



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 Bolaños

UNIVERSIDAD DEL VALLE

Escuela de Recursos
Naturales y del Ambiente –

EIDENAR

Grupo de investigación en
Ciencias Ambientales y de
la Tierra – ILAMA

Programa de Ingeniería
Agrícola

2015

**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 Bolaños

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrícola

DIRECTOR

Orlando Zúñiga Escobar Ph. D.
Profesor titular Universidad del Valle

CO-DIRECTOR

Cristian Orlando Jiménez Alfaro
Ingeniero agrícola

Universidad del Valle

Facultad de Ingenierías

Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente – EIDENAR

Ingeniería Agrícola

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN:

DIRECTOR

JURADO

JURADO

“La Facultad y los Jurados de tesis no serán responsables de las ideas emitidas por el o los autores de la misma”.

Artículo 24, Resolución 04 de 1974

El presente trabajo de tesis hace parte de los resultados del proyecto “Desarrollo de un sistema agro-industrial rural competitivo en una bio-región del Valle del Cauca”, ejecutado por el Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales y de la Tierra ILAMA de la Universidad del Valle y financiado por el Sistema General de Regalías.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, a mis hermanos, a mi segunda familia, Gladis, John, Andrés y Juan Carlos y a mi prometida Elizabeth, todos ellos por ser la fuente inagotable de amor y comprensión sin la cual no hubiese llegado a ningún lado.

Agradezco el apoyo incondicional de los ingenieros Cristian Jiménez, Mauricio Gutiérrez, Daniel Ospina, Meldybenson Campo y a mis compañeros Yesid Castaño y Claudia Gutiérrez.

Agradezco al profesor Orlando Zúñiga por creer en mi cuando pocos lo hacían y por darme la oportunidad de trabajar en el Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales y de la Tierra - ILAMA.

Agradecimiento especial al señor Everth Hernández por su ayuda constante y desinteresada en la construcción de la casa de malla y por todos los conocimientos prácticos que tuvo la paciencia de enseñarme.

Gracias a la Universidad del Valle soy hoy, antes que un profesional, una persona más atenta, más sencilla, más sensible a mi entorno y agradecida por saber que esto es solo un paso más de un largo camino a seguir.

Dedicatoria

Para Oswaldo y Lucia, mis amados padres, mi roca.

Tabla de contenido.

1. INTRODUCCIÓN.	1
2. JUSTIFICACIÓN.	3
3. OBJETIVOS.	5
3.1. General.	5
3.2. Específicos.	5
4. MARCO TEÓRICO.	6
4.1. Conceptos básicos acerca del electromagnetismo.	6
4.2. Aplicaciones del electromagnetismo en la agricultura.	9
4.2.1. Agua de riego agrícola tratada magnéticamente.	9
4.2.1.1. Cambios en la tensión superficial del agua magnetizada.	11
4.2.1.2. El “efecto memoria” del agua magnetizada.	12
4.2.1.3. Efecto del campo magnético sobre los enlaces de hidrógeno y la fuerza de van der Waals... 13	
4.2.2. Efectos del agua de riego estimulada magnéticamente sobre diversos cultivos.	14
4.2.3. Reacción de las plantas al agua de riego magnetizada.	22
4.2.4. Microorganismos estimulados con campos electromagnéticos.	26
4.3. La cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>).	28
4.3.1. Generalidades del cultivo.	28
4.3.2. Clima y riego.	30
4.3.3. Fertilización.	31
4.3.3.1. Fertilización inorgánica.	31
4.3.3.2. Fertilización orgánica.	33
4.3.4. Siembra.	33
4.3.5. Cosecha.	35
4.3.6. Post-cosecha.	36
4.3.7. Potencialidad de la cúrcuma en el agro colombiano.	37
5. METODOLOGÍA.	38
5.1. LOCALIZACIÓN.	38
5.2. ESTIMULACIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE BIOFERTILIZANTE (FASE I).	39
5.2.1. Diseño experimental.	39
5.2.1.1. Modelo estadístico.	39
5.2.2. Población microbiana.	42

5.2.3.	Actividad microbiana.....	43
5.3.	ESTIMULACIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE BIOFERTILIZANTE (FASE II).....	45
5.3.1.	Diseño experimental	45
5.3.1.1.	Modelo estadístico.	46
5.3.2.	Adecuación del espacio: casa de malla.	48
5.3.2.1.	Riego.....	48
5.3.2.2.	Sistema de recirculación.	49
5.3.3.	Actividad microbiana en muestra de suelo.	49
5.4.	ESTIMULACIÓN MAGNÉTICA DE AGUA DE RIEGO.	50
5.4.1.	Diseño experimental.	50
5.4.1.1.	Modelo estadístico.	51
5.4.2.	Riego.....	52
5.4.2.1.	Sistema de recirculación.	53
5.4.2.1.1.	Magnetrones.....	54
5.5.	PRE-GERMINACIÓN.....	55
5.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.....	56
5.6.1.	Validación estadística.	56
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	59
6.1.	ESTIMULACIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE BIOFERTILIZANTE (FASE I).	59
6.1.1.	Ensayo población microbiana.	59
6.1.2.	Ensayos actividad microbiana.....	62
6.2.	ESTIMULACIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE BIOFERTILIZANTE (FASE II).....	70
6.2.1.	Longitud del tallo.....	70
6.2.2.	Número de rizomas y número de macollos.....	73
6.2.3.	Masa fresca y seca.	76
6.2.4.	Actividad microbiana en muestras de suelo.....	79
6.3.	RESULTADOS AGUA DE RIEGO ESTIMULADA MAGNÉTICAMENTE.	81
6.3.1.	Longitud del tallo.....	81
6.3.2.	Número de rizomas y número de macollos.....	83
6.3.3.	Masa fresca y seca.	85
7.	CONCLUSIONES.	91
8.	RECOMENDACIONES.....	92
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

ANEXOS	100
I. Validación estadística.	101
II. Ficha técnica biofertilizante líquido Multibiol ®.....	138
III. Ficha técnica fertilizante Agro-K 0-30-52®.	140
IV. Ficha técnica Startazo SN®.	142
V. Resultados de pruebas de laboratorio muestra de agua – Universidad del Valle sede Meléndez.	144
VI. Resultados suelo punto toma de muestras lote Vereda Limonar, Dagua (Valle del Cauca).	145

Lista de figuras.

Figura 1. Una pequeña carga de prueba positiva q_0 colocada cerca de un objeto que conduce una carga positiva mucho mayor Q experimenta un campo eléctrico E dirigido como se muestra (Fuente: Serway & Beichner, 2002).....	6
Figura 2. La dirección de la fuerza magnética F_B que actúa sobre una partícula cargada que se mueve a velocidad v ante la presencia de un campo magnético B (Fuente: Serway & Beichner, 2002).....	8
Figura 3. El cambio de la fuerza de absorción infrarroja del agua magnetizada después de que el campo magnético es removido (Fuente: Pang & Deng, 2008) ($1\text{ G} = 10^{-4}\text{ T}$).....	13
Figura 4. Porcentaje de estimulación sobre el tratamiento de control (agua no magnetizada) en algunos parámetros de crecimiento de cultivos de monocotiledóneas y dicotiledóneas a los 60 días de su siembra (Fuente: Hozayn <i>et al.</i> , 2011) (wheat: trigo; flax: lino; chick-pea: garbanzo y lentil: lenteja).....	19
Figura 5. Porcentaje de estimulación sobre el tratamiento de control (agua no magnetizada) en los pigmentos fotosintéticos ($\text{mg } 100\text{ g masa seco}^{-1}$) de monocotiledóneas y dicotiledóneas a los 60 días de su siembra (Fuente: Hozayn <i>et al.</i> , 2011) (wheat: trigo; flax: lino; chick-pea: garbanzo y lentil: lenteja).	23
Figura 6. Ubicación del “LOTE LIMONAR” donde se extrajeron las muestras de suelo (Fuente: Google Earth. Fecha consulta: 3 de noviembre 2014).....	39
Figura 7. Esquema intensidad de campo magnético en los magnetrones marca Quantum Biotek modelo Omni Enmro Water SystemB (Fuente: Ing. M. Sc. Daniel Ospina, estudiante Doctorado Universidad Nacional de Colombia, integrante Grupo de Investigación ILAMA).....	54

Lista de fotografías.

Fotografía 1. Inoculación de los microorganismos a profundidad. Se adiciona 1 ml de solución sobre la caja de Petri, luego se aplica el agar que posteriormente se solidificará.	43
Fotografía 2. Sellado de las muestras con plástico y ubicadas posteriormente en horno incubador a 28°C durante 5 días.	43
Fotografía 3. a1, a2, a3. Tamizado de gallinaza tamiz No. 10; b. Tratamiento térmico de la gallinaza a 170°C durante 2 horas; c1, c2. Llenado de copas con 50 g de gallinaza.	44
Fotografía 4. a1, a2. Se estimuló la solución de Multibiol® con agua a diferentes intensidades de campo electromagnético medidos con el multímetro Uni-t UT61C RS232 (USB) y a diferentes tiempos de exposición; b. 50 centímetros cúbicos de la solución de Multibiol se mezclaron con 50 g de gallinaza; c. Se realizó la prueba de actividad microbiana.....	44
Fotografía 5. a. Casa de malla; b. Detalle interior techo y malla.	48
Fotografía 6. a. Sistema de recirculación de biofertilizante disuelto en agua; b. Detalle electrobomba; c. Detalle regulador de voltaje, bobina y multímetro.....	49
Fotografía 7. a. Sistema de recirculación de agua de riego con magnetizadores; b. Magnetizadores en serie; c. Detalle electrobomba.....	53
Fotografía 8. a. Selección rizomas de 8-12 cm; b. Camas con arena de río; c. Cúrcumas listas para transplantar.....	55
Fotografía 9. a. Disposición materas en casa de malla; b1. Ahoyado del suelo en materia; b2. Transplantado de cúrcuma de 1 mes y medio.	56
Fotografía 10. Muestras de solución de Multibiol® sin recircular (testigo) inoculados en superficie con cultivo de microorganismos aerobios.	59

Fotografía 11. Muestras de solución de Multibiol® sin recircular (testigo) inoculados en profundidad con cultivo de microorganismos anaerobios.....	60
Fotografía 12. Muestras de solución de Multibiol® recirculado inoculados en superficie con cultivo de microorganismos aerobios.	61
Fotografía 13. Muestras de solución de Multibiol® recirculado inoculados en profundidad sin microorganismos anaerobios.	61
Fotografía 14. Detalle comparativo de un par de muestras de solución de Multibiol® recirculado. a. Presencia de microorganismos aerobios y b. Población despreciable de microorganismos anaerobios.....	62
Fotografía 15. Medición de la longitud del tallo, desde la base del mismo hasta marcar el punto donde crecen y se despliegan las nuevas hojas.....	70
Fotografía 16. a. Contado de macollos; b. Corte de bolsa; c. Lavado y d. Contado de rizomas.....	74
Fotografía 17. a) Rotulado, b) ingreso al horno, c) determinación de la masa con balanza, d) cúrcuma con aproximadamente 10% de humedad.	76
Fotografía 18. a1, a2, a3 y a4. Toma de muestras de suelo de la fase II para prueba de actividad microbiana.....	79

Lista de tablas.

Tabla 1. Proporciones óptimas de N, P y K (Kg/ha) para la cúrcuma en diferentes regiones agroclimáticas en India (Fuente: Prabhakaran, 2013).	32
Tabla 2. Disposición de los tratamientos de la fase I.....	41
Tabla 3. Intensidad de campo electromagnético relacionado con su correspondiente magnitud de corriente eléctrica (Fuente: Ing. M. Sc. Daniel Ospina, estudiante Doctorado Universidad Nacional de Colombia, integrante Grupo de Investigación ILAMA).....	45
Tabla 4. Disposición de los tratamientos de la fase II.....	47
Tabla 5. Disposición de los tratamientos en agua de riego estimulada magnéticamente.....	52
Tabla 6. Control local de los experimentos.....	57
Tabla 7. Resumen de valores de actividad microbiana promedio [mgC-CO ₂ /gSS] con respecto a la intensidad de campo electromagnético y al tiempo de exposición para el ensayo I.	66
Tabla 8. Análisis de varianza Ensayo I.	66
Tabla 9. Resumen de valores de actividad microbiana promedio [mgC-CO ₂ /gSS] con respecto a la intensidad de campo electromagnético y al tiempo de exposición para el ensayo II.....	66
Tabla 10. Análisis de varianza Ensayo II.....	67
Tabla 11. Resumen de valores de actividad microbiana promedio [mgC-CO ₂ /gSS] con respecto a la intensidad de campo electromagnético y al tiempo de exposición para el ensayo III.....	67
Tabla 12. Análisis de varianza Ensayo III.	68
Tabla 13. Disposición final de tratamientos de la fase II de acuerdo a las interacciones óptimas halladas en la fase I.....	69
Tabla 14. Promedio de rizomas y de macollos por tratamiento para la fase II.	75
Tabla 15. Actividad microbiana en muestras de suelo por tratamiento; (*) testigos absolutos.	80
Tabla 16. Promedio de rizomas y de macollos por tratamiento con agua de riego magnetizada.....	84

Lista de abreviaturas

σ^2	Varianza	m	Metro
AC	Corriente alterna	m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
ADN	Ácido desoxirribonucleico	mg	Miligramo
B	Campo magnético	mm	Milímetro
C	Coulomb	mT	Militesla
cm	Centímetro	N	Nitrógeno
DC	Corriente continua	N	Normalidad
dm	Decímetro	P	Fósforo
E	Campo eléctrico	p	Nivel de significancia
ε	Error	pH	Potencial de hidrógeno
F _B	Fuerza magnética	Q	Carga eléctrica
F _E	Fuerza eléctrica	q ₀	Carga positiva
G	Gauss	r	Repeticiones
GHz	Gigahertz	T	Tesla
ha	Hectárea	t	tonelada
I	Independencia	UV	Radiación ultravioleta
K	Potasio	v	Velocidad
KHz	Kilohertz	W	Watt

Lista de símbolos

$\forall$	Para todo	=	Igual
>	Mayor que	$\neq$	Diferente
<	Menor que	$\sim$	Semejante
θ	Ángulo medido en grados	%	Porcentaje

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.

El efecto estimulador de las fuerzas electromagnéticas sobre la dinámica interna de las plantas, los microorganismos presentes en el suelo, y sobre la naturaleza molecular del agua, se ha convertido, desde hace un par de décadas, en fuente de investigación y experimentación con promisorias potencialidades aplicadas a la agricultura moderna. Así, los resultados obtenidos por varios autores demuestran que la irrigación con agua magnetizada es una de las tecnologías modernas más valiosas que pueden ayudar al ahorro del agua de riego y a la reducción de la acumulación de sal en el suelo (Mulook Al-Khazan *et al.*, 2011) y que la exposición de las plantas al agua magnetizada es altamente efectiva para aumentar sus características de crecimiento (Hozayn M. *et al.*, 2011) y rendimiento.

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 biofertilizantes 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.

El presente trabajo de investigación tuvo como objeto estudiar la respuesta del cultivo de cúrcuma (*Curcuma longa*) al agua de riego estimulada magnéticamente y al uso de biofertilizantes tratados con campos electromagnéticos, en el marco del proyecto financiado por el Sistema General de Regalías: “Desarrollo de un sistema agro-industrial rural competitivo en una bio-región del Valle del Cauca”, coordinado por el Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales y de la Tierra ILAMA. Con esta investigación se buscó evaluar el posible efecto que tiene el agua de riego y los biofertilizantes estimulados magnéticamente sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo de un cultivo controlado de cúrcuma bajo condiciones de invernadero.

Se espera que este trabajo de investigación aporte conocimientos útiles y prácticos para mejorar los rendimientos del cultivo de la cúrcuma, a la vez que genere un impacto positivo sobre el uso eficiente del recurso agua y suelo.

