

Caracterización de suelos regados con aguas residuales para establecer un sistema agroforestal*

Characterization of soils irrigated with wastewater for the establishment of an agroforestry system

Miguel A. Sánchez-Hernández¹, Elizabeth Hernández-Acosta^{2§} y David Cristóbal-Acevedo²

¹Agroforestería para el Desarrollo Sostenible- Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5 Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. Tel. 95 21 500. Ext. 1540. (abcdsan2000@yahoo.com.mx). ²Departamento de Suelos-Universidad Autónoma Chapingo. Tel. 95 21 500. Ext. 6342, 6359 y 1540. (cristobalacevedo@yahoo.com.mx) [§]Autora para correspondencia: elizahac@yahoo.com.mx.

Resumen

En el Distrito de Riego 028 de Tulancingo, Hidalgo, desde hace más de 50 años los agricultores utilizan aguas residuales para producir cultivos forrajeros. Esta práctica, además de ser útil para la producción ha ocasionado problemas. Tal es el caso de los ejidos San Nicolás Cebolletas, cuyo principal inconveniente es el costo del bombeo para el riego y Santa Ana, donde la salinidad de los suelos es evidente. En atención a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar fisicoquímicamente los suelos de esa zona (dos ejidos), para establecer un sistema agroforestal con una especie maderable y una agrícola, adecuadas a las condiciones presentes. Además, se realizaron talleres participativos con el fin de involucrar a los productores en la toma de decisiones sobre la implementación de dicho sistema. Los suelos no presentan deficiencias para K, P, Ca, Mg y Zn, sin embargo; los porcentajes de materia orgánica y contenido de nitrógeno inorgánico fueron pobres, la textura fue franca y la concentración de metales pesados fue baja. Con base en los análisis del suelo y las opiniones de los productores que participaron en los talleres, se propuso establecer el sistema agroforestal (coquia-mezquite), bajo el diseño de árboles en linderos. De acuerdo con los resultados obtenidos, tanto del análisis de los suelos como del costo de instalación de

Abstract

For more than 50 years, farmers have been using wastewater to irrigate feed crops in the Irrigation District 028 (DDR 028) of Tulancingo, in the state of Hidalgo. This practice, although useful for the production of feed crops, has caused several problems. The farmers of the ejido of San Nicolás Cebolletas, where the cost of pumping water for irrigation is very high, use residual waters, as do also the farmers of Santa Ana, where the salinity of the soil is evident. In view of this, the objective of this study was to characterize physicochemically the soils of this area (two ejidos) in order to establish an agroforestry system with a timber and an agricultural species, adapted to the present conditions. In addition, participatory workshops were held in order to engage producers in the decision making process regarding the implementation of such a system. The soils have no deficiency of K, P, Ca, Mg and Zn; however, the percentages of organic matter and of inorganic nitrogen content are poor, the texture is frank and the concentration of heavy metals is low. Based on the results from soil analyses and the opinions of the producers who participated in the workshops, a proposal was made to establish the agroforestry system (kochia-mesquite) under a design of boundary trees. According to the results obtained from the analysis of the soils, of the costs of installation of the

* Recibido: julio de 2012
Aceptado: marzo de 2013

dicho sistema (\$ 5 890.00) y el rendimiento (46.70 t ha⁻¹), se concluye que la plantación agroforestal es aceptable técnicamente para este tipo de suelo.

Palabras clave: *Kochia scoparia*, *Prosopis laevigata*, Distrito de Riego 028, talleres participativos.

En América Latina más de 500 000 ha agrícolas se riegan con aguas residuales sin tratar; México es uno de los principales países donde se realiza esta práctica, con alrededor de 350 000 ha. Como consecuencia cerca de 1.25 millones de ha, muestran algún grado de salinización (Veliz *et al.*, 2009). Cabe mencionar que los efectos negativos de la salinización se concretan en la disminución del rendimiento de los cultivos y en la inhabilitación del suelo para fines productivos (Ajhuacho y Tanaka, 2003). Por lo tanto, es necesario realizar acciones adecuadas y oportunas para mantener y recuperar la fertilidad de los suelos.

