

ALGUNOS FACTORES DE SUELO, AGUA Y PLANTA QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN Y ALTERNANCIA DEL NOGAL PECANERO

SOME SOIL, WATER AND PLANT FACTORS AFFECTING NUT PRODUCTION AND ALTERNATE BEARING OF PECAN TREE

Jesús Santamaría César^{1*}, Ma. del Consuelo Medina Morales, Miguel Rivera González y Rodolfo Faz Contreras

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Campo Experimental La Laguna, Programas de Cómputo, Fruticultura, Salinidad y Uso y Manejo del Agua. Apartado Postal 247. C.P. 27000. Torreón, Coah. Tel.: 01 (871)762-0102. Fax: 01 (871)762-0714. Correo electrónico: celala@halcon.laguna.ual.mx

*Autor responsable

RESUMEN

La alternancia o producción irregular del nogal pecanero presenta índices que varían de 23 a 94 % en la Comarca Lagunera, por lo que se evaluaron 14 huertas en producción entre 1995 y 1997 con el objetivo de estudiar la relación entre la salinidad, sodicidad y fertilidad del suelo, número de riegos y características de planta sobre la producción de nuez y su alternancia. Las variables registradas fueron características físicas y químicas del suelo, número de raíces del árbol, concentración foliar de 10 nutrimentos, área de la sección transversal del tronco, rendimiento de nuez por árbol, peso de una nuez, el porcentaje de almendra y el número de riegos en el ciclo. El análisis de las variables se realizó aplicando la técnica multivariada de análisis de componentes principales. Se encontró que los valores superiores a 3 % de sodio intercambiable redujeron el área transversal del tronco y el rendimiento de nuez por árbol, pero estabilizan la producción al disminuir la alternancia. La conductividad eléctrica mayor a 3 dS m⁻¹ se asocia con menor área transversal del tronco y rendimiento de nuez por árbol. Con los riegos con intervalos menores de 20 días durante el desarrollo de la almendra, se incrementó el número de raíces por árbol, el área transversal del tronco y el rendimiento de nuez por árbol, aunque se redujo la concentración foliar de zinc.

Palabras clave: *Carya illinoensis*, salinidad, sodio, riego.

SUMMARY

Pecan tree alternate bearing or irregular production shows values from 23 to 94 % in the Comarca Lagunera Region. This was assessed in fourteen orchards in production evaluated during the period 1995 to 1997. The purpose of this study was to evaluate the relationship between salinity, sodicity, soil fertility, irrigation frequency and plant characteristic on pecan nut production and alternate bearing. Variables evaluated were soil physical and chemical properties, root number per tree, foliar concentration of 10 nutrients, trunk cross-sectional area, nut yield per tree, weight per nut, kernel percentage and irrigation frequency across the season. A multivariate technique based on principal components was used for data analysis. Interchangeable sodium values above 3 % reduced trunk cross-sectional area and nut yield per tree. However, the alternate bearing decreased because yield was stabilized. Electric conductivity greater than 3 dS m⁻¹ was associated to a reduced trunk cross-sectional area and nut yield per tree. Irrigating at intervals less than 20 days during kernel development, increased root number per tree, trunk cross-sectional

area and nut yield per tree, whereas foliar zinc concentration was reduced.

Index words: *Carya illinoensis*, salinity, sodium, irrigation.

INTRODUCCIÓN

Al llevar a cabo un diagnóstico de huertas de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch) se debe considerar el efecto de los factores de manejo y su interacción con las condiciones edáficas sobre la producción y calidad de la nuez. Sin embargo, lo más común que se hace es realizar un análisis estadístico por separado para cada variable, lo cual impide evaluar correctamente la relación que existe entre los factores (riegos y condiciones edáficas) y su efecto conjunto sobre la producción. Una solución para este problema es el empleo de técnicas multivariadas, como el análisis de componentes principales (ACP) que consideran la estructura de correlación del sistema y permiten, mediante un proceso de ordenamiento, identificar y cuantificar el efecto de los diferentes factores sobre la producción del nogal.

Moore (1965) empleó el análisis de componentes para cuantificar la interacción de los componentes de rendimiento en manzano (*Malus domestica* Bork), en los cultivares Cox's Orange Pippin y Worcester; encontró que el primer componente principal, interpretado como un factor de vigor vegetativo, explicó 57 % y 53 % de la variabilidad del rendimiento en cada cultivar. El segundo componente, identificado como el factor reproductivo o de fructificación, explicó aproximadamente 30 % de la variabilidad en ambos cultivares, y el tercer componente explicó 11 % y 13 % de la variabilidad en cada cultivar, respectivamente, y representó el balance entre el brote fructífero y el peso del fruto.

