

Niveles de humedad, tomada con sonda T.D.R., en una parcela experimental de Cartaya (Huelva)

D.L. Orihuela, J. Palazón, D. Gallardo, A. González, E. Romero y R. Garrido

Grupo de Investigación "Hidrogeología y Medio Ambiente". E. P. S. Universidad de Huelva.

RESUMEN. En este estudio se van a aplicar principios básicos de la Geostatística a datos de humedad de suelo, obtenidos mediante Sonda T.D.R.. La toma de datos tuvo lugar en un campo de experimentación de *Stevia rebaudiana* Bertoni, sita en Cartaya (Huelva) en dos situaciones distintas, una húmeda y otra seca. Como resultado de este estudio se puede afirmar que, en una primera fase, de establecimiento del cultivo en el campo, los niveles de humedad que se consiguen en el suelo está lejos de lo intentando por los investigadores que es conseguir cuatro niveles de humedad perfectamente definidos para realizar un estudio de biomasa sobre la planta.

ABSTRACT. Geostatistical techniques were applied to the study of the soil moisture distribution measured with TDR probes. The sampling took place in a experimental field planted with *Stevia rebaudiana* Bertoni under two different water regimes, (humid one and dry). Results show that, in the first crop stage, which is that of establishment of the crop in the field, the levels of humidity obtained in the field are much different to the ones pretended by agronomical researchers in biomass studies.

1.- Introducción.

En general, el régimen hidrodinámico del suelo está sujeto a fluctuaciones que se deben al consumo hídrico por las plantas, a la evaporación, a la aplicación de agua de riego o de lluvia y a la filtración profunda. La capacidad productiva de un suelo de cultivo puede ser limitada por una disponibilidad de agua escasa o excesiva, y las prácticas de riego y avenamiento tienen por finalidad mantener la relación aire-agua entre límites adecuados. Unas y otras han de basarse en la interpretación de la naturaleza del proceso de filtración (infiltración y exfiltración o evaporación) debido al desequilibrio hidráulico.

Dicho proceso es bastante complejo en condiciones de campo, ya que la permeabilidad del suelo es muy versátil.

Basta considerar la dificultad inherente al caso tridimensional en suelos irregularmente estratificados y anisótropos, sometidos a cambios térmicos, químicos y osmóticos, y cuya distribución de potencial (térmico, gravitatorio, matricial, osmótico y de presión) es variable, ya que, entre otros factores atmosféricos, está siendo continuamente afectada por la intervención de dos agentes dinámicos exteriores principales: la gravedad y la radiación solar. Además de la variabilidad de la permeabilidad, también hay que tener en cuenta que los procesos de histéresis introducen, si cabe, una incertidumbre aún mayor.

Para conocer esa agua del suelo hay que medirla. Dicha medida puede hacerse por varios métodos: gravimétrico, lisímetro de pesada o de drenaje, atenuación de rayos gamma, sonda de neutrones, TDR, etc.. Debido a que casi todos estos métodos presentan dificultades de operatividad y de tipo práctico en campo, se ha decidido utilizar la sonda TDR, (*Time Domain Reflectometry*), el cual es, en la actualidad, un método que goza de buena reputación, ya que las medidas son muy rápidas y no son destructivas. Sin embargo, el volumen de medida de dicha sonda se encuentra limitado a un elipsoide de pequeño tamaño, (6 cm de radio medio), cuyo eje mayor coincide con el perfil vertical donde tiene lugar la toma de datos. Este procedimiento puede ser problemático cuando hay variabilidad horizontal en las propiedades del suelo que afecten considerablemente a la infiltración, o cuando exista un alto contenido de materia orgánica o una conductividad eléctrica superior a 1 dS/m. Pero a pesar de ello, este método ofrece buenos resultados, ya que, además de ser rápido, no tiene la peligrosidad de las sondas de neutrones ni destruye la matriz porosa, como sucede en el método gravimétrico.

Con dicha técnica se puede hacer un estudio espacial de la humedad existente en el perfil del suelo y ver su evolución temporal, aplicándole a los datos emanados del trabajo de investigación técnicas estadísticas o geostatística relativamente simples.

2.- Metodología.

Para realizar el experimento en campo se utilizó el diseño de riego que se muestra en la Figura 1.