La diversidad climática y de suelos, condiciones fisiográficas y ecológicas propician una variedad de ambientes propicios para el establecimiento de plantaciones forestales que, son una alternativa para el desarrollo económico y social. Esta situación se favorece si ciertas especies maderables se insertan como componente forestal en sistemas de producción agrícola o ganadera, implementando con ello, sistemas agroforestales (SAF). La agroforestería es un método biológico que sirve para la conservación del suelo y el agua, y es eficiente para reducir la degradación del suelo (Pérez y Huerta, 2002).

En parcelas regadas con aguas residuales del DDR 028, Tulancingo, Hidalgo, se observan problemas de salinidad. En respuesta a esta situación el presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar física y químicamente los suelos para establecer un SAF con una especie maderable y otra agrícola, como alternativa de producción agrícola.

La investigación se realizó en los ejidos San Nicolás Cebolletas (El Jagüey del Cerro, donde el riego que se utiliza es rodado por bombeo y resulta caro para los productores) y el ejido de Santa Ana (donde existen problemas de salinidad en los suelos). Ambos ejidos se ubican en el DDR 028, Tulancingo, Hidalgo, el cual tiene 228 usuarios de riego y una superficie total de praderas regadas con aguas residuales de 512.4 ha (CONAGUA, 2010). Los cultivos existentes en el DDR 028 son avena forrajera; maíz para grano, en el periodo de primavera- verano con una producción de 527 t; alfalfa y trébol verde, con una producción total de 36 541 t, la cual es equivalente a 98.58% del total mencionado.

system (\$5890.00), and of the expected yields (46.70 t ha⁻¹), it was concluded that agroforestry plantation is technically acceptable for this type of soil.

Keywords: Irrigation District 028, *Kochia scoparia*, participatory workshops, *Prosopis laevigata*.

In Latin America, more than 500 000 agricultural hectares are irrigated with untreated wastewater; Mexico is one of the countries where this practiced is most commonly used, with about 350 000 ha. Consequently, about 1.25 million ha show some degree of salinization (Veliz *et al.*, 2009). It is worth noting that the negative effects of salinization result in the reduction of crop yields and in the disqualification of the soil for productive purposes (Ajhuacho and Tanaka, 2003). Therefore, it is necessary to carry out appropriate and timely actions to maintain and restore soil fertility.

The diversity of climates and soils, and the physiographic and ecological conditions, all favor the existence of a variety of suitable environments for the establishment of forest plantations that are an alternative for the economic and social development of the rural regions. This situation can be improved if certain timber species are inserted as a forest component in farming and livestock systems, thereby implementing an agroforestry system (AFS) Agroforestry is a biological method useful for conserving soils and water; which is also efficient in reducing soil degradation (Pérez and Huerta, 2002).

Salinity problems were observed in plots irrigated with wastewater of the DDR 028 in Tulancingo, Hidalgo. In response to this situation, the present study aimed to characterize the soils physically and chemically in order to establish an AFS, with a timber and an agricultural species, as an alternative of agricultural production.

The research was conducted in the ejidos of San Nicolás Cebolletas (El Jagüey del Cerro, where water for irrigation must be pumped and results very expensive for producers) and in the ejido of Santa Ana (where there are problems of salinity in the soils). Both ejidos are located in the DDR 028 of Tulancingo, Hidalgo, which has 228 irrigation users and a total area of meadows irrigated with wastewater of 512.4 ha (CONAGUA, 2010). The existing crops in the DDR 028 are forage oats and corn for grain in the spring-summer period, with a production of 527 t, and alfalfa and green clover in the autumn-winter period, with a total production of 36541 t, which is equivalent to 98.58% of the mentioned total.

La toma de muestras de suelo y sus análisis se llevaron a cabo de acuerdo con las metodologías descritas en la (NOM-021-SEMARNAT, 2000). Se tomaron 21 submuestras en cada parcela, a una profundidad de 0 a 30 cm, para obtener las muestras compuestas y evaluar: pH, materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), nitrógeno inorgánico (Ni), fósforo disponible (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), intercambiables, hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr), boro (B), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y textura.