Jennings, citado por Amy y Marvin (1991) investigó en frambuesas (*Rubus idaeus* L.) la relación entre el diámetro de la caña, el desarrollo de brotes laterales y el de nudos fructíferos. Mediante el análisis de componentes se identificó al primer componente principal como un indicador de vigor. El segundo componente identificó como el de compensación, y describió la tendencia de un fuerte desarrollo de brotes laterales favorecido por un mayor diámetro de cañas, asociado con un desarrollo reducido de los nudos fructíferos.

Por otro lado, Dale, citado por Amy y Marvin (1991), para características de brotes laterales de genotipos de frambuesa (obtenidas por cruza dialélicas), obtuvo tres componentes principales: el vigor lateral general, el vigor reproductivo y el vigor potencial no alcanzado. Con estas nuevas variables llevó a cabo un análisis de varianza para extraer las aptitudes combinatorias específicas y generales; encontró que el vigor general lateral estuvo linealmente asociado con la época de maduración. Fils-Licaon *et al.* (1988) emplearon el ACP para describir los procesos de maduración del fruto de cereza (*Prunus avium* L.) e identificaron las variables más importantes que caracterizan las etapas de maduración; de esa manera pudieron separar los frutos maduros, inmaduros y los sobremadurados. El fruto maduro fue caracterizado por tener bajo pH, peso máximo y alto contenido de fenoles totales.

En nogal pecanero, Worley *et al.* (1972) encontraron que el rendimiento está correlacionado negativamente con el del año anterior, pero positivamente con el rendimiento acumulado en varios años. El crecimiento del brote terminal y número de nueces por libra variaron de manera similar al rendimiento. El análisis nutrimental del follaje (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn y Fe) y de suelo (pH, P, K) no correlacionó con rendimiento, calidad de nuez o crecimiento del árbol (circunferencia de tronco). El grado de retención de las hojas en un año de alta producción, correlacionó positivamente con el rendimiento de la siguiente estación. La influencia de los riegos sobre la producción y la calidad de la nuez fue informada por Godoy (1986), quien encontró que el número de riegos durante el desarrollo de la nuez a intervalos de 20 a 25 días influyen en la producción de fruto. Por su parte, Faz *et al.* (1989) y Miyamoto *et al.* (1986) indicaron que la salinidad o sodicidad de los suelos influyen en forma negativa en la producción del nogal.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar, mediante análisis de componentes principales, la relación de la conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable del suelo, el número de riegos y las condiciones nutrimentales de la planta, con la produc-

ción y alternancia de la misma en las nogaleras de la Comarca Lagunera.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante tres años (1995-1997), en la región de la Comarca Lagunera (Coahuila y Durango, México), en los municipios de Torreón, Matamoros y Francisco I. Madero, Coahuila, y Gómez Palacio y Lerdo, Durango. Se evaluaron 14 huertas de nogal pecanero en producción, de 10 a 47 años de edad. Con el objeto de determinar los efectos de los factores de la producción sobre el rendimiento del nogal, en cada huerta se localizaron dos áreas de una hectárea cada una (de bajo y alto rendimiento). En cada área se marcaron 10 árboles del cv. Western Schley con circunferencia de tronco similar dentro del área, de los más uniformes de acuerdo con la edad de cada huerta. Se consideró como criterio para determinar el tamaño de muestra, entre 10 % y 30 % de los árboles de una hectárea, y la unidad de muestreo fue un árbol, para un total de 20 árboles por huerta.

La distancia de plantación en las huertas varió de 10x10 m hasta 16x16 m, con predominio de la densidad de 70 a 100 árboles por hectárea en 63 % de las huertas. Todos las huertas estaban en plena producción y el potencial de rendimiento esperado era de 2 t ha⁻¹, independientemente de la edad y número de árboles por hectárea, lo cual reduce el efecto de la edad de los árboles en la evaluación.

El manejo de las huertas es variable. En la mayoría se fertiliza con nitrógeno (100-150 kg ha⁻¹) y zinc (4 a 5 litros de NZN en 1000 litros de agua aplicado en tres a cinco aspersiones foliares). Existe un problema de sombreo entre árboles en 76 % de las huertas, porque la mayoría (53 %) no se podan. El riego se aplica con agua por bombeo de pozo. En dos huertas se dieron solamente tres riegos durante el ciclo; en el resto fue cinco a 12 riegos. Durante el desarrollo del fruto (almendra) se aplicaron de dos a ocho riegos y el intervalo entre ellos fue de 17 a 30 días. En cuatro huertas había riego por aspersión y en ellas se aplicó el mayor número de riegos.

El clima donde se localizaron todas las huertas es similar. La calidad del invierno en la región durante el período de 1995 a 1997 fue de 188, 265 y 393 horas frío debajo de 7° C. La precipitación pluvial en 1995, fue de 200 mm; en 1996, de 131 mm, y en 1997 de 242 mm. Las temperaturas promedios en los tres años de los meses calientes (mayo, junio, julio y agosto) fueron : máxima, 35.1°C; mínima, 19.2°C; media, 27.2°C; y en los meses fríos (enero, febrero, noviembre y diciembre) fueron: máxima, 24.5°C; mínima, 4.1°C; y media, 14.3°C (Cano, 1995-1997).

