

GESTIÓN SOSTENIBLE DE LAS AGUAS REGENERADAS UTILIZANDO UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO: CASO DE ESTUDIO PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE

Vanesa Mendoza-Grimón. Agronomía. Facultad de Veterinaria. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

vmendoza@dpat.ulpgc.es

José Manuel Hernández-Moreno. Departamento de Edafología y Geología. Universidad de La Laguna

Juan Ramón Fernández-Vera. Laboratorio Agroalimentario y Fitopatológico del Cabildo Insular de Gran Canaria.

María del Pino Palacios-Díaz. Agronomía. Facultad de Veterinaria. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

RESUMEN: En Canarias el elevado precio de las aguas convencionales y sus fluctuaciones (0,3 a 1 €/m³) ha incrementado el abandono de cultivos, lo que supone un riesgo de degradación del suelo. La disponibilidad de recursos alternativos más baratos permitirá diseñar infraestructuras óptimas que posibiliten recuperar las inversiones. Como los sistemas de riego enterrado (SDI) utilizan el suelo como un tratamiento avanzado de aguas, la reutilización de agua regenerada (AR) proporciona un recurso valioso para el riego de forrajes, cuya escasez limita el desarrollo de la actividad ganadera. Se presentan dos casos que utilizan SDI para la producción de Medicago sativa, Sorghum bicolor híbrido y Pennisetum sp., con diferentes calidades de agua: AR en Gran Canaria y agua de pozo en El Hierro. En el primer estudio la salinidad (CE: 2.24dS/m) del AR afectó al suelo, pero los rendimientos de la alfalfa y pasto del Sudán fueron elevados (21000 kg heno/ha·año). Por ello, ocasionalmente hay que utilizar un sistema de riego alternativo para el lavado de sales. En el segundo caso, el rendimiento de la maralfalfa fue de 90000 kg/heno-ha·año. El precio del heno varía entre 0,28-0,36€/kg (Gran Canaria y El Hierro respectivamente). Con precios del agua entre (0,2-0,4€/m³) se puede concluir que su coste representa el 20-27% de los ingresos totales. Con las altas dosis de agua utilizadas en la producción de forrajes, el riego con AR es la opción más sostenible para obtener alimentos suficientes para la ganadería y rentabilizar la instalación del sistema de riego, utilizando terrenos abandonados.

1. INTRODUCCIÓN

En las islas Canarias la escasez de agua, una de las limitaciones para el desarrollo de la agricultura, está llevando al abandono progresivo de las tierras de cultivo. Este abandono incrementa el riesgo de degradación del suelo, traducándose en: erosión, pérdida de materia orgánica, compactación, salinización y deslizamientos de tierras (Eckelmann *et al*, 2006). Otra de las consecuencias del abandono de las tierras de cultivo es la escasez de forrajes, teniendo que

importar un elevado volumen de alimentos para la ganadería en Canarias, con las repercusiones tanto económicas como estratégicas que esto conlleva.

En la actualidad el sector agrario tiene que competir por el uso del agua con otros sectores, que suponen mayor contribución al PIB de las islas (como por ejemplo el turismo). La sobreexplotación de los acuíferos ha llevado a una disminución de la calidad del agua. Su escasez produce una fluctuación en el precio de los recursos convencionales (0,3 a 1,0 €/m³), que dificulta la recuperación de las inversiones agrícolas. Por ejemplo, el consumo de agua implica desde un 30% para el tomate y un 45% para el plátano (Palacios et al, 2008), a un 20-30% para las forrajeras, del coste total de producción. La disponibilidad de recursos hídricos no convencionales a un precio moderado permitirá diseñar las infraestructuras óptimas adaptadas a las necesidades de los agricultores, permitiendo disminuir el riesgo en la estimación de la recuperación de las inversiones. Estos recursos alternativos son agua regenerada, agua regenerada y posteriormente desalinizada y agua de mar desalinizada y (AR, ARD y AD).

Los pequeños municipios de las zonas de medianías suelen conducir sus efluentes primarios hasta las EDAR de la costa. Una vez obtenida el agua regenerada, deben bombearla aguas arriba si quieren reutilizarla. Esto supone un alto coste de bombeo (0,08 €/100 m de cota), que incrementa el precio del agua, que ya vale en costa 0,15- 0,35 €/m³ (según salinidad) y 0,42- 0,5 €/m³, para el AR y ARD respectivamente, (Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, 2004). El precio del otro recurso no convencional, AD, oscila entre 0,5 y 0,6 €/m³ (Consejería de Aguas Gobierno de Canarias, 2007). Por lo tanto, la reutilización *in situ* de AR producida por plantas depuradoras “baja tecnología” en las propias zonas agrícolas de medianías, puede proporcionar un recurso valioso para estas zonas y eliminar la necesidad del transporte desde la costa (disminuyendo además el consumo de energía).

