

Respuesta del cultivo de cúrcuma (*Curcuma longa*) a la aplicación de biofertilizante líquido estimulado electromagnéticamente y de agua de riego estimulada magnéticamente

Jhony Armando Benavides Bolaños¹



RESUMEN

Un campo magnético mejora las características de crecimiento de las plantas (Maheshwari & Grewal, 2009), la funcionalidad de las raíces (Aladjadjiyan, 2010), además, tiene una marcada influencia en la composición química de las plantas (Radhakrishnan & Kumari, 2012), afecta la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Maheshwari & Grewal, 2009) y activa las

enzimas de las plantas (Alikamanoglu & Sen, 2011) influyendo, por tanto, en su temprana producción y mejora de rendimiento. Consecuentemente, el efecto de campo magnético puede ser usado como una alternativa a los métodos químicos de tratamiento de plantas para mejorar la eficiencia en la producción. El objetivo de esta investigación fue el de Evaluar la respuesta del cultivo de la cúrcuma (*C. longa*) a la aplicación de la tecnología de

¹ Ingeniero agrícola. Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales y de la Tierra ILAMA - Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Facultad de Ingenierías - Escuela de Recursos Naturales y del Ambiente – EIDENAR. Programa de ingeniería agrícola – Universidad del Valle. Cali, Colombia. Dirección Correspondencia: jhony.benavides@correounivalle.edu.co

estimulación magnética de agua de riego y estimulación electromagnética sobre bio-fertilizante líquido bajo condiciones de invernadero. Los resultados indican que la tecnología de magnetización de agua de riego y la estimulación electromagnética de bio-fertilizante líquido presentó diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo sin estimular.

PALABRAS CLAVE

Bio-magnetismo, agua de riego, bio-fertilizante, cúrcuma (*C. longa*), agricultura.

ABSTRACT

A magnetic field improves the growth characteristics of plants (Maheshwari & Grewal, 2009), the functionality of the roots (Aladjajiyan, 2010) also has a marked influence on the chemical composition of plants (Radhakrishnan & Kumari, 2012), affecting nutrient availability in soil (Maheshwari & Grewal, 2009) and activates plant enzymes (Alikamanoglu & Sen, 2011) influencing therefore in its early production and performance improvement. Consequently, the effect of magnetic field can be used as an alternative to chemical methods of treating plants to improve production efficiency. The objective of this research was to evaluate the response of the crop of turmeric (*C. longa*) the application of the technology of magnetic stimulation of irrigation water and electromagnetic stimulation on liquid bio-fertilizer under greenhouse conditions. The results indicate that the technology of magnetization of irrigation water and the electromagnetic stimulation of liquid bio-fertilizer statistically significant differences compared to the control without stimulating.

KEYWORDS

Bio-magnetism, irrigation water, bio-fertilizer, turmeric (*C. longa*), agriculture.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la producción agrícola se desarrolla bajo un manejo convencional que incluye tecnologías y técnicas de producción poco eficientes que han contribuido a la disminución de la productividad, calidad de los productos agrícolas y llevado a la degradación de los recursos naturales agua y suelo. Es por tanto, necesario implementar técnicas limpias y eficientes que permitan mejorar las condiciones de producción y contribuyan a la sostenibilidad del medio ambiente.

La tecnología del agua magnetizada ha sido desarrollada y subsecuentemente utilizada en el campo de la agricultura en muchos países como Australia, Estados Unidos, China y Japón (Hozayn M. *et al.*, 2011). A pesar de ser una tecnología con enorme potencial, no ha sido explorada en Colombia con rigor.

Por otra parte, en Colombia, el cultivo de la cúrcuma se está configurando como un producto promisorio con altas posibilidades de exportación, debido a la demanda a nivel mundial para su uso como condimento, colorante natural de textiles, alimentos, cosméticos y como materia prima en la industria farmacéutica y por la calidad de la cúrcuma producida en el país.

El uso de la tecnología de estimulación magnética sobre agua de riego y electromagnética sobre bio-fertilizantes podría convertirse en una práctica agrícola amigable con el medio ambiente a la vez que podría tener la potencialidad de aumentar el

rendimiento y producción de un cultivo tan demandado como lo es el de la cúrcuma.