2. JUSTIFICACIÓN.

La agricultura tradicional practicada por una buena parte de la población campesina colombiana debe reformularse. Son bien conocidos los efectos nocivos de muchos agroquímicos sobre los recursos naturales y la nociva dependencia que se establece entre los vendedores de fertilizantes y herbicidas con los campesinos, que al desconocer técnicas de producción rentables, potencian la degradación ambiental con prácticas inadecuadas a la vez que pierden su participación en el mercado agrícola nacional. Además, la entrada de productos agrícolas provenientes de otros países debilita la economía del pequeño campesino, provocando la disminución de su calidad de vida. Es claro que la sostenibilidad ambiental debe ser un objetivo tan fundamental como la rentabilidad económica obtenida por el trabajo en el campo.

En este sentido, se puede considerar que la tecnología de estimulación magnética de agua de riego y electromagnética de biofertilizantes puede aportar a la mejora de las condiciones de los cultivos, uso eficiente del agua de riego y a la disminución progresiva del uso de agroquímicos, especialmente sobre un cultivo de interés agroindustrial como lo es la cúrcuma, hecho que redunda en una mejora directa en las condiciones ambientales, de desarrollo y proyección de los agricultores.

Existe la premisa de que el tratamiento magnético de agua de riego puede mejorar los rendimientos de los cultivos por unidad de volumen de agua usado (Duarte Diaz *et al.*, 1997 citados por Maheshwari & Grewal, 2009). Si tal afirmación es válida, existe una buena posibilidad de que el tratamiento magnético del agua pueda servir como herramienta para ahorrar las reservas de agua actuales con miras al uso eficiente del recurso para enfrentar tiempos de escasez.

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.

Por lo tanto, la investigación realizada puede llegar a proporcionar datos útiles de tiempo de exposición e intensidad de campo electromagnético sobre un biofertilizante líquido y por otro lado, de tiempo de exposición de agua de riego recirculada por un campo magnético constante bajo condiciones de invernadero, datos que pueden convertirse en referentes iniciales para la implementación de estas tecnologías en el campo.

3. OBJETIVOS.

3.1. General.

Evaluar la respuesta del cultivo de la cúrcuma (*Curcuma longa*) a la aplicación de la tecnología de estimulación magnética de agua de riego y estimulación electromagnética sobre biofertilizante líquido bajo condiciones de invernadero.

3.2. Específicos.

- Determinar en laboratorio los rangos de tiempo de exposición e intensidad de campo electromagnético óptimo sobre biofertilizantes líquidos que muestren diferencias significativas de actividad microbiana con respecto al testigo.
- Implementar los 3 mejores tratamientos de interacción correspondientes al tiempo de exposición y la intensidad de campo electromagnético obtenidos en ensayos de laboratorio sobre plántulas de cúrcuma bajo condiciones de invernadero.
- Determinar el tiempo de exposición óptimo de estimulación magnética del agua de riego sobre plántulas de cúrcuma bajo condiciones de invernadero.

4. MARCO TEÓRICO.

4.1. Conceptos básicos acerca del electromagnetismo.

La frecuencia de campos electromagnéticos antropogénicos pueden ser bajos (0-3 kHz) o altos (3 kHz-300 GHz) y los campos electromagnéticos de estas fuentes de radiación consisten en dos componentes: uno eléctrico y otro magnético (Stašelis & Stašelis, 2011).

El campo eléctrico es producido por un gradiente de voltaje y es medido en voltios/metro mientras que los campos magnéticos son generados por cualquier flujo de corriente y se miden en tesla (Samani, Pourakbar & Azimi, 2013).

Serway & Beichner (2002) afirman que existe un campo eléctrico en la región del espacio que rodea a un objeto cargado. Cuando otro objeto cargado ingresa a este campo eléctrico, una fuerza eléctrica actúa sobre él. Como ejemplo se puede considerar la figura 1, en la cual se muestra una pequeña carga positiva de prueba q_0 colocada cerca de un segundo objeto portando una carga positiva Q mucho mayor.

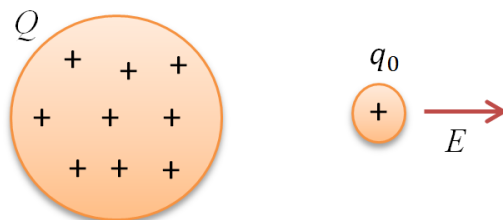


Figura 1. Una pequeña carga de prueba positiva q_0 colocada cerca de un objeto que conduce una carga positiva mucho mayor Q experimenta un campo eléctrico E dirigido como se muestra (Fuente: Serway & Beichner, 2002).

La intensidad (en otras palabras, la magnitud) del campo eléctrico en la ubicación de la carga de prueba se define como la fuerza eléctrica por unidad de carga, o para ser más específico el campo eléctrico E en un punto en el espacio se define como la fuerza eléctrica F_e , que actúa sobre una carga de prueba positiva q_0 colocada en dicho punto, dividida entre la magnitud de la carga de prueba (Serway & Beichner, 2002):

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}_e}{q_0} \quad \text{Ecuación 1}$$

Serway & Beichner (2002) explican que $\mathbf{E}$ es el campo producido por alguna carga externa a la carga de prueba, esto, no es el campo producido por la propia carga de prueba. Además, el autor advierte que la existencia de un campo eléctrico es una propiedad de su fuente. Por ejemplo, cada electrón viene con su propio campo eléctrico. El vector $\mathbf{E}$ tiene las unidades del SI de newtons por coulomb (N/C), y, como se muestra en la figura 1, su dirección es la dirección de la fuerza que experimenta una carga de prueba positiva cuando se coloca en el campo. Se dice que un campo eléctrico existe en un punto si una carga de prueba en reposo situada en ese punto experimenta una fuerza eléctrica. Una vez que la magnitud y la dirección del campo eléctrico se conocen en algún punto, la fuerza eléctrica ejercida sobre cualquier partícula cargada ubicada en ese punto puede calcularse a partir de la ecuación 1. Además, se dice que el campo eléctrico existe en cierto punto (incluso en el espacio vacío) independientemente de si una carga de prueba se localiza en ese punto (esto es análogo al campo gravitacional establecido por cualquier objeto, del cual se dice que existe en un punto dado sin importar si algún otro objeto está presente en dicho punto para “sentir” el campo).

En el estudio de la electricidad la interacción entre objetos cargados se ha descrito en términos de campos eléctricos. Se debe recordar que un campo eléctrico rodea a cualquier carga eléctrica, estacionaria o en movimiento. Además de un campo eléctrico, la región en el espacio que rodea a una carga eléctrica móvil también contiene un campo magnético. Un campo magnético también rodea a cualquier sustancia magnética (Serway & Beichner, 2002).

Serway & Beichner (2002) indican que se puede definir un campo magnético $\mathbf{B}$ en algún punto en el espacio en términos de la fuerza magnética $\mathbf{F}_B$ que el campo ejerce sobre un objeto de prueba, que en este caso es una partícula cargada que se mueve a una velocidad $\mathbf{v}$. Por ahora, se debe suponer que no hay campos eléctrico o gravitacional en la región del objeto de prueba. Los experimentos acerca del movimiento de diversas partículas cargadas en un campo magnético dan los siguientes resultados:

- La magnitud F_B de la fuerza magnética ejercida sobre la partícula es proporcional a la carga q y a la rapidez v de la partícula.
- La magnitud y dirección de F_B depende de la velocidad de la partícula y de la magnitud y dirección del campo magnético B .
- Cuando una partícula cargada se mueve paralela al vector de campo magnético, la fuerza magnética que actúa sobre la partícula es cero.
- Cuando el vector velocidad de la partícula forma un ángulo $\theta \neq 0$ con el campo magnético, la fuerza magnética actúa en una dirección perpendicular tanto a $\mathbf{v}$ como a $\mathbf{B}$; es decir, F_B es perpendicular al plano formado por $\mathbf{v}$ y $\mathbf{B}$ (figura 2a).
- La fuerza magnética ejercida sobre una carga positiva está en la dirección opuesta a la dirección de la fuerza magnética ejercida sobre una carga negativa que se mueve en la misma dirección (figura 2b).

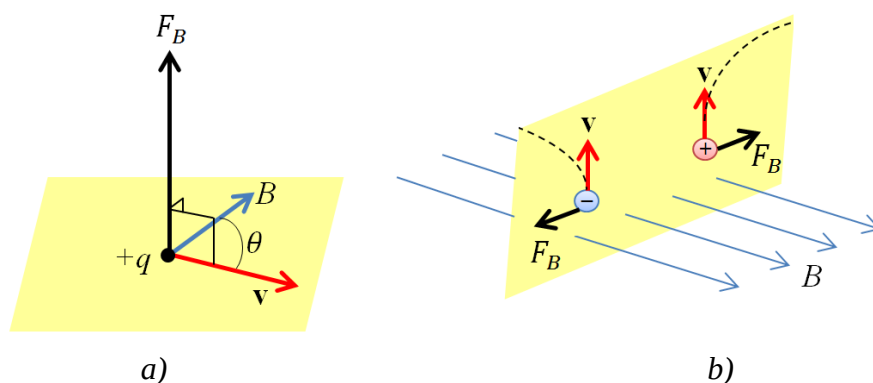


Figura 2. La dirección de la fuerza magnética F_B que actúa sobre una partícula cargada que se mueve a velocidad v ante la presencia de un campo magnético B (Fuente: Serway & Beichner, 2002).

- La magnitud de la fuerza magnética ejercida sobre la partícula en movimiento es proporcional a $\sin \theta$, donde θ es el ángulo que el vector velocidad de la partícula forma con la dirección de B .

Serway & Beichner (2002) indican que estas observaciones pueden resumirse escribiendo la fuerza magnética en la forma:

$$\mathbf{F}_B = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde la dirección de F_B está en la dirección de $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ si q es positiva, la cual, por definición del producto cruz, es perpendicular tanto a $\mathbf{v}$ como a $\mathbf{B}$. Se puede considerar esta ecuación como una definición operacional del campo magnético en algún punto en el espacio. Esto es, el campo magnético se define en términos de la fuerza que actúa sobre una partícula cargada móvil.

Finalmente, Serway & Beichner (2002) explican que la magnitud de la fuerza magnética es:

$$F_B = |q|vB \sin \theta \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde θ es el ángulo más pequeño entre $\mathbf{v}$ y $\mathbf{B}$. A partir de esta expresión se ve que F es cero cuando $\mathbf{v}$ es paralela o antiparalela a $\mathbf{B}$ ($\theta = 0$ o 180°) y máxima ($F_{B,m\acute{a}x} = |q|vB$) cuando $\mathbf{v}$ es perpendicular a $\mathbf{B}$ ($\theta = 90^\circ$).

Tanto los campos eléctricos como los campos magnéticos han demostrado estimular las mismas reacciones en semillas y plantas, con una amplitud similar y dependencia en la frecuencia y en el tiempo de exposición. La única, pero significativa diferencia, es que la energía necesaria para inducir la estimulación con un campo magnético es aproximadamente mil veces menor que la energía necesaria con un campo eléctrico (Blank, 1995 citado por Pietruszewski *et al.*, 2007).

4.2. Aplicaciones del electromagnetismo en la agricultura.

4.2.1. Agua de riego agrícola tratada magnéticamente.

Muchos experimentos muestran que el agua puede ser magnetizada debido a un campo magnético (Ohata R., *et al.*, 2004; Bour P., 2002; Li Z. *et al.*, 2007; Higashitani K., 1996; Amiri M., 2006; Chang K. & Weng C., 2006; Ke LaXin B., 1982; Yang D. & Yang L., 2000, citados por Pang X. & Deng B., 2008), incluso si el efecto de magnetización es pequeño (Pang X. & Deng B., 2008). El agua magnetizada realmente tiene magnetismo, el cual ha sido verificado debido a un cambio en el pico de difracción de rayos X del agua magnetizada respecto del agua normal (Pang X. & Deng B., 2008).

Chang & Weng (2006) indicaron que el campo magnético restringe el movimiento de las moléculas de agua y por tanto, modifica tanto su conducción térmica así como su viscosidad en el estado líquido.

Cuando el agua está expuesta a un campo magnético, la así llamada magnetización del agua, denota sus cambios en varias propiedades, incluidas las ópticas, electromagnéticas, termodinámicas y mecánicas, por ejemplo, cambios en la constante dieléctrica, en la viscosidad, en la fuerza de tensión superficial, en el punto de solidificación y ebullición y en la conductividad eléctrica, comparadas con aquellas del agua normal (Ohata R., *et al.*, 2004; Bour P., 2002; Li Z. *et al.*, 2007; Higashitani K., 1996; Amiri M. 2006; Chang K. & Weng C., 2006; Ke LaXin B., 1982; Yang D. & Yang L., 2000, citados por Pang X. & Deng B., 2008).

El efecto de los campos magnéticos sobre el agua sigue siendo un tema de gran controversia a pesar de la vasta cantidad de investigaciones dedicadas a este tópico en las últimas décadas. El aumento de la tasa de evaporación del agua en un campo magnético, es sin embargo, menos discutida (Guo *et al.*, 2012). Nakagawa *et al.* (1999) citados por Guo *et al.* (2012) reportaron el aumento de la evaporación en agua pura en un gradiente de campo magnético y propusieron que el aumento de la evaporación fue causada por la convección impulsada por la fuerza de magnetización. Wu *et al.* (2006) citados por Guo *et al.* (2012) indican que la evaporación de agua pura se incrementó al interior de un campo magnético estático (0.25, 0.36 y 0.55 T) al ser comparada con la evaporación por fuera del campo magnético. De hecho, se halló que la tasa de evaporación es dependiente de la magnitud del campo magnético: a mayor campo magnético corresponde una cantidad más grande de evaporación (Guo *et al.*, 2012).

Es importante hacer distinción de dos conceptos relativamente recurrentes asociados al tema de estimulación magnética en agua de riego (y otros materiales), que son: el ferromagnetismo y el paramagnetismo. El ferromagnetismo es una propiedad de ciertos metales y aleaciones, mientras que el paramagnetismo es una propiedad de todos los materiales y el agua no es una excepción. Cuando el agua pasa por un campo magnético, gana un momento magnético que será retenido de 24 a 48 horas. 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 (Hilal *et al.*, 2013).

Desde la última mitad de este siglo, muchos han investigado el efecto de los campos magnéticos sobre el agua, pero los resultados de estos estudios han sido contradictorios. La mayoría de los argumentos que refutan tales investigaciones están relacionados a las sustancias químicas presentes en el agua, pero no dedican atención a las propiedades del agua en sí misma que se alteran. Otros estudios se han enfocado en el efecto de un campo magnético sobre las propiedades físicas y químicas del agua pura han arrojado resultados inconsistentes. Por ejemplo, Cai *et al.* (2009) citado por Guo *et al.* (2012) indica que un campo magnético puede disminuir la tensión superficial a la vez que aumenta la viscosidad del agua, mientras que Toledo *et al.* (2008), citado por Guo *et al.* (2012) concluyó que un campo magnético incrementa la tensión superficial. Estas discrepancias, que han causado controversia por muchos años, pueden ser atribuidas a las diferencias de las condiciones experimentales (la tasa de flujo de agua a través del campo magnético, las impurezas en el agua y la distribución del campo magnético) (Guo, *et al.*, 2012).

4.2.1.1. Cambios en la tensión superficial del agua magnetizada.

Se sabe que un campo magnético resulta en variaciones de distribución y agrupación de la estructura de las moléculas del agua, lo cual causa necesariamente cambios de las propiedades macroscópicas del agua, incluida la tensión superficial y el grado de impregnación (Pang X. & Deng B., 2008).

La extenuación de los ángulos de contacto del agua magnetizada significa que su grado de impregnación con respecto a los materiales hidrofóbicos se incrementa y que su fuerza de tensión superficial disminuye con respecto al del agua pura, y así su hidrofobicidad decrece. Esto indica que el campo magnético podría cambiar la hidrofobicidad del agua. La extenuación de los ángulos de contacto del agua magnetizada se debe al incremento del efecto de polarización y a los cambios de distribución y agrupamiento de las moléculas del agua después de la magnetización (Pang X. & Deng B., 2008).