La producción de forraje es el reuso más sostenible dentro de los posibles citados por el RD 1620/2007 para la utilización del AR, ya que exige un menor tratamiento y entraña un menor riesgo sanitario. Como ya se ha mencionado, en las islas Canarias la falta de forraje fresco es un gran inconveniente para el desarrollo de la actividad ganadera. Canarias importa 2/3 del total consumido (45000 t de forrajes, a los que habría que sumar 34000 t de piensos empleados en la alimentación de rumiantes según el Plan Integral Ganadero del 2010, actualmente en revisión). Esta dependencia exterior supone un problema no sólo económico sino también estratégico para las explotaciones ganaderas, que a menudo sufren problemas con el abastecimiento. Esta baja producción de forrajes en las islas puede estar influenciada por el elevado precio del agua (Palacios et al., 2005).

Cuando se utilizan el AR para el riego de especies forrajeras, hay que tener en cuenta dos consideraciones: los riesgos sanitarios y la sostenibilidad del uso de estos recursos (Jensen et al, 2001.). Regar estas especies a través de un sistema de riego enterrado (SDI), puede ser una alternativa ya que se utiliza el suelo como un “tratamiento natural avanzado del agua”, resultando ser una reutilización más segura y rentable: minimizan los posibles los riesgos sanitarios (Camp, 1998) al evitar el contacto entre el agua y la parte cosechada de la planta,

incrementan la efectividad en el uso del agua (lo que va ligado a la obtención de altos rendimientos en los cultivos) y disminuyen la incidencia de plagas y enfermedades.

Por otra parte, el uso de estos sistemas de riego condiciona la calidad del efluente a emplear. Los sistemas de riego por goteo exigen la ausencia de sólidos en suspensión de gran tamaño. Además, el AR suele tener un pH generalmente más básico (que favorece la formación de precipitados) y materia orgánica biodegradable. El riego con efluentes secundarios exige utilizar filtros de arena y mallas y cumplir con un protocolo de mantenimiento muy exigente. Además, para ser económicamente viables en la producción de cultivos de bajo coste (Rogers y Lamm, 2005), estos sistemas de riego deben tener una vida útil larga que permita recuperar la inversión.

Las AR suelen llevar muchos nutrientes como ejemplo, nitrógeno (N), fósforo (P) y boro (B) que pueden tener un efecto crítico sobre el suelo, los cultivos o el medio ambiente. Por este motivo en los nuevos criterios de calidad del agua, desde el punto de vista de la sostenibilidad, se han propuesto límites de concentración para los riegos a corto y largo plazo (ANZECC, 2000; USEPA 2004). En este sentido, los cultivos forrajeros se caracterizan por su alto nivel de extracciones, lo que limita el riesgo de contaminación por exceso de nutrientes.

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar la viabilidad agronómica y económica de la reutilización de las aguas regeneradas en la producción de forrajes utilizando un sistema de riego enterrado, determinando el mejor diseño de riego así como las mejores prácticas de gestión del agua.

2. ESTUDIO DE CASOS

2.1. Producción de alfalfa (*Medicago sativa*) e híbrido de pasto del Sudán (*Sorghum bicolor* híbrido) en la isla de Gran Canaria.

El estudio se llevó a cabo en una parcela experimental de la Granja Agrícola Experimental del Cabildo de Gran Canaria. Sus principales características climáticas son: precipitaciones bajas (243mm/año) y temperaturas suaves (la media anual es de 19,5°C). La parcela se dividió en dos zonas (AR y AD producida por compresión de vapor), para así poder comparar los efectos de estas dos calidades de agua sobre el suelo y en el forraje.

2.1.1. Caracterización de las aguas.

Cada calidad de agua (AR y AD) disponía de su propio estanque, sistema de filtración (arena y malla) y red de tuberías independientes. La caracterización de las aguas se realizó con criterios químico-agronómicos, presentándose algunos valores en la tabla 1. Una información más detallada de este experimento puede encontrarse en Mendoza-Grimón (2005).

Tabla 1; Composición química de las dos calidades de agua empleadas AR y AD (media y desviación estándar).