Se propuso el establecimiento de coquia [*Kochia scoparia* (L.) Schrad], como un genotipo halófito de excelente calidad forrajera y con rendimiento comparable al de la alfalfa y el mezquite, [*P. laevigata* (H. & B. ex Willd.) Johnst, M. C.], como una opción viable para el cultivo en suelos salinos y donde el riego se dificulta, debido a la topografía del lugar. Se identificaron y caracterizaron las prácticas de manejo, para el mezquite y coquia, así como los insumos y mano de obra requeridos.

Se realizaron tres talleres participativos, al cual asistieron productores que tienen problemas de producción en sus parcelas. En el primer taller se presentó y se dio a conocer los alcances del proyecto; en el segundo se definieron las especies a utilizar, su manejo y potencial agropecuario, el sistema de plantación y se informó sobre los resultados de los análisis de suelo. En el tercero, se notificó sobre los avances del proyecto. Al final de cada taller se entregó a los productores la información generada en cada uno de ellos.

El establecimiento del mezquite y coquia se realizó en el predio El Jagüey del Cerro, en media hectárea, debido a que se presentaron mejores condiciones de trabajo con los productores (disponibilidad de parcelas y tiempo para el cuidado del SAF).

Para la plantación del mezquite se cavaron cepas de 40 x 40 cm, colocando al fondo una cama delgada de estiércol de borrego, después se introdujo el cepellón. En total se plantaron 20 mezquites, a una distancia de 15 m en los linderos del terreno. La siembra de coquia se realizó al voleo utilizando cuatro kg de semilla, su rendimiento se calculó a los 76 días después de la siembra de acuerdo con la metodología citada por Castro *et al.* (2011).

El pH del suelo en El Jagüey del Cerro, fue moderadamente alcalino y el de Santa Ana, alcalino (Cuadro 1). En éstas condiciones los cultivos establecidos pueden presentar

Soil sampling and the analysis of the samples were carried out according to the methodologies described in the NOM-021-SEMARNAT, 2000. 21 subsamples were taken from each plot at a depth of 0-30 cm in order to obtain the composite samples and evaluate: pH, organic matter (OM), electrical conductivity (EC), inorganic nitrogen (Ni), available phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) or magnesium (Mg) (interchangeable), iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn), manganese (Mn), lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr), boron (B), cation exchange capacity (CEC), and texture.

The establishment of kochia [*Kochia scoparia* (L.) Schrad] was proposed, as it has a halophytic genotype of excellent forage quality, with a yield comparable to that of alfalfa and mesquite [*P. laevigata* (H. & B. ex Willd.) Johnst, M.C.], and can be cultivated in saline soils where irrigation is difficult due to the topography of the place. The management practices for mesquite and kochia were identified and characterized, as were the inputs and the labor required.

Three participatory workshops were held, attended by producers that had production problems in their plots. The project and its scope were presented in the first workshop; the suggested species were presented in the second one, together with the handling requirements and agricultural potential of the plantation system, and the results of the soil analyses. The ongoing progress of the project was reported in the third workshop. The information generated in each workshop was given to the producers at the end of each session.

Mesquite and kochia were established on half a hectare of the lands of El Jagüey del Cerro, because in that place there were better working conditions with respect to the producers (availability of plots and of time for taking care of the AFS).

Planting holes of 40 x 40 cm were dug for the planting of mesquite, placing at the bottom of the holes a thin bed of sheep dung before introducing the root ball. A total of 20 mesquites were planted on the boundaries of the field at a distance of 15 m from each other. The kochia was broadcast sown using 4 kg of seed; its yield was calculated 76 days after sowing according to the methodology cited by Castro *et al.* (2011).