Muestreo de suelo. En 1995 cada área de la huerta (de alto o bajo rendimiento) se dividió en dos sitios de muestreo, para formar una muestra compuesta por área. Se abrió un perfil de 1.2 m³ y se observó en todas las huertas una capa compacta entre 17 y 37 cm, por lo que se seleccionaron tres estratos de muestreo: 1) de 0 a 17 cm, 2) de 17 a 37 cm y 3) de 37 a 100 cm de profundidad. Se tomó una muestra por profundidad por sitio y se formó una muestra compuesta por área. En tales muestras se determinó: textura, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, pH, materia orgánica, nitratos, fósforo, carbonatos, potasio, cobre, hierro, zinc, manganeso, conductividad eléctrica del extracto de saturación, calcio, magnesio, sodio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, relación de adsorción de sodio (RAS), y porcentaje de sodio intercambiable.

La conductividad eléctrica en 1997 se midió por árbol en forma indirecta mediante la técnica de inducción electromagnética, para lo cual se utilizó un medidor de conductividad electromagnética (Geonics EM-38). En cada árbol se efectuaron 24 mediciones de la salinidad del suelo, y se trató así de cubrir toda el área del suelo que proyecta la copa del árbol. El equipo se calibró previamente, y se relacionaron las lecturas del equipo con el promedio de los datos de tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-120 cm), de la salinidad del suelo determinada mediante la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (CEes).

Número de raíces del árbol (NRA). Se determinó en 1996, en dos excavaciones por área, cada una de 1.2 m³, a dos metros del tronco de un árbol, por considerar que a esta distancia se encuentra la mayor parte de las raíces. Se cuadrículó un metro cuadrado con líneas espaciadas a 10 cm y se contaron las raíces visibles en cada decímetro cuadrado.

Concentración foliar de nutrimentos. Durante los tres años, (1995-1997) se realizó un muestreo foliar por año y por área, del 2 al 31 de julio, que corresponde a la etapa fenológica de detención sensible del crecimiento, donde el nivel nutrimental es constante y el error estándar es menor (Enríquez *et al.*, 1975-1979). Se colectó una muestra de 80 folíolos de los 10 árboles marcados, con los dos folíolos centrales de una hoja compuesta ubicada en la parte media del brote (Chávez y Medina, 1994). La concentración foliar de N se determinó con el destilador Kjeldahl (A.O.A.C., 1960); el P por colorimetría con molibdo vanadato de amonio (Chapman y Pratt, 1961); el K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu por absorción atómica (Alan, citado por Valenzuela, 1988). En 1997 también se analizó el B, con colorimetría con curcumina (Dible *et al.*, citados por Valenzuela, 1988).

Área de la sección transversal del tronco. Durante los tres años, se midió la circunferencia del tronco a 50 cm del suelo y se calculó al área transversal; con los datos se obtuvo el incremento anual (IAT).

Rendimiento y calidad de nuez. Durante los tres años (1995-1997) se cosecharon los 20 árboles por huerta y se obtuvo el peso total de la nuez por árbol (PNA), en kg por árbol. También se calculó el rendimiento de nuez por hectárea (promedio del peso de nuez de los 20 árboles por el número de árboles por hectárea) y se obtuvo el índice de alternancia con el coeficiente de variación del rendimiento de nuez en los tres años. De una muestra de 20 nueces por árbol, secadas en la estufa a 60° por 24 horas, se obtuvo el peso de una nuez seca (PINS), y el porcentaje de almendra (%AL). La estabilidad en la producción (alternancia) se estimó mediante la suma de la diferencia al cuadrado entre años consecutivos del peso de nuez por árbol (D2PNA) y del contenido de almendra (D2%AL), lo que constituyó un indicador de la varianza entre años de la producción.

El número de riegos, que fue otro factor de variación, se determinó mediante encuesta directa con el productor, para obtener el número total de riegos en el año (NRT), el número de riegos durante la formación de la almendra (NRAL) y su intervalo (IRFALM). Con base en resultados obtenidos por Godoy (1986) y Miyamoto *et al.* (1986), se consideraron como variables que describen las condiciones de la producción de nuez, a: número de raíces por árbol (NRA), conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

Las variables de respuesta fueron consideradas de tres tipos: 1) de la producción, constituida por el peso (kg) de nuez por árbol (PNA), porcentaje de almendra (%AL), y peso de una nuez seca (PINS); 2) de estabilidad de la producción, que se calculó con la diferencia cuadrada entre años consecutivos de la PNA (D2PNA) y del porcentaje de almendra (D2%AL); y 3) de características del árbol, que fueron el incremento del área transversal del tronco en tres años (IAT), número de raíces totales del árbol (NRA) y la concentración foliar de zinc (ZnF), promedio de tres años, porque fue el único nutrimento que resultó correlacionado significativamente con alguna característica del árbol.