Calidad de agua	EC		pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	dS m ⁻¹						
AD	0.15	(0.14)	7.15 (1.01) 7.76 (0.56)	0.56 (0.91) 14.55 (5.97)	0.20 (0.08) 1.40 (0.46)	0.60 (0.12) 3.86 (1.24)	0.20 (0.19) 4.93 (2.15)
AR	2.24	(0.75)					
	STS		SAR	Cl ⁻	SO ₄	Alk	NO ₃ ⁻
	mg·L ⁻¹		(mmol·L ⁻¹) ^{1/2}	mmolc·L ⁻¹			
AD	3.03 (3.40)		0.88	0.59(1.12)	0.09(0.12)	1.11(0.98)	0.01(0.01)
AR	17.87 (3.76)		6.94	12.10(5.45)	3.8(0.76)	9.03(2.24)	0.9(1.3)
	NH ₄		Pt	B	Fe	Mn	Zn
	mmolc·L ⁻¹			μmol·L ⁻¹			
AD	0.01 (0.01)		ND	ND	0.53 (1.08)	0.14 (0.31)	0.32 (0.31)
AR	0.77 (0.81)		0.14 (0.09)	0.19 (0.06)	7.84 (23.08)	0.7 (1.25)	3.35 (3.83)

STS: sólidos totales en suspensión Pt: fósforo total Alk: alcalinidad ND: bajo limite de detección

Los contenidos en DBO5 para la calidad de AR fueron aceptables para los sistemas de riego por goteo (16 ± 5 y 12 ± 6 mg/ L, antes y después de la filtración, respectivamente). Sin embargo en una ocasión estos valores fueron superiores a 150 mg/L (posiblemente por un mal funcionamiento de la EDAR). A pesar de todo ello el sistema de filtrado protegió convenientemente la instalación.

Las AR muestran una limitación en su uso con respecto a los valores de salinidad y B (aunque ambas especies forrajeras presentan alta tolerancia a salinidad) pero no muestran limitación en cuanto a la infiltración (Ayers y Westcot, 1985). Por otro lado, las concentraciones de boro, nitrato y cloruros también presentan limitaciones moderadas para el uso de esta calidad de agua. En relación con la sostenibilidad, el contenido de B (0,19 (mmolc/ L, equivalente a 2,0 mg/L), P (0,14 mmol/L o 4,21 mg/L), y N (1,66 mmol/L1 o 23,27 mg/L), superaron los límites de concentración propuestos para la irrigación a largo plazo de 0,75, 0,05, y 5 mg/L respectivamente (ANZECC, 2000; USEPA 2004), pero fueron aceptables para los criterios a corto plazo (2, 0.8-12 y 25-125 mg/L, respectivamente). El resto de nutrientes y metales para la calidad de agua regenerada son aceptables para el riego a largo plazo.

2.1.2. Efectos en el suelo

La textura del suelo era franco-arcillosa (27.6% de arcilla) y originalmente salinos y sódicos (ESP 24%), pudiendo ser clasificados como Anthrosol (FAO, 1998) o Torriarent (Soil Survey Staff, 1998).

Se realizó un muestreo tras 24 meses de riego a 0, 0,25 y 0,5 m de distancia de la línea de goteros y a 4 profundidades: 0,1; 0,2; 0,3 y 0,5 m. Los resultados del CE en el perfil del suelo se muestran en la figura 1. Se observa que la gestión del agua utilizando un SDI influencia el perfil de salinidad en el suelo: los mayores valores de CE se midieron en la superficie y entre las líneas de goteo, superándose el límite de tolerancia de los cultivos.