The pH of the soil in El Jagüey del Cerro was moderately alkaline, and the soil in Santa Ana was alkaline (Table 1). In these conditions, the established crops may present

problemas fisiológicos y por tanto bajos rendimientos (Ajhuacho y Tanaka, 2003). Lo anterior originó que las concentraciones de plomo en los suelos del Jagüey del Cerro (1.1 mg kg^{-1}) y Santa Ana (1.06 mg kg^{-1}) fueran bajas. Lo mismo ocurrió para Cd, 1.62 mg kg^{-1} (El Jagüey del Cerro) y 0.23 mg kg^{-1} (Santa Ana). La NOM-021-SEMARNAT-2000 indica que para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, no representan problemas de toxicidad.

physiological problems and hence low yields (Ajhuacho and Tanaka, 2003). This caused the lead concentrations in the soils of El Jagüey del Cerro (1.1 mg kg^{-1}) and of Santa Ana (1.06 mg kg^{-1}) to be low. The same was true for Cd: 1.62 mg kg^{-1} in El Jagüey del Cerro, and 0.23 mg kg^{-1} in Santa Ana. The NOM-021-SEMARNAT-2000 indicates that this does not pose toxicity problems for the growth and development of crops.

Cuadro 1. Características químicas y contenido de micronutrientes en el suelo de las parcelas del Distrito de Riego 028 de Tulancingo, Hidalgo.

Table 1. Chemical characteristics and micronutrient content of the soil in plots of the Irrigation District 028 in Tulancingo, Hidalgo.

Variable	El Jagüey del Cerro	Interpretación	Santa Ana	Interpretación
pH	7.62	†Moderadamente alcalino 7.4-8.1	8.20	†Alcalino 8.2-8.8
MO (%)	0.27	‡Muy bajo < 0.5	1.34	‡Bajo 0.6-1.5
CE (dS m^{-1})	0.79	‡Libre de sales < 1	4.86	‡Salino 4.1-8
Ni (mg kg^{-1})	13.8	‡Bajo 10-20	18.4	‡Bajo 10-20
P (mg kg^{-1})	12.05	†Moderadamente bajo 11-20	125.86	†Muy alto > 61
K (mg kg^{-1})	690.00	‡Extremadamente rico > 125	1,610.00	‡Extremadamente rico > 125
Ca (mg kg^{-1})	1 807.00	†Medio 1 501-2 500	4,321.00	†Alto 4 001-6,000
Mg (mg kg^{-1})	861.00	†Alto 801-1 200	1,292.00	†Muy alto > 1 200
Fe (mg kg^{-1})	22.4	†Moderadamente alta 13-25	28.7	†Alta 26-50
Cu (mg kg^{-1})	0.90	†Medio 0.9-1.2	2.12	†Alto 1.9-2.5
Zn (mg kg^{-1})	1.60	†Medio 1.3-2.5	4.86	†Moderadamente alto 2.6-5.0
Mn (mg kg^{-1})	27.18	†Alto 26-50	26.60	†Alto 26-50
B (mg kg^{-1})	1.49	†Alto 1.30-2.10	3.05	†Muy altos > 2.10
CIC ($\text{Cmol}^{+}\text{kg}^{-1}$)	19.30	‡Medio 15-25	30.90	‡Alto 25-40

†Castellanos *et al.* (2000); ‡NOM-021- SEMARNAT 2000; N i= nitrógeno inorgánico.

Los suelos de El Jagüey del Cerro no presentan problemas de salinidad (0.79 dS m^{-1}), en cambio, en Santa Ana sí (4.86 dS m^{-1}) (Cuadro 1). A partir de 1 dS m^{-1} se observan problemas mínimos para el desarrollo de los cultivos y con 2 dS m^{-1} o más, disminuye su producción (NOM-021-SEMARNAT-2000). Por lo tanto, el riego con dichas aguas en las parcelas de El Jagüey del Cerro puede provocar la salinización progresiva.

The soils in El Jagüey del Cerro did not show salinity problems (0.79 dS m^{-1}), but the soils in Santa Ana did (4.86 dS m^{-1}) (Table 1). With 1 dS m^{-1} there are already minimal crop development problems; with 2 dS m^{-1} or more there is a production decrease (NOM-021-SEMARNAT-2000). Therefore, irrigating the plots of El Jagüey del Cerro with wastewater can cause progressive salinization.

El contenido de materia orgánica (MO) en el suelo de El Jagüey del Cerro fue muy bajo (0.27%) y en Santa Ana bajo (1.34%).

The organic matter content (OM) of the soil of El Jagüey del Cerro was very low (0.27%), while in Santa Ana it was low (1.34%).

