se almacena el agua correspondiente a cuatro tratamientos (excepto ES, que se utiliza directamente del canal de cloración) hasta su consumo.

2.3.- Calidad de agua.

Se recogen mensualmente muestras de agua del depósito de mezcla o canal de cloración para los diferentes tratamientos, y se llevan para su análisis al laboratorio de la Granja Agrícola Experimental del Cabildo de Gran Canaria, utilizando procedimientos estándar de análisis para pH, conductividad eléctrica (CE), macro y micronutrientes, sodio, cloruros, carbonatos y bicarbonatos. Para el cálculo del porcentaje de adsorción de sodio (SAR) se utiliza la fórmula más sencilla (Richards *et al.*, 1954):

$$SAR = Na / [(Ca+Mg)/2]^{1/2} \quad (1)$$

2.4.- Suelo.

Se utiliza un permeámetro aireado de Guelph para medir la conductividad hidráulica saturada *in situ* para todos los tratamientos y los dos horizontes, tanto en la finca al aire libre como en invernadero. Se realizan 3 medidas para cada tratamiento y por cada bloque y horizonte del suelo (9 repeticiones por tratamiento y horizonte). Se presentan los

¹ La mención de nombres comerciales es exclusivamente para información de los consumidores

datos correspondientes a 4 lecturas: el inicio de la experiencia (octubre 1996), uno y dos años después (octubre 1997 y 1998) y los tomados en la finca de invernadero a finales de esta primavera (junio 1999). Para esas mismas fechas, tratamientos, bloques y horizontes se realiza una toma de muestras compuesta que se analiza también en el mencionado laboratorio agrícola.

2.5.- Planta.

Se marcan 9 plantas por cada tratamiento y bloque. De ellas se controlan algunos parámetros fenológicos y se etiqueta su racimo, que es pesado en almacén para estimar la producción de los diferentes tratamientos (media de 27 racimos por tratamiento). Además se realiza una toma de muestras bimensual de la tercera hoja, de dos plantas por bloque y tratamientos, para ambas fincas. Se analizan el N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Na, siguiendo los procedimientos convencionales. Aunque el experimento propiamente dicho comienza en octubre de 1996, en la finca al aire libre se realiza el marcaje de control de producción de racimos de la cosecha de ese año, lo que proporciona datos previos de producción cuando la finca se regaba a manta.

2.6.- Análisis estadístico.

Se utiliza el programa SAS para los datos obtenidos en campo o laboratorio, con el procedimiento GLM y las medias de mínimos cuadrados (Least Square Means, (LSM) para analizar las diferencias significativas.

2.7.- Incidencias.

Problemas en el mantenimiento de la planta piloto de desalación desde finales de 1998 (septiembre a diciembre) y a lo largo de 1999 (a partir de marzo y hasta la actualidad) han provocado un déficit de agua de esta calidad durante diferentes periodos de tiempo. En estos periodos, el agua desalinizada (ESD) se sustituye por agua blanca (AB), lo que afecta a los resultados obtenidos para ESD+ES y ESD, al no existir suficiente cantidad de agua desalinizada almacenada en el depósito. Se presenta una tabla con el tanto por uno de los días del mes regados con agua blanca en lugar del agua correspondiente al tratamiento. Se observa que, por ejemplo durante el mes de noviembre de 1998, todos los días se utilizó agua blanca en lugar de agua desalinizada (valor 1 para dicho mes en los tratamientos ESD+ES y ESD, tanto para el aire libre como para el invernadero). Este hecho condiciona enormemente los resultados obtenidos para estos tratamientos para la cosecha de 1999.

Lo mismo ocurre a partir del mes de junio de 1999. También se producen algunos problemas en el mantenimiento de la Estación Depuradora durante los meses de septiembre de 1998 y abril y mayo de 1999, aunque su efecto sobre el riego es mínimo (menos del 6% de los días se regó con AB en lugar de utilizar el efluente secundario, ES).

Tabla 1. Tanto por uno de días del mes regados con agua blanca en lugar del agua que correspondería al tratamiento, tanto para el aire libre como para el invernadero.