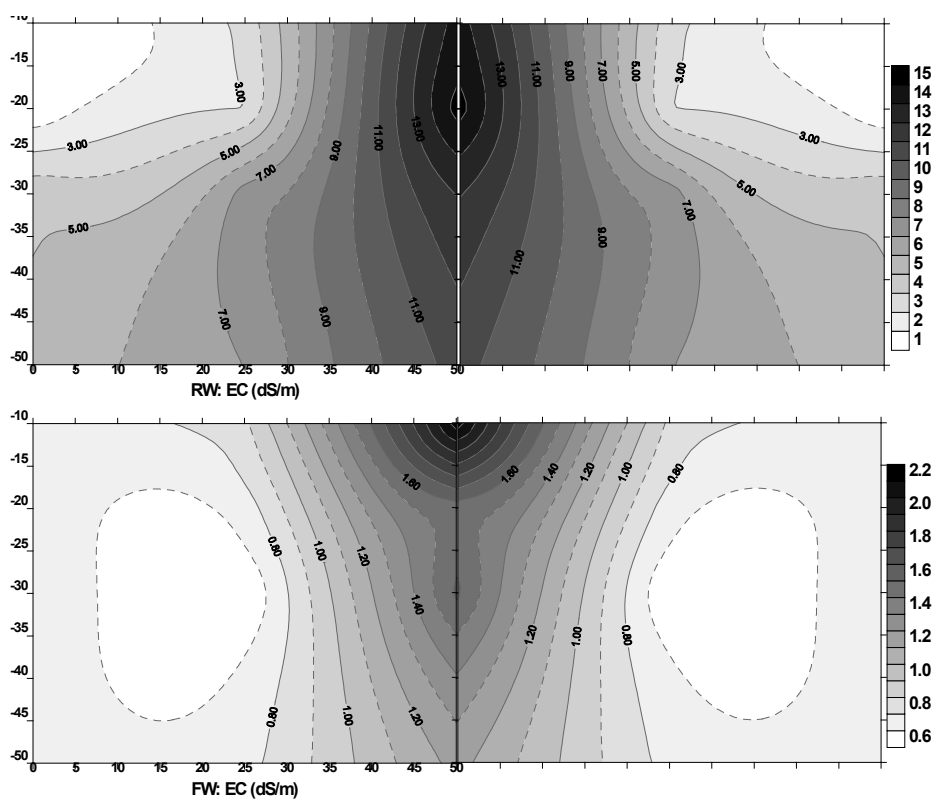


Figura 1; Conductividad Eléctrica (CE) del perfil del suelo. Datos XY se obtuvieron a tres distancias diferentes desde el gotero: 0, 0,25 and 0,50 m, y a 4 profundidades: 0,1, 0,2, 0,3 and 0,5 m). Se han representado figuras simétricas para representar todo el perfil de suelo, las líneas de riego están separadas un metro. Siendo RW la calidad de agua regenerada y FW la calidad de agua desalada. El gotero se encuentra a -20 cm de profundidad. Observar que las escañas de CE son diferentes. (Palacios et al., 2009)

2.1.3. Producción de forrajes con SDI

Estudios previos han demostrado la viabilidad de los sistemas de riego enterrado (SDI) para la producción de alfalfa (Hutmacher et al, 1992; Mead et al, 1992; Mc Gill y Hutmacher, 1993 y Hutmacher et al, 1996). También se ha podido comprobar la disminución en el consumo de agua bajo estos sistemas cuando se compara con el riego por aspersión en el cultivo sorgo (Colaizzi et al., 2003), y disminuciones de un 25% en la cantidad de agua aplicada (Mendoza-Grimón, 2005).

Lamm (2002) cita que la salinidad puede ser un problema en este sistema de riego. La Figura 2 muestra el rendimiento del cultivo de la alfalfa y el pasto del Sudán durante un periodo tipo. Se observa la mayor producción en la época más cálida y que la mayor diferencia por la calidad de agua se produjo en primavera, coincidiendo con la salinidad más alta obtenida en suelos AR (se superó el umbral para estas especies). En invierno se obtuvo para el pasto del Sudán una producción ligeramente inferior (es una especie C4), mientras que la alfalfa tiene un metabolismo C3.

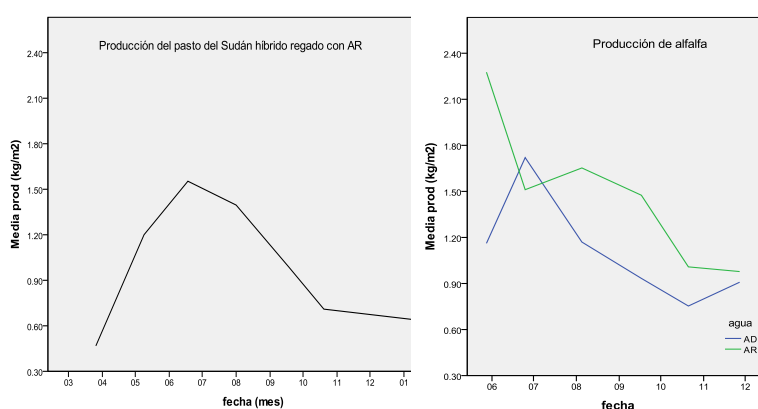


Figura2; rendimiento expresados en kg/m², durante un período tipo, para el pasto del Sudán y la alfalfa regada con las dos calidades de agua

El valor promedio por cosecha de pasto del Sudán y alfalfa regados con AR fue de 1,05 y 1,1 kg de forraje fresco/m² respectivamente. Considerando 8 cosechas por año (sin corte de diciembre a febrero), el rendimiento acumulado de un año es de 8,4 kg/m² (17 Mg de materia seca/ha). Serra et al., (2005) citan un valor promedio en dos años de 25.5 Mg/ha de materia seca que es superior al obtenido en Gran Canaria, aunque estos autores sólo cosechan 2 veces al año, utilizaron abonos minerales y su dato está obtenido en pequeñas parcelas experimentales.