Sin embargo, Zamora *et al.* (2008) citan que el riego constante con aguas residuales en pastizales, incrementó los niveles de MO (43.1 g kg^{-1}) y fueron superiores a los reportados en suelos bajo riego intermitente (13.3 g kg^{-1}) y suelo virgen (8.5 g kg^{-1}). Por lo que, en los suelos de El jagüey del Cerro y Santa Ana, se espera el incremento de dicha variable si se riega de manera constante.

However, Zamora *et al.* (2008) state that constant irrigation with wastewater in grasslands increased OM levels (43.1 g kg^{-1}), which were reportedly higher than those of soils under intermittent irrigation (13.3 g kg^{-1}) and of virgin soils (8.5 g kg^{-1}). Therefore, it would be expected that OM will increase in the soils of El Jagüey del Cerro and Santa Ana if there is constant irrigation.

Las concentraciones de Ni fueron bajas, tanto en El Jagüey del Cerro (13.8 mg kg^{-1}) como en Santa Ana (18.4 mg kg^{-1}). Sin embargo, otros autores señalan que el riego con aguas residuales, incorpora Ni en suelos cultivados y con ello, se favorece el desarrollo fisiológico de las plantas (Lapeña *et al.*, 1994).

El contenido de fósforo en la parcela de El Jagüey del Cerro fue moderadamente bajo (12.05 mg kg^{-1}) y el de Santa Ana muy alto ($125.86 \text{ mg kg}^{-1}$). En general, no existe deficiencia de este elemento. Esto coincide con lo señalado por Andrade *et al.* (2000), quienes reportan que en suelos regados con aguas residuales a medida que aumenta el tiempo de riego, es mayor el incremento en los contenidos de fósforo.

Las concentraciones de potasio en las dos parcelas fueron altas (de 690.00 a $1\ 610.00 \text{ mg kg}^{-1}$). Rodríguez *et al.* (2006) encontraron que el riego con aguas residuales en los suelos incrementó los valores de potasio de medianamente rico (85.33 mg kg^{-1}) a extremadamente rico (219 mg kg^{-1}); citaron que el incremento es positivo, ya que aumenta la resistencia de la planta a las enfermedades, la sequía y el frío. Lo anterior ocurre, hasta determinada concentración debido a que el elemento puede antagonizar con otros cationes.

Los valores de calcio fluctuaron de medio ($1\ 807 \text{ mg kg}^{-1}$, en El Jagüey del Cerro), a alto ($4\ 321 \text{ mg kg}^{-1}$, en Santa Ana). En tanto que las concentraciones de magnesio en El Jagüey del Cerro fueron altas (861 mg kg^{-1}) y en Santa Ana muy altas ($1\ 292 \text{ mg kg}^{-1}$) (Cuadro 1). Zamora *et al.* (2008) obtuvieron resultados similares; concentraciones altas ($9\ 320 \text{ mg kg}^{-1}$) de Ca y moderadamente altas (754.2 mg kg^{-1}) de Mg.

Las concentraciones de Fe (22.4 a 28.7 mg kg^{-1}) y Mn (26.60 a 27.18 mg kg^{-1}) fueron de moderadamente altas a altas. El Cu (0.90 a 2.12 mg kg^{-1}) y Zn (1.60 a 4.86 mg kg^{-1}) tuvieron concentraciones de medias a altas.

Esto resulta favorable para la fertilidad del suelo, dado que la deficiencia de cualquier micronutriente puede provocar problemas en el crecimiento de la planta y desarrollo de las raíces, repercutiendo en su producción. Los resultados son similares a los presentados por Ramos *et al.* (2001).

La concentración de boro en las parcelas de El Jagüey del Cerro fue alta (1.49 mg kg^{-1}) y en Santa Ana muy alta (3.05 mg kg^{-1}), por lo que los problemas por toxicidad pueden manifestarse. Mendoza *et al.* (2003) obtuvieron resultados similares (2.9 mg kg^{-1} de boro) en parcelas regadas con aguas residuales.

Ni concentrations were low in both El Jagüey del Cerro (13.8 mg kg^{-1}) and in Santa Ana (18.4 mg kg^{-1}). However, other authors suggest that the irrigation with wastewater incorporates Ni into cultivated soils, and thus favors the physiological development of plants (Lapeña *et al.*, 1994).