Aire libre	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
AB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AB+ES	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0
ES	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.06	0
ESD+ES	0.57	0.72	1	0.8	0	0	0.25	0.65	0.75	1
ESD	0	0.33	1	0.53	0	0	0.24	0.41	0.63	1

Invernadero	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
AB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AB+ES	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0
ESD+ES	0.58	0.8	1	0.87	0	0	0.29	0.71	0.67	1
ESD	0	0.4	1	0.6	0	0	0.24	0.47	0.43	1

AB: agua blanca.

AB + ES: agua blanca mezclada con efluente secundario (70% : 30%).

ES: efluente secundario (70% : 30%).

ESD + ES: efluente secundario desalinizado mezclado con efluente secundario (70% : 30%).

ESD: efluente secundario desalinizado.

3.- Resultados.

3.1.- Calidad del agua.

En la Tabla 2 se presentan la variación estacional y las medias anuales de los parámetros CE y SAR. Como era de esperar, la salinidad del efluente secundario es mayor en primavera, ya que en verano se diluyen las sales por efecto del mayor consumo de agua en los hogares. Para el resto de los tratamientos es mayor en verano.

Se observa que tanto la CE como el SAR del Efluente Secundario (ES) es siempre significativamente superior a la del resto de los tratamientos. La CE de las mezclas está próxima a los 0.8 dS/m para la cosecha de 1997 y es algo superior, 0.9 dS/m, para el año 1998. La CE del agua blanca (AB) es significativamente superior a la del efluente secundario desalinizado (ESD) para la cosecha de 1997 (0.6 frente a 0.5 dS/m) pero no para la de 1998, en la que la salinidad del ESD se incrementa hasta casi 0.7 dS/m. El SAR del ESD alcanza el valor de 6.5 para la cosecha de 1997, siendo significativamente superior al del AB, y aunque no significativamente, también lo es cuando se compara con las mezclas empleadas en el riego de la cosecha de 1997. El SAR del ESD de la cosecha de 1998 es de 6.1.

3.2.- Suelo.

Los resultados de la conductividad hidráulica saturada (K_{sf}) del horizonte superficial en aire libre y en invernadero se presentan en la tablas 3 y 4.

Como se observa en la Tabla 3, la K_{sf} presenta variaciones a lo largo del tiempo. En la primera columna se presentan los valores obtenidos previamente al inicio de la experiencia. Se observa que no existen diferencias significativas entre las diferentes zonas del suelo asignadas a los tratamientos (todas letras a). La K_{sf} medida un año después, en 1997, desciende

significativamente respecto a la del inicio de la experiencia (ninguno letra a). El cambio en el sistema de riego y en el manejo de la finca (ya no se realizan labores para el enterrado de residuos de hoja) puede explicar este resultado. Aunque no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos en esa fecha (todos letra c), los valores inferiores corresponden al suelo regado con agua blanca (AB). Los valores de K_{SF} de 1998 se incrementan respecto del año anterior para los tratamientos AB y ESD+ES.

Tabla 2. Valores estacionales y medios para los periodos de anuales de cosecha (cosecha 1997: Octubre 1996/junio 1997; cosecha 1998: julio 1997/agosto 1998 y cosecha 1999: agosto 1998/julio 1999) de Conductividad Eléctrica (CE, en dS/m) y porcentaje de adsorción de sodio (SAR) para todos los tratamientos (La misma letra significa que no existen diferencias significativas considerando $\alpha = 0.05$).