La distribución de la humedad del suelo obtenida para todos los tratamientos de riego fue suficiente para el eficaz crecimiento vegetal. En nuestro estudio el agua se movía horizontalmente más de 0,6 m de las líneas de goteo y llegó a la superficie del suelo por encima de la línea lateral. De hecho, el rendimiento significativamente más alto se observó en el primer corte, en las líneas de riego que se situaban más próximas (0,5 m en comparación con 1 m) desapareciendo estas diferencias en los siguientes cortes. Estos resultados para la producción de alfalfa son consistentes con los mencionados por Alam et al., (2002) en la región semiárida de Kansas, que llegó a la conclusión de que es más económico utilizar el espaciado de 1 m. Los mismos resultados se obtuvieron para el pasto Sudán. No se observaron diferencias significativas para las distancias de los goteros (0,5 y 0,75 m). Por tanto, recomendamos distancias de separación entre líneas y goteros de 0,75 m.

Aunque las aguas utilizadas contenían sales (CE: 2,24 dS / m) y sodio (SAR: 6,94), el riego con SRE dio lugar a una producción efectiva de forraje (entre 8,4 y 11,9 kg de materia fresca/m² durante las 8 ó 9 cosechas del año, lo que equivale aproximadamente a 21000 kg/heno ha y año). Los problemas de salinidad al utilizar el SDI afectaron negativamente a la producción de cultivos, por lo que sería recomendable alquilar ocasionalmente un sistema de riego alternativo para lavar sales.

En la actualidad el precio del heno de forraje en Gran Canaria oscila entre 0,26 y 0,28 € / kg (heno de alfalfa y gramínea respectivamente). Suponiendo un rendimiento anual 21000 kg/heno ha y año, el ingreso bruto oscila entre 5500-5900 €/ ha y año. Y dado que el uso del SDI permite utilizar el AR mas barata (consideramos 0,2 € /m³), y que se utilizaron 600L/m², se puede concluir que el coste del AR representa alrededor del 20- 22% de los ingresos totales. Por tanto, es posible cultivar muchos terrenos abandonados en las Islas Canarias regando con AR para obtener forraje suficiente para la producción animal y rentabilizar la instalación del sistema de riego.

2.2. Producción de maralfalfa (*Pennisetum sp.*) en la isla de El Hierro con SDI

El estudio se llevó a cabo en una parcela experimental de la Granja Agrícola Experimental del Cabildo de El Hierro. Sus principales características climáticas son: precipitaciones bajas (271 mm/año) y temperaturas suaves, con una temperatura mínima absoluta (T_m abs) de 10,4°C y la media de temperaturas mínimas (T_m) de 11,9°C.

2.2.1. Caracterización del agua.

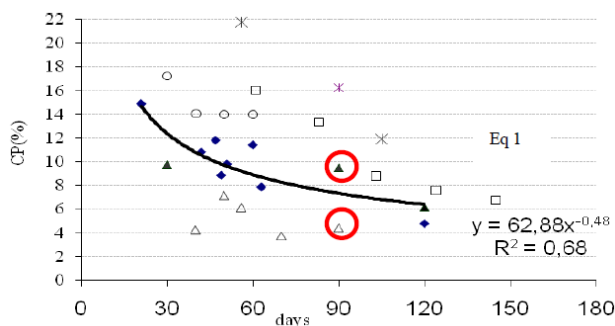
La parcela se regó con agua procedente de pozo, con baja salinidad y sodio, pH ligeramente básico y ausencia de nutrientes.

2.2.2. Caracterización de la maralfalfa (*Pennisetum sp*)

La maralfalfa (*Pennisetum sp*) es una gramínea C4 muy productiva pero muy exigente en radiación, agua y nutrientes. Presenta buen valor nutritivo (Márquez et al., 2007) que disminuye con la edad de la planta, por lo que aconsejamos cortarla entre los 45 y 60 días. A esa edad tiene un valor de proteína alrededor del 10%. La temperatura de 10°C provoca la parada de su crecimiento (Cook et al., 2005). Como en invierno estamos próximos a las exigencias mínimas de temperatura para la maralfafa, en Canarias al alejarnos de la costa los rendimientos obtenidos serán inferiores a los citados.