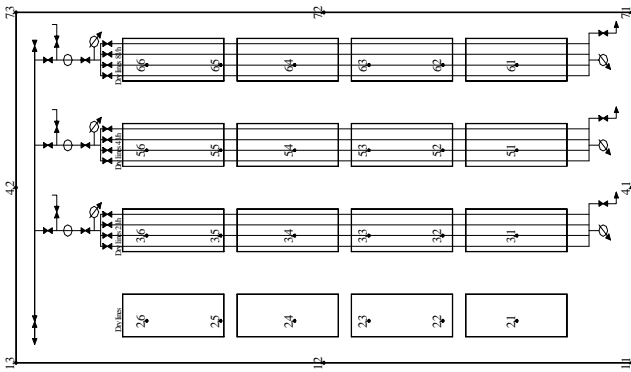


Fig. 1. Diseño de riego de la parcela experimental.

En ella se pueden observar 16 subparcelas individuales de $23 \times 3 \text{ m}^2$, las cuales se encuentran agrupadas en 4 bloques homogéneos. La primera línea de subparcelas no se riega, y las restantes se hace con goteros de 2, 4 y 8 l/h. También se muestra la ubicación de los 32 tubos de fibra de vidrio instalados, para lectura de la sonda T.D.R.. En ellos se mide la humedad a tres profundidades diferentes: 25, 50 y 75 cm. La toma de datos tiene lugar cada semana. Debido al volumen elíptico de medida, la sonda es girada dos veces después de cada toma, y el valor medio constituye la estimación de dicha medida de humedad.

Este experimento se realizó en un suelo franco arcillo arenoso de Cartaya (Huelva), en el que se dispusieron plantones de *Stevia rebaudiana* Bertoni con un marco de $0.75 \times 0.20 \text{ m}^2$, (1 mm de diámetro medio), podría suponer reducciones de la humedad entre un 2 y un 10%.

Una vez tomados los datos con la sonda TDR se procede a realizar un estudio geoestadístico de los mismos. El primer paso en este análisis geoestadístico es la caracterización de los variogramas a diferentes profundidades, lo cual nos conduce a comprender mejor la estructura espacial del fenómeno que se estudia.

Con motivo de no ofrecer excesivo número de gráficas, se van a mostrar sólo los resultados de las medidas en dos situaciones distintas, una húmeda y otra seca. La primera de ellas corresponde a la fase de la redistribución del agua, es decir, justamente después de concluida la infiltración. Y la segunda se corresponde con un suelo en el que se ha acabado ya la redistribución.

3.- Resultados.

En la Tabla 1 se dan los valores obtenidos en las tomas de campo en dos momentos determinados. El primero de ellos, *dry*, tuvo lugar el 23/12/1998, antes del período de lluvias, y el segundo, *wet*, el 27/01/1999, después del período de lluvias.

Tabla 1. Datos de la humedad volumétrica

PUNTO	X (M)	Y (M)	Z (CM)	Θ (%)	
				DRY	WET
1,1,1	0	0	25	11.9	17.1
1,1,2	0	0	50	15.2	15.4
1,1,3	0	0	75	14.6	14.6
1,2,1	0	55	25	11.8	20.5
1,2,2	0	55	50	19.7	28.2
1,2,3	0	55	75	21.7	25.9
1,3,1	0	110	25	8.8	14.1
1,3,2	0	110	50	15.7	17.8
1,3,3	0	110	75	21.7	21.7
2,1,1	3.2	12.9	25	26.2	28.1
2,1,2	3.2	12.9	50	21.1	22.4
2,1,3	3.2	12.9	75	15.7	16.3
2,2,1	3.2	29.7	25	18.1	17.6
2,2,2	3.2	29.7	50	18.5	16.5
2,2,3	3.2	29.7	75	21.3	22.2
2,3,1	3.2	46.5	25	25.9	31.1
2,3,2	3.2	46.5	50	26.3	28.3
2,3,3	3.2	46.5	75	24.4	25.9
2,4,1	3.2	63.3	25	29.9	31.6
2,4,2	3.2	63.3	50	29.7	31.5
2,4,3	3.2	63.3	75	26.1	28.0
2,5,1	3.2	80.1	25	25.0	25.9
2,5,2	3.2	80.1	50	27.5	29.3
2,5,3	3.2	80.1	75	26.9	28.3
2,6,1	3.2	96.9	25	24.4	21.5
2,6,2	3.2	96.9	50	31.4	32.5
2,6,3	3.2	96.9	75	27.6	28.3
3,1,1	9.2	12.9	25	21.2	26.6
3,1,2	9.2	12.9	50	25.7	28.3
3,1,3	9.2	12.9	75	24.8	26.9
3,2,1	9.2	29.7	25	23.6	25.3
3,2,2	9.2	29.7	50	24.7	26.2
3,2,3	9.2	29.7	75	25.3	26.7
3,3,1	9.2	46.5	25	27.9	30.7
3,3,2	9.2	46.5	50	26.1	28.1
3,3,3	9.2	46.5	75	27.2	28.8
3,4,1	9.2	63.3	25	26.5	29.1
3,4,2	9.2	63.3	50	30.1	30.6
3,4,3	9.2	63.3	75	27.1	27.7
3,5,1	9.2	80.1	25	29.5	32.7
3,5,2	9.2	80.1	50	29.8	32.1
3,5,3	9.2	80.1	75	*	*
3,6,1	9.2	96.9	25	29.5	31.2
3,6,2	9.2	96.9	50	28.2	29.6
3,6,3	9.2	96.9	75	26.5	27.8
4,1,1	12.5	0	25	14.3	21.5
4,1,2	12.5	0	50	20.8	19.6
4,1,3	12.5	0	75	17.0	16.8
4,2,1	12.5	110	25	14.2	21.2
4,2,2	12.5	110	50	26.3	27.1
4,2,3	12.5	110	75	24.8	24.7
5,1,1	15.2	12.9	25	25.3	27.1
5,1,2	15.2	12.9	50	25.6	27.1
5,1,3	15.2	12.9	75	*	*
5,2,1	15.2	29.7	25	26.4	28.0
5,2,2	15.2	29.7	50	26.9	28.2
5,2,3	15.2	29.7	75	22.9	24.0
5,3,1	15.2	46.5	25	23.2	24.9
5,3,2	15.2	46.5	50	24.5	26.3
5,3,3	15.2	46.5	75	24.3	25.9
5,4,1	15.2	63.3	25	31.4	32.4
5,4,2	15.2	63.3	50	29.8	30.9
5,4,3	15.2	63.3	75	29.6	29.8