2. METODOLOGÍA

Localización: Granja experimental ubicada a 3° 22' 33,55" N y 76° 31' 58,43" O y Laboratorio de Física Ambiental, ambos ubicados en la Universidad del Valle, sede Meléndez. El suelo proviene de la vereda "El Limonar" ubicada a 3° 57' 31,85" N 76° 25' 19,75" O en el Municipio de Dagua, Valle del Cauca.

Prueba preliminar: Se analizó el efecto de la recirculación del bio-fertilizante sobre la población de microorganismos.

Fase I: Se determinó la mejor intensidad de campo electromagnético y tiempo de exposición para BL teniendo como variable de respuesta la actividad microbiana.

Fase II: Se evaluaron los mejores tiempos y las mejores intensidades de EM obtenidos en la fase I sobre BL bajo condiciones de invernadero

Agua magnetizada: Se evaluó el efecto de la estimulación de AR con un campo magnético constante ($B = 156,5 \text{ mT}$) a 3 tiempos de exposición.

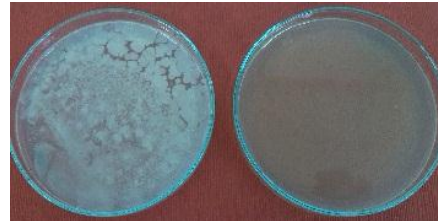
Variables de respuesta: longitud del tallo (cm), número de rizomas, número de macollos, masa fresca (g) y masa seca (g).

Análisis estadístico: El análisis de varianza se realizó en Excel® 2013 y fue verificado con el programa de validación estadística Minitab® versión 16. La prueba normalidad y el test de Tukey con un nivel de significancia del 5% se realizó en Minitab® versión 16. La validación de los supuestos varianza homogénea e independencia fueron

evaluados con el software SPSS® versión 20, ambos con un nivel de confianza del 95%.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

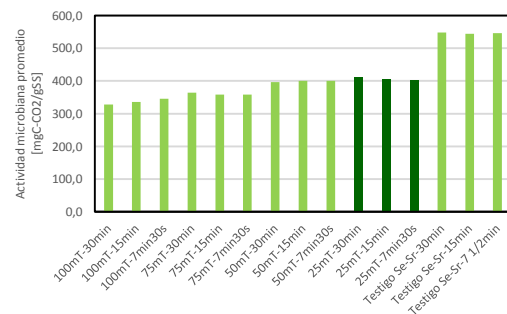
Prueba preliminar:



Fotografía 1. Población de microorganismos aerobios (izquierda); población nula de microorganismos anaerobios (derecha)

La fotografía 1 indica que la población microbiana resulta afectada por el proceso de recirculación. Esto podría explicarse debido a que la motobomba provoca una inyección agresiva de aire, imposibilitando el desarrollo porcentaje significativo de los microorganismos anaerobios, pero al parecer, sin afectar a los microorganismos aerobios.

Fase I:



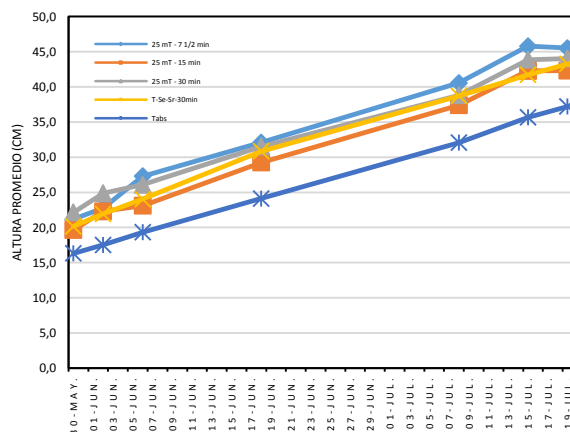
Interacción de intensidad versus tiempo de exposición

Gráfica 1. Resultados prueba de actividad microbiana

De la gráfica 1 se observa que los testigos sin estimular y sin recircular cuentan con un mayor nivel de actividad microbiana lo que puede atribuirse a la mayor población

microbial (adicionando los microorganismos anaerobios que no pasaron por el sistema de recirculación). No obstante, cabe la pregunta *¿qué reacción tendrá una planta a la aplicación de biofertilizante disuelto en agua luego de pasar por un campo sobre el suelo donde se está desarrollando tal planta?* Hay que considerar la dinámica planta-solución y no pensar que los resultados de la prueba de actividad microbiana explican de manera totalitaria esa dinámica hipotéticamente positiva, de aquí que se justifique ejecutar la fase II con una planta indicadora, en este caso, la cúrcuma.