Como estos componentes de rendimiento están altamente correlacionados y medidos en diferentes unidades, se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP) mediante la matriz de correlación (Morrison, 1976), con lo que se formaron grupos de nuevas variables (componentes principales) no correlacionadas (ortogonales), que representan la combinación lineal de las variables de rendimiento originales estandarizadas (adimensionales); es decir, la respuesta compuesta del árbol en aspectos de producción,

estructura del árbol y nutrimentos. Cada coeficiente de un componente principal (CP) es la correlación de la variable original con el CP y se considera como ponderación de la contribución de cada variable a la estructura lineal del CP, por lo que con la finalidad de facilitar la interpretación biológica de cada CP, las variables se consideran con un coeficiente igual o mayor a un valor absoluto predeterminado (Wherry, citado por StatSoft, 1995); en este trabajo se seleccionó un valor absoluto relativamente alto en forma arbitraria de 0.7.

El número de componentes a considerar para explicar el comportamiento productivo del árbol se determinó mediante el criterio descrito por Morrison (1976), el cual consiste en seleccionar a los CP significativos como los asociados a un valor característico igual o mayor a 1. Estos CP significativos permiten, mediante una transformación ortogonal, ubicar a cada árbol en el nuevo espacio reducido y simplificar el estudio del comportamiento productivo del árbol, condicionado a la interpretación biológica de cada componente (Amy y Marvin, 1991).

Según Amy y Marvin (1991), debido a la ortogonalidad de los CP, se pueden aplicar métodos multivariados que requieren ausencia de dependencia lineal entre las variables, como el de regresión lineal múltiple, incluyendo al análisis de conglomerados, por lo que la formación de grupos de árboles con coordenadas similares en el nuevo espacio reducido se llevó a cabo mediante un análisis de conglomerados. Lo anterior permite identificar huertas con condiciones similares en los factores que expliquen un alto porcentaje del comportamiento productivo de la huerta. Mediante inspección gráfica, se consideró a los árboles en los extremos de los nuevos ejes coordenados y se jerarquizaron por su efecto en el árbol las condiciones de salinidad, sodicidad y manejo de los riegos en la huerta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestra la producción obtenida por huerta por año, el promedio de los tres años y el índice de alternancia. La producción promedio de los tres años varió de 0.46 a 1.96 t ha⁻¹, independientemente de la edad. Esto indica que el potencial del nogal pecanero en la región es de alrededor de 2 t ha⁻¹. En el índice de alternancia se registraron valores desde 23 hasta 94 %, con un promedio de 52 %. La mitad de las huertas tienen un índice de alternancia arriba de 50 %, que se considera alto.

La estructura de correlación entre las variables originales consideradas en este estudio, que influyen en la producción y estructura del árbol, como los niveles de salinidad y sodicidad de los suelos y los nutrimentos como el zinc foliar, así como el incremento del área transversal, se

presentan en el Cuadro 2, en donde sólo se reportan los coeficientes estadísticamente significativos.

Cuadro 1. Producción de nuez por hectárea durante tres años en huertas de nogal pecanero. Comarca Lagunera (1995-1997).

Edad de la huerta en 1997	Producción de nuez (t ha ⁻¹)				Índice de alternancia CV (%)
	1995	1996	1997	Promedio	
12	1.2	0.5	0.9	0.86	43
16	2.7	1.3	1.9	1.96	36
17	0.9	1.4	1.3	1.20	23
20	0.6	1.4	2.1	1.36	54
22	0.6	2.9	0.9	1.46	86
25	2.0	2.5	1.4	1.96	28
26	1.8	0.9	2.9	1.86	51
26	0.6	0.3	0.5	0.46	38
29	0.4	1.6	2.3	1.43	67
33	0.4	0.6	2.2	1.06	94
35	1.2	1.9	1.3	1.46	25
37	1.0	2.2	2.6	1.93	42
41	1.1	0.3	1.4	0.93	59
49	0.1	2.1	2.1	1.43	80
Promedio	1.0	1.4	1.7	1.36	52

Cuadro 2. Coeficientes de correlación con 0.05 de significancia entre las variables originales que influyen en la producción en el muestreo de nogal pecanero, en la Comarca Lagunera.