Amiri & Dadkhah (2006) investigaron el posible efecto que tiene un campo magnético sobre la tensión superficial del agua. Para tal fin, los autores realizaron 200 pruebas durante 6 meses usando distintas condiciones para evaluar la validez de los resultados finales, llegando a la

conclusión de que la tensión superficial es una propiedad demasiado sensible a condiciones experimentales como para ser considerada como un indicador seguro y confiable para el estudio de los efectos de los campos magnéticos sobre el agua.

En los experimentos realizados por Pang X. & Deng B. (2008) con agua magnetizada, se reportó que la fuerza de tensión superficial del agua sometida a un campo magnético disminuye en comparación con el agua pura. Adicionalmente, los autores reportan que la estructura agrupada de cadenas con enlaces de hidrógeno y los efectos de polarización de las moléculas de agua se incrementan después de la magnetización.

4.2.1.2. El “efecto memoria” del agua magnetizada.

Pang & Deng (2008) indicaron que el efecto del agua magnetizada se incrementa con el aumento de la fuerza del campo magnético o del tiempo de magnetización. Sin embargo, una vez que los autores retiraron el campo magnético externo del agua magnetizada, se encontró experimentalmente que el efecto de magnetización no desaparece inmediatamente, sino que se mantiene por un tiempo prolongado, resultado obtenido también por Szczes *et al.* (2011) citado por Guo *et al.* (2012) quienes reportan el aumento de la evaporación del agua después de que ésta fluyó a través de un campo magnético. Interesantemente, el agua parece “recordar” el proceso de paso por el campo magnético, fenómeno denominado como “efecto de memoria” o “tiempo de memoria”.

Para un campo magnético de 600 G (0.06 T) Pang & Deng (2008) encontraron que el efecto de magnetización fue mantenido por aproximadamente 35 minutos antes de volver a valores base de agua normal. Esto significa que el tiempo de memoria del agua magnetizada fue de 35 minutos. Los resultados obtenidos por estos autores se muestran en la figura 3. En esta figura, Pang & Deng (2008), exponen los resultados de campos magnéticos de 2000, 3000 y 4400 G (0.2, 0.3 y 0.44 T respectivamente), indicando que los tiempos de memoria asociados son diferentes, los cuales son, 45, 58 y 60 minutos, respectivamente. Por lo tanto, el tiempo de memoria del agua magnetizada se incrementa con el aumento del campo magnético. El efecto de memoria indica que hay interacciones magnéticas entre los elementos de “corriente eléctrica molecular”, que resulta en la magnetización del agua. Evidentemente, diferentes tipos de aguas magnetizadas

generadas por desiguales campos magnéticos tendrán diferentes tiempos de memoria asociados a las distintas intensidades de interacción entre estos elementos de corriente eléctrica molecular (Pang, 2006, 2007; Deng & Pang, 2007; Pang & Feng, 2007; citados por Pang & Deng, 2008).

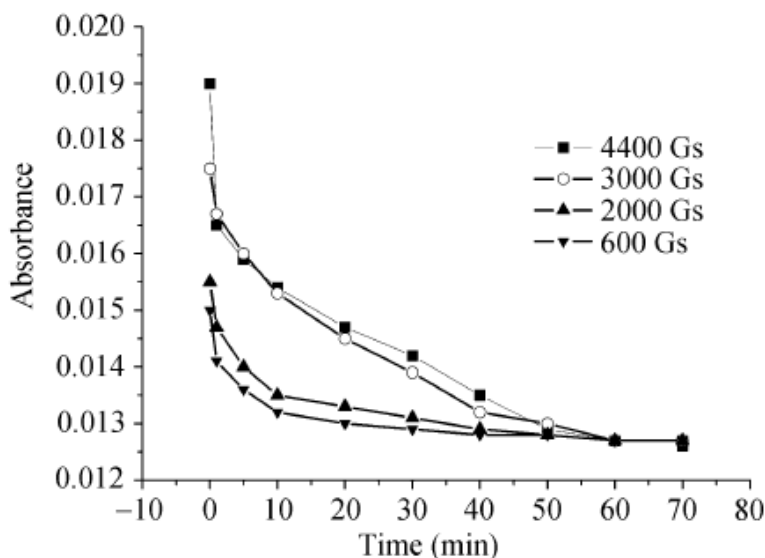


Figura 3. El cambio de la fuerza de absorción infrarroja del agua magnetizada después de que el campo magnético es removido (Fuente: Pang & Deng, 2008) ($1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$).

Guo *et al.* (2012) explican que un gradiente de campo magnético tiene una gran influencia sobre el agua y su ambiente a través de la fuerza de Lorentz, la fuerza de magnetización y el torque (si existen partículas con susceptibilidad magnética no homogénea). Adicionalmente, el gradiente de campo magnético tiene una importante influencia sobre los enlaces de hidrógeno y las fuerzas de van der Waals en el agua. Aparentemente, la evaporación del agua en un gradiente magnético depende de las fuerzas mencionadas anteriormente.

4.2.1.3. Efecto del campo magnético sobre los enlaces de hidrógeno y la fuerza de van der Waals.

Guo *et al.* (2012) explican que la evaporación del agua es un proceso gradual en el cual las moléculas de agua escapan de su forma líquida al ambiente circundante. Como los enlaces de hidrógeno son la primera fuerza intermolecular que mantiene las moléculas de agua en la fase

líquida, la evaporación implica el rompimiento de estos enlaces, pero cuál es la influencia de los campos magnéticos sobre tal rompimiento, sigue siendo un tema de gran discusión. Muchos estudios han expuesto que los enlaces de hidrógeno se fortalecieron o que se formaron nuevos enlaces de hidrógeno, mientras que otros estudios demostraron que los enlaces de hidrógeno se debilitaron. Adicionalmente, las fuerzas de van der Waals promueven la unión entre las moléculas del agua. Las fuerzas de van der Waals, sin embargo, son más débiles que los enlaces de hidrógeno.

Guo *et al.* (2012) concluyen que la cantidad de agua evaporada depende del área superficial de la interface líquido/gas, del cambio de la intensidad de los enlaces de hidrógeno y las fuerzas de van der Waals, y de la velocidad de convección próxima a la interfase líquido/gas.

En general, el efecto de magnetización sobre el agua depende, entre otros factores, de su temperatura y disminuye con el aumento de la temperatura. Esto se debe al incremento de la energía térmica debido al movimiento desordenado de las moléculas que aumentan la temperatura, lo que resulta en el aumento de la vibración no lineal de las moléculas y la disminución del número de moléculas en la estructura agrupada de las cadenas de enlaces de hidrógeno, así como en los cambios de distribución de moléculas en el agua (Pang & Deng, 2008).

4.2.2. Efectos del agua de riego estimulada magnéticamente sobre diversos cultivos.

Se ha reportado que el tratamiento magnético del agua ha cambiado algunas propiedades físicas y químicas del agua, principalmente con los enlaces de hidrógeno, la polaridad, la tensión superficial, la conductividad eléctrica, el pH y la solubilidad de las sales (Amiri & Dadkhah, 2006; Ozeki & Otsuka, 2006 citados por Hazayn *et al.*, 2013). Estos cambios en las propiedades del agua podrían ser capaces de afectar el crecimiento de las plantas.

El tratamiento magnético de agua de riego es una técnica prometedora para alcanzar altos valores de eficiencia del uso del agua debido a su efecto en algunas propiedades físicas y químicas del agua y el suelo (Noran *et al.*, 1996; Maheshwari & Grewal, 2009 citados por Hozayn *et al.*, 2013).

El efecto de estimulación del agua magnetizada podría ser atribuido a su papel en el aumento de la absorción y asimilación de nutrientes con el consecuente incremento en el crecimiento de la planta (Hozayn *et al.*, 2011).

Aladjadjiyan (2003) citado por Hozayn *et al.* (2011) indican que la combinación apropiada de inducción de campo magnético y tiempo de exposición acelera las etapas tempranas del desarrollo de la planta y mejora la productividad.

El metabolismo de una planta contiene 90 a 95% de agua la cual es un compuesto diamagnético, y el restante porcentaje contiene una alta cantidad de metales para, ferro y diamagnéticos y una parte compuesta de no-metales en formas mínimas. Por tanto, el tratamiento de magnetización del agua incrementa el metabolismo de la planta en términos de fotosíntesis y absorción de agua (Yano *et al.*, 2004 citado por Mulook Al-Khazan *et al.*, 2011).

Harari & Lin (1992) señalaron que la irrigación con soluciones nutritivas con bajos contenidos de nutrientes fueron hallados en la solución del suelo en concentraciones apreciablemente mayores cuando se usó agua magnetizada. Además, Ratushnyak *et al.* (2008) demostraron que el tratamiento magnético de semillas incrementó la cantidad de microorganismos del suelo tales como bacterias fijadoras de nitrógeno, tal incremento en microorganismos puede mejorar la disponibilidad de elementos nutritivos en el suelo para que la planta los tome. Esto permite a su vez, la disminución en el uso de grandes cantidades de fertilizantes minerales. Consecuentemente, la actividad y proliferación de microorganismos en el suelo pueden explicar el incremento de la acidez del suelo mencionado en el estudio realizado por Maheshwari & Grewal (2009) quienes atribuyen la mayor acidificación del suelo a la liberación de más ácidos orgánicos en la rizósfera de un cultivo de apio y en guisantes regados con agua magnetizada en comparación con las plantas no tratadas. Los ácidos orgánicos liberados en la rizósfera pueden ser responsables de la mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo para su uso por la planta.

El riego con agua tratada magnéticamente incrementó el contenido relativo de agua para las plantas de jojoba. Tal vez, la razón para este incremento es la habilidad de estas plantas para absorber agua, como resultado del incremento de la longitud de sus raíces (Khazan & Abdullatif, 2009 citado por Mulook Al-Khazan *et al.*, 2011).

Duarte C. *et al.* (2004) analizaron el rendimiento del tomate regado con agua tratada magnéticamente, reportando un incremento del 64% con el riego con agua tratada magnéticamente con respecto al testigo. Los autores concluyeron que los tratamientos físicos aplicados al agua resultaron efectivos para el cultivo de tomate y para el sistema de riego localizado.

Duarte C. *et al.* (2004) indicaron que el agua de riego con tratamiento magnético fue la más efectiva para el cultivo del tomate con respecto al agua activada y al testigo (agua normal sin ningún tratamiento) pues hubo incremento del orden del 48% en la cantidad de frutos totales y de 63.7 y 45.07% en los frutos por planta y en el rendimiento total, respectivamente, por otro lado, los autores infieren que con el tratamiento magnético del agua de riego, se obtiene mayor prevención sobre las obturaciones de los emisores de riego, alcanzándose un caudal medio mayor así como un coeficiente de uniformidad de riego más elevado que el del testigo. Este comportamiento se produce debido a que la acción del campo magnético y activado sobre las sales transportadas en el agua, hacen que éstas se agrupen como centros de cristalización alrededor de la corriente líquida y salgan al exterior a través de los emisores de riego sin precipitar en las tuberías o en los orificios de salida del micro-aspersor. Con esto se comprueba que el tratamiento magnético del agua actúa sobre el hábito de cristalización de las sales del agua, lo cual permite que actúe como un mejorador de la calidad del agua y ayude a elevar la vida útil de los sistemas de riego localizado (Riquenes, 1996 citado por Duarte C. *et al.*, 2004).

Mostafazadeh-Fard *et al.* (2011) citados por Khoshravesh *et al.* (2011) investigaron los efectos del agua magnetizada y la salinidad del agua de riego en la distribución de la humedad sobre el suelo bajo riego por goteo. Ellos mostraron que la humedad media del suelo, a diferentes profundidades del mismo, bajo el sistema de goteo con el tratamiento de agua magnetizada, fue mayor en comparación con el tratamiento de riego con agua sin magnetizar con una diferencia significativa del 5%. La razón por la cual la humedad del suelo fue mayor para el riego con agua magnetizada puede ser atribuida a dos razones. En primer lugar, en el proceso de magnetización, las moléculas de agua que fueron influenciadas por los enlaces de hidrógeno y la fuerza de van der Waals y reaccionaron con los iones, fueron liberadas para hacer al agua más cohesiva. Así, las moléculas de agua fueron fácilmente ligadas a las partículas de suelo y no se filtraron a mayores profundidades y también las moléculas de agua penetraron fácilmente los microporos de

las partículas de suelo y fueron, entonces, impedidas para moverse a mayores profundidades. En segundo lugar, cuando el agua pasa a través de un campo magnético, su estructura y algunas características físicas cambiarán. En tanto los iones de calcio y carbonato entran a la zona que está influenciada por los magnetrones, éstos son empujados en direcciones opuestas debido a sus cargas opuestas. Mientras todos los iones de calcio son empujados en una dirección y todos los aniones carbonato son empujados de forma opuesta, ellos chocan, resultando con la formación de aragonita. Debido a que estos cristales microscópicos están forzados a formarse mientras el agua está en movimiento, no tienen la oportunidad de adherirse a las tuberías. Por tanto, las sales no se precipitan en las tuberías y son movidas en el perfil del suelo causando una mayor presión osmótica. Esto reduce la tasa de evapotranspiración y consecuentemente, ocurre un aumento en el contenido de humedad del suelo.

Al aplicar campos electromagnéticos alternos al sistema de fertirriego se disminuye la tensión superficial de la solución salina en el suelo, a la vez que se aumenta la solubilidad de las sales y se mejoran los procesos dinámicos de infiltración y movilidad de iones (Mezentsev, 1981; CNEA, 1997 citados por Zúñiga *et al.*, 2011).

Mostafazadeh *et al.* (2011) investigaron el efecto de un campo magnético sobre el agua de riego bajo un sistema de riego por goteo y su influencia en el contenido de sulfatos en el suelo, y concluyeron que en todas las profundidades de suelo trabajadas bajo los emisores de riego, los contenidos medios del ión sulfato fueron menores al usar agua tratada magnéticamente en comparación al agua no tratada con esa técnica. Para la irrigación con agua tratada magnéticamente, el ión sulfato disminuyó, en promedio, un 37.3% ($p < 0.01$). El uso de agua magnetizada para reducir el contenido del ión sulfato en el suelo con el objetivo de disminuir el área de suelos salinos bajo riego por goteo, es una técnica recomendada por los autores.

A este respecto, se ha concluido que el campo magnético interactúa con las cargas superficiales de las partículas en los fluidos, afectando la cristalización y precipitación de los sólidos en éstos, por otro lado, se debe tener presente que éstos procesos tienen un efecto significativo en la translocación de minerales sobre el suelo irrigado. Parece que hay una tendencia general de los minerales a precipitarse de la solución más rápido en agua tratada magnéticamente que en agua sin tratar mediante esta técnica (Noran *et al.*, 1996).

Hozayn *et al.* (2013) estudiaron los efectos de un campo magnético sobre el agua de riego en un cultivo de remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) en campo, los resultados obtenidos demostraron efectos positivos significativos del agua tratada con un campo magnético en cantidad y calidad en comparación al testigo. Por otro lado, el riego de la remolacha azucarera con agua magnetizada redujo los valores de los parámetros de impureza en 13.4, 12.37 y 16.63% para sodio, potasio y aminoácidos (mmol 100 g masa raíz fresca⁻¹) respectivamente, comparado con el riego con agua normal. Incluso, el uso eficiente del agua se incrementó como resultado del riego en un 19.05% comparado con el tratamiento de control. Aparentemente y según lo investigado por Hozayn *et al.* (2013) la utilización de agua magnetizada puede llevar a mejorar el rendimiento y la calidad del cultivo de la remolacha azucarera y el uso eficiente del agua en suelos arenosos.

En estudios realizados por Hazayn *et al.* (2013) se observó que, bajo condiciones de invernadero, cultivos de trigo, lenteja, garbanzos, lino, girasol, al igual que de maní y de haba regadas con agua magnetizada, se obtuvieron valores altos de todos los parámetros registrados (masa, longitud, diámetro y rendimiento de raíces).