Longitud del tallo (cm):



Gráfica 2. Resultados de altura del tallo en centímetros versus tiempo para la fase II

De las 18 fechas bajo las cuales se midió la longitud en centímetros del tallo (gráfica 2) fueron descartadas 7 por no presentar diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), además, fueron también descartadas 4 fechas adicionales por no haber pasado la validación de varianzas homogéneas con la prueba de Levene. Las 7 fechas restantes con los valores de longitud que pasaron todas las validaciones estadísticas para los 3 meses de prueba muestran que el

tratamiento 1 (25 mT-7 1/2 minutos) fue el mejor para 6 de las 7 fechas con diferencias estadísticamente significativas, mientras que el tratamiento testigo (biofertilizante líquido disuelto en agua sin estimular y sin recircular -estático- durante 30 minutos) y el testigo absoluto (agua normal del sistema de riego alterno) fueron para todos los días de medición los que tuvieron asociados la menor longitud de tallo.

Es interesante observar de la gráfica 4 que el testigo estático (sin recircular y sin estimular) con la carga total de microorganismos, anaerobios y aerobios, fue superado por el tratamiento 1 (25 mT-7 1/2 min), en el mes de julio fue superado también por el tratamiento 3 (25 mT-30 min) y para mediados de julio fue superado por el tratamiento 2 (25 mT-15 min). En cierta medida este comportamiento se puede explicar debido a que si bien la solución aplicada no contaba con un alto porcentaje de microorganismos anaerobios conforme pasó el tiempo de recirculación, el agua que hacía parte de esta solución sí quedó estimulada a esa baja intensidad teniendo así todas las características benéficas revisadas con anterioridad, pero al parecer, el efecto sobre los microorganismos no fue positivo o tuvo poco impacto.

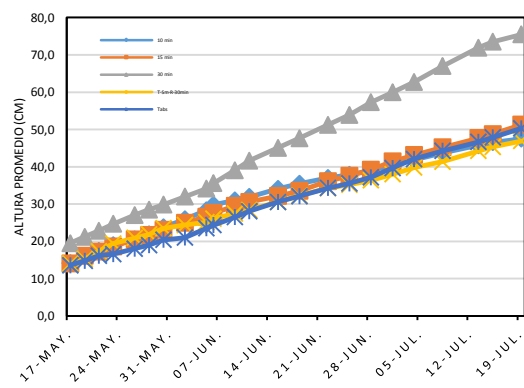
El problema radica en lo expuesto en la fase I, parece que las altas intensidades usadas (50, 75 y 100 mT) redujeron la actividad microbiana (ver gráfica 1) la cual solo mejoró a la más baja intensidad trabajada, finalmente, como se expondrá más adelante, a una intensidad mayor para agua normal los resultados son significativos para las variables de respuesta analizadas, lo cual no se podría lograr con biofertilizante disuelto en agua porque afectaría negativamente la población microbiana. Ahmed (2013) indica que los campos electromagnéticos han sido

reportados por su influencia tanto en la activación de iones como con la polarización de los dipolos en la célula viva. Los campos electromagnéticos pueden alterar la estructura y función de la membrana plasmática de los microorganismos de manera negativa.

No obstante lo anterior, existen investigaciones que indican que a bajas intensidades de campo se pueden lograr resultados positivos, Zúñiga et al. (2010) estimularon una mezcla de bio-fertilizantes líquidos (Multibiol, Biosol New, Desalt, Biocompost y micorrizas) sometida a un campo electromagnético de 4 mT durante 2 horas para ser aplicado a un cultivo de maíz, apreciando mayor número y tamaño de mazorcas con este tratamiento que además aumentó significativamente la biomasa producida por el grano de maíz, los autores concluyeron que la aplicación de biofertilizante líquido estimulado electromagnéticamente no sólo tiene los beneficios de los procesos biológicos de los microorganismos en el enriquecimiento del suelo, sino que también acelera este proceso con la aplicación de campos electromagnéticos para aumentar la eficacia y reducir el tiempo de mejoramiento del suelo, esto se debe a que al aplicar campos electromagnéticos alternos al sistema de fertirriego se disminuye la tensión superficial de la solución salina en el suelo, aumentando la solubilidad de las sales y mejorando los procesos dinámicos de infiltración y movilidad de iones (Mezentsev, 1981; CNEA, 1997, citados por Zúñiga et al, 2010), lo cual probablemente explique el mejor comportamiento del biofertilizante disuelto en agua estimulado con respecto al testigo.

