



APROXIMACIÓN AL RIEGO POR SITIO ESPECÍFICO. ESTUDIO DE CASO EN LA SABANA DE BOGOTÁ

Viviana Criollo¹; Fabio Leiva²✉; Luis Guerrero³.

¹Ingenio Riopaila –
Castilla, Valle del Cauca

✉ vicriollo@riopaila-
castilla.com

²Universidad Nacional de
Colombia. Bogotá

✉ lguerreroj@unal.edu.co

³Universidad Nacional de
Colombia. Bogotá.

✉ frleivab@unal.edu.co

Palabras clave:
sostenibilidad, ingeniería
agrícola, agricultura de
precisión, variabilidad,
arveja

RESUMEN

*El manejo convencional del riego asume que el suelo es uniforme y por consiguiente la lámina de agua aplicada es igual para todo el lote; esto conlleva ineficiencias en el uso del agua, con efectos ambientales negativos e incrementos en los costos de producción. La exigencia por una agricultura sostenible y competitiva ha conllevado al desarrollo de manejos alternativos, tales como el riego por sitio específico (RSE), en el cual se aplica el riego de manera diferenciada según zonas de manejo con requerimientos homogéneos de agua. El objetivo de esta investigación fue realizar una aproximación al RSE para un cultivo de arveja (*Pisumsativum L.*) en la Sabana de Bogotá. Para ello, se determinaron las propiedades físicas textura, densidad aparente, densidad real y porosidad del suelo, en una grilla regular de 32 puntos, 25 x 25 metros, en un lote del Centro de Investigación Agropecuaria Marengo, Mosquera, Cundinamarca. A los resultados del análisis físico se les aplicó estadística descriptiva y análisis clúster para identificar la variabilidad de estas propiedades y zonificar el lote. De esta manera se obtuvieron tres zonas para la aplicación diferenciada de láminas netas de riego. La investigación ilustra las ineficiencias del manejo convencional del riego e indica que puede existir suficiente variabilidad en lotes pequeños (aproximadamente dos hectáreas) para justificar la evaluación de la aplicación de RSE. Es importante que Colombia avance en el desarrollo y apropiación de esta nueva concepción de la agricultura. Esto aporta a una agricultura más productiva y amigable con el ambiente.*

APPROACH TO SITE-SPECIFIC IRRIGATION. CASE STUDY IN SABANA DE BOGOTA

Key words: sustainability,
agricultural engineering,
precision agriculture,
variability, pea

**SUELOS
ECUATORIALES**
43 (2): 82-86

ISSN 0562-5351

ABSTRACT

*Conventional irrigation assumes soil homogeneity and therefore the depth of water applied is equal to the whole field; this leads to inefficiencies in water use with adverse environmental effects and increases in production costs. The requirements towards sustainable and competitive agriculture have led to the development of alternative water managements such as site-specific irrigation (SRI) in which water is applied accordingly to management zones with homogeneous water requirements. The aim of this research was to undertake an approach to SRI for a pea (*Pisumsativum L.*) crop in Sabana de Bogotá. To do this, the physical properties texture, bulk density, particle density and soil porosity were determined in a regular grid of 32 points, 25 x 25 meters, on a field of the Agricultural Research Center Marengo, Mosquera Cundinamarca. Descriptive statistics and cluster analysis were used to identify the variability of such properties and to define management zones. Three management zones for differential application of net irrigation depths were obtained. The research illustrates the inefficiencies of conventional irrigation management and indicates that there may be sufficient variability in small fields (about 2 hectares) to justify the evaluation of SRI. It is important that Colombia goes forward in the development and adoption of this new conception of agriculture, which may contribute to a more productive and environmentally friendly agriculture.*