Variable	CEes	Na	RAS	PSI	ZnF	IRFALM	NRT	IAT
CEes	1.00	0.80	0.54	0.52	-0.18	0.32	-	-
Na	0.08	1.00	0.91	0.89	-	-	-	-0.21
RAS	0.54	0.91	1.00	1.00	-	-0.22	-0.26	-0.30
PSI	0.52	0.89	1.00	1.00	-	-0.25	-0.27	-0.31
N	0.34	0.22	-	-	-	-	-	-
P	0.23	-	-	-	-	-	-	0.22
K	-0.22	-0.24	-	-	-	-	-	-
ZnF	-	-	-	-	1.00	-	-0.43	-
IRFALM	0.32	-	-0.22	-0.25	-	1.00	0.32	0.21
NRT	-	-	-0.26	-0.27	-0.43	0.32	1.00	-
IAT	-	-0.21	-0.30	-0.31	-	0.21	-	1.00

CEes = Conductividad eléctrica del extrato de saturación del suelo; Na = Contenido de sodio en el suelo; RAS = Relación de absorción de sodio; PSI = Porcentaje de sodio intercambiable; ZnF = Concentración foliar de zinc; IRFALM = Intervalo entre riegos durante la formación de la almendra; NRT = Número total de riegos al año; IAT = Incremento del área transversal del tronco.

Las variables que indican salinidad y sodicidad del suelo (CEes, Na, RAS y PSI) están altamente correlacionadas entre sí, por lo cual se seleccionó a la CEes y al PSI de acuerdo con Godoy (1986) y Miyamoto *et al.* (1986).

Debido a la diversidad en las unidades de medida en las variables de producción, se estandarizaron los datos originales, lo que es equivalente al empleo de la matriz de correlación (Morrison, 1976). Para la extracción de los CP se empleó la transformación Varimax normalizada que maximiza las varianzas de las columnas de la matriz formada por los CP normalizados, lo que contrasta las variables más correlacionadas con las menos correlacionadas en los componentes principales extraídos por paquete StatSoft (1995), para facilitar su interpretación.

Se llevó a cabo un ACP para las variables de la producción y otro para las de estabilidad de la producción, en donde se obtuvieron tres CP en cada caso, que en conjunto explicaron 68.39 % y 64.95 %, para el grupo de variables de la producción y de estabilidad de la producción, respectivamente.

Los coeficientes de correlación entre las variables originales y los CP significativos para las variables de producción y de la estabilidad de la producción, se presentan en los Cuadros 3 y 4, respectivamente. Para interpretar biológicamente los CP extraídos, se consideraron en primer lugar las relaciones entre las variables y los CP con coeficientes de correlación $r \geq 0.7$, los que se destacan con un asterisco.

En el caso de las variables de rendimiento, el primer CP presenta altos coeficientes de correlación con dos variables originales del mismo signo, IAT y PNA, por lo que este CP₁ puede representar un indicador de la capacidad de producción del árbol. Esto coincide con la correlación positiva ($r = 0.914$) que Gammon *et al.* (1963) encontraron entre la producción de nuez por árbol y el área transversal del tronco en nogal pecanero. El CP₃ presenta alto coeficiente de correlación con PINS. El CP₁ y CP₃ constituyen indicadores de la productividad del árbol. El CP₂ representa al número de raíces del árbol y los niveles de Zn foliar, con signo contrario, lo que está relacionado con nutrición (Cuadro 3).

Cuadro 3. Coeficientes de correlación entre las variables de producción y los tres primeros componentes principales, en nogal pecanero.

Variable	CP1	CP2	CP3
Número de raíces del árbol (NRA)	0.060	0.847*	0.006
Zn foliar (ZnF)	0.080	-0.751*	0.049
Incremento área transversal (IAT)	0.820*	-0.133	0.165
Peso una nuez seca (PINS)	-0.064	-0.116	0.844*
Peso de nuez por árbol (PNA)	0.879*	0.091	0.019
Por ciento de almendra (%AL)	0.289	0.075	0.698
Varianza explicada	1.544	1.328	1.230
Porcentaje de varianza explicada	25.7	22.1	20.5
Porcentaje de varianza explicada acumulada	25.7	47.8	68.3

* igual o superior a 0.7; CP = Componente principal.

En las variables de estabilidad de la producción hubo resultados similares, como se muestra en el Cuadro 4. En este caso, el CP₁ presenta coeficientes de correlación altos con el IAT y D2PNA con igual signo, lo que indica que en general las condiciones de desarrollo del árbol inducirán a una mayor producción, pero con una mayor inestabilidad de la producción. La estabilidad en porcentaje de almendra (D2%AL) es representada por el CP₃, el cual también incluye al peso de una nuez seca, con signo contrario; es decir, en la medida en que disminuye el peso de una nuez seca se tendrá una mayor inestabilidad, debido a que se incrementa la diferencia absoluta entre años en la calidad

de la producción, representada por el porcentaje de almendra.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación entre las variables de estabilidad de la producción y los tres primeros componentes principales, en nogal pecanero.