En todo caso los tratamientos 1 y 2 siempre estuvieron casi a la par de los resultados del

testigo, pero lo superaron por poco. El testigo absoluto obtuvo las menores alturas siendo superado por los 4 tratamientos restantes. Los tratamientos 1 y 3 produjeron respectivamente alturas de tallo un 30.1% y 29.3%, más altos que el testigo absoluto. Con respecto al testigo sin recircular y sin estimular durante 30 minutos, los tratamientos 1 y 3 produjeron respectivamente alturas de tallo 6.6% y 5.9% superiores.



Gráfica 3. Resultados de altura del tallo en centímetros versus tiempo con agua magnetizada a un campo magnético constante (B=156.5 mT)

De las 26 fechas analizadas (gráfica 3), 1 no pasó la validación de Tukey ($\alpha=0.05$) y 2 más no pasaron la validación de varianzas homogéneas, por tanto, solo fueron consideradas para análisis 23 fechas bajo las cuales se tomaron mediciones de longitud del tallo que además pasaron la prueba de independencia y la prueba de normalidad de los datos.

Luego de refinar las fechas para los 3 meses que duró el experimento, se observó que para las 23 fechas a analizar el mejor correspondió al tratamiento 3 (30 minutos) el cual estuvo en todos los casos para los 3 meses en la mejor agrupación realizada por la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Para el mes de

mayo las menores alturas fueron generadas, en orden de mayor a menor repetición para las 9 fechas de medición: el tratamiento 1 (10 minutos), 2 (15 minutos), el testigo sin magnetizar y recirculado durante 30 minutos y el testigo absoluto (agua normal del sistema de riego alterno). En el mes de junio se tomaron 10 fechas de medición, en este mes las menores alturas correspondieron inicialmente al testigo absoluto (3 de 10 fechas), se notó que para este mes los tratamientos 1, 2, testigo sin magnetizar y recirculado durante 30 minutos y el testigo absoluto presentaron una mejoría en los resultados de alturas con respecto al mes de mayo, probablemente debido a que la cúrcuma comenzó su etapa de rápido crecimiento y muchas de las plántulas comenzaron a tener diferencias de altura menos marcadas pero aún significativas, esto ocurrió también para las 6 fechas de medición analizadas para el mes de julio.

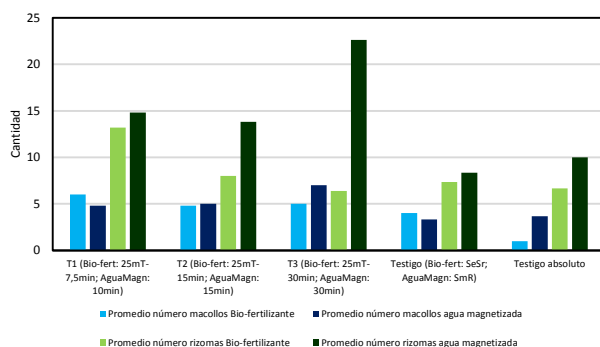
El tratamiento 3 superó en promedio en un 48.9% las alturas de tallo con respecto al testigo absoluto, mientras que con respecto al testigo sin magnetizar recirculado durante 30 minutos, el tratamiento 3 lo superó en un 44.9%. De los resultados expuestos, se podría afirmar que de los 3 tiempos de exposición, es el mayor bajo el cual se encuentran las alturas de tallo superiores, con respecto a esto, Hilal et al. (2013) indican que el tratamiento magnético de agua para riego agrícola dependerá de la intensidad del campo magnético, la composición de las sales disueltas y la velocidad en que cruza la fuente del campo.