2.2.3. Efectos en el suelo

La textura del suelo era franco-arenosa, con densidad aparente de 0,93, pH 7,2 y CE (1:5) de 0,24 dS/m, pudiendo ser clasificados como andosoles (Soil Survey Staff, 1998) poco evolucionados, con presencia de vidrios volcánicos.



Se realizaron muestreos periódicos del suelo: al principio del experimento, tras la aplicación de un estercolado y aproximadamente cada 3 meses. Una descripción más detallada de este experimento puede encontrarse en Palacios et al, 2012. Pese al estercolado, la maralfalfa agotó el N del suelo tras 6 meses de cultivo, entrando en carencias (figura 3). Hemos calculado que, para obtener elevados rendimientos extrae aproximadamente 1000 kg/N ha y año. Por tanto, si no abonamos el suelo irá progresivamente perdiendo sus reservas de N orgánico y la planta entrará en carencias de este elemento. Pero si no se aporta el N progresivamente, además de desperdiciar el dinero que costó el abono se contaminarán los acuíferos. Respecto a los otros dos macronutrientes, para el máximo rendimiento se extraerían 36 y 48 kg de fósforo y potasio respectivamente por corte, unos 220 y 290 al año.



Figura 3; (superior): variación en la concentración de PC según los diferentes días de cosecha. Triángulos: datos de nuestro estudio. También se representan datos de otros estudios: rombos: Carulla. (2004) and Clavero and Razz (2009), estrellas: Correa et al. (2006), cuadrados sin relleno: Vieira et al. (1997) y círculo sin relleno: Kozloski et al., (2003). La ecuación 1: se ha obtenido ajustando los datos de Carulla et al., (2004) y Clavero y Razz. (2009) y los de nuestro estudio (triángulos rellenos), pero excluyendo aquellos en los que se presentaba una deficiencia de N (triángulos sin relleno, del corte de los 50 días). En la parte inferior se presenta un detalle de la parcela de cultivo de maralfalfa sin déficit de N (izquierda y bandeja superior) y con déficit de N (derecha y bandeja inferior), que se corresponden con los valores interiores a los círculos.

2.2.4. Producción de maralfafa

Las líneas de plantas deben separarse aproximadamente 0.75 m para las condiciones canarias de alta radiación, quedando las plantas separadas unas de otras aproximadamente 0.30 m.

Aunque la eficiencia en el uso del agua de la maralfafa es elevada (con riego enterrado consume aproximadamente 300 L por cada kg de materia seca producida), para obtener altas producciones hay que aportar grandes cantidades de agua, siendo recomendable aplicarla en pequeñas dosis regando dos veces al día. Respecto a las necesidades de riego, en una primera aproximación, recomendamos multiplicar la evapotranspiración (ET) por un valor cercano a 1,5 (coeficiente de consumo) en la época de mayor porte de la planta. Cuando la planta está recién cortada o en épocas con temperaturas próximas a las que paralizan el crecimiento, este coeficiente puede considerarse 1. Con estos supuestos hemos calculado que consume aproximadamente 21000 m³ para producir 90 t heno (360 t materia fresca) por ha y año.

En la actualidad el precio del heno de forraje en El Hierro oscila entre 0,36 y 0,35 € / kg (heno de alfalfa y gramínea respectivamente). Suponiendo un rendimiento anual 90000 kg/heno ha y año, el ingreso bruto supone alrededor de 31500 €/ ha y año. Considerando el precio del agua a 0,4 € /m³, y que se utilizan 2100L/m², se puede concluir que el coste del agua de pozo representa alrededor del 27% de los ingresos totales. Por tanto, sería recomendable utilizar recursos hídricos alternativos para regar el cultivo de maralfafa en la isla de El Hierro y rentabilizar la instalación del sistema de riego.