Hozayn *et al.* (2013) indicaron que el riego de remolacha azucarera con agua magnetizada indujo incrementos significativos en el criterio de rendimiento de raíces (masa, longitud y diámetro) en 21.53, 5.68 y 16.23% respectivamente, al ser comparado con el agua sin magnetizar. Los resultados obtenidos por diferentes autores confirman los efectos benéficos de campos magnéticos de baja frecuencia sobre el crecimiento de las raíces y las hojas de la remolacha azucarera (Marinkovic *et al.*, 2000; Vasilevski, 2003; Rochalska *et al.*, 2008, citados por Hazayn *et al.*, 2013).

Hozayn *et al.* (2011) luego de regar cultivos de trigo, lino, garbanzo y lenteja con agua magnetizada, encontraron que todas las plantas sobre las cuales se aplicó agua magnetizada exhibieron un incremento notable en el desarrollo vegetativo y en sus constituyentes bioquímicos. Además, los resultados obtenidos indican que el número de bandas proteínicas aumentó con el uso de agua magnetizada en comparación con la no tratada. Además de lo anterior, el tratamiento con agua magnetizada incrementó los rendimientos de todos los cultivos. Los incrementos de rendimiento de semilla/planta en los cultivos de monocotiledóneas

alcanzaron el 10.00% y 33.33% para el lino y el trigo respectivamente, y en los cultivos de dicotiledóneas se alcanzaron valores de 26.92% y 46.62%, para lenteja y garbanzo, respectivamente comparados con los cultivos regados con agua no tratada. Para los autores, fue claro que el uso de agua magnetizada incrementó el crecimiento de las plantas (altura de plantas, masa fresco y seco/planta y contenido de agua) en comparación con el agua sin tratar tanto para las plantas monocotiledóneas como para las dicotiledóneas (ver figura 4).

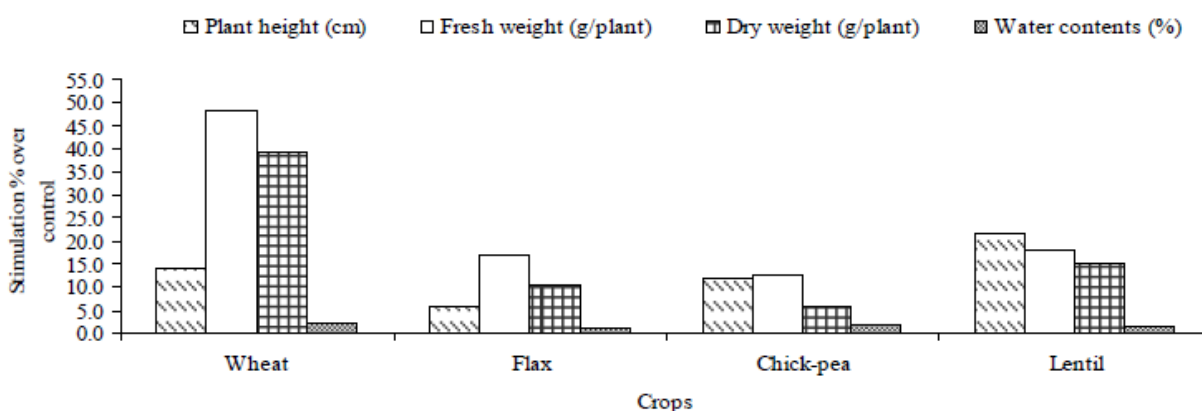


Figura 4. Porcentaje de estimulación sobre el tratamiento de control (agua no magnetizada) en algunos parámetros de crecimiento de cultivos de monocotiledóneas y dicotiledóneas a los 60 días de su siembra (Fuente: Hozayn *et al.*, 2011) (wheat: trigo; flax: lino; chick-pea: garbanzo y lentil: lenteja).

La exposición de soluciones nutritivas a campos magnéticos resulta en un mejoramiento de la solubilidad y uso de nutrientes en los agregados del suelo (Класен, 1982 citado por Stašelis & Stašelis, 2011).

Abou El-Yazied *et al.* (2012) investigaron los efectos de la estimulación magnética en semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) y agua magnetizada con una intensidad de 800G (0.8 T) bajo distintos niveles de fertilización con nitrógeno (N), potasio (K) y fósforo (P), analizando, para tal fin, el crecimiento de las plantas, las características del suelo y los posibles efectos positivos del uso de campos magnéticos para reducir la cantidad de fertilizantes para las plantas de tomate. Los autores reportaron que el uso de semillas estimuladas y/o la aplicación de agua de riego magnetizada fueron las mejores prácticas en comparación a los tratamientos de control, es decir, se dieron plantas más grandes y pesadas, se incrementaron los contenidos de fósforo en la planta y en el suelo al igual que el valor de evapotranspiración del cultivo y el rendimiento total,

a la vez que se redujo el valor del pH de la extracción del suelo y no se afectó la concentración de sodio ni en la planta ni en la solución del suelo. Los resultados obtenidos por Abou El-Yazied *et al.* (2012) indican también que la irrigación con agua magnetizada llevó a la disminución de la disponibilidad de azufre del suelo, mientras que el tratamiento magnético de la semilla antes de la siembra llevó a un incremento de la concentración de azufre en el suelo. Los tratamientos magnéticos tanto para semillas como para agua de riego con contenidos de N, P y K del 75% de los niveles recomendados, así como para el 100% del uso total de N, P y K dieron los mejores resultados de desarrollo vegetativo, es decir, que el uso de la tecnología de agua y semillas magnetizadas tuvieron la potencialidad de ahorrar el 25% de fertilizantes.

Abou El-Yazied *et al.* (2012) indican que la longitud de las plantas y el peso fresco del tomate fue mayor en plantas que crecieron con tratamientos magnéticos (semillas o agua de riego) que aquellas que crecieron sin tratamiento magnético. Las características vegetativas se incrementaron linealmente en respuesta a los niveles de fertilizantes N, P y K.

Se ha demostrado que el uso de agua magnetizada para irrigación de cultivos, incrementa el nivel de fósforo disponible, el sodio soluble y el valor de la conductividad eléctrica en la extracción del suelo, mientras que los valores de pH decrecen como resultado de tratamientos magnéticos tanto en la pre-siembra de semillas o para el agua de riego. En cuanto a la disponibilidad de sulfatos en el suelo, los resultados indican que el agua de riego magnetizada lleva a una disminución de contenido de sulfatos mientras que los tratamientos realizados a semillas antes de la siembra incrementa el contenido de sulfatos (Abou El-Yazied *et al.*, 2012).

Mulook Al-Khazan *et al.* (2011) observaron que la irrigación con agua magnetizada llevó a un incremento en el contenido de varios elementos excepto el sodio. El autor indica que esto se da porque el sodio es un elemento paramagnético con una pequeña susceptibilidad a los campos magnéticos, mientras que otros elementos son diamagnéticos los cuales son repelidos ligeramente por un campo magnético.

Se ha encontrado que el tratamiento magnético del agua tiene un efecto pronunciado en la productividad de las plantas. Maheshwari & Grewal (2009) reportaron resultados que indican algunos efectos benéficos del agua usada para riego agrícola, particularmente para agua salina y reciclada, sobre el rendimiento y productividad de agua en plantas de apio y de frijol bajo

condiciones ambientalmente controladas en invernadero con intensidades dentro del rango de 3.5–136 mT. Además, los autores reportaron que, después de la cosecha, el pH del suelo se redujo, pero no se incrementó el valor de conductividad eléctrica, finalmente, se indica que el agua reciclada tuvo mayores contenidos de N, P y K en comparación con el agua normal y el agua salina. Resultados similares obtuvieron Mohamed & Ebead (2013) al usar agua para riego tratada magnéticamente para la producción de un cultivo de habas, quienes indicaron que el N, P y K disponible aumentó significativamente en el suelo.

Hilal *et al.* (2013) investigaron el efecto del agua de riego magnetizada sobre el movimiento y disponibilidad de ciertos nutrientes y sobre la infiltración de iones y sales en un suelo arenoso con ayuda de un magnetrón de 1000 G (0.1 mT) de intensidad en una tubería de 0.5 pulgadas de diámetro, concluyendo, entre otras cosas, que la remoción total de sales del suelo luego de seis infiltraciones se incrementó significativamente con agua magnetizada en comparación con el tratamiento de control, por otro lado, los autores determinaron que la concentración de K y P en la solución del suelo se incrementó significativamente luego de infiltrarse usando agua magnetizada a todas las profundidades, comparada con el tratamiento de control. Al parecer, el comportamiento de los nutrientes en un campo magnético es una función de su susceptibilidad magnética.

El agua magnetizada ha demostrado tener 3 efectos principales: 1) incrementar la infiltración del exceso de sales solubles, 2) disminuir la alcalinidad del suelo y 3) disolver ligeramente sales solubles como carbonatos, fosfatos y sulfatos. Sin embargo, el grado de efectividad del agua magnetizada sobre la salinidad del suelo y el balance iónico en la solución del suelo depende fuertemente de la distancia del recorrido del agua magnetizada sobre las líneas de riego por goteo (Hilal & Hilal, 2000, citados por Hilal *et al.*, 2013).

Cuero & Tulande (2004) indicaron unas valiosas consideraciones a tener en cuenta sobre la aplicación del agua tratada magnéticamente en el riego agrícola, a saber:

- Una buena caracterización del equipo magnetizador, asegura el conocimiento de las variables: inducción magnética, intensidad de campo y homogeneidad del sistema.
- El control de las variables medioambientales permitirá, en lo posible, descartar la influencia de la variación de estas sobre los cambios que se produzcan en la planta.

- Mantener un estricto cumplimiento de las labores de mantenimiento del cultivo, pues de este factor también dependerá en gran medida la respuesta que puedan dar estos cultivos.

4.2.3. Reacción de las plantas al agua de riego magnetizada.

Las bases biológicas de los efectos del campo magnético se explican concibiendo a la célula como un sistema funcionalmente integral, de acuerdo con tres efectos básicos. El efecto de magnetización es considerado como el responsable de la orientación de las moléculas y átomos dipolares y se produce sobre elementos magnéticos no nulos. El efecto piezoeléctrico particularmente se presenta en las estructuras anisótropo - cristalinas provocando deformaciones mecánicas originadas por las oscilaciones eléctricas y elásticas. El efecto metabólico es el responsable de todos los procesos trófico - estimulantes y de reparación tisular (Ibáñez, 1989 citado por Cuero & Tulande, 2004). Hozayn *et al.* (2011) indicaron que el efecto de estimulación del agua magnetizada sobre distintos criterios de crecimiento vegetal puede ser atribuido al incremento en los pigmentos fotosintéticos, los promotores endógenos, el fenol total y el aumento de la biosíntesis proteínica.

Se ha reportado que un campo magnético influencia el máximo de germinación de semillas y el potencial de rendimiento (Aladjadjiyan, 2002 citado por Hozayn *et al.*, 2011) de las plantas. La razón de este efecto puede hallarse en la presencia de propiedades paramagnéticas de los cloroplastos que pueden causar una aceleración en el metabolismo de las semillas por un tratamiento magnético (Aladjadjiyan & Ylieve, 2003 citados por Hozayn *et al.*, 2011). En este sentido, Moussa (2011) encontró que los cloroplastos tienen propiedades paramagnéticas. Esto significa que en el campo magnético, los momentos magnéticos de los átomos están orientados en dirección opuesta con respecto a la dirección del campo. La influencia del campo magnético sobre las plantas, sensibles a éste, hace que se incremente su energía. Más tarde esa energía es distribuída entre los átomos y causa la aceleración del metabolismo y consecuentemente, se mejora la germinación. Las raíces parecen ser mucho más susceptibles a los campos magnéticos que los macollos (Kato *et al.*, 1989, citado por Moussa, 2011).

Majd & Shabrangi (2009) concluyeron que para aumentar la biomasa se necesitan cambios metabólicos, en particular, con el incremento de la biosíntesis de proteínas. Los autores añaden que el campo magnético es conocido como un factor ambiental que afecta la expresión de los

genes. Por lo tanto, los autores concluyen que, con el aumento de las reacciones biológicas como la síntesis de proteínas, la biomasa se podría incrementar también.

Los resultados satisfactorios del uso de agua magnetizada sobre varios cultivos bajo condiciones de invernadero, obtenidos por Hozayn *et al.* (2011) pueden ser resultado del efecto del agua magnetizada sobre procesos celulares como la transcripción genética, la cual juega un importante papel en la alteración de los procesos celulares. También podría deberse al incremento en los promotores de crecimiento. Los mismos resultados fueron obtenidos por Tian *et al.* (1991) y Atak *et al.* (2000) citados por Hozayn *et al.* (2011) quienes encontraron un aumento en los contenidos de clorofila que aparecieron específicamente luego de su exposición a un campo magnético durante un corto tiempo (ver figura 5). Además, Atak *et al.* (2003) citados por Hozayn *et al.* (2011) sugirieron que el aumento de todos los pigmentos fotosintéticos debido al incremento de la síntesis de citoquinina se debieron al campo magnético inducido. Adicionalmente, se menciona que la citoquinina juega un importante papel en el desarrollo de los cloroplastos, en la formación de los macollos, el crecimiento de los macollos auxiliares y la inducción de numerosos genes relacionados al metabolismo de nutrientes para el desarrollo de los cloroplastos (Atak *et al.*, 2003 citados por Hozayn *et al.*, 2011).

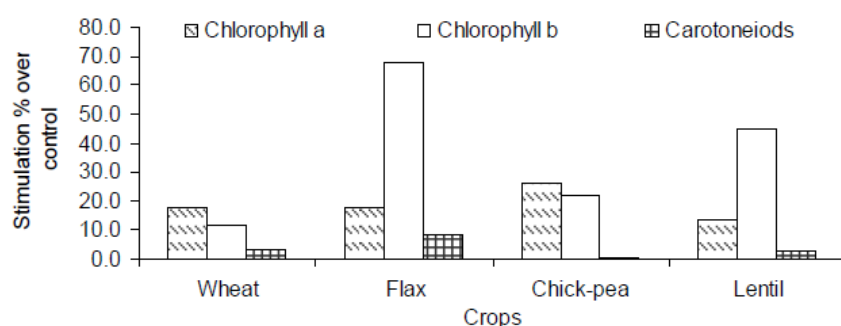


Figura 5. Porcentaje de estimulación sobre el tratamiento de control (agua no magnetizada) en los pigmentos fotosintéticos ($\text{mg } 100 \text{ g masa seco}^{-1}$) de monocotiledóneas y dicotiledóneas a los 60 días de su siembra (Fuente: Hozayn *et al.*, 2011) (wheat: trigo; flax: lino; chick-pea: garbanzo y lentil: lenteja).

Stange *et al.* (2002) indicaron que los campos electromagnéticos modifican la tasa de transporte de iones a través de la membrana celular o sino, que afecta la estructura dinámica de las proteínas lipídicas de la membrana celular, lo cual puede causar la alteración en la permeabilidad

de la membrana plasmática de las raíces de las plantas. De la misma manera, Taia *et al.* (2007) encontraron un incremento significativo en la tasa de absorción de agua, y explicaron los resultados debido a las variaciones inducidas por los campos magnéticos en las corrientes iónicas a través de la membrana celular que lleva a un cambio en la presión osmótica. En el mismo sentido, Balouchi & Sanavy (2009) reportaron que el campo magnético influencia las estructuras de las membranas celulares y en este sentido incrementan su permeabilidad y transporte de iones a través de los canales iónicos, lo cual entonces afecta diversas actividades metabólicas.

Belyavskaya (2004) y Turker *et al.* (2007) citados por Maheshwari & Grewal (2009) reportaron que un campo magnético débil tiene un efecto inhibitorio en el crecimiento de las raíces primarias durante el crecimiento temprano de las plantas. Los autores explican que la actividad proliferativa y la reproducción celular en el meristemo de las raíces de las plantas se vio disminuida al ser la planta expuesta a un campo magnético débil. Por otro lado, el ciclo reproductivo de las células decrece debido a la expansión de la fase G1 en muchas especies de plantas y en la fase G2 en raíces de lino y lenteja. Hubo una disminución en la actividad funcional del genoma en el periodo temprano de pre-replicado en las células de plantas expuestas a un campo magnético débil. En general, muchos estudios han concluido que un campo magnético débil causa la intensificación de la síntesis de proteína y la desintegración de las raíces de las plantas. Se encontró que las mitocondrias son muy sensibles a los campos magnéticos. El tamaño y el volumen relativo de las mitocondrias en las células de plantas de lino y lenteja se incrementaron debido a un campo magnético muy débil, por otro lado, Las células de las raíces de las plantas expuestas a un campo magnético débil mostraron una sobresaturación de calcio en todos los organelos del citoplasma (Belyavskaya, 2001, 2004 citados por Maheshwari & Grewal, 2009).