INTRODUCCIÓN

El riego es una práctica clave para aprovechar mejor la capacidad productiva del cultivo e incrementar la rentabilidad del negocio agrícola, pero esto debe lograrse a un costo ambiental aceptable. Así, el riego es una herramienta significativa para la producción agrícola moderna, con efectos sobre la sostenibilidad ambiental y económica de la agricultura (Wichelns y Oster, 2006). Usualmente la lámina de agua y el tiempo de riego se deciden a partir de valores promedio de propiedades físicas del suelo, según los requerimientos del cultivo. No obstante, la heterogeneidad de propiedades de los suelos que se encuentra comúnmente en los lotes agrícolas conduce a ineficiencia del riego, generando costos sociales por desperdicio del agua, riesgo de salinización de suelos y de contaminación a través de lixiviados. Actualmente se tiene como alternativa el riego por sitio específico (RSE), donde la lámina y el tiempo de riego se ajustan a las condiciones específicas de zonas homogéneas (King *et al.*, 2006), de manera que se aplique el agua necesaria, en el lugar requerido y en el momento adecuado (Al-Karadsheh *et al.*, 2002; Jobbágy *et al.*, 2011). El RSE se encuentra en desarrollo y hacen falta trabajos experimentales para determinar su viabilidad, pero resultados obtenidos en cultivos de papa, soya, maíz y pasto muestran aumentos en rendimiento y mayor beneficio económico comparado con el manejo tradicional, con ahorros en agua aplicada y otros beneficios ambientales (Hedley y Yule, 2009; King *et al.*, 2006; Nijbroek *et al.*, 2003; Sadler *et al.*, 2002; Sadler *et al.*, 2005; Watkins *et al.*, 2002).

En Colombia apenas se están comenzando a evaluar las bondades del RSE. El objetivo de este estudio es mostrar una aproximación a la aplicación de esta concepción mediante un estudio de caso en un cultivo de arveja (*Pisumsativum* L.) en la Sabana de Bogotá.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el Centro Agropecuario Marengo (CAM) de la Universidad Nacional de Colombia, Mosquera, Cundinamarca, 4°42' latitud norte y 74°14' longitud oeste, a 2.543 m.s.n.m.

El suelo corresponde a las unidades cartográficas *Fluventic Humic Dystrudepts* y *Fluvaquentic Dystrudepts*. Previo a la siembra del cultivo, se tomaron muestras de suelo en una cuadrícula regular georreferenciada con 32 puntos, distanciados 25 m. x 25 m y se determinaron las propiedades físicas, textura y densidad aparente (DA) del suelo. Los métodos de laboratorio fueron Bouyoucos para arcilla (Ar), limo (L) y arena (A), y cápsula con volumen conocido para DA. A los resultados de los análisis se aplicó estadística descriptiva y posteriormente análisis clúster (inercia mínima), usando los programas SPSS versión 15.0 y SAS 9.1. Esto condujo a definir 3 zonas de manejo de riego en cada uno de los lotes.

La lámina neta de riego (LN) por sitio se calculó a partir de la ecuación

$$LN (mm) = \frac{(W_{cc} - W_{pmp})}{100} \times DA \times P_e \times NA$$

Los contenidos gravimétricos de agua a capacidad de campo (W_{cc} , %) y a punto de marchitez permanente (W_{pmp} , %) se definieron a partir de curvas de retención de humedad. Como profundidad efectiva de raíces (P_e) se usó 400 mm, que corresponde al 50% de la profundidad total de raíces de arveja (Maynard y Hochmuth, 1997); el nivel de agotamiento (NA) fue de 0.50 (50%).

Para evaluar las bondades del RSE, se determinó la lámina neta promedio para cada lote (LNP), a partir de una única muestra tomada en una cajuela (práctica convencional para definir la lámina de riego), y se comparó con las láminas calculadas por sitio específico (LNSE). Igualmente, a partir de las LNSE, se calculó una lámina promedio por zona (LNPZ) y se comparó con LNP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de estadística descriptiva para el lote 7 (tabla 1), mostraron variabilidad baja ($CV < 12$) para DA y A, y variabilidad media ($12 > CV < 60$) para Ar y L (Warrick y Nielsen, 1980). En el lote 8 (tabla 1), todas las variables tuvieron variabilidad baja. La textura depende de la naturaleza de la roca madre y de la acción e intensidad de los factores de formación del suelo (Brady y Weil, 1999), por ende, su variabilidad depende principalmente de factores naturales antes que antrópicos. La DA se ve afectada

especialmente por prácticas de manejo del suelo, particularmente aquellas referidas a la mecanización agrícola.