3. CONCLUSIONES

Con el sistema de riego enterrado, la calidad de agua regenerada, los suelos de las islas y una adecuada elección de las especies, hemos sido capaces de obtener una producción de forraje de calidad, incluso en el invierno. Debido a los altos volúmenes de agua necesarios para la producción de forrajes, el riego con aguas regeneradas es la opción más sostenible para el mantenimiento de la actividad ganadera en Canarias. Por tanto, es posible cultivar muchos terrenos abandonados en las Islas Canarias regando con AR para obtener forraje suficiente para la producción animal y rentabilizar la instalación del sistema de riego.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la ayuda prestada por la Granja Agrícola Experimental, el Consejo Insular de Aguas del Cabildo de Gran Canaria y el Ministerio de Ciencia y Tecnología para la ayuda financiera. Así como, a la Agencia Canaria de Investigación que ha financiado el proyecto: “Fomento de la producción forrajera sostenible en la isla de El Hierro” (SolSubC200801000012) la SCL Ganaderos de El Hierro, su Cabildo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alam, M.; Trooien, T. P.; Dumler, T. J. and Roger, D. H. 2002 Using Subsurface Drip Irrigation for Alfalfa. *Journal of the American Water Resources Association*. Vol.38, (6): 1-7.
- ANZECC y ARMCANZ, 2000. Australian guidelines for water quality monitoring and reporting. National Water Quality Management Strategy Paper No 7, Australian and New Zealand. Environment and Conservation Council & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra.
- Ayers R.S y Westcot D.W, 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29, 1st revision, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- Camp C.R. 1998. Subsurface drip irrigation: A Review. *Transaction of ASAE*: VOL. 41 (5): 1353-1367.
- Carulla, J.E.; Cárdenas, E.; Sánchez, N y Riveros, R. 2004. Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada de la zona andina colombiana; En: *Eventos y Asesorías Agropecuarias EU* (editores), Seminario Nacional de Lechería Especializada: "Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad". Medellín, septiembre 1 y 2: 21 – 38.
- Clavero, T. and Razz, R. 2009. Valor nutritivo del pasto maralfalfa (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) en condiciones de defoliación. *Rev. Fac. Agron.* vol.26. no.1. p.78-87. ISSN 0378-7818.
- Colaizzi, P.D.; Barnes, E.M.; Clarke, T.R.; Haberland, J.H.; Choi, C.Y. and Waller, P.M. 2003. Water Stress Detection under High Frequency Sprinkler Irrigation with water deficit index. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 129(1): 36-44.
- Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria. 2004. Boletín Oficial de la Provincia de Las Palmas 26 marzo 2004: 4280-4282
- Consejería de Aguas Gobierno de Canarias (2007). El agua en Canarias (Water in Canary Islands) <http://www.gobcan.es/citv/dga/aguacanarias.html>
- Cook, B.G.; Pengelly, S.D.; Brown, J.L.; Donnelly, D.A.; Eagles, M.A.; Franco, J.; Hanson, B.F.; Mullen, I.J.; Partridge, M.; Peters, R.; and Schultze-Kraft. 2005. Tropical Forages: an interactive selection tool., [CD-ROM], CSIRO, DPIandF(Qld), CIAT and ILRI, Brisbane, Australia. pical East Africa. Part 3. Rotterdam, available at: <http://www.tropicalforages.info/>; accessed September, 2010.
- Correa, H.J. 2006. Calidad nutricional del pasto maralfalfa (*Pennisetum sp*) cosechado a dos edades de rebrote. *Livestock Research for Rural Development*. 18(6)
- Eckelmann, W.; Baritz, R.; Bialousz, S.; Bielek, P.; Carre, F.; Houšková, B.; Jones, R.J.A.; Kibblewhite, M.G.; Kozak, J.; Le Bas, C.; Tóth, G.; Tóth, T.; Várallyay, G.; Yli Halla, M. and Zupan, M. 2006. Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats. *European Soil Bureau Research Report No.20*, EUR 22185 EN, 94pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Jensen, K., Matsuno, Y., van der Hoek, W. y Cairncross, S. 2001. Limitations of irrigation water quality guidelines from a multiple use perspective. *Irrigation and Drainage Systems* 15: 117–128, 2001.
- FAO 1998. World Reference Base for Soil Resources Reports, vol. 84. FAO Roma pp21– 22.
- Hutmacher, R.B.; Phene, C.J.; Mead, R.M.; Clark, D.; Shouse, P.; Vail, S.S.; Swain, R.; van Genuchten, M.; Donovan, T. and Jobes, J. 1992. Subsurface drip irrigation of alfalfa in the Imperial Valley. *Proceedings, 22nd California/Arizona alfalfa Symposium*, University of CA and University of AZ Cooperative extension, Holtville, CA, December 9-10, 22:20-32.
- Hutmacher, R.B.; Mead, R.M. and Shouse, P. 1996. Subsurface Drip: Improving Alfalfa Irrigation in the West. *Irrigation Journal*, 46(1): 48-52.