Martínez *et al.* (1992) citados por Isaac *et al.* (2010) quienes investigaban el efecto de un campo electromagnético sobre embriones cigóticos de cafeto (*Coffea arabica* L.) cultivados in vitro, plantearon que durante la exposición a los campos electromagnéticos, los canales y poros de la membranas celulares permanecen abiertos por más tiempo, produciéndose un incremento en la absorción de nutrientes y en el metabolismo celular y con ello el crecimiento del embrión cigótico de cafeto. Por otra parte, los campos magnéticos de baja frecuencia (60 Hz) pudieron modificar el flujo catiónico a través de las membranas biológicas y alterar el metabolismo

celular. Este mecanismo está basado en la premisa de que el flujo iónico transmembrana está regulado por cambios dependientes del voltaje en la conformación de los canales de proteínas y que los procesos que alteran el flujo iónico provocan profundos cambios en el metabolismo de la célula (Azanza y Del Moral, 1994; Bardasano, 2000, citados por Isaac *et al.*, 2010). Las alteraciones inducidas en la doble capa lipídica (iónica) por los campos magnéticos que abarcan desde alteraciones de las funciones de los receptores de la membrana, inhibición de la actividad de las enzimas ligadas a esta hasta cambios en su conformación, debido a las propiedades diamagnéticas de los dominios de los fosfolípidos pueden ser determinantes en las respuestas celulares (Rosen, 1996; Reina *et al.*, 2001; Gallan & Pazur, 2005; Ursache *et al.*, 2009 citados por Isaac *et al.*, 2010).

Hazayn *et al.* (2013) indicaron un aumento significativo en el contenido de pigmentos fotosintéticos en remolacha azucarera regada con agua magnetizada. Los contenidos de clorofila tienen una importancia básica en la productividad de las plantas, siendo un aspecto crítico para los agricultores. Bajos contenidos de clorofila, menores que 2 mg dm^{-2} por superficie de hoja, causan una insuficiente absorción de luz solar y, por ende, baja productividad vegetal. Aproximadamente 3 mg de clorofila por dm^{-2} por superficie de hoja asegura el óptimo (95-97%) consumo de luz de sol absorbido por las plantas (Rochalska, 2005 citado por Hazayn *et al.*, 2013).

Moussa (2011) citado por Hazayn *et al.* (2013) reportaron que el riego de un cultivo de fríjol común con agua magnetizada incrementó los pigmentos fotosintéticos (clorofila a, clorofila b y carotenoides), la actividad fotosintética y la eficiencia en la translocación de los foto-asimilados sobre el tratamiento control. Estos resultados para el incremento de actividad fotosintética son confirmados con los obtenidos por Mihaela *et al.* (2007, 2009) citados por Hazayn *et al.* (2013) resultados que demostraron un incremento en los contenidos de clorofila y carotenoides que aparecieron específicamente después del tratamiento con agua magnetizada.

Amira *et al.* (2010) irrigaron un cultivo de lino bajo condiciones de invernadero con agua normal y agua magnetizada encontrando un marcado incremento en el crecimiento vegetativo, los constituyentes químicos, es decir, los pigmentos fotosintéticos (clorofila a, b y carotenoides) y los fenoles totales, entre otros, del cultivo tratado con agua magnetizada en comparación con el

testigo. Además, los autores indican que el cultivo de lino sobre el cual se usó agua magnetizada exhibió un aumento en el número de bandas proteínicas y un rendimiento del 9.10% por planta.

4.2.4. Microorganismos estimulados con campos electromagnéticos.

La tecnología del electromagnetismo utiliza campos magnéticos para acelerar la acción dinámica de los microorganismos benéficos sobre el suelo, realizando un proceso de rehabilitación químico-biológico sobre los suelos afectados por la salinidad, reduciendo el tiempo y aumentando la eficiencia del mejoramiento a través de la actividad biológica (Zúñiga *et al.*, 2011). Además, la estimulación electromagnética de microorganismos acelera la descomposición orgánica del compost facilitando la asimilación de los nutrientes de este biofertilizante a la planta (Cuero y Tulande, 2004; Peña, 2010 citados por Zúñiga *et al.*, 2011).

Los campos electromagnéticos afectan la dirección de la migración y alteran el crecimiento y la reproducción de los microorganismos, causan cambios en la síntesis de ADN, en la orientación de bio-moléculas y bio-membranas y alteran el flujo de iones a través de la membrana plasmática, generando como resultado neto una modificación en la velocidad de reproducción celular (Blakemore & Frankel, 1981; Farina *et al.*, 1982, 1983; Mottas & Lins, 1986; Adamkiewicz *et al.*, 1987; Jennison, 1937; Kimball, 1938; Moore, 1979; Liboff *et al.*, 1984; Maret & Dransfeld, 1977; Conti *et al.*, 1985; Collis & Segal, 1988; Gerencser *et al.*, 1962; Pothakamury *et al.*, 1993; Goldsworthy *et al.*, 1999, citados por Zapata *et al.*, 2002).

El efecto que generan los campos magnéticos sobre el crecimiento celular se puede clasificar en inhibitorio, estimulatorio o no observable. Los efectos de estimulación o inhibición de los campos magnéticos se han atribuido a cambios en la orientación de las bio-moléculas (proteínas), cambios en las bio-membranas (lipídicas y plasmáticas), alteraciones del flujo de iones a través de la membrana plasmática y/o cambios en la estructura de las bio-moléculas (Pothakamury *et al.*, 1993 citados por Zapata *et al.*, 2002).

Se han propuesto varias teorías para explicar el efecto de los campos magnéticos débiles sobre los organismos y todas hacen mención a un fenómeno denominado “la resonancia del ciclotrón”, como uno de los responsables de dichos efectos (Liboff, 1985; Pothakamury *et al.*, 1993a;

Goldsworthy *et al.*, 1999 citados por Zapata *et al.*, 2002). Los campos magnéticos pueden activar las partículas coloidales del medio de cultivo, haciendo que estas remuevan parte del calcio unido a los fosfolípidos de las membranas plasmáticas, incrementando su permeabilidad y de esta forma, afectando el crecimiento de los microorganismos (Goldsworthy *et al.*, 1999 citados por Zapata *et al.*, 2002).

Hay diferencias significativas en la inducción de un campo magnético, investigadores han trabajado con campos de 62 μ T (Odhiambo *et al.*, 2009 citado por Aladjadjiyan) pasando por 250 mT (Ahmed, 2013) hasta 500 mT (Kato, 1988 citado por Galland & Pazur, 2005) y a diferentes tiempos de exposición, desde 15 segundos (Muszinski *et al.*, 2009 citado por Aladjadjiyan, 2012) pasando por 24 horas (Martinez *et al.*, 2009) hasta 16 días (Gusta *et al.*, 1978 citado por Galland & Pazur, 2005). El distinto efecto de diferentes campos magnéticos puede ser explicado con las propiedades de los iones. Los iones en la célula tienen la habilidad de absorber energía magnética correspondiente a parámetros específicos relacionados a su vibración y a la rotación de energía en sus subniveles. Este fenómeno representa un tipo de absorción de resonancia y podría explicar el fuerte efecto que tiene la aplicación de valores definidos de campos magnéticos (Aladjadjiyan, 2012).

Según Baker & Judd (1996) citados por Zapata *et al.* (2002) el mejor efecto sobre las partículas coloidales se obtiene cuando el medio líquido se hace pasar varias veces a través del dispositivo generador de campo, pero estos dispositivos utilizan densidades de flujo magnético relativamente altas (0,01-0,5T), lo cual presenta limitaciones económicas. La forma de eliminar este problema, es usando una bobina alrededor del tubo con el medio a tratar y aplicando una señal de corriente alterna, la cual genera el mismo efecto sobre un medio estático que si el medio se estuviera moviendo con respecto al dispositivo generador del campo (Goldsworthy *et al.*, 1999 citado por Zapata *et al.*, 2002). A este respecto, Zúñiga *et al.* (2011) apuntaron que la estimulación electromagnética se debe realizar por solenoides. La generación de campos electromagnéticos a través de bobinas eléctricas permite obtener un campo con corriente alterna, lo cual mejora significativamente la estimulación, en relación a los campos magnéticos continuos (con imanes). El tratamiento de estimulación electromagnética complementa las llamadas técnicas duras (estimulación física con campos magnéticos) con técnicas blandas (estimulación biológica con microorganismos) (CVC-UNIVALLE, 2009, citados por Zúñiga *et al.*, 2011).

El enriquecimiento del suelo con algunas bacterias del género *Azobacter* está siendo desarrollado para combatir especies de hongos dañinos (Gilligan, 2007 citados por Ratushnyak *et al.*, 2008). Sin embargo, la colonización de la rizósfera de la planta con bacterias benéficas es algunas veces impermanente (Parlevliet, 2002). En ciertas ocasiones, la introducción artificial de microorganismos falla y pasan de una etapa de actividad biocenológica a una condición de inactividad (Ratushnyak *et al.*, 2008). Para analizar la microflora rizosférica en plántulas de pino, Ratushnyak *et al.* (2008) tomaron muestras de suelo cercano a las raíces de las plántulas durante un mes, encontrando que un campo electromagnético de frecuencia extremadamente alta, que ascendió a 30-16 GHz, a una intensidad entre 10-16 y 10-10 Wcm⁻² y a un tiempo de exposición de 5-15 minutos, se influenció positivamente la microflora rizosférica.

4.3. La cúrcuma (*Curcuma longa*).

4.3.1. Generalidades del cultivo.

La especie *Curcuma longa* es una planta monocotiledónea, herbácea, perenne y tropical perteneciente a la familia Zingiberaceae originaria del sur de Asia y cultivada principalmente en Bangladés, China, India, Pakistán y Sri Lanka; siendo la India su principal exportador (Urrea *et al.* 2011). Los rizomas de la cúrcuma son ricos en pigmentos amarillos (curcuminoides) y aceite esencial, compuesto principalmente por turmeronas, zingibereno, curcumeno y felandreno (Netita, Aldo, Pottachola, Sinu & Bhagirathy, 2002; Barrero & Carreño, 2000 citados por Ríos *et al.*, 2008), además, contiene cantidades apreciables de proteínas (6.3%), lípidos (5.1%), carbohidratos (69.4%) y fibra (2.6%), es rica en minerales como fósforo, calcio, hierro y vitamina A (Kamal & Yousuf, 2012).

Las propiedades de la cúrcuma son muy importantes para la industria debido a que cuando se adiciona a preparaciones alimentarias preserva su frescura e imparte un sabor característico, además, de su uso en la medicina tradicional principalmente contra afecciones estomacales (Jayaprakasha *et al.*, 2005). Sus rizomas tienen múltiples aplicaciones, entre las cuales se puede citar su uso en la industria de alimentos como especia saborizante, colorante y conservante; en medicina tradicional como anticancerígeno, antiinflamatorio, antioxidante, antiparasitario, antiviral, antiséptico, estomático, tónico y purificador de la sangre (Chattopadhyay *et al.*, 2004, John *et al.*, 1997 citado por Urrea *et al.*, 2011), antibacterial, anticoagulante, antidiabético,

antifibrótico, antifúngico, antimutagénico e hipocolesterolémico (Chattopadhyay *et al.*, 2004, Scartezzini y Speroni 2000 citado por Urrea *et al.*, 2011); también tiene usos industriales como aromatizante, en la elaboración de cosméticos, como ornamental, en la protección de cultivos, tintura natural, y más recientemente se ha evaluado, con mucho éxito, el potencial de sus extractos como controlador de plagas. Lo anterior, sin que se registren actividades tóxicas, mutagénicas o reacciones farmacológicas adversas a la fecha (Urrea *et al.*, 2011).

En la medicina tradicional china, se usa para el tratamiento de enfermedades asociadas con dolor abdominal. En la antigua medicina hindú, es utilizada para el tratamiento de esguinces y la hinchazón. En todo el Oriente, tradicionalmente ha sido utilizada como buen tratamiento terapéutico, en particular como anti-inflamatorio, y muchos de sus efectos terapéuticos han sido confirmados por la investigación científica moderna. Estos efectos incluyen antioxidante, antiinflamatorios, anticancerígeno y antimicrobianos, hepatoprotector, trombosupresivo, cardiovascular (protección contra el infarto de miocardio), hipoglucemiantes y protección contra la artritis reumatoide (Goel *et al.*, 2008).

Todas estas aplicaciones son debidas a que la planta sintetiza compuestos polifenólicos, derivados sesquiterpénicos, alcoholes, cetonas y aceites esenciales volátiles, entre otros (Mau *et al.*, 2003 citado por Urrea *et al.*, 2011). Entre los polifenoles vale destacar el diferuloylmethano o curcumina, el cual es responsable de la mayoría de las acciones farmacológicas de la planta (Urrea *et al.*, 2011).

Sin embargo la *Curcuma longa*, se ve limitada ya que es una planta triploide básicamente estéril ($2n = 3x = 63$) (John *et al.*, 1997 citado por Urrea *et al.*, 2011), por lo cual solo puede ser propagada vegetativamente a través de rizomas; adicionalmente, su tasa de propagación es muy baja (de 5 a 10 veces en un año) y los rizomas son muy vulnerables al ataque de insectos y a enfermedades causadas por bacterias y hongos (distintas especies de *Pythium*), lo que hace que su almacenamiento sea complicado y se aumente el riesgo de dispersión de los patógenos. De igual forma, las enfermedades causadas por distintas especies de *Colletotrichum* son un problema para la conservación y almacenamiento de germoplasma de diferentes especies de *Curcuma*, principalmente en depósitos clonales (Nayak 2000 citado por Urrea *et al.*, 2011).

Asociado a esto, las necesidades propias de su cultivo, tales como altitud (entre los 1300 y 1800 m.s.n.m.) temperatura alta, agua abundante (1000 mm mínimo de lluvia anual con irrigación complementaria) y suelos óptimos (rico en materia orgánica), hacen que su comercialización y su potencialidad en aplicaciones no sean tan efectivas y beneficiosas como se podría esperar. No sobra mencionar que el tipo y cantidad de metabolitos sintetizados por la planta varía dependiendo del lugar de origen, lo que implica que las condiciones de cultivo influyen grandemente en el control de las rutas metabólicas (Barrero & Carreño 1999 citado por Urrea *et al.*, 2011).

Otro factor que limita el uso sostenible de la cúrcuma es su tiempo de “maduración”, el cual fluctúa entre siete y nueve meses, esto hace que la recolección de rizomas no pueda ser efectuada sino a partir de los 10 meses posteriores a la siembra (Filho *et al.*, 2000 citado por Urrea *et al.*, 2011), alcanzando un porcentaje favorable solo a los 24 meses después de la siembra. Esto sin mencionar el efecto que la explotación continuada ha generado en las poblaciones de cúrcuma y que a la fecha no ha sido debidamente evaluado.

4.3.2. Clima y riego.

La cúrcuma puede crecer en diversas condiciones tropicales desde el nivel del mar hasta los 1500 m.s.n.m., a un rango de temperatura de 20-35°C con precipitaciones anuales de 1500 mm o más, bajo condiciones de riego artificial (Kandiannan *et al.*, 2008).

La época de plantación se debe realizar en la mitad y al final del periodo de lluvias. El riego es crítico al inicio del establecimiento de la plantación (ASOHOFrucol, 2007).