TRAT.	Enero-Marzo		Abril-Junio		Julio-Sept.		Oct-Dic.	
	CE	SAR	CE	SAR	CE	SAR	CE	SAR
AB	0.598 c	3.95 b	0.608 a	4.83 a	0.716 b	4.73 a	0.694 a	3.2 a
AB+ES	0.874 b	5.90 ab	0.769 a	4.98 a	0.993 a	6.00 a	0.934 b	5.7 ab
ES	1.530 a	9.55 a	1.649 b	8.20 b	1.411 c	6.58 a	1.501 c	7.6 b
ESD+ES	0.875 b	5.8 ab	0.768 a	5.67 a	0.959 ab	6.32 a	0.905 b	6.1 b
ESD	0.436 d	5.90 ab	0.644 a	6.54 ab	0.753 b	6.07 a	0.462 a	7.6 b

TRAT.	Media 1997		Media 1998		Media 1999		Media.	
	CE	SAR	CE	SAR	CE	SAR	CE	SAR
AB	0.649 b	4.5 a	0.653 a	4.2 a	0.747 a	6.1 a	0.700 a	4.9 a
AB+ES	0.814 c	5.3 ab	0.934 b	5.7 ab	0.992 a	7.3 b	0.924 b	5.9 b
ES	1.517 d	8.1 c	1.511 c	7.3 c	1.530 b	7.4 b	1.538 c	7.7 c
ESD+ES	0.808 bc	5.8 ab	0.905 b	6.1 b	0.998 a	6.8 ab	0.915 b	6.3 b
ESD	0.500 a	6.5 b	0.685 a	6.1 b	0.861 a	7.1 ab	0.608 a	6.3 b

AB: agua blanca
 AB + ES: agua blanca mezclada con efluente secundario (70% : 30%)
 ES: efluente secundario (70% : 30%)
 ESD + ES: efluente secundario desalinizado mezclado con efluente secundario (70% : 30%)
 ESD: efluente secundario desalinizado

Tabla 3. Conductividad hidráulica saturada (K_{SF}) del horizonte A del suelo del aire libre (0-25 cm), para todos los tratamientos en diferentes fechas a lo largo de la experiencia. Las comparaciones sólo pueden hacerse por columnas o por filas: las letras designan diferencias significativas entre los tratamientos para una fecha determinada (comparaciones por columnas) o diferencias significativas para un mismo tratamiento a lo largo del tiempo (comparaciones por filas). El nivel de significación es $\alpha = 0.05$.

TRAT.	Horizonte A K_{SF} (cm/h)		
	Marzo 1996	Abril 1997	Octubre 1998
AB	4.55 a	0.44 c	1.60 ab
AB+ES	3.89 a	0.60 c	0.76 bc
ES	3.96 a	0.80 bc	0.63 bc
ESD+ES	6.50 a	1.04 bc	2.66 ab
ESD	6.78 a	0.81 bc	0.69 bc

Como se observa en la Tabla 4, sólo los valores correspondientes a 1998 resultan significativamente inferiores (letras b, excepto para el tratamiento AB, letra a). El valor de K_{SF} en 1998 para el ESD es muy bajo (0.02 cm/h), lo que puede tener un efecto sobre la producción. Para 1999, los

valores de K_{SF} se incrementan, siendo el correspondiente a la mezcla AB+ES el menor de todos los tratamientos, aunque no resulta significativamente diferente.

Tabla 4. Conductividad hidráulica saturada (K_{SF}) del horizonte A del suelo del invernadero (0-25 cm), para todos los tratamientos en diferentes fechas a lo largo de la experiencia. Las comparaciones sólo pueden hacerse por columnas o por filas: las letras designan diferencias significativas entre los tratamientos para una fecha determinada (comparaciones por columnas) o diferencias significativas para un mismo tratamiento a lo largo del tiempo (comparaciones por filas). El nivel de significación es $\alpha = 0.05$.

TRAT.	Horizonte A K_{SF} (cm/h)			
	Oct. 1996	Oct. 1997	Oct. 1998	Jun. 1999
AB	1.07 a	0.98 a	4.29 a	6.35 a
AB+ES	2.87 a	1.95 a	0.06 b	0.78 a
ESD+ES	3.47 a	2.07 a	0.06 b	1.35 a
ESD	0.80 a	1.53 a	0.02 b	1.52 a

3.3.- Producción.

En la Tabla 5 se presentan los resultados correspondientes a los pesos medios de los racimos obtenidos en la finca al aire libre, para las cinco calidades de agua empleadas en el riego, en el año previo al comienzo de la experiencia (cosecha I) y los 3 años de la experiencia (cosechas II, III y IV).