- Jensen, K.; Matsuno, Y.; van der Hoek, W. and Cairncross, S. 2001. Limitations of irrigation water quality guidelines from a multiple use perspective. *Irrigation and Drainage Systems* 15: 117–128
- Kozloski, G.V. J.; Perotoni, M.L.S.; Ciocca, J.B.T.; Rocha, A.G.; Raiser, L.M.B. and Sanchez. 2003. Potential nutritional assessment of dwarf elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Mott) by chemical composition, digestion and net portal flux of oxygen in cattle *Animal Feed Science and Technology* 104(1-4) 29-40
- Lamm, R. 2002. Advances and disadvantages of subsurface drip irrigation.” International meeting of advances in drip/Irrigation”. Puerto de La Cruz, Canary Islands. December 2-5
- Márquez, F. J.; Sánchez, D.; Urbano, C. and Dávila. 2007. Evaluación de la frecuencia de corte y tipos de fertilización sobre tres genotipos de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). 1. Rendimiento y contenido de proteína. *Zootecnia Trop.* 25(4) 253-259.
- McGill, S. and Hutmacher, R.B. 1993. Buried Drip for Alfalfa? *The Furrow* 98(7):26-27, November-December.
- Mead, R.M.; Hutmacher, R.B. and Phene, C.J. 1992. Subsurface drip irrigation of alfalfa. Proceedings, CIT/USDA-ARS Seminar on Subsurface Drip Irrigation: Theory, Practice and Application, Harris Ranch C. CA Oct 22 , pp. 177-178.
- Mendoza-Grimón, V. 2005. Reutilización de aguas depuradas para el riego localizado de especies forrajeras: el ciclo del fósforo en el medio ambiente rural. Disertación de tesis de doctorado. Dept. de Patología y Producción Animal, Univ de Las Palmas de GC.
- Palacios, M.P.; Mendoza-Grimon, V.; Fernandez, J.R.; Del-Nero, E.; Tejedor, M.; Lupiola, P.; Rodriguez, E.; Pita, L. and Rodriguez, F. 2005 Reclaimed water management in mountain areas of semiarid regions for safe animal production (to feed animals and to irrigate forage crops). EAAP publication *Animal Production and natural resources utilization in the Mediterranean mountain areas*. Vol No 155 (183-189).
- Palacios, M.P.; Mendoza-Grimón, V.; Fernández, F.; Fernandez-Vera, J.R and Hernandez-Moreno, J.M, 2008. Sustainable Reclaimed Water Management by Subsurface Drip Irrigation System: a study case for forage production *Water Practice & Technology* vol3 issue2
- Palacios-Díaz, M.P.; Mendoza-Grimón, V.; Fernández-Vera, J.R; Rodríguez, F; Tejedor-Junco, M.T and Hernández-Moreno, J.M. 2009. Subsurface drip irrigation and reclaimed water quality effects on phosphorus and salinity distribution and forage production. *Agricultural Water Management* 96: 1659-1666. ISSN: 0378-3774.
- Palacios, M.P.; Mendoza-Grimón, V.; Fernández, J.R and Hernández-Moreno, J.M.2012. Effects of Defoliation and Nitrogen uptake on Forage Nutritive Values of *Pennisetum* sp. De próxima publicación
- Plan Ganadero de Canarias. 2010. Gobierno de Canarias. En revisión.
- REAL DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Rogers, D.H. and Lamm, F.R. 2005. Key considerations for a successful subsurface drip irrigation (SDI) system. In proceedings of the Central Plains Irrigation Conference, Sterling, CO, Feb. 16-17. Available from CPIA, 760 N. Thompson, Colby, KS. Pp 113-118.
- Serra, J.; Salvia, J. and Solsona, M.S. 2005. Producción y valor nutritivo de variedades comerciales de sorgo forrajero y de híbridos de sorgo × pasto del sudán normales y “Brown Midrib, en el nordeste de Cataluña. Yield and nutritive value of Sorghum and Sudan grass hybrids. In: *Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural (Vol II)* pp:505-512XLV Reunión Científica de la SEEP (Sesión Prod. Vegetal) (available in <http://www.seepastos.es/Asturias> 2005)
- Soil Survey Staff. 1998. Keys to Soil Taxonomy, 8th ed. USDA-NRCS, Lincoln.

USEPA. 2004: "Guidelines for wastewater reuse". US Environmental Protection Agency. EPA/625/R-04/108. Washington, DC.

Vieira, R.A.M.; Pererira, J.C.; Malafaia, P.A.M. y De Queiros, A.C. 1997. The influence of elephan-grass (*Pennisetum purpureum* Schum., Mineiro variety) growth on the nutrient Kinetics in the rumen. *Animal Feed Science Technology* 67 151-161.