La cúrcuma puede crecer en rangos de precipitación de 640 a 4290 mm, y en una precipitación moderada de 1500 mm en la siembra, frecuente y bien distribuida durante el periodo de crecimiento, y con un clima seco por cerca de un mes antes de su cosecha se mejora su rendimiento en el campo. El rango de temperatura óptimo puede estar entre los 18.2°C y los 27.4°C. Donde la lluvia sea bimodal, el cultivo se mantiene con las precipitaciones naturales, mientras que si se tiene un régimen unimodal y bajo, el cultivo se mantendrá con irrigación artificial. Una irrigación frecuente para los primeros 2 meses después de la siembra es esencial

para la brotación, la emergencia de raíces y retoños, y para el aumento del tamaño cuando el cultivo está creciendo como uno de secano (Prabhakaran, 2013).

Panigrahi *et al.* (1987) citado por Prabhakaran (2013) registraron las temperaturas del aire de 30–35°C, 25–30°C, 20–25°C, y 18–20°C como óptimas para las fases de germinación, labrado, inicio de crecimiento de los rizomas y el llenado de los mismos, respectivamente.

La precipitación recibida durante el segundo mes después de la siembra y el rendimiento de los rizomas están positivamente correlacionados, con un alto nivel de significancia, $r = 0.6024$ (Kandiannan *et al.*, 2002 citados por Prabhakaran, 2013). La interrelación cultivo-clima en la cúrcuma indicó que la temperatura media del aire, la precipitación total, el número de días lluviosos y la humedad relativa mínima mostraron correlaciones positivas con el rendimiento, mientras que la evaporación media, las horas medias de luz solar, la radiación media y la temperatura media máxima del aire mostraron una correlación negativa (Kandiannan *et al.*, 2002 citados por Prabhakaran, 2013).

4.3.3. Fertilización.

4.3.3.1. Fertilización inorgánica.

Dado que la cúrcuma es un cultivo muy agotador del suelo, necesita adecuada nutrición suplementaria por medio de fertilizantes inorgánicos, sobretodo al 3, 4 y 5 mes que corresponde al crecimiento activo de la planta (Prabhakaran, 2013).

La aplicación de fertilizantes incrementa los rendimientos de la cúrcuma del 81% al 282%, comparado con zonas donde no se aplicó ningún tipo de fertilización (Eyubov *et al.*, 1984, citado por Prabhakaran, 2013). En particular, los efectos positivos de la aplicación de P están asociados a la proliferación de las raíces y al consecuente uso eficiente del agua por parte de la planta. En conjunto con otros nutrientes, como el N y el K, se ha encontrado una respuesta positiva a la aplicación de P a una proporción de 175 kg/ha. Eyubov *et al.* (1984) citado por Prabhakaran (2013) indica que la aplicación de roca fosfórica y superfosfato en las combinaciones de proporciones 1:3, 1:1 y 3:1 incrementan el rendimiento de los rizomas comparado con la no aplicación de fertilizantes. Por otro lado, Niranjana *et al.* (2003) citado por Prabhakaran (2013) no

encontró diferencia significativa en la aplicación de N sobre la calidad de los componentes de los rizomas (curcumina), sólo observó que la biomasa total producida fue mayor.

Prabhakaran (2013) indica que el máximo rendimiento de cúrcuma (35,3 Ton/ha) asociado a la mejor proporción costo-beneficio fue alcanzada con la aplicación de N, P y K a proporciones 150:125:250 kg/ha, respectivamente, en los cultivares plantados en el estado sureño indú de Karnataka. Sin embargo, muchos investigadores en India (líder mundial en la producción de cúrcuma) desde hace más de 30 años han estimado diversas proporciones de acuerdo a las zonas agroclimáticas del país donde se desarrollaron tales investigaciones, algunas de estas proporciones se exponen en la tabla 1.

Tabla 1. Proporciones óptimas de N, P y K (Kg/ha) para la cúrcuma en diferentes regiones agroclimáticas en India (Fuente: Prabhakaran, 2013).

Proporciones óptimas de NPK	Locación de recomendación	Referencia
150:125:250	Estado de Karnataka	Venkatesha et al. (1998)
120:60:120	Zona Hilly, Estado de Karnataka	Sheshagiri and Uthaiah (1994)
60:50:120	Calicut, Estado de Kerala	Sadanandan and Hamza (1996)
130:90:70	Arunachal Pradesh	Dubey and Yadav (2001)
200:60:200	Planicies aluviales del oeste de Bengala	Medda and Hore (2003)
75:60:150	Allahabad (Uttar Pradesh)	Thomas et al. (2002)
100:50:50	Montañas Simla, Himachal Pradesh	Randhawa et al. (1973)
200:100:100	Estado Maharashtra	Yamgar et al. (2001)
100:100:100	Uttar Pradesh	Upadyay & Misra (1999)

Es interesante notar de la tabla 1 que, en su mayoría, la cúrcuma es exigente con los niveles de K., obteniendo respuestas positivas a una proporción general de 180 kg/ha de K₂O/ha en India. Es fundamental mencionar que el K tiene un efecto significativo sobre el contenido de curcumina (Prabhakaran, 2013).

Sharma *et al.* (2003) citados por Prabhakaran, 2013 observaron que la aplicación continua de fertilizantes inorgánicos llevan a la reducción del rendimiento de los rizomas en el tiempo, distinto al caso de uso de estiércoles de granja y vermicompost, los cuales mejoraron el rendimiento de rizomas en la variedad de cúrcuma “*Suma*” hasta del 10%. La aplicación de 50% de tasas recomendadas de N, P y K con fertilizantes inorgánicos (175 kg N, 60 kg P₂O₅) y 125 kg K₂O + 10 t/ha de vermicompost mejoraron la porosidad del suelo, redujeron la compactación y

mejoraron el contenido de carbono orgánico (de 0.44% a 0.72%), dejando un mayor rendimiento de rizomas y una proporción neta de retorno costo-beneficio de 3.35.

4.3.3.2. Fertilización orgánica.

Kamal & Yousuf (2012) investigaron el efecto de varios tipos de fertilizantes orgánicos sobre el rendimiento y la calidad de los rizomas de cúrcuma en campo, encontrando que, aquellos con base en torta de neem (*Azadirachta indica*) mostraron los mejores resultados. El mejor desempeño de las plantas con la torta de neem se debió probablemente por su efecto como fertilizante natural con propiedades pesticidas las cuales protegen las raíces de las plantas de nemátodos, gusanos y hormigas blancas y actúa como un inhibidor del proceso de nitrificación y prolonga la disponibilidad del nitrógeno para cultivos de corta y larga duración. Además de lo anterior, la torta de neem mejora las condiciones del suelo considerablemente y protege al suelo durante épocas de sequía (Kamal & Yousuf, 2012).

Roy & Hore (2011) por su parte, estudiaron los efectos de fertilizantes orgánicos e inoculantes microbianos sobre el rendimiento, la colonización de raíces y la población total bacteriana en un cultivo de cúrcuma alternado con un cultivo de *Areca catechu* L., encontrando una diferencia significativa en el rendimiento de los rizomas de la cúrcuma con la aplicación de vermicompost más *Azospirillum* sp. más *Glomus* sp. (28.94 t ha⁻¹), seguido del tratamiento con compost más *Azospirillum* sp. más *Glomus* sp. (26.93 t ha⁻¹), en comparación al rendimiento logrado con la combinación usual de fertilizante de síntesis química N-P-K (24.11 t ha⁻¹).

4.3.4. Siembra.

La cúrcuma se multiplica por medio de rizomas. La selección de rizomas debe ser rigurosa, prefiriendo aquellos vigorosos y de excelente sanidad. La preparación del suelo debe ser esmerada y profunda, dado que la porción útil es un rizoma que debe estar favorecido en su desarrollo. Es también importante que el predio se encuentre libre de malezas (Díaz & Ávila, 2002).

Para la preparación del terreno se debe realizar una labor de arado y dos rastrilladas; es necesario dejar el terreno mullido y esponjoso. Se deben destruir las socas anteriores y de acuerdo con el

análisis de suelo, se debe incorporar materia orgánica para mejorar la estructura del suelo y la fertilidad (ASOHOFrucOL, 2007). Aunque la cúrcuma puede crecer sobre diferentes tipos de suelo, se acondiciona mejor en suelos arenosos bien drenados o en suelos franco-arcillosos con un rango de pH de 4.5-7.5 con buena cantidad de materia orgánica (Kandiannan *et al.*, 2008).

El sistema de propagación es asexual, por medio de rizomas de 2.5 cm de diámetro por 5 cm de longitud por lo menos con 2 yemas para brotación.

La distancia de siembra y la densidad del cultivo son aspectos críticos para alcanzar rendimientos óptimos. En este sentido, la literatura recomienda una gran variedad de configuraciones, sin embargo, tales configuraciones son función de las propiedades del suelo, las condiciones climáticas y de la naturaleza misma del cultivo. Kumar & Gill (2010) llevaron a cabo una investigación de gran relevancia para este estudio acerca de la influencia del método de siembra, la densidad de plantas y el material vegetal sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de la cúrcuma bajo condiciones de campo durante dos años (2003-2005) en Punjab, India. Los autores compararon el método de siembra en surcos versus el método de siembra plana bajo tres distancias de siembra correspondientes por método, a saber: 60cm x 10cm, 60cm x 15cm y 60cm x 20cm en surcos; 30cm x 20cm, 30cm x 30cm y 30cm x 40cm en cultivo plano concluyendo que las diferencias entre estos métodos de siembra no son significativas. Además, los autores compararon el uso de rizomas madre, primarios y secundarios con respecto al rendimiento final del cultivo. Los autores concluyeron, por una parte que, a menor espaciamiento entre plantas o a mayor densidad de cultivo se produce un rendimiento significativamente alto en comparación con densidades bajas. La posible razón para obtener mayores rendimientos debido al menor espaciamiento entre plantas o a mayores densidades de plantas se debe probablemente a que una mayor cantidad de plantas son acomodadas por hectárea. Mientras que un espaciamiento más grande resulta en una mayor masa de rizomas madre, primarias y secundarias, aparentemente debido a una menor competencia entre plantas, pero una mayor población o densidad contribuye de mejor manera a un mayor rendimiento (Kumar & Gill, 2010).

Kumar & Gill concluyeron, además, que el efecto de diferentes tipos de rizomas sobre el rendimiento del cultivo fue significativo. La siembra de rizomas madre produjo rendimientos significativamente más altos que con los rizomas primarios, los cuales, a su vez, contaron con un

rendimiento mayor en comparación a los rizomas secundarios. El rizoma madre, primario y secundario produjo un rendimiento en fresco de 19.92 ton ha⁻¹, 15.37 ton ha⁻¹ y 10.98 ton ha⁻¹ respectivamente, durante 2003-2004 y 21.62 ton ha⁻¹, 16.97 ton ha⁻¹ y 12.66 ton ha⁻¹ respectivamente, durante 2004-2005. El incremento del rendimiento por el uso de los rizomas madre puede ser atribuido a su superioridad con respecto al uso de rizomas primarios o secundarios. La traslocación y movilización de nutrientes son mayores en los rizomas madre haciéndolos por lo tanto, cualitativa y cuantitativamente superiores. Además, las plantas que resultan de rizomas madre son más vigorosas y de mejor rendimiento en comparación con los rizomas primarios o secundarios (Kumar & Gill, 2010).

ASOHOFRUCOL (2007) por su parte, explica que la siembra de los rizomas es directa, a 1 metro entre surcos y 40 cm entre plantas. La densidad aproximada será de 25000 plantas por hectárea, por otro lado, Filho *et al* (2004), recomiendan un espaciamiento entre plantas de 30 cm y entre surcos de 80 cm.

Prabhakaran (2013) indica que por experiencia práctica, se ha visto que la profundidad de siembra de 5 cm parece ser la óptima en condiciones prevalentes en Bangladés. Mishra *et al.* (2000) citados por Prabhakaran (2013) encontraron que la germinación, el crecimiento, el rendimiento del cultivo, los atributos del rendimiento y el rendimiento de rizomas frescos fueron influenciados positivamente al incrementar la profundidad de siembra del rizoma. La siembra a 8-10 cm de profundidad en suelo rojo oscuro en Japón fue encontrada como la mejor para obtener altos rendimientos y reducir la competencia con las arvenses (Ishimine *et al.*, 2003 citados por Prabhakaran, 2013). El autor indica además, que el desarrollo de los rizomas fue temprano también, junto con una mayor biomasa de los retoños y rendimiento de rizoma, cuando se plantaron a 8, 12 y 16 cm de profundidad en vez de a 4 cm. Hossain (2005) citado por Prabhakaran (2013) reportó que un cultivo plantado a gran profundidad dificulta el manejo de la cosecha.

4.3.5. Cosecha.

Dependiendo la variedad, el cultivo estará listo para la cosecha en 7-9 meses después de su plantación en el mes de enero-marzo. Las variedades precoces maduran en 7-8 meses, las

variedades medias en 8-9 meses y las variedades tardías después de 9 meses (Kandiannan *et al.*, 2008). Su madurez fisiológica se identifica cuando el tallo se presenta amarillento y se observa muerte del follaje (no debe tener pintas rojas, ni color verdoso) (ASOHOFrucol, 2007).

Para su recolección se extraen las raíces cuidando no lesionar la planta, se hierven, de esta forma se desprende la cáscara exterior y las yemas y se exponen al sol de cinco a siete días para su secado, finalmente se clasifican por su calidad (Díaz & Ávila, 2002).

4.3.6. Post-cosecha.

Para realizar la limpieza y estabilización de los rizomas cosechados, primero se someten a una clasificación por tamaño, seleccionando los de mejor desarrollo y uniformidad y se eliminan las raicillas delgadas. Posteriormente se lavan para eliminar el suelo pegado. La estabilización se realiza en agua hirviendo durante unos 15 minutos (Díaz & Ávila, 2002).

Kandiannan *et al.* (2008) indican que el proceso de estabilización en agua hirviendo se detiene cuando sale espuma y aparecen humos blancos dando un olor típico. El autor recomienda que el hervido debería durar 45-60 minutos cuando los rizomas se tornan suaves. La etapa en la cual el hervido es detenido influye grandemente el color y el aroma del producto final. Un sobre-cocido deteriorará el color del producto final mientras que un sub-cocido hará que el producto seco sea frágil (Kandiannan *et al.*, 2008).

Finalmente, los rizomas son cortados longitudinalmente para facilitar el secado, que puede ser natural (varios días al sol) o mecánico. Después del secado se elimina la cutícula mediante raspado (Díaz & Ávila, 2002).

Con respecto al almacenamiento de los rizomas-semilla, Prabhakaran (2013) explica que éstos deberían almacenarse amontonándolos en recintos bien ventilados y cubiertos con hojas de cúrcuma. Los rizomas-semilla pueden también ser almacenados en pozos llenos con aserrín (obtenidos de talleres de madera), arena, hojas de *Glycosmis pentaphylla* y *Strychnos nux-vomica*. Los pozos deben ser cubiertos con tablones de madera, con uno o dos hoyos hechos en su parte superior para la aeración apropiada y la incidencia de la luz solar para que ningún tipo de pudrición de los rizomas tome lugar dentro de los pozos. El método más efectivo de almacenamiento es el de mantener los rizomas en bolsas de polietileno calibre 100 con 3% de

ventilación lo cual asegura casi el 100% (98.88% precisamente) de recuperación de rizomas sanos, los cuales cuando son sembrados en el campo mostraron un 91.9% de remacollo. Este tratamiento mostró un <20% de remacollo y enraizamiento durante el almacenado y aseguró un nivel de pudrición despreciable (Prabhakaran, 2013).

4.3.7. Potencialidad de la cúrcuma en el agro colombiano.

Ríos *et al.* (2009) al realizar la caracterización espectroscópica y cromatográfica de curcumina extraída de los rizomas de cúrcuma (*cúrcuma longa l.*) cultivada en el departamento del Quindío (Colombia), indican que al analizar los contenidos de curcumina en Colombia (7.03%), con los reportes para Venezuela (3.06%) y la India de (4.98 %), lograron determinar que el contenido es mayor en la cúrcuma de la región del Quindío con respecto a los otros países. En otra investigación desarrollada por Ríos *et al.* (2008) al estudiar el perfil de compuestos volátiles de los rizomas de *Curcuma longa* L. cultivada en el departamento del Quindío concluyeron que el aceite esencial obtenido de la cúrcuma en la región del Quindío, en contraste con otros reportes (Venezuela por Barrero & Carreño, 2000 e India por Neettiyath, Aldo, Pottachola, Sinu & Bhagirathy, 2002 citados por Ríos *et al.*, 2008) mostró un mayor contenido de arturmerona (36.942%), curlona (18.961%), α -turmerona (13.657%) y alto contenido de isómeros sesquiterpenoides con anillo ciclopentanil (6.106%) no reportados, confirmando que el aceite de cúrcuma de esta región es diferente en su composición, dándole valor como objeto de estudio en futuras investigaciones con respecto a sus propiedades para ser utilizado en la industria alimentaria (Ríos *et al.*, 2008), cosmética y/o farmacéutica.