Como se observa en la Tabla 5, los pesos de los racimos de la cosecha I no son significativamente diferentes (todos letras a). Este dato garantiza la validez de los resultados que serán obtenidos posteriormente.

Tabla 5. Peso medio del racimo (kg) para cada una de las cosechas obtenidas y como media de las tres cosechas estudiadas (kg), para las cinco calidades de agua utilizadas en la parcela al aire libre. (Diferente letra indica que existen diferencias significativas, considerando $\alpha = 0.1$).

TRAT.	Cosecha I 1996		Cosecha II 1997		Cosecha III 1998		Cosecha IV 1999		Peso Medio	
	media	std err	media	std err	media	std err	media	std err	media	std err
AB	44.63 ab	1.50	52.03 c	1.72	57.21 d	2.14	48.70 b	2.06	52.68 bc	1.02
AB+	45.15 ab	1.68	53.09 cd	1.68	53.43 cd	2.15	44.07 ab	2.06	50.24 a	1.02
ES	43.42 a	1.64	55.35 cd	1.72	57.54 d	2.06	46.30 ab	1.76	53.08 c	0.95
ESD+	46.60 ab	1.64	55.98 cd	1.64	54.08 cd	2.60	47.05 ab	2.07	52.44 abc	1.10
ES	43.68 a	1.72	55.07 cd	1.77	50.87 c	1.93	46.00 ab	2.33	50.75 ab	1.04

Los pesos de los racimos obtenidos cuando se utiliza exclusivamente agua depurada del efluente secundario (ES), no son inferiores a los obtenidos cuando se utiliza agua de inferior salinidad para ninguno de los 3 años controlados, lo que demuestra el buen comportamiento de esta calidad de agua, cuya salinidad parece estar por debajo del umbral de daños.

De hecho, para la media de las tres cosechas, cuando se riega con agua depurada (ES) los pesos obtenidos resultan significativamente superiores a los de los racimos regados con agua desalinizada (ESD) (letra c para ES frente a letras

ab para ESD), a pesar de la mejoría mostrada por el tratamiento ESD en la cosecha de 1999, explicable en parte por el elevado número de días en los que se empleó agua blanca en lugar de ESD por problemas de mantenimiento de la planta desaladora. Los pesos obtenidos con el efluente secundario son también superiores a los obtenidos para su mezcla con agua blanca (letra c para ES frente a letra a para AB+ES).

Para la cosecha de 1997, los pesos obtenidos con AB son bajos, resultando incluso significativamente inferiores a los obtenidos para una de las mezclas. Este hecho coincide con el inferior valor de K_{SF} en ese año. Este resultado podría deberse, entre otros motivos, al efecto estructurante de la materia orgánica aportada con el agua depurada en el suelo.

Para la cosecha de 1998 resulta destacable los bajos pesos obtenidos para los racimos regados con el efluente secundario desalinizado (ESD), significativamente inferiores a los del efluente secundario (ES) y a los regados con agua blanca (AB).

En la Tabla 6 se presentan los resultados correspondientes a los pesos medios de los racimos obtenidos en la finca bajo invernadero, para cuatro calidades de agua empleadas en el riego, para los 3 años de la experiencia: 1997, 1998 y 1999, cosechas I, II y III respectivamente.

Tabla 6. Peso medio del racimo (kg) para cada una de las cosechas obtenidas y como media de las tres cosechas estudiadas (kg), para las cuatro calidades de agua utilizadas en el invernadero. (Diferente letra indica que existen diferencias significativas, considerando $\alpha=0.1$).