The phosphorus content in the plot of El Jagüey del Cerro was moderately low (12.05 mg kg^{-1}), while in the Santa Ana plot was very high ($125.86 \text{ mg kg}^{-1}$). Overall, there is no deficiency of this element. This is consistent with the results reported by Andrade *et al.* (2000), who reported that in soils irrigated with wastewater, the phosphorus content increases as the time of irrigation increases.

The potassium concentrations in the two plots were high (690 to $1\ 610 \text{ mg kg}^{-1}$). Rodríguez *et al.* (2006) found that wastewater irrigation increased soil potassium values from moderately rich (85.33 mg kg^{-1}) to extremely rich (219 mg kg^{-1}); they say that this increase has positive effects, as it increases the plant resistance to disease, drought and cold. This is valid only up to a certain concentration of potassium, because this element can be antagonistic to other cations.

Calcium values ranged from medium ($1\ 807 \text{ mg kg}^{-1}$) in El Jagüey del Cerro, to high ($4\ 321 \text{ mg kg}^{-1}$) in Santa Ana. Meanwhile, the concentration of magnesium in El Jagüey del Cerro was high (861 mg kg^{-1}) and very high in Santa Ana ($1\ 292 \text{ mg kg}^{-1}$) (Table 1). Zamora *et al.* (2008) obtained similar results: high concentrations ($9\ 320 \text{ mg kg}^{-1}$) of Ca, and moderately high (754.2 mg kg^{-1}) of Mg.

The concentration of Fe (22.4 to 28.7 mg kg^{-1}) and Mn (26.60 to 27.18 mg kg^{-1}) were moderately high to high. Cu (0.90 to 2.12 mg kg^{-1}) and Zn (1.60 to 4.86 mg kg^{-1}) showed medium to high concentrations.

This is favorable for fertility, since any micronutrient deficiency may cause problems for plant growth and root development, affecting production. The results are similar to those presented by Ramos *et al.* (2001).

The concentration of boron in the plots of El Jagüey del Cerro was high (1.49 mg kg^{-1}), and very high in Santa Ana (3.05 mg kg^{-1}), so there might be toxicity problems. Mendoza *et al.* (2003) obtained similar results (2.9 mg kg^{-1} of boron) in plots irrigated with wastewater.

El arreglo espacial y temporal de las especies en el SAF sólo contempló podas de formación. La inversión inicial para establecer en 1 ha el SAF coquia-mezquite fue de \$12 890.00. En contraparte, con el costo del establecimiento de 1 ha de pradera de alfalfa que es de \$12 058.00 pesos.

El rendimiento de 1 ha de coquia fue de 46.70 t, mayor que el obtenido en 1 ha de alfalfa (34.50 t), cultivo dominante en la zona. Aunado a lo anterior, la coquia requiere de 4 a 6 veces menos agua que la alfalfa (Gutiérrez, 2000). El mezquite presentó una supervivencia de 100%, lo cual indicó que no tuvo problemas de adaptabilidad en dichos suelos; esto resulta favorable porque una vez establecida la especie, se convierte en una opción viable para la producción forrajera y maderable en los suelos del DDR028, Tulancingo, Hidalgo.

Conclusión

La caracterización física y química del suelo, permitió definir a la coquia y mezquite como especies del sistema agroforestal a establecer en el DDR 028, Tulancingo, Hidalgo. El sistema agroforestal coquia-mezquite es una alternativa económica para los productores, con o sin problemas en sus parcelas, que permitirá dedicar parte de éstas a la producción en forma rotativa, conforme los ciclos de producción agrícola lo permitan. El establecimiento del SAF en la zona de estudio favorecerá la rehabilitación ecológica de los suelos.