5. METODOLOGÍA.

5.1. LOCALIZACIÓN.

El estudio se desarrolló en dos lugares, correspondientes a cada una de las dos fases del experimento con biofertilizante líquido estimulado electromagnéticamente y al experimento con agua magnetizada. La fase I se desarrolló en el Laboratorio de Física Ambiental, mientras que la fase II y la aplicación de agua de riego magnetizada se realizó en la casa de malla construida y adecuada en el área de la granja experimental, ambos espacios situados en la Universidad del Valle, sede Meléndez en el municipio de Santiago de Cali.

La granja experimental se encuentra a una altura de 995 m.s.n.m, una latitud de 3°22'33.55"N y una longitud de 76°31'58.43"O; cuenta con una temperatura promedio anual de 23 °C, humedad relativa del 73%, una precipitación promedio anual de 908 mm y 162 horas en promedio de brillo solar.

El suelo sobre el cual fueron sembrados los rizomas de cúrcuma para la ejecución de la fase II para biofertilizante estimulado electromagnéticamente y para el experimento con agua magnetizada provino de la vereda “El Limonar”, municipio de Dagua (Valle del Cauca), exactamente en lote localizado en las coordenadas: 3°57'31.85"N 76°25'19.75" a una altura de 944 m.s.n.m. (ver figura 8), donde actualmente se está sembrando cúrcuma en el marco del proyecto Bio-región, conectando así, la investigación a desarrollar con el proyecto en ejecución.

El suelo se tamizó a un diámetro de orificio de 2 mm y fueron empacados 15 kg del mismo en bolsas de polietileno negro (calibre 4) de 50 cm de diámetro por 50 cm de altura con orificios de drenaje.

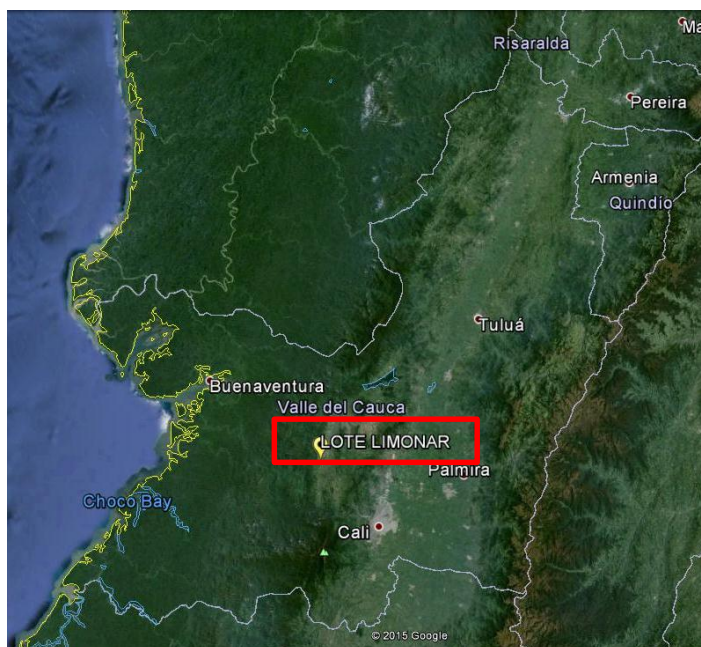


Figura 6. Ubicación del “LOTE LIMONAR” donde se extrajeron las muestras de suelo (Fuente: Google Earth. Fecha consulta: 3 de noviembre 2014).

5.2. ESTIMULACIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE BIOFERTILIZANTE (FASE I).

En la fase de laboratorio se evaluó el mejor tiempo de exposición y la mejor intensidad de campo electromagnético sobre el biofertilizante disuelto en agua y recirculado, se tuvo como parámetro la prueba de actividad microbiana presente en muestras de gallinaza que pasaron por un proceso térmico en el horno de laboratorio marca Quincy Lab Inc. Modelo 40GC a 170°C durante 2 horas, a las cuales se les adicionó el biofertilizante disuelto en agua con el objeto de identificar un intervalo de campos y tiempos de estimulación óptimos para los microorganismos.

5.2.1. Diseño experimental.

Los ensayos de laboratorio para acotar los valores óptimos de tiempo de exposición e intensidad de campo fueron planteados como un diseño bi-factorial completamente al azar.

5.2.1.1. Modelo estadístico.

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{ijk} &\sim N(0, \sigma^2 I) \\ i &= 1, \dots, a \\ j &= 1, \dots, b \\ k &= 1, \dots, r\end{aligned}$$

y_{ijk} = Es la variable respuesta actividad microbiana teniendo en cuenta la intensidad electromagnética i , el tiempo de exposición j , la k -ésima réplica y la interacción de éstos teniendo en cuenta el error experimental.

μ = Es la media general sin tener en cuenta los efectos de los tratamientos.

α_i = Es el efecto de la intensidad del campo electromagnético i sobre la actividad microbiana del biofertilizante disuelto en agua sobre la muestra de gallinaza.

β_j = Es el efecto del tiempo de exposición j sobre la actividad microbiana del biofertilizante disuelto en agua sobre la muestra de gallinaza.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre la intensidad del campo electromagnético i y el tiempo de exposición j sobre la actividad microbiana del biofertilizante disuelto en agua sobre la muestra de gallinaza.

ε_{ijk} = Error experimental.

Supuestos del modelo. El modelo estadístico cumplió los siguientes supuestos:

- ✓ Correcta especificación: $E(\varepsilon_{ijk}) = 0$
- ✓ Normalidad de los residuales: $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$
- ✓ Independencia: $cov(\varepsilon_{ijk}, \varepsilon_{i'j'k'}) = 0 \forall i \neq i', j \neq j', k \neq k'$
- ✓ Homogeneidad de varianza: $V(\varepsilon_{ijk}) = \sigma^2 I \forall i, j, k$

Factores. Intensidad del campo electromagnético y tiempo de exposición.

Niveles. Intensidad del campo electromagnético: 25, 50, 75 y 100 mT y tiempo de exposición: 7 ½, 15 y 30 minutos.

Tratamientos. Para calcular el número de tratamientos para la fase I fueron multiplicadas las 4 intensidades de campo electromagnético por los 3 tiempos de exposición, a este resultado se le sumó 3 tratamientos testigo (biofertilizante sin recircular y sin estimular durante cada uno de los

3 tiempos de exposición) obteniendo un total de 15 tratamientos. Cada tratamiento cuenta con 3 repeticiones, por tanto se obtuvieron 45 unidades experimentales (ver tabla 2).

Tabla 2. Disposición de los tratamientos de la fase I.

Tratamiento	Intensidad de campo EM [mT]	Tiempo de exposición [minutos]	Tratamiento	Intensidad de campo EM [mT]	Tiempo de exposición [minutos]
T1R1	25	7 1/2	T7R1	75	7 1/2
T1R2	25	7 1/2	T7R2	75	7 1/2
T1R3	25	7 1/2	T7R3	75	7 1/2
T2R1	25	15	T8R1	75	15
T2R2	25	15	T8R2	75	15
T2R3	25	15	T8R3	75	15
T3R1	25	30	T9R1	75	30
T3R2	25	30	T9R2	75	30
T3R3	25	30	T9R3	75	30
T4R1	50	7 1/2	T10R1	100	7 1/2
T4R2	50	7 1/2	T10R2	100	7 1/2
T4R3	50	7 1/2	T10R3	100	7 1/2
T5R1	50	15	T11R1	100	15
T5R2	50	15	T11R2	100	15
T5R3	50	15	T11R3	100	15
T6R1	50	30	T12R1	100	30
T6R2	50	30	T12R2	100	30
T6R3	50	30	T12R3	100	30
			Test Se-Sr R1	0	7 1/2
			Test Se-Sr R2	0	7 1/2
			Test Se-Sr R3	0	7 1/2
			Test Se-Sr R1	0	15
			Test Se-Sr R2	0	15
			Test Se-Sr R3	0	15
			Test Se-Sr R1	0	30
			Test Se-Sr R2	0	30
			Test Se-Sr R3	0	30

Unidad experimental. Muestra de biofertilizante líquido disuelta en agua normal más gallinaza.

Variables de respuesta. La variable de respuesta fue evaluada con la prueba de actividad microbiana sobre las muestras de biofertilizante líquido disuelto en agua y gallinaza.

5.2.2. Población microbiana.

El biofertilizante líquido Multibiol® contiene microorganismos eficientes (ver Anexo II) que pasaron por un sistema de recirculación impulsado por una motobomba de 1 HP marca TITAN modelo QB-60 con un caudal máximo de 35 litros por minuto, se desconocía si el paso de los microorganismos por los álabes de la misma afectaría de forma sensible su población.

Con el apoyo de la ingeniera agrónoma Celina Torres M. Sc. en fitopatología, se desarrolló una prueba cualitativa en el laboratorio de microbiología del programa de Biología de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad del Valle sede Meléndez, con el objeto de determinar si la población de microorganismos de dos muestras diluidas en agua del biofertilizante líquido Multibiol® siguiendo las instrucciones del fabricante se ven afectadas por su paso por un sistema de recirculación con motobomba. El día 7 de mayo de 2014, se diluyó 1 litro de Multibiol® en 10 litros de agua normal de la llave, se mezcló en el tanque de almacenamiento del sistema de recirculación y se tomó una muestra de la solución, luego se conectó la motobomba y se dejó durante 30 minutos recirculando (tiempo máximo considerado para la fase II), pasado este periodo de tiempo se tomó una muestra, en los dos casos la muestra fue de 200 ml que fueron almacenados en dos frascos ámbar esterilizados previamente en autoclave.

A los 2 tratamientos (solución recirculada y solución sin recircular) con 5 repeticiones por tratamiento, les fueron cultivados los microorganismos bajo 2 técnicas distintas en agar nutritivo, obteniendo así, 20 unidades experimentales. Dado que el producto Multibiol® indica en su etiqueta que cuenta con una mezcla de cepas de microorganismos benéficos tanto aerobios (en general, bacterias) como anaerobios (en general, hongos), se hizo necesario utilizar 2 técnicas distintas de inoculación en el agar, para los aerobios se hizo en superficie, mientras que para los anaerobios se hizo en profundidad (ver fotografía 1 y 2).



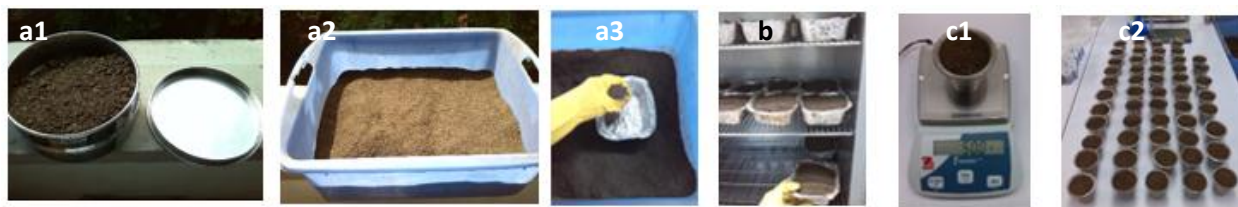
Fotografía 1. Inoculación de los microorganismos a profundidad. Se adiciona 1 ml de solución sobre la caja de Petri, luego se aplica el agar que posteriormente se solidificará.



Fotografía 2. Sellado de las muestras con plástico y ubicadas posteriormente en horno incubador a 28°C durante 5 días.

5.2.3. Actividad microbiana.

Las muestras de gallinaza fueron tamizadas y sometidas a un tratamiento térmico en el horno marca Quincy Lab Inc. Modelo 40GC, y posteriormente fueron tomados 50 gramos de las muestras (ver fotografía 3 a1, a2, a3, b, c1 y c2) y fueron ubicados a un recipiente plástico. A la muestra de gallinaza se le adicionaron 50 ml del biofertilizante líquido Multibiol® disuelto en agua en la dosis recomendada de 100 ml de producto por un litro de agua.



Fotografía 3. a1, a2, a3. Tamizado de gallinaza tamiz No. 10; b. Tratamiento térmico de la gallinaza a 170°C durante 2 horas; c1, c2. Llenado de copas con 50 g de gallinaza.

Los 50 ml de biofertilizante disueltos en agua pasaron previamente por el sistema de recirculación a diferentes intensidades de campo electromagnético y a diferentes tiempos de exposición formando así las 45 unidades experimentales (ver tabla 2) a las cuales se les realizó la prueba de actividad microbiana (ver fotografía 4 a1, a2, b y c).



Fotografía 4. a1, a2. Se estimuló la solución de Multibiol® con agua a diferentes intensidades de campo electromagnético medidos con el multímetro Uni-t UT61C RS232 (USB) y a diferentes tiempos de exposición; b. 50 centímetros cúbicos de la solución de Multibiol se mezclaron con 50 g de gallinaza; c. Se realizó la prueba de actividad microbiana.

Para determinar la actividad microbiana de las muestras, se incubaron 50 g de gallinaza pasadas por el horno más 50 ml de biofertilizante líquido durante 24 horas a 24°C en un recipiente hermético en donde también se ubicaron 10 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 1N el cual atrapa el dióxido de carbono (CO₂) desprendido por la muestra para formar carbonato de sodio.

Además se prepararon 3 muestras testigos incubadas sin presencia de gallinaza ni biofertilizante líquido. Después de 24 horas de incubación se adicionaron 2 ml de cloruro de bario (BaCl₂) al

10% para precipitar el CO_2 en forma de carbonato de bario (BaCO_3). Luego se adicionaron dos gotas de fenolftaleína 1% (solución alcohólica indicadora) y se tituló con ácido clorhídrico (HCl) 0.5N adicionándolo lentamente para cuantificar el volumen de NaOH que no reaccionó con el CO_2 . El blanqueamiento de la solución titulada indicó la neutralización de todo el hidróxido. Análogamente la muestra testigo se tituló con HCl 0.5N.

Se tuvo en cuenta la calibración de la bobina realizada en el Laboratorio de Física Ambiental de la cual se obtuvieron los valores clave de intensidad de campo electromagnético asociado a la magnitud de la corriente eléctrica medida en Amperios (ver tabla 3).

Tabla 3. Intensidad de campo electromagnético relacionado con su correspondiente magnitud de corriente eléctrica (Fuente: Ing. M. Sc. Daniel Ospina, estudiante Doctorado Universidad Nacional de Colombia, integrante Grupo de Investigación ILAMA).

Intensidad campo EM [mT]	Corriente eléctrica [A]
100	6,59
75	4,94
50	3,25
25	1,62

Se realizaron 3 ensayos para validar los resultados de actividad microbiana obtenidos en la fase I.

5.3. ESTIMULACIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE BIOFERTILIZANTE (FASE II)

Fueron evaluadas las 3 mejores interacciones correspondientes a tiempo de estimulación e intensidad de campo electromagnético determinados en la fase I sobre plántulas de cúrcuma bajo condiciones de invernadero.

5.3.1. Diseño experimental

Para las 3 mejores interacciones de tiempo e intensidad obtenidas de la fase I para el biofertilizante, fue propuesto un diseño completamente al azar unifactorial.

5.3.1.1. Modelo estadístico.

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ijk} &\sim N(0, \sigma^2 I) \\ i &= 1, \dots, a \\ j &= 1, \dots, r \end{aligned}$$

y_{ijkl} = Son las variables de respuesta de la cúrcuma al cuarto mes de periodo vegetativo teniendo en cuenta el efecto de la interacción entre tratamientos de la *fase I* para biofertilizante líquido disuelto en agua i y la j -ésima réplica teniendo en cuenta el error experimental.