TRAT.	Cosecha I 1997		Cosecha II 1998		Cosecha III 1999		Peso Medio	
	media	std err	media	std err	media	std err	media	std err
AB	42.02 b	1.76	54.76 c	2.30	56.09 c	1.98	50.57 d	1.12
AB+ES	40.73 ab	1.89	53.17 c	1.90	55.51 c	1.92	49.82 d	1.07
ESD+ES	38.59 ab	2.03	53.14 c	1.95	53.60 c	1.73	48.54 d	1.06
ESD	37.50 a	1.85	52.35 c	1.85	56.17 c	1.82	48.72 d	1.03

El peso obtenido para ESD en la cosecha de 1997 es significativamente inferior al obtenido para AB, y la tendencia es la misma (aunque no significativa) cuando se compara con el resto de las calidades de agua, tanto para 1997 como para 1998 (Palacios *et al.*, 1998). Como ya se ha indicado anteriormente, aunque no se mantiene la tendencia para 1999, en este año los resultados están influidos por la utilización de AB en lugar de ESD durante un largo periodo de tiempo.

En los Figuras 1 y 2 se presentan las producciones medias por planta frente a CE y SAR para todos los tratamientos en los tres años de la experiencia (tanto para el aire libre como para el invernadero). Evidentemente, la dispersión de los resultados puede explicarse porque se trata de dos variedades diferentes (pequeña enana y gran enana), utilizando respectivamente plantas con diferente grado de madurez (plantación adulta frente a plantación joven), con diferente forma de cultivo (aire libre e invernadero) y dosis de riego y abonado, además de diferentes años productivos, por lo que, sobre todo la plantación al aire libre responde también a las variaciones

climáticas (cosechas 1997 y 1998 mejores que cosecha de 1999, letras cd frente a letras ab en la tabla 5).

No se observa una respuesta a la salinidad del agua empleada en la producción obtenida, lo que parece indicar que en todos los casos se está utilizando agua con niveles de salinidad inferiores a los del umbral de daños, coincidiendo con Israeli *et al.* (1986).

Los buenos resultados obtenidos cuando se riega al aire libre utilizando exclusivamente agua depurada (ES), parecen indicar que su salinidad está por debajo del umbral de pérdidas para la platanera (Figura 1), siempre teniendo en cuenta que los resultados son para esta variedad y con las dosis de lavado utilizadas y que su uso no ha tenido ningún tipo de consecuencia desfavorable para la producción en este periodo.

En el Figura 2 se observa una tendencia a obtener mejores producciones con los valores de SAR más bajos, aunque existen tratamientos con mayor SAR y buena producción.

Este hecho indica que existe algún otro parámetro que actúa conjuntamente con el SAR sobre la producción.

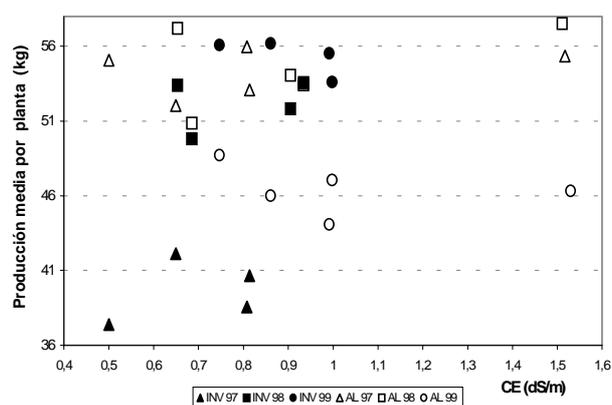


Fig. 1. Producción media por planta (en kg) frente a la CE (en dS/m) del agua para todos los tratamientos en los tres años de la experiencia, tanto para el aire libre (AL) como para el invernadero (INV).

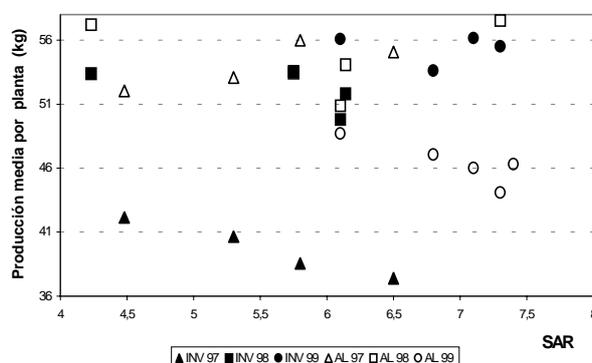


Fig. 2. Producción media por planta (en kg) frente al SAR del agua para todos los tratamientos en los tres años de la experiencia (tanto para el aire libre como para el invernadero).