Variable	CP1	CP2	CP3
Número de raíces del árbol (NRA)	-0.016	-0.775*	0.263
Zn foliar (ZnF)	0.031	0.813*	0.217
Incremento área transversal (IAT)	0.825*	0.098	-0.110
Peso una nuez seca (PINS)	0.089	0.174	-0.714*
Diferencia cuadrada consecutiva de la producción de nuez por árbol (D2PNA)	0.825*	-0.047	0.073
Diferencia cuadrada consecutiva del porcentaje de almendra (D2%AL)	0.056	0.142	0.742*
Varianza explicada	1.387	1.271	0.047
Porcentaje de varianza explicada	23.1	21.1	17.4
Porcentaje de varianza explicada acumulada	23.1	44.3	61.1

* igual o superior a 0.7; CP = Componente principal.

Con el objeto de identificar un patrón del ordenamiento de los árboles de nogal por el efecto de la salinidad, sodicidad y el manejo de los riegos en las huertas sobre las variables de producción y su estabilidad, se llevaron a cabo dos análisis gráficos para las variables productivas y de la estabilidad de la producción, tomando como ejes de coordenada los CP y considerando dos criterios de discriminación: salinidad del suelo, representado por la CEes, y la sodicidad del suelo representado por el PSI, además del intervalo de riegos durante la formación de la almendra (IRFALM).

Tomando como eje de coordenadas los CP₁ y CP₃, en las Figuras 1 y 2, se puede observar que a valores de la CEes mayores de 3 dS m⁻¹ y PSI superiores a 3 %, respectivamente; el ordenamiento del árbol con relación al CP₁ tiende a ser inferior a cero, lo que indica su efecto negativo en la estructura del árbol representada por el área transversal del tronco y el peso de la nuez por árbol. Esto coincide con las correlaciones negativas entre el área transversal del tronco y la CEes y el área transversal del tronco y el sodio, encontradas en nogal por Miyamoto *et al.* (1986).

Glover (1985) señaló que las plantas sensibles a salinidad muestran síntomas cuando la CEes es > 4 dS m⁻¹; el problema de sodio es esperado con valores de PSI > 20 %. Chavira y Jiménez (1975) mencionaron que el nogal es un cultivo que es afectado en su desarrollo por la variación del PSI, y que los síntomas de toxicidad se presentan con valores de 2 a 10 %. En este estudio se encontró que a un PSI > 3 %, la producción de nuez por árbol y el área transversal del tronco se reducen, lo que concuerda con los autores mencionados.

Según Miyamoto *et al.* (1986), los altos niveles de salinidad del suelo pueden ocasionar nueces pequeñas y con

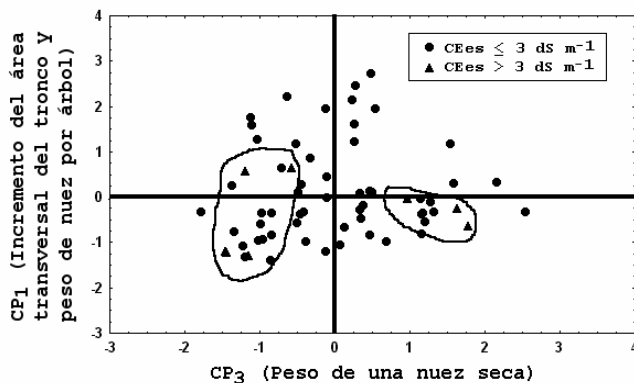


Figura 1. Ordenamiento del nogal pecanero por el efecto de la salinidad, sobre la producción de nuez, decremento del área transversal del tronco y el peso de una nuez seca a conductividad eléctrica del extracto de saturación ($CEes > 3 \text{ dS m}^{-1}$).

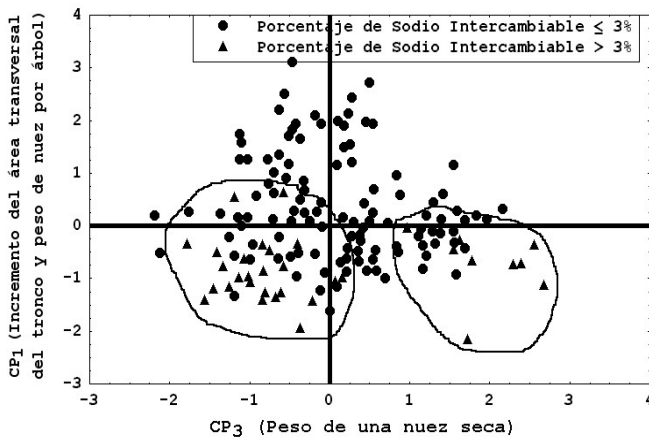


Figura 2. Ordenamiento del nogal pecanero por el efecto de la sodicidad de los suelos (PSI) sobre la producción de nuez, incremento del área transversal del tronco y el peso de la nuez seca.

llenado pobre, lo que coincide con lo encontrado en este estudio, acerca de la reducción de peso de nuez por árbol al incrementarse los niveles de CEes y PSI (Figuras 1 y 2), ya que la PNA presentó correlación positiva con el CP₁ (Cuadro 3).