PUNTO	X (M)	Y (M)	Z (CM)	Θ (%)	
				DRY	WET
5,5,1	15.2	80.1	25	22.2	24.3
5,5,2	15.2	80.1	50	30.2	31.9
5,5,3	15.2	80.1	75	28.2	30.0
5,6,1	15.2	96.9	25	27.1	30.0
5,6,2	15.2	96.9	50	32.7	34.7
5,6,3	15.2	96.9	75	26.6	27.5
6,1,1	21.2	12.9	25	22.2	24.2
6,1,2	21.2	12.9	50	22.6	25.5
6,1,3	21.2	12.9	75	21.1	23.4
6,2,1	21.2	29.7	25	27.8	30.9
6,2,2	21.2	29.7	50	27.2	28.7
6,2,3	21.2	29.7	75	24.7	26.4
6,3,1	21.2	46.5	25	31.9	32.6
6,3,2	21.2	46.5	50	29.1	29.8
6,3,3	21.2	46.5	75	*	*
6,4,1	21.2	63.3	25	28.5	*
6,4,2	21.2	63.3	50	27.0	*
6,4,3	21.2	63.3	75	*	*
6,5,1	21.2	80.1	25	27.4	29.2
6,5,2	21.2	80.1	50	27.5	29.4
6,5,3	21.2	80.1	75	27.4	28.5
6,6,1	21.2	96.9	25	23.6	26.0
6,6,2	21.2	96.9	50	35.4	35.7
6,6,3	21.2	96.9	75	28.7	29.7
7,1,1	25	0	25	14.7	22.3
7,1,2	25	0	50	15.2	15.4
7,1,3	25	0	75	14.2	14.2
7,2,1	25	55	25	16.9	23.6
7,2,2	25	55	50	29.5	31.1
7,2,3	25	55	75	26.8	28.3
7,3,1	25	110	25	15.9	23.7
7,3,2	25	110	50	18.6	18.5
7,3,3	25	110	75	20.5	20.2

Las coordenadas (x, y) del campo se dan en metros, tomando el primer tubo de sonda, (1,1), como coordenada (0,0). La coordenada z representa la profundidad de la medida en centímetros y las dos últimas columnas muestran la humedad volumétrica, la cual se da en tanto por ciento. Debido a las labores de cultivo no se han podido tomar algunos datos, los cuales vienen representados por “*”.

Analizando los datos de la Tabla 1 se observa que no existen excesivas diferencias de humedad entre las dos situaciones, a pesar de que son opuestas. Esto se debe a que los datos fueron tomados en diciembre y enero, meses en los cuales la demanda evaporativa es poco acusada y el rocío juega un papel importante en el balance hídrico. A pesar de ello, se observan ciertas diferencias, las cuales se ven claramente reflejadas en los variogramas correspondientes (Figura 2).

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los valores de los parámetros de los variogramas obtenidos, y en la Tabla 3 se pone de manifiesto la cuantificación de la semivarianza.