Finalmente, y como se explicó con anterioridad, la cúrcuma consume altas cantidades de K, por tanto, el campo magnético podría ayudar a hacer más disponible este elemento para la planta, mejorando su estado (incluyendo altura,

vigor, rendimiento, etc.), a este respecto, Hilal et al. (2013) encontró que el usar agua de riego magnetizada resultó en un incremento significativo en las concentraciones de K sobre el suelo en comparación al testigo. La mayor concentración de K fue encontrada por este investigador en suelos a una profundidad de 15 a 30 cm mientras que los niveles menores de concentración fueron encontrados en la superficie del suelo (0-5 cm). La concentración de K en el extracto de solución del suelo fue significativamente mayor después de lixiviarse con diferente agua magnetizada comparada con agua normal a todas las profundidades del suelo investigadas (Hilal et al., 2013). El K incrementa la eficacia de la hoja para elaborar azúcares y almidón, aumenta el tamaño y masa de los frutos, complementa la acción del nitrógeno mejorando el tamaño de la hoja y su eficacia para fotosintetizar, mantiene la permeabilidad de la célula, ayuda al transporte de carbohidratos, mejora la movilidad del hierro, aumenta la resistencia de la planta a las enfermedades y ayuda a producir tallos rectos y fuertes reduciendo la acamada, entre otros (Tamhane, 1978, citado por Vargas, 2015).

Comparación experimento fase II vs AR magnetizada para número de rizomas y macollos:

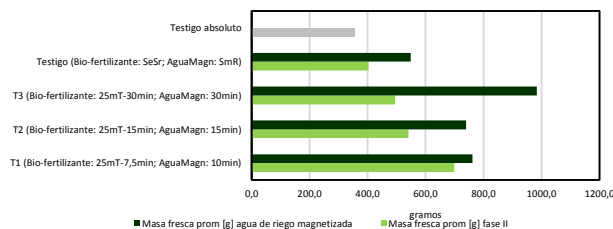
Es interesante observar que para el tratamiento 3 (biofertilizante estimulado durante 30 minutos y agua magnetizada durante 30 minutos) en la gráfica 4, el promedio de número de rizomas para el agua magnetizada supera más de 3 veces el promedio de rizomas obtenido con el biofertilizante estimulado, esto se podría deber a la diferencia de intensidades asociadas a cada experimento.



Gráfica 4. Comparación experimentos para número de rizomas y macollos. Se Sr: sin estimular sin recircular; Sm R: sin magnetizar recircularado

Masa fresca (g):

La prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) indicó que la mejor masa fresca correspondió al tratamiento 3 (30 minutos) el cual superó en promedio al testigo absoluto y al testigo sin magnetizar recircularado durante 30 minutos en 101.1% y 79.5% respectivamente (gráfico 5).



Gráfica 5. Comparación experimentos para masa fresca (g). Se Sr: sin estimular sin recircular; Sm R: sin magnetizar recircularado

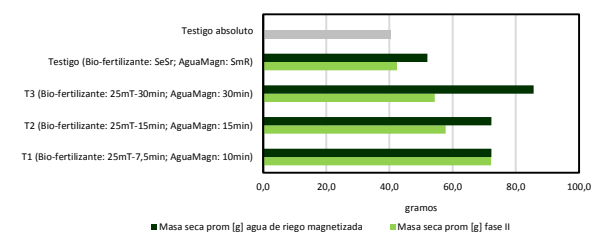
Comparando los resultados obtenidos de agua magnetizada con biofertilizante estimulado se tiene que la mejor masa fresca promedio se obtuvo en el tratamiento 3 para agua magnetizada con un tiempo de exposición de 30 minutos llegando casi a doblar la masa fresca promedio obtenida para el biofertilizante durante 30 minutos a 25 mT (ver gráfica 5).

De la gráfica 5 se observa que la masa fresca promedio del tratamiento 3 para agua

magnetizada fue superior a todos los tratamientos dentro del mismo experimento y comparada con los resultados obtenidos en la fase II para biofertilizante estimulado. Es interesante observar de la gráfica 13 que la masa fresca promedio del tratamiento 1 para la fase II es parecida al tratamiento 1 con agua magnetizada probablemente debido a que coincidió el mejor resultado para biofertilizante estimulado (poco tiempo de recirculación) con el menor tiempo de exposición al campo magnético. En todo caso, el promedio de masa fresca del testigo absoluto para la fase II y para agua magnetizada fue el menor (barra gris gráfico 5).

Masa seca (g):

La prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) indicó que la mejor masa seca correspondió al tratamiento 3 (30 minutos) la cual superó en promedio al testigo absoluto y al testigo sin magnetizar recircularado durante 30 minutos en 54.7% y 64.8% respectivamente (ver gráfico 6).