μ = Es la media general sin tener en cuenta los efectos de los tratamientos.

α_i = Es el efecto de la interacción entre tratamientos de la *fase I* para biofertilizante líquido disuelto en agua i sobre las variables de respuesta de la cúrcuma al cuarto mes de periodo vegetativo.

ε_{ij} = Error experimental.

Supuestos del modelo. El modelo estadístico cumplió los siguientes supuestos:

- ✓ Correcta especificación: $E(\varepsilon_{ij}) = 0$
- ✓ Normalidad de los residuales: $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$
- ✓ Independencia: $cov(\varepsilon_{ij}, \varepsilon_{i'j'}) = 0 \forall i \neq i', j \neq j'$
- ✓ Homogeneidad de varianza: $V(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2 I \forall i, j$

Factor. Interacción entre tratamientos de la fase I para biofertilizante líquido disuelto en agua (intensidad de campo electromagnético y tiempo de exposición).

Niveles. Las 3 mejores interacciones (tiempo de exposición – intensidad de campo electromagnético) de la fase I para biofertilizante líquido disuelto en agua.

Tratamientos. Los tratamientos fueron 5, correspondientes a las 3 mejores interacciones de tiempo de exposición e intensidad de campo electromagnético para biofertilizante líquido

disuelto en agua con 5 repeticiones, más un tratamiento testigo (biofertilizante líquido disuelto en agua sin estimular y sin recircular -estático- durante 30 minutos) con 3 repeticiones y un tratamiento testigo absoluto (agua normal proveniente del sistema alterno de riego) con 3 repeticiones, es decir, fueron un total de 21 unidades experimentales (ver tabla 4).

Tabla 4. Disposición de los tratamientos de la fase II.

Tratamiento	Interacción (intensidad CEM [mT]-tiempo exposición [minutos])
T1R1	Interacción 1
T1R2	Interacción 1
T1R3	Interacción 1
T1R4	Interacción 1
T1R5	Interacción 1
T2R1	Interacción 2
T2R2	Interacción 2
T2R3	Interacción 2
T2R4	Interacción 2
T2R5	Interacción 2
T3R1	Interacción 3
T3R2	Interacción 3
T3R3	Interacción 3
T3R4	Interacción 3
T3R5	Interacción 3
T1-Se-Sr-30min	Testigo 1 sin estimular sin recircular durante 30 minutos
T2-Se-Sr-30min	Testigo 2 sin estimular sin recircular durante 30 minutos
T3-Se-Sr-30min	Testigo 3 sin estimular sin recircular durante 30 minutos
Ta1	Testigo absoluto 1
Ta2	Testigo absoluto 2
Ta3	Testigo absoluto 3

Unidad experimental. Plántula de cúrcuma.

Variable de respuesta. Número de rizomas, número de macollos, longitud del tallo (de la base de la materia hasta el punto de inserción de la hoja más joven), masa fresca y masa seca de la plántula al cuarto mes del periodo vegetativo de la cúrcuma.

5.3.2. Adecuación del espacio: casa de malla.

Luego de 5 meses de gestión dedicados a la compra de los materiales para la casa de malla de 5 m x 22.5 m fabricada en concreto, acero y techada con teja plástica agrícola y del sistema de riego por goteo, diseñados por el ingeniero agrícola Cristian Jiménez, el miércoles 1 de octubre de 2014 se dio inicio a su construcción. La casa de malla y el sistema de riego alterno se terminaron el día 23 de abril de 2015 (ver fotografía 5 a y b).



Fotografía 5. a. Casa de malla; b. Detalle interior techo y malla.

La casa de malla fue utilizada para desarrollar la fase II para biofertilizante estimulado y para el experimento con agua magnetizada.

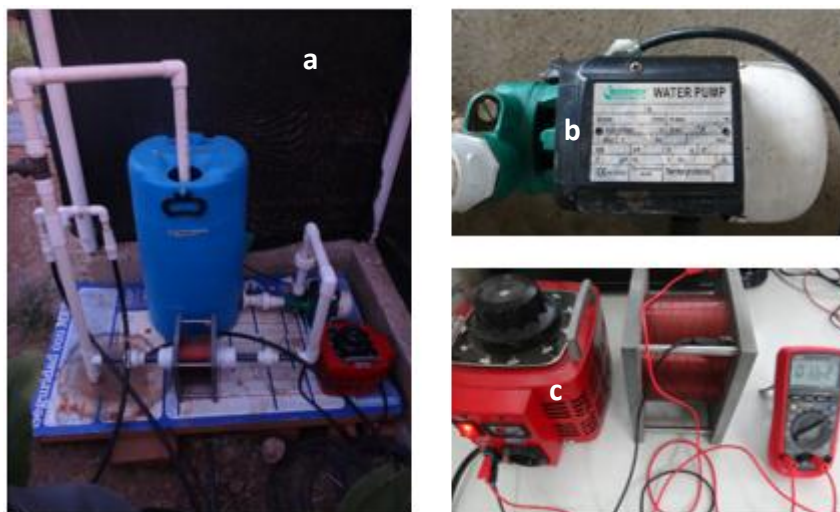
5.3.2.1. Riego.

Se instaló un sistema auxiliar de riego por goteo con emisores de 4 LPH por cada planta, garantizando así una lámina de riego uniforme para los días en los que no se aplicó el biofertilizante.

La aplicación de riego con biofertilizante se realizó una vez por semana con su correspondiente sistema de recirculación, el cual se ubicó al interior de la casa de malla. La purga del sistema de riego por goteo conectado al de recirculación se realizó durante 1 minuto debido a las dimensiones del módulo de riego (5m x 3m).

5.3.2.2. Sistema de recirculación.

El sistema de recirculación de biofertilizante disuelto en agua contó con una bobina con capacidad de 60 mT, un regulador de voltaje de marca MPC M10-522-30 con capacidad de 250 V, un multímetro Uni-t UT61C RS232C (USB) y una electrobomba marca Barnes de Colombia S.A. modelo QB60 con caudal máximo de 36 litros por minuto. Además de estos equipos el sistema contó con un recipiente plástico de 60 litros y un sistema de tubería de PVC de 2 pulgadas (ver fotografía 6 a, b y c).



Fotografía 6. a. Sistema de recirculación de biofertilizante disuelto en agua; b. Detalle electrobomba; c. Detalle regulador de voltaje, bobina y multímetro.

El sistema de recirculación de biofertilizante disuelto en agua normal se instaló en la casa de malla, contó con su propio sistema de riego por goteo distribuido de acuerdo a los tiempos de exposición que requería cada tratamiento.

5.3.3. Actividad microbiana en muestra de suelo.

Para determinar la actividad microbiana del suelo luego de la cosecha, se incubaron 50 g de suelo durante 8 días a 24°C en un recipiente de cierre hermético en donde también se ubicaron 10 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 1N el cual atrapa el dióxido de carbono (CO₂) desprendido por la muestra, formando carbonato de sodio. Además se preparó una muestra testigo incubada

sin presencia de suelo. Después de 5 días de incubación se adicionaron 2 ml de cloruro de bario (BaCl_2) al 10% para precipitar el CO_2 en forma de carbonato de bario (BaCO_3). Luego se adicionaron dos gotas de fenolftaleína 1% (solución alcohólica indicadora) y se tituló con ácido clorhídrico (HCl) 0.5 N lentamente para cuantificar el volumen de NaOH que no reaccionó con el CO_2 . El blanqueamiento de la solución titulada indicó la neutralización de todo el hidróxido. Análogamente la muestra testigo se tituló con HCl 0.5 N.

La determinación de la actividad microbiana, tanto para las muestras de gallinaza más biofertilizante líquido como para las muestras de suelo, se realizó calculando el contenido de CO_2 de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{AMS} = \left[\frac{(\text{B}-\text{T}) * \text{N HCl} * 0,006}{\text{P}} \right] * 10^6 = \left[\frac{\mu\text{gC}-\text{CO}_2}{\text{gSS}} \right] \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,

AMS: Actividad microbiana del suelo.

B: Titulación en blanco.

T: Titulación muestra de suelo.

N HCl: Normalidad del ácido.

P: Masa seco de la muestra.

0,006: Factor de dilución.

5.4. ESTIMULACIÓN MAGNÉTICA DE AGUA DE RIEGO.

En un experimento totalmente independiente a la fase I y fase II, se evaluó el efecto de la estimulación de agua de riego con un campo magnético constante a diferentes tiempos de exposición sobre plántulas de cúrcuma.

5.4.1. Diseño experimental.

Por otra parte, y de manera independiente a la fase I y a la fase II, el ensayo bajo condiciones de invernadero para determinar el valor óptimo de tiempo de exposición al campo magnético constante sobre agua de riego fue propuesto como un diseño completamente al azar unifactorial.

5.4.1.1. Modelo estadístico.

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ijk} &\sim N(0, \sigma^2 I) \\ i &= 1, \dots, a \\ j &= 1, \dots, r \end{aligned}$$

y_{ijkl} = Son las variables de respuesta de la cúrcuma al cuarto mes de periodo vegetativo teniendo en cuenta el efecto del tiempo de exposición del agua de riego i y la j -ésima réplica teniendo en cuenta el error experimental.

μ = Es la media general sin tener en cuenta los efectos de los tratamientos.

α_i = Es el efecto del tiempo de exposición del agua de riego i sobre las variables de respuesta de la cúrcuma al cuarto mes de periodo vegetativo.

ε_{ij} = Error experimental.

Supuestos del modelo. El modelo estadístico cumplió los siguientes supuestos:

- ✓ Correcta especificación: $E(\varepsilon_{ij}) = 0$
- ✓ Normalidad de los residuales: $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$
- ✓ Independencia: $cov(\varepsilon_{ij}, \varepsilon_{i'j'}) = 0 \forall i \neq i', j \neq j'$
- ✓ Homogeneidad de varianza: $V(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2 I \forall i, j$

Factor. Tiempo de exposición del agua de riego a un campo magnético constante.

Niveles. Tiempo de exposición: 10 minutos recirculado, 15 minutos recirculado y 30 minutos recirculado.

Tratamientos. Los tratamientos fueron 5, correspondientes a los 3 tiempos de exposición al campo magnético constante con 5 repeticiones, más un tratamiento testigo (agua normal sin magnetizar recirculada durante 30 minutos) con 3 repeticiones y un tratamiento testigo absoluto (agua normal proveniente del sistema alterno de riego) con 3 repeticiones, es decir, fueron en total 21 unidades experimentales (ver tabla 5).

Tabla 5. Disposición de los tratamientos en agua de riego estimulada magnéticamente.

Tratamiento	Tiempo de exposición [minutos]
T1R1	10
T1R2	10
T1R3	10
T1R4	10
T1R5	10
T2R1	15
T2R2	15
T2R3	15
T2R4	15
T2R5	15
T3R1	30
T3R2	30
T3R3	30
T3R4	30
T3R5	30
T1-Sm-R-30min	Testigo 1 Sin magnetizar recirculado durante 30 min
T2-Sm-R-30min	Testigo 2 Sin magnetizar recirculado durante 30 min
T3-Sm-R-30min	Testigo 3 Sin magnetizar recirculado durante 30 min
Tab1	Testigo absoluto 1
Tab2	Testigo absoluto 2
Tab3	Testigo absoluto 3

Unidad experimental. Plántula de cúrcuma.

Variable de respuesta. Número de rizomas, número de macollos, longitud del tallo (de la base de la materia hasta el punto de inserción de la hoja más joven), masa fresca y masa seca de la plántula al cuarto mes del periodo vegetativo de la cúrcuma.

5.4.2. Riego.

Se instaló un sistema auxiliar de riego por goteo con emisores de 4 LPH por cada planta, garantizando así una lámina de riego uniforme para los días en los que no se aplicó el agua magnetizada.

La aplicación de agua magnetizada se realizó tres veces por semana con su correspondiente sistema de recirculación.

Dado que la distancia entre el recirculador de agua magnetizada y el emisor más alejado es de aproximadamente 110 metros se realizó una purga de agua antes de hacer efectivo el riego con agua magnetizada en los 3 tiempos considerados para tal fin. Conociendo el caudal de la bomba y la longitud, se estableció que en 3 minutos, el agua remanente en la tubería se purgaría, por tanto, a los 3 minutos se inició cada uno de los tratamientos.

5.4.2.1. Sistema de recirculación.

El sistema de recirculación para agua de riego con magnetizadores contó con dos magnetrones de marca Quantum Biotek modelo Omni Enmro Water SystemB con una intensidad de campo magnético de 157 mT (rosado) y 156 mT (verde), una electrobomba marca Titan modelo QB60 con caudal máximo de 36 litros por minuto. Además de estos equipos el sistema contó con un recipiente plástico de 100 litros y un sistema de tubería de PVC de 2 pulgadas (ver fotografía 7 a, b y c).



Fotografía 7. a. Sistema de recirculación de agua de riego con magnetizadores; b. Magnetizadores en serie; c. Detalle electrobomba.

5.4.2.1.1. Magnetrones.

El sistema de recirculación de agua contó con dos magnetrones conectados en serie, a continuación se indica el esquema de los mismos en la figura 7. La intensidad del campo se midió con el teslámetro LD Didactic GmbH.

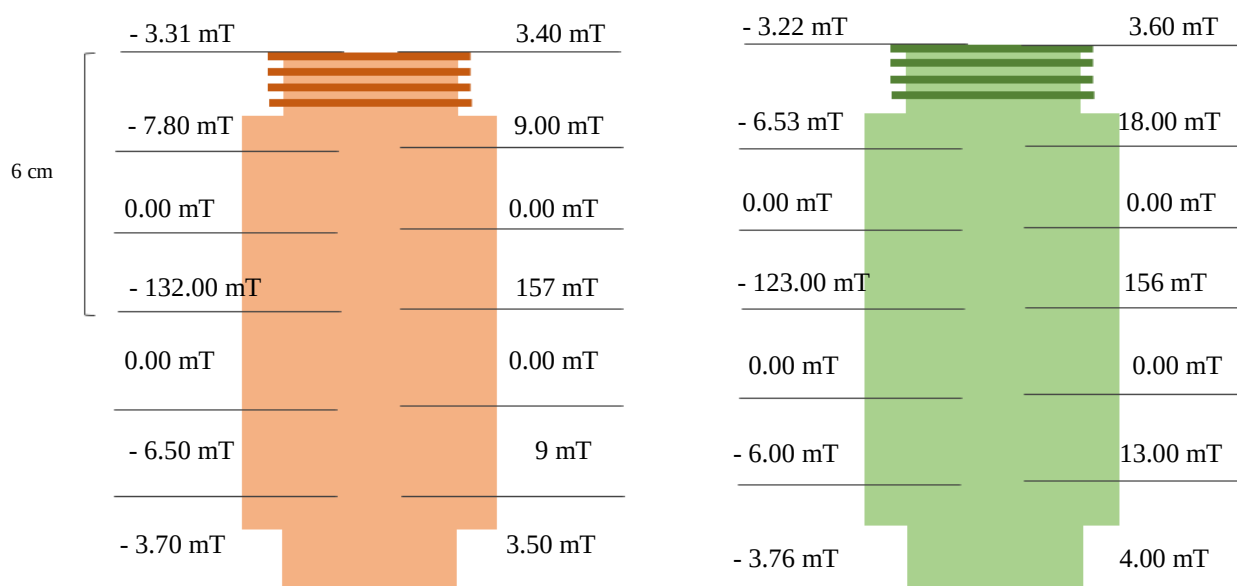


Figura 7. Esquema intensidad de campo magnético en los magnetrones marca Quantum Biotek modelo Omni Enmro Water SystemB (Fuente: Ing. M. Sc. Daniel Ospina, estudiante Doctorado Universidad Nacional de Colombia, integrante Grupo de Investigación ILAMA).

Como se observa en la figura 7, el magnetron rosa cuenta con una intensidad máxima de 157 mT mientras que el verde cuenta con una intensidad máxima de 18.00 mT. Es decir, el agua pasará por