Exceptuando la DA en el lote 8, las demás variables tuvieron un comportamiento razonablemente normal, según se deduce de la similitud entre media y mediana, y de los valores de asimetría y curtosis (<1.0).

Tabla 1. Análisis estadístico descriptivo para variables de suelo de los lotes 7 y 8 del CAM

	LOTE 7				LOTE 8			
	DA	Ar	L	A	DA	Ar	L	A
	g cm ⁻³		%		g cm ⁻³		%	
Media	1.11	38.28	30.41	31.32	1.13	40.01	28.76	31.22
Mediana	1.10	39.55	30.00	31.30	1.12	39.70	28.70	31.55
Varianza	0.01	26.61	16.03	11.70	0.01	16.30	9.92	13.19
Mínimo	0.88	27.70	22.00	25.50	0.90	29.70	21.60	24.20
Máximo	1.28	45.70	40.00	40.30	1.57	48.10	34.70	40.80
Rango	0.40	18.00	18.00	14.80	0.67	18.40	13.10	16.60
Asimetría	-0.33	-0.59	0.53	0.44	1.52	-0.20	-0.09	0.26
Curtosis	0.92	-0.66	0.86	0.06	6.10	0.24	-0.26	0.52
CV (%)	7.63	13.48	13.16	10.93	10.39	10.09	10.95	11.63

El análisis clúster con base en las variables Ar y DA condujo a dividir el lote en tres zonas homogéneas (figura 1), con diferencias significativas estadísticamente entre sí (tabla 2). En ambos lotes, el clúster 1 (zona 1) agrupó valores altos de DA y Ar, el clúster 2 (zona 2) asoció valores medios, y el clúster 3 (zona 3), valores bajos de dichas propiedades.

El rango de valores de DA está acorde con Alvarado y Forsythe (2005), quienes evaluaron la variabilidad de esta propiedad en varios órdenes de suelo, encontrando un rango entre 0.67 g cm⁻³ y 1.79 g cm⁻³ para los Inceptisoles, señalando que los Dystrudepts por ser los Inceptisoles más evolucionados tienen los mayores valores de DA.

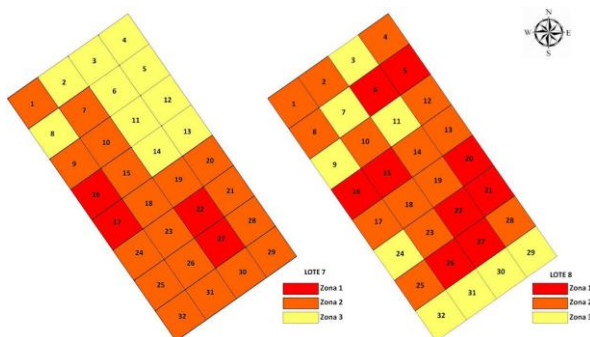


Figura 1. Zonificación para manejo de riego en lotes 7 y 8 del CAM

Tabla 2. Análisis estadístico descriptivo de variables de suelo para la zona 1, 2 y 3 de los lotes 7 y 8 del CAM

	LOTE 7				LOTE 8			
	Da	Ar	L	A	Da	Ar	L	A
	g cm ⁻³		%		g cm ⁻³		%	
Zona 1	1.24 a	44.05 a	26.82 a	29.12 a	1.22 a	44.17 a	27.61 a	28.21 a
Zona 2	1.11 b	40.64 b	28.98 a	30.37 a	1.14 a	39.53 b	28.31 a	32.16 b
Zona 3	1.04 c	31.7 c	34.4 b	33.90 b	1.01 b	36.61 b	30.60 a	32.79 b

La LNP fue de 31.81 mm y 23.44 mm para los lotes 7 y 8, respectivamente, mostrando claras diferencias entre estos dos, a pesar de ser lotes contiguos y con suelos similares.