Literatura citada

- Ajhuacho, E. y Tanaka, S. 2003. Recuperación y disminución de la salinidad del suelo. *In:* artículos de investigación. Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia. Núm. 2 Santa Cruz Bolivia. 31-36 p.
- Andrade, M. L.; Marcet, P.; Reyzábal, L. M. y Montero, G. M. 2000. Contenido, evolución de nutrientes y productividad en un suelo tratado con lodos residuales urbanos. *Edafología*. 7(3):21-29.
- Castellanos, J. Z.; Uvalle, B. J. X. y Aguilar, S. A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª. (Ed.). Colección Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA). San Miguel de Allende, Guanajuato, México. 226 p.
- Castro, R. R.; Hernández, G. A.; Aguilar, B. G. y Ramírez R. O. 2011. Comparación de métodos para estimar rendimiento de forraje en praderas asociadas. *Naturaleza y Desarrollo*. 9(1):38-46.

The temporal and spatial arrangement of the species used in the AFS contemplated only formative pruning. The initial investment for establishing the kochia-mesquite AFS in one hectare was \$12890.00 pesos. In contrast, the cost of establishing 1 ha of alfalfa is \$12058.00 pesos.

The yield of 1 ha of kochia was 46.70 t, greater than the yield obtained in 1 ha of alfalfa (34.50 t), the dominant crop in the area. In addition to this, kochia requires 4 to 6 times less water than alfalfa (Gutiérrez, 2000). The mesquite presented a survival of 100%, which indicated that it had no problems for adapting to these soils; this is very convenient, because once the species is established, it will become a viable option for timber and forage production in the soils of the DDR 028 in Tulancingo, Hidalgo.

Conclusion

The physical and chemical characterization of the soil allowed to define kochia and mesquite as species for the agroforestry system that will be established in the DDR 028 in Tulancingo, Hidalgo. The kochia-mesquite agroforestry system is an economical alternative for producers with and without salinity problems in their plots; it will allow them to use a part of their plots to production in rotation, as the agricultural production cycles allow it. The establishment of the AFS in the study area will favor the ecological rehabilitation of the soils.

End of the English version



- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2010. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego, año Agrícola 2008-2009. México.
- Gutiérrez, L. A. 2000. Comparación forrajera de *Quinoa coquia* y alfalfa bajo condiciones de riego y sequía. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango. Tesis de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas. México. 92 p.
- Hernández, A. E.; Montoya, R. F. y Rubiños, P. J. E. 2011. Características físicas y químicas de suelos regados con aguas residuales del distrito de riego 028, Tulancingo, Hidalgo. *In:* Hernández A. E. (Eds.). Uso de aguas residuales en la agricultura. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. 95-132 p.
- Lapeña, B. L. V.; Escoín, R. M.; Cerezo, E. V.; Flors, H. y García, A. P. 1994. Riego con agua residual y urbana depurada en la Plana de Castellón: un estudio de 10 años. Universidad Jaume I. Departamento de Ciencias Experimentales, Área de Fisiología Vegetal. Castellón, España. 110 p.

- Mendoza-Grimón, V. R.; Rodríguez-Martín, J. R.; Fernández, V. M. P.; Palacios, D. y Hernández, M. J. M. 2003. Estudio de la disponibilidad del fósforo y boro aportados por las aguas depuradas en la isla de Gran Canaria: metodología y resultados preliminares. Estudios de la zona no saturada del suelo. ICIA. 6:355-360.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio de muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial, Segunda Sección. México D. F. 85 p.
- Pérez, J. J. y Huerta, I. 2002. Agroforestería y ética ambiental en la gerencia de sistemas de producción. Rev. Venezolana de Gerencia. 7(17):64-74.
- Ramos, B. R.; Cajuste, J. L.; Flores, R. C. R. y García, E. N. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. Agrociencia 35:385-395.
- Rodríguez, T.; Arruda, S.; Cleidson, F.; Machado, F. y Arnaldo, L. 2006. Productividade de milho e de Feijoo consorciados adubados con diferentes formas de lodo de esgoto. Revista de la Ciencia del Solo y Nutrición Vegetal. 6(1):52-63.
- Veliz, L. E.; Llanes, J. G. O.; Asela, F. L. y Bataller, V. M. 2009. Reúso de aguas domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. Revista CENIC Ciencias Biológicas. 40(1):35-44.
- Zamora, F.; Rodríguez, N.; Torres, D. y Yendis, H. 2008. Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro. Estado Falcón. Bioagro. 20(3):193-199.