La producción y calidad de agua parecen estar relacionadas a través del efecto que ésta última tiene sobre

la K_{SF} , ampliamente demostrado (Frenkel *et al.*, 1978; McIntyre, 1979; Emerson, 1984; Suarez *et al.*, 1984; Bajwa *et al.*, 1993), ya que ambos parámetros reaccionan a la calidad de agua mostrando la misma tendencia, como se observa en los Figuras 3 y 4.

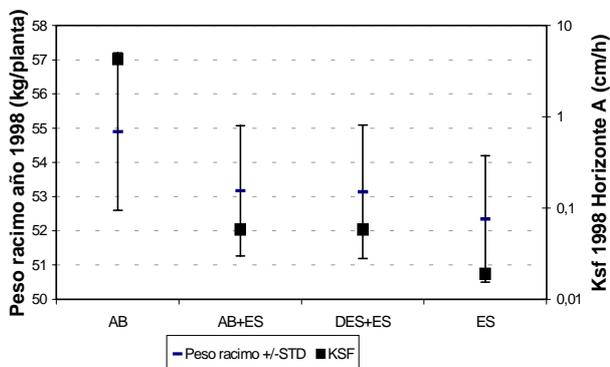


Fig. 3. Peso medio de los racimos (kg/planta) y K_{SF} media (cm/hora) frente a las diferentes calidades de agua empleadas durante el periodo de 1998 en el invernadero.

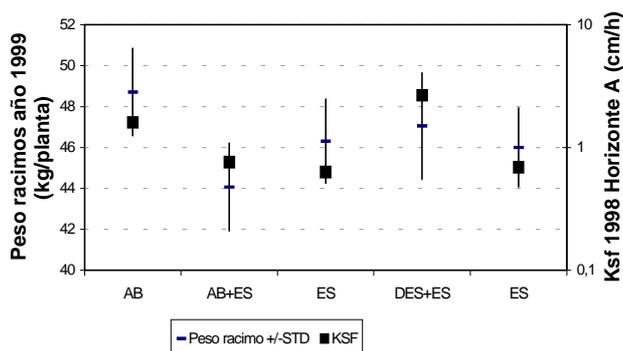


Fig. 4. Peso medio de los racimos correspondiente a la cosecha de 1999 (kg/planta) y K_{SF} media medida en otoño de 1998 (cm/hora), frente a las diferentes calidades de agua empleadas en la finca al aire libre.

En dichas figuras se han representado los valores de peso de racimos y K_{SF} frente a las calidades de agua empleadas. Se han representado los resultados obtenidos en 1998 para el invernadero y aire libre, exceptuando los pesos del aire libre (donde se emplean los obtenidos en 1999, debido al retraso que parece existir en la respuesta de las plantas en dicha finca al aire libre).

3.4.- Sistema de riego.

Los coeficientes de uniformidad medidos en ambas fincas superan siempre el 90%, después de tres años de experiencia (Palacios *et al.*, 1999). La ausencia de obturación demuestra que es viable utilizar aguas depuradas en sistemas de goteo, cuando se realiza un manejo adecuado en la finca (las frecuencias de lavado de filtros y cambio de arena han sido superiores a la habitual).

4.- Discusión.

Para la cosecha de 1997 únicamente la combinación del SAR y CE del tratamiento DSE (SAR: 6.5 y CE: 0.5 dS/m) está en el límite del intervalo de alto riesgo de provocar impermeabilización en el suelo (SAR > 6 and CE < 0.5, Ayers y Wescot, 1985; Nakayama y Bucks, 1986, Oster y Rhoades, 1984) lo que podrá afectar a las plantas regadas con esa calidad de agua. Para la cosecha del año 1998, ningún tratamiento se encuentra en este intervalo de alto riesgo ya que el tratamiento DSE tiene un inferior valor de SAR y superior de CE (SAR: 6.1 y CE: 0.69 dS/m) lo que le sitúa junto a los otros tratamientos en el intervalo de riesgo moderado (SAR > 6 and CE entre 0.5 y 0.9). La superior salinidad del ES hace que se sitúe siempre fuera del intervalo de riesgo de impermeabilización, lo que concuerda con los buenos resultados obtenidos en la cosecha para esta calidad de agua.