Gráfica 6. Comparación experimentos para masa seca (g). Se Sr: sin estimular sin recircular; Sm R: sin magnetizar recircularado

De la gráfica 6 se observa que al comparar los resultados de masa seca promedio de la fase II con los de agua magnetizada, se tiene que el tratamiento 3 para esta última durante 30 minutos cuenta con los mejores resultados en todos los casos para ambos experimentos. Esto se debe, probablemente a la mejor interacción resultante de la intensidad de campo y tiempo de exposición

del agua magnetizada sobre la dinámica suelo-planta en comparación al menor impacto generado por la baja intensidad de campo del biofertilizante estimulado disuelto en agua debido a su posible influencia negativa sobre los microorganismos presentes en la solución para la fase II.

Resultados similares fueron obtenidos por Jiménez (2012) al estimular biofertilizante líquido de manera estática con 16 mT sobre ají tabasco, encontrando que las variables de respuesta analizadas (producción de biomasa en frutos, número de frutos, masa de frutos maduros, longitud de fruto) no aumentaron de manera estadísticamente significativa con respecto al tratamiento control. Jiménez (2012) recomienda finalmente estimular agua de riego por medio de un recirculador similar al usado en este trabajo de investigación con campos mayores a 60 mT.

Ahmed (2013) sugiere que el tratamiento magnético del agua probablemente altera algo en ésta, hace al agua más funcional dentro del sistema vegetal y por lo tanto influencia el crecimiento de la planta a nivel celular. El tratamiento magnético de agua puede afectar la producción de fitohormonas llevando a la mejoría de la actividad celular y por ende, al crecimiento óptimo de la planta.

4. CONCLUSIONES

El mejor resultado obtenido sobre las variables de respuesta analizadas para agua de riego magnetizada se produjo a un tiempo de exposición de 30 minutos con un campo magnético constante de 156,5 mT.

Antes de que esta tecnología sea recomendada a los agricultores es crítico entender el mecanismo y los procesos que afectan el rendimiento y la productividad de

agua con el tratamiento magnético, las condiciones bajo las cuales trabajará y la extensión efectiva en condiciones de campo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed I. M. (2013). Effects of magnetized low quality water on some soil properties and plant growth. Soil and Water Department, Faculty of Agriculture, Suez Canal University, Ismailia, Egypt. International Journal of Research in Chemistry and Environment, 3(2), 140-147.

Aladjadjiyan A. (2010). Influence of stationary magnetic field on lentil seeds. International Agrophysics, 24, 321-324.

Alikamanoglu S. & Sen A. (2011). Stimulation of growth and some biochemical parameters by magnetic field in wheat (*Triticum aestivum* L.) tissue cultures. African Journal of Biotechnology, 10(53), 10957-10963.

Hilal M. H., El-Fakhrani Y. M., Mabrouk S. S., Mohamed A. I. & Ebead B. M. (2013). Effect of magnetic treated irrigation water on salt removal from a sandy soil and on the availability of certain nutrients. International Journal of Engineering and Applied Sciences, 2(2), 36-44.

Hozayn M., Abd El Monem A. A., Abdul Qados A.M.S. & Abd El-Hameid E.M. (2011). Response of some food crops to irrigation with magnetized water under green house condition. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12), 29-36.

Jiménez, C. (2012). Evaluación de tecnologías de estimulación magnética aplicadas al manejo del cultivo del ají (*Capsicum frutescens*). (Informe final Programa Jóven Investigador. CONVOCATORIA COLCIENCIAS. Plan de trabajo P-20100292). Grupo de Investigación

en Ciencias Ambientales y de la Tierra ILAMA. Universidad del Valle, sede Meléndez, Cali (Valle del Cauca).

Maheshwari B. L. & Grewal H. S. (2009). Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, 96(8), 1229-1236.

Radhakrishnan R. & Kumari, B. D. R. (2012). Pulsed magnetic field: A contemporary approach offers to enhance plant growth and yield of soybean. *Plant Physiology and Biochemistry*, 51, 139-144.

Vargas J. (2015). Determinación de curvas de actividad microbiana de dos órdenes de suelos con aplicación de vinaza y lombricompost (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, sede Meléndez, Cali (Valle del Cauca).

Zúñiga O., Osorio J., Cuero R. & Peña J. (2011). Evaluación de tecnologías para la recuperación de suelos degradados por salinidad. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(1), 5769-5779.