Con respecto a la estabilidad de la producción, en la Figura 3 no se muestra una tendencia clara en la relación entre la $CEes > 3$ y el CP₁ (IAT y D2PNA) como componentes de la estabilidad en la producción. En cambio, en la Figura 4 se observa que con un PSI $> 3\%$ el CP₁ (IAT y D2PNA) toma valores negativos; ya que IAT y D2PNA están correlacionados positivamente con el CP₁ (Cuadro 4), este componente representa así la estabilidad en la producción, puesto que si D2PNA es pequeño hay menos di-

ferencia en la producción entre años, es decir, es más estable.

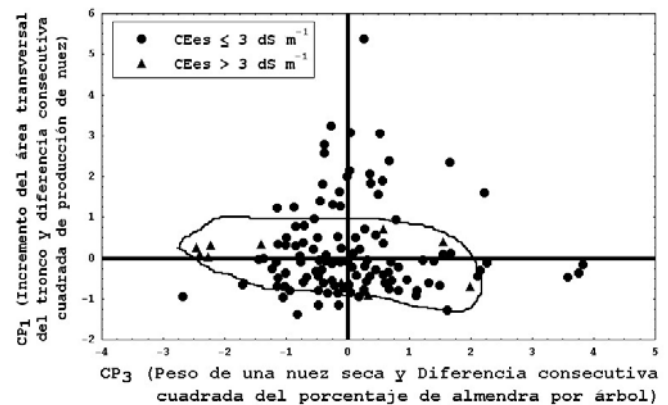


Figura 3. Ordenamiento del nogal pecanero por el efecto de la salinidad del suelo ($CEes \text{ dS m}^{-1}$), sobre la estabilidad de la producción (D2PNA), incremento del área transversal del tronco (IAT), peso de una nuez seca (PINS) y la diferencia consecutiva cuadrada del porcentaje de almendra (D2%AL).

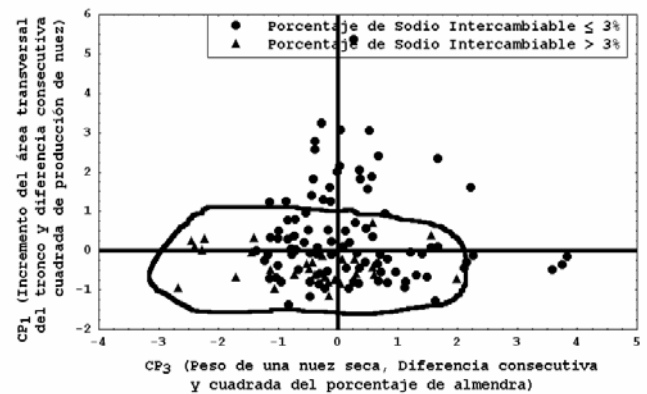


Figura 4. Ordenamiento del nogal pecanero por el efecto de la sodicidad de los suelos (PSI), sobre la estabilidad de la producción (D2PNA).

El manejo de los riegos en la huerta a intervalos menores a 20 días durante el desarrollo de la almendra, ordena al árbol de nogal en valores menores a cero en el CP₂ para la variable de producción (Figura 5), lo que influye principalmente en el número de raíces del árbol y en los niveles de Zn foliar, por lo que a intervalos menores de 20 días (por lo tanto, más riegos) durante el desarrollo de la almendra, se incrementa el número de raíces y se reduce el Zn foliar (correlacionado negativamente, Cuadro 3) probablemente por un efecto de dilución. También al dar los riegos con intervalos menores de 20 días durante el desarrollo de la almendra, el CP₁ tiende a ser positivo (Figura 5); es decir, además de incrementarse el área transversal del árbol se incrementa el rendimiento de nuez por árbol,

lo que coincide con lo indicado en esta misma región por Godoy (1987).

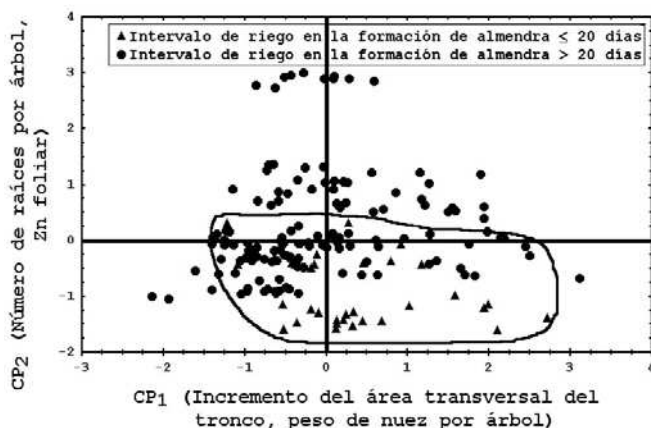


Figura 5. Ordenamiento del nogal pecanero por el efecto del intervalo de riegos durante la formación de la almendra (IRFALM).