Para lograr una mejor comprensión del efecto de la humedad se han agrupado los datos por profundidades para cada uno de los dos estados, dry y wet.

Tabla 2. Valores de los parámetros de los 6 variogramas obtenidos.

	C ₀	C ₀ +C	ALCAN CE	$\frac{C}{C_0 + C}$	r ²	RSS
Dry 25	22,44	51,57	83,81	0,565	0,221	2515
Dry 50	5,79	46,05	83,81	0,87	0,953	72,37
Dry 75	0,58	33,67	83,81	0,983	0,959	42,43
Wet 25	17,13	27,46	83,81	0,376	0,184	388
Wet 50	4,13	57,15	83,81	0,928	0,711	1011
Wet 75	0,53	41,91	83,81	0,987	0,828	319

C₀= Varianza en el origen; C= Varianza estructural;
C₀+C= Varianza total; r²= Coeficiente de regresión;
RSS: Suma reducida de cuadrados

De la simple visualización de la Figura 2, y de las Tablas 2 y 3 se deducen los siguientes hechos y resultados:

Los modelos lineales isotrópicos que se manifiestan en la Figura 2 no tienen meseta porque dicho valor se calcula para un valor arbitrario del alcance.

Tabla 3. Valores de γ(h) para los seis variogramas obtenidos.

Lag	Dist. media	γ(h)					
		Dry 25	Dry 50	Dry 75	Wet 25	Wet 50	Wet 75
1	6	18	6	6	15	5	6
2	15	29	14	6	18	16	7
3	22	35	20	7	22	23	9
4	33	33	18	13	21	21	16
5	40	53	24	11	24	16	12
6	50	47	29	20	29	33	24
7	57	6	37	25	8	65	43
8	66	55	38	27	33	44	31
9	80	71	40	32	30	57	42
10	83	34	47	33	23	46	36

La formula general usada para el cálculo de estos variogramas es: $\gamma(h) = C_0 + [h(C/A_0)]$, siendo:

h = intervalo de distancia

C₀ = Varianza del efecto pepita ≥ 0

C = Varianza estructural ≥ C₀

AO= alcance (al tomarse arbitrariamente no hay meseta)