Así, la calidad del agua, expresada como combinación de CE y SAR, ha influido en la producción obtenida. El peso de los racimos regados con ESD es inferior en 1997 al obtenido para AB, y sigue la misma tendencia para el resto de las calidades de agua, tanto para 1997 como para 1998. Para este año las producciones se ven menos influidas por la calidad de agua, al mejorar la combinación de CE y SAR. Además los malos resultados para ESD coinciden con los obtenidos en la finca al aire libre durante 1998. La platanera es un cultivo sensible a asfisia radicular (Madramootoo y Jutras, 1984), por lo que los efectos desfavorables de la impermeabilización del suelo pueden afectar a la producción, aunque se trate de suelos con drenaje medio y regados con riego localizado. La deficiencia de oxígeno, incluso a nivel local, puede dañar a las raíces en zonas de elevado metabolismo, y afectar a la producción (Drew, 1992 y 1997).

El desfavorable efecto de ESD tarda más en manifestarse en la finca al aire libre, lo que resulta lógico ya que se trata de una finca previamente establecida y de textura más pesada. Este mal resultado no se mantiene para la cosecha de 1999 pero, como ya se ha indicado, los datos para este tratamiento en 1999 no son fiables, ya que ha sido regado frecuentemente con agua blanca, en lugar de ESD. Por tanto, la combinación de baja salinidad y proporcionalmente elevado SAR característica del tratamiento ESD resulta perjudicial para la producción de platanera en las condiciones descritas, lo que deberá ser tenido en cuenta al establecer las condiciones de operación y calidades de agua exigidas para dichas plantas desalinizadoras.

La ausencia de respuesta de la producción de la variedad Pequeña enana a los valores de salinidad relativamente elevados (1.5 dS/m) del efluente secundario, parecen indicar que las dosis de riego empleadas son suficientes para permitir el adecuado lavado de las sales, siempre teniendo en cuenta que una parte de la salinidad del agua se debe a los nutrientes aportados con la misma (que son extraídos del programa de abonado) y no a cloruros y sodio, como ocurre con las aguas de origen marino.

Los resultados tras tres años de riego parecen mostrar que se puede utilizar exclusivamente agua depurada, al menos para la variedad "Pequeña enana" y con las condiciones de

manejo del agua utilizadas en esta experiencia, ya que el peso medio para este tratamiento es el mayor de todos, superior al obtenido cuando se desaliniza este efluente secundario.

Además este hecho nos lleva a pensar que, cuando se utiliza agua de menor salinidad que la del agua depurada podría ser factible reducir las cantidades de agua aplicadas, ya que sería posible reducir las dosis de lavado empleadas en el riego. Sin embargo esta hipótesis habrá de ser confirmada con estudios posteriores.

5.- Conclusiones.

La metodología empleada en esta experiencia ha permitido estudiar el efecto de la calidad del agua en campo. Además de los pesos de los racimos, las medidas de conductividad hidráulica *in situ* han resultado especialmente útiles a la hora de explicar los resultados obtenidos. Aunque los resultados sobre contenido de nutrientes no se presentan en este artículo, las hipótesis utilizadas para corrección del programa de abonado parecen ser adecuadas y no parece que haya existido ningún efecto desfavorable provocado por el exceso de nutrientes aportados con el agua depurada, respuesta que deberá ser confirmada en estudios posteriores.

El manejo del agua en las fincas resulta más complicado cuando se riega con aguas depuradas, por lo que todas las inversiones encaminadas a facilitarlas son recomendables. En este sentido es deseable que la variación de la calidad del agua en el tiempo disminuya para facilitar los programas de abonado y evitar la contaminación de acuíferos. En este sentido, la creación de depósitos reguladores, en los que además el mantenimiento puede ser hecho por personal cualificado, representa una mejora destacable.