CONCLUSIONES

El contenido de sodio intercambiable (PSI) superior a 3 % tiene un efecto negativo en el área transversal del tronco y en el rendimiento de nuez por árbol; en cambio, tiende a estabilizar la producción y a reducir la alternancia del nogal.

La conductividad eléctrica superior a 3 dS m⁻¹, también tiende a reducir el área transversal del tronco y al rendimiento por árbol.

Con el intervalo de riegos menor de 20 días, durante el desarrollo de la almendra, que significa más riegos, se incrementa el número de raíces por árbol, el área transversal del tronco y el rendimiento de nuez por árbol, pero se reduce el Zn foliar, probablemente por un efecto de dilución.

Se sugiere realizar estudios en la región para encontrar los intervalos de valores de PSI que puede tolerar el nogal, sin reducir drásticamente la producción de nuez.

BIBLIOGRAFÍA

- Amy F, P Marvin (1991) Applications of principal component analysis to horticultural research. *HortScience* 26(4): 334-338.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (1960). Official Methods of a Analysis. 9th. De. Washington, D.C., USA. 832 p.
- Chapman D H, P Pratt (1961) Methods of Analysis for Soils, Plant and Waters. Division of Agricultural Sciences. University of California, U.S.A. pp: 169-170.
- Chavira R J G, A Jiménez (1975) Suelos Salinos y Sódicos, sus Problemas y Remedios. Boletín Agrícola Lagunero. Distrito de Riego N° 17. SRH. Lerdo, Durango, México. pp: 26.

- Cano R P (1995-1997) Estación Climatológica del Campo Agrícola Experimental de la Laguna. Centro de Investigaciones Regional Norte Centro. Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Matamoros, Coahuila. México.
- Chávez G F, C Medina M (1994) Suelo y Fertilidad. Libro Técnico No. 1, El Nogal Pecanero. INIFAP-CIRNOC-CELALA. Primera Edición, julio. pp: 85-87.
- Enríquez R S, A Lagarda M, A Salas F, F J Chávez G (1975-1979) Curva de variación de 9 nutrientes en el cultivo del nogal pecanero (*Carya illinoensis*) en la región Centro-Norte de México. Informe de Investigación del Laboratorio de Suelos y Nutrición Vegetal. Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 12 p.
- Faz C R, M C Medina M, V P Álvarez R, C Godoy A, A Lagarda M (1989) Respuesta del cultivo del nogal (*Carya illinoensis* Koch) a diferentes calendarios de riego. *Agr. Tec. Méx.* 15 (2): 129-136.
- Fils-Licaon B, M Buret, A Drouet, C Hartmann, F Dupral (1988) Ripening and over ripening of cherry fruit. Use of principal component analysis to check fruit picking and sampling method pertinence to select the most discriminant analysis criteria. *Science des Aliments* 8:383-396.
- Gammon N Jr, R L Leighty, R H Sharpe (1963) Estimation of pecan production based on soil site examination and tree size. *Proc. Amer. Soc. for Hort. Sci.* 82: 231-236.
- Glover Ch R (1985) Soil test interpretations. In: 19th Annual Western Pecan Conference Proc. New Mexico State University. Coop. Ext. Serv. Las Cruces, New Mexico, E.U.A. pp: 94-98.
- Godoy A C (1986) Efecto de diferentes niveles de evapotranspiración en el desarrollo de la nuez. 5° Día del Nogalero. Publicación Especial N° 23. Campo Agrícola Experimental de la Laguna. Centro de Investigaciones Agrícolas del norte. Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Matamoros, Coahuila. México. pp: 7-12.
- Godoy A C (1987) Efecto de diferentes niveles de evapotranspiración (E.T.) sobre el desarrollo del fruto del nogal. Informe de Investigación. Depto. De Uso y Manejo del Agua. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Región Lagunera. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Matamoros, Coahuila. México. 10 p.
- Miyamoto S, G Picchioni, B Storey (1986) Salinity a major factor of poor tree performance in irrigated trees. *Pecan South* (July-August):14-18.
- Moore C S (1965) Inter-relations of growth and cropping in apples trees studied by the method of component analysis. *J. Hort. Sci.* 40:133-149.
- Morrison F D (1976) Multivariate Statistical Methods. McGraw-Hill. 415 p.
- StatSoft Inc (1995). STATISTICA for Windows (Computer program manual). Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2325 East 13th Street, Tulsa, OK 74104.
- Valenzuela S C (1988) Evaluación del estado nutrimental del ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl) "Ciruela de mayo", en el área del Plan Puebla, mediante el "DRIS". Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 65 p.
- Worley R E, S A Harmon, R L Carter (1972) Correlation among growth, yield, and nutritional factors for pecan (*Carya illinoensis* W. Cv Stuart): correlations with yield, quality, and terminal shoot growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97 (4):511-514.
- Williams W T (1976) Pattern Analysis in Agricultural Science. CSIRO. 331 p.