De otro lado, al comparar esos promedios por lote, que sería lo aplicado en un sistema convencional de riego, frente a las LNSE se observan grandes contrastes (figura 2), confirmando la variabilidad de las propiedades físicas y mostrando que la cantidad de agua aplicada a partir de la LNP puede estar sobredosificada o sub-dosificada respecto a la que realmente requiere el cultivo. Este es el precio de la imperfección. En el lote 7 en 28 puntos se estaría aplicando 3.18 mm de agua más que la necesaria por cada riego, lo cual equivale a 31.8 m³ha⁻¹ en cada oportunidad.

Por otro lado en 4 puntos, la LNP estaría por debajo de la LNSE, por lo tanto, se estaría dejando de aplicar en promedio 10.43 mm de agua, por riego, equivalente a un déficit de 104.3 m³ha⁻¹ en cada aplicación (figura 2). Así mismo, en el lote 8, en todos los puntos la LNP está por debajo de las LNSE, lo que conduciría a aplicar en promedio un 44.78% del agua necesaria para el cultivo, generándose un déficit de lámina promedio de 104.9 mm (104.9 m³ha⁻¹) por cada riego. Obviamente esto conduce a repercusiones negativas en la fisiología del cultivo, en su producción y en la rentabilidad del mismo.

La comparación de las LNP con los promedios por zona (LNPZ) confirma lo expuesto (figura 3 y tabla 3). Se evidencia una importante variabilidad entre zonas y entre lotes, y grandes diferencias entre la LNP y la LNPZ. Esto evidencia la importancia de la zonificación a partir de la variabilidad de propiedades físicas de suelo, aun en lotes pequeños, con el fin de hacer uso eficiente del agua y de los recursos disponibles (Schepers *et al.*, 2004).

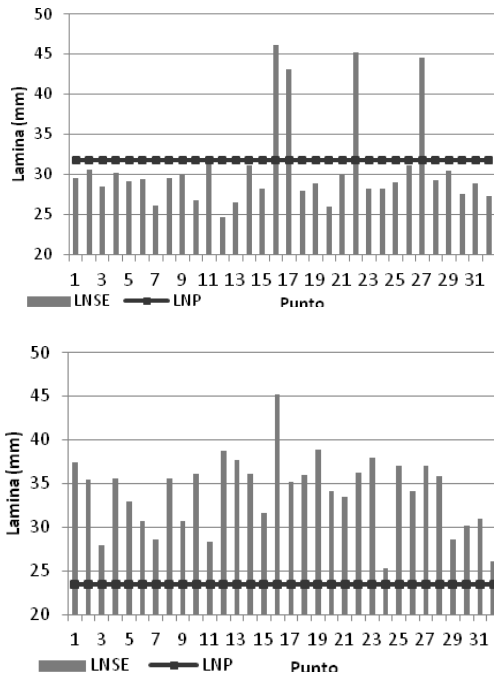


Figura 2. Comparación de láminas de riego promedio (LNP) y por sitio específico (LNSE) en lotes 7 y 8 del CAM

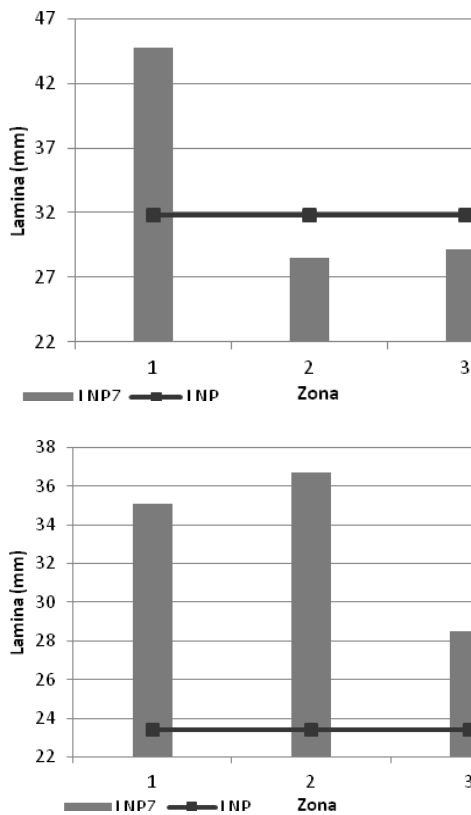


Figura 3. Comparación de la LNP con el promedio de LNPZ para las zonas 1, 2 y 3 de los lotes 7 y 8 del CAM (nota: cambiar LNP7 por LNPZ, en las dos graficas de la figura 3)