Tras analizar los resultados de esta experiencia, parece posible reducir las dosis de riego tradicionalmente empleadas en el cultivo de platanera cuando se utiliza agua de baja salinidad, como la resultante de la mezcla de agua depurada con agua depurada desalinizada, lo que puede compensar en parte los costes de desalación, aunque esta idea deberá ser confirmada con estudios realizados en campo.

El agua depurada es un recurso alternativo que puede ser empleado en cultivos exigentes en calidad de agua como es la platanera, siempre que se utilice de forma adecuada. Su uso permite producir esta fruta de forma sostenible en Canarias. La ventaja de su disponibilidad constante en el tiempo y la estabilidad de su precio la convierten en un recurso que

puede resultar estratégico para mantener la competitividad de muchas fincas comerciales.

Referencias.

- Ayers, R.S. y Wescot, D.W. 1985. Water quality for agriculture. *FAO Irrigation & Drainage Paper* N°29. FAO, Roma. 174pp.
- Bajwa, M.S., Choudhary, O.P., Josan, A.S. 1993. *Agricultural Water Management* 22 (4): 345-356.
- Consejería de Economía y Comercio-Gobierno de Canarias. 1989. *Monografías Estadísticas. Agricultura, ganadería y pesca.*
- Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria. 1995. Las Aguas del 2000. *Plan Hidrológico de Gran Canaria.*
- Drew M.C., 1992. Soil aeration and plant root metabolism. *Soil Sci.* 154:259-68.
- Drew M.C., 1997. Oxygen deficiency and root metabolism: Injury and Acclimation under Hypoxia and Anoxia. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 48:223-250 by Annual Reviews Inc.
- Emerson, W.W., 1984. Soil structure in saline and sodic soils. *Soil Salinity under Irrigation.* Shainberg I. and Shalhevet, J (Ed.) pp 65-76.
- Frenkel, H., Goertzen, J.O., Rhoades, J.D., 1978. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:32-39
- Galán Saúco, 1992. *Los frutales tropicales en los subtropicos. II Plátano (Banano). Cultivares:* 35-42. Ed: Mundi Prensa. ISBN84-7114-395-X
- Israeli Y., Lahav E., Nameri N. (1986). The effect of salinity and sodium adsorption ratio in the irrigation water, on growth and productivity of bananas under drip irrigation conditions. *Fruits* vol 41, n°5, 297-302.
- Madramootoo C.A., Jutras, P.J. 1984. Supplemental irrigation of bananas in St. Lucia. *Agricultural Water Management*, 9: 149-156.
- Mc-Intyre, D.S., 1979. Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils. *Aust. J. Soil Res.*, 17: 115-120
- Nakayama, F. S. and D. A. Bucks. 1986. *Trickle Irrigation for Crop Production: Design, Operation, and Management.* Elsevier. Amsterdam. 383 p.
- Oster, J.D. and Rhoades, J.D., 1984. Water management for salinity and sodicity control. En: *Irrigation with reclaimed municipal wastewater- A guidance manual.* Ed. Pettygrove and Asano. Lewis Publishers, Inc. California.
- Palacios M.P., Del-Nero E., Gil J.M. 1998. Banana tree trickle irrigated with municipal wastewater in the Canary Islands: Effects on soil, plants and irrigation works. *II Int. Symp. Wastewater Treatment and Reuse.* Milano. 999-1003.
- Palacios, M.P; Del-Nero, E. y Pavón, N, 1999. *Informe de actividades.* Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas Depuradas de Gran Canaria. 1998. Paseo Juan XXIII. 35011. Las Palmas de Gran Canaria, Islas Canarias, Spain..
- Richards *et al.*, 1954: Saline and alkali soils. Diagnosis and improvement of alkali soils. *Agriculture Handbook* n° 60. USDA 160 pp
- Suarez, D.L., Rhoades, J.D., Lavado, R., Grieve, C.M. 1984. Effect of pH on saturated hydraulic conductivity and soil dispersion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:50-55.
- Wardlaw, C.W. 1961. *Banana Diseases.* Longman, (Ed.) p 62-66