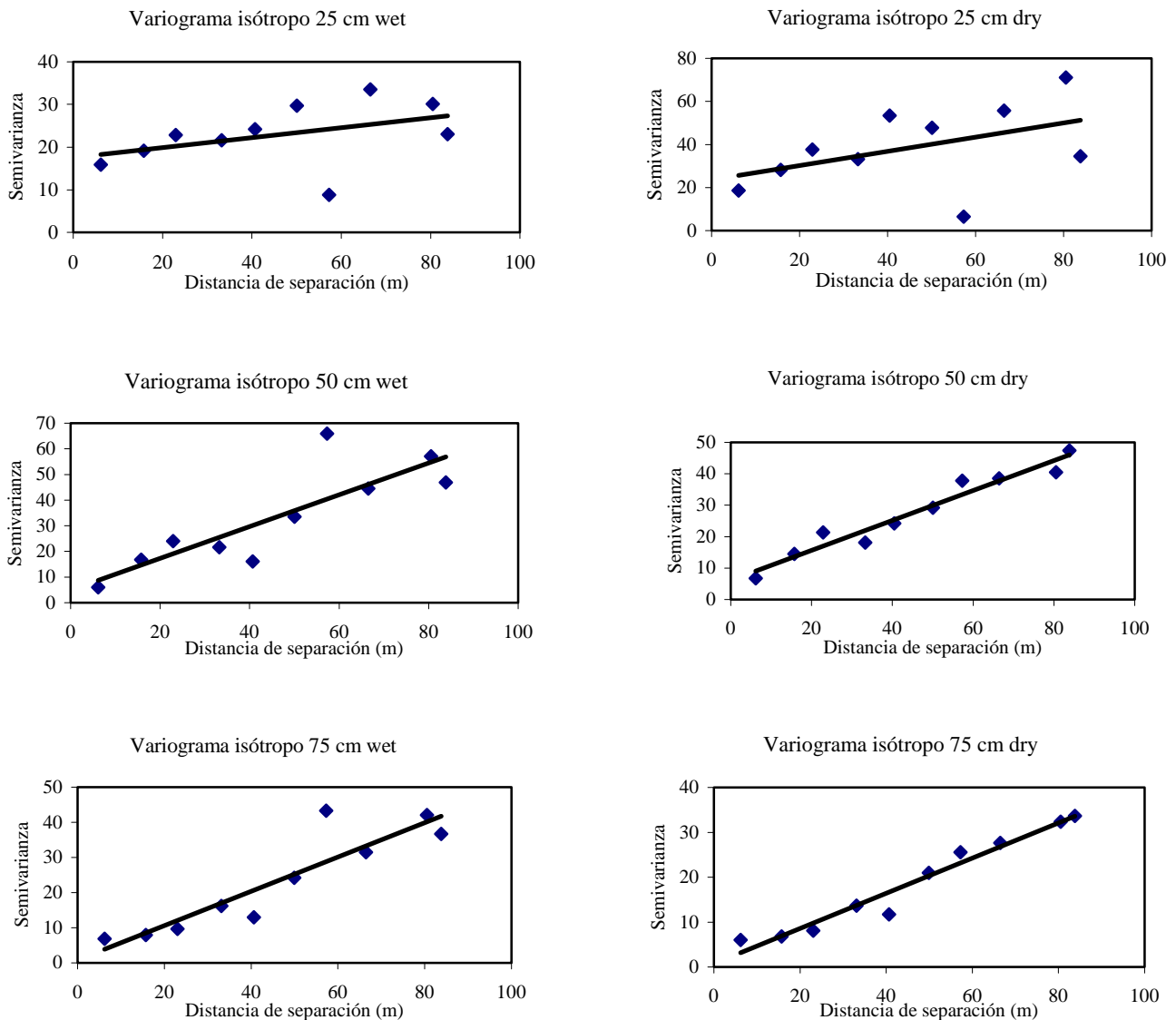


Fig. 2. Variogramas a diferentes profundidades.

4.- Conclusiones.

La ecuación del modelo lineal sería: $\gamma(h) = p \cdot (h)$, siendo p la pendiente en el origen y λ un coeficiente que aquí vale 1. El coeficiente en los modelos monómicos, como es el caso que nos ocupa, oscila entre 0 y 2. Cuando $1 < \lambda < 2$, puede ser indicativo de que exista una deriva en la regionalización de la variable que se estudia (Chica, M.; 1981).

Si existe un efecto pepita se debe (descartando que haya errores en las medidas tomadas) a la existencia de una microregionalización que no ha sido tenida en cuenta al calcular el variograma experimental, debido a que el paso h es demasiado grande o amplio para no detectar dicha regionalización.

Si no hay efecto pepita y el variograma es lineal esto es característico de una variable regionalizada continua, VR,

pero es menos regular que si el variograma fuese de tipo parábola (Figura 2c a 2f), (Chica, M.; 1981).

Los variogramas para lecturas de humedad más superficiales tiene todos un efecto pepita que va desapareciendo a medida que la humedad profundiza. Es decir, las alteraciones y, por consiguiente, la aleatoriedad que los cambios de humedad, manifestados en superficie, se van amortiguando con la profundidad, actuando la matriz del suelo como un regulador de esos cambios y estructurando un fenómeno completamente aleatorio en superficie. Esto era previsible que ocurriese y se manifiesta con claridad en el estudio.

En los dos variogramas superficiales a 25 cm. (Figura 2a y 2b) se observa un cambio brusco a la altura del lag 7. El variograma ha detectado el diseño de la parcela y en esa zona, es decir, a esa distancia, que es la mitad del campo de experiencias, existe un pasillo sin riego, que da lugar a

esa anomalía. Con la profundidad, esta anomalía va desapareciendo

A la luz de los resultados de este estudio se puede hacer una crítica importante, bien al tipo goteros que se ha elegido para la experiencia, los cuales no regulan los caudales para los que estaban especificados o bien al propio sistema de regulación de los riegos, que no controla los volúmenes de agua que se están aplicando, puesto que los cuatro niveles bien diferenciados de humedad que se pretendían conseguir, está lejos de obtenerse.

Agradecimientos. Este trabajo de investigación se está desarrollando en el marco del Proyecto Europeo FAIR5-CT97-3751, "Optimized Production

and Harvesting Technique of the Alternative Crop *Stevia rebaudiana* Bertoni".

Referencias.

- Clarl, I. 1987. *Practical Geostatistics*. Elsevier Applied Science Publishers L.D. 129 pág. . New York.
- Chica, M. 1981 *Aplicaciones de la Geostadística a la Hidrogeología*". Tesis de Licenciatura. Universidad de Granada. España.150 págs.
- Losada Villasante, A. 1992. *Riegos: Fundamentos Hidrológicos Y Métodos De Aplicación*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Orihuela, D.L. 1998. *Technical Annex: Optimized production and harvesting technique of the alternative crop Stevia rebaudiana Bertoni*. 60 págs.
- Samper, S.J.; Carrera, J. 1990. *Geostadística. Aplicaciones a la hidrología subterránea*. 440 págs. Barcelona. España.