Tabla 3. Comparación de láminas de riego promedio por zona (LNPZ) y por sitio específico (LNSE) para 3 zonas definidas en lotes 7 y 8 del CAM

	ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3	
	LNPZ mm	% Dif	LNPZ mm	% Dif	LNPZ mm	% Dif
LOTE 7	44.75 a	-40.69 a	28.53 b	10.32 b	29.19 b	8.49 b
LOTE 8	35.08 a	-49.65 a	36.69 a	-56.53 a	28.51 b	-21.64 b

CONCLUSIONES

La metodología planteada para la aplicación de RSE en un cultivo de arveja en la Sabana de Bogotá, usando como parámetro de comparación las láminas de riego, resulta ilustrativa de las ineficiencias del manejo convencional, el cual conduce a que ciertas áreas del lote reciban exceso de agua, mientras en otras la cantidad aplicada sea deficitaria.

El estudio muestra que aún en lotes pequeños (2 hectáreas) puede existir considerable variabilidad en las propiedades físicas de los suelos que justifica evaluar la implementación de sistemas RSE.

Este tipo de trabajo debe replicarse en diferentes suelos y cultivos. Así se puede desarrollar y apropiar esta nueva concepción que permite avanzar hacia una agricultura más productiva y amigable con el ambiente en nuestro país.

REFERENCIAS

- AL-KARADSHEH E, SOURELL E, KRAUSE R (2002) Precision Irrigation: New strategy irrigation water management. En: Conf. Int. Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development. Deutscher Tropentag. Witzenhausen, p. 9–11.
- ALVARADO A, FORSYTHE W (2005) Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1): 85-94.
- BRADY N, WEIL R (1999) The nature and properties of soils. New York: Prentice Hall. 881 p.
- HEDLEY CB, YULE I (2009) Soil water status mapping and two variable-rate irrigation scenarios. *Precision Agriculture* 10: 342–355.
- JOBBÁGY J; SIMONÍK J, FINDURA P (2011) Evaluation of efficiency of precision irrigation for potatoes. *Res. Agr. Eng.* 57: S14–S23.
- KING BA, STARK JC, WALL RW (2006) Comparison of site-specific and conventional

- uniform irrigation management for potatoes. American Society of Agricultural and Biological Engineer. 22(5): 677-688.
- MAYNARD D, HOCHMUTH G (1997) Knott's Handbook for Vegetable Growers. New York: Wiley. 245 p.
- NIJBROEK RG, HOOGENBOOM G, JONESJW (2003) Optimizing irrigation management for a spatially variable soybean field. *Agricultural Systems* 76(1): 359-377.
- SADLER E, CAMP C, EVANS D, MILLEN J (2002) Spatial variation of corn response to irrigation. *Transactions of the ASAE* 45(6): 1869-1881.
- SADLER R, EVANS G, STONE K, CAMP C (2005) Opportunities for conservation with precision irrigation. *Journal of Soil and Water Conservation* 60 (6): 371 -379.
- SCHEPERS A, SHANAHAN J, LIEBIG M, SCHEPERS J, OHNSON S, LUCHIARI A (2004) Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agronomy Journal* 96: 195–203.
- WARRICK AW, NIELSEN DR (1980) Spatial variability of soil physical properties in the field. En: Hillel, D (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press. p. 319-344.
- WATKINS K, LU Y, HUANG W (2002). A case study of economic and environmental impact of variable rate nitrogen and water application. *Agricultural Engineering Journal* 11(4): 173-185.
- WICHELNS D, OSTER JD (2006) Sustainable irrigation is necessary and achievable, but direct costs and environmental impacts can be substantial. *Agricultural Water Management* 86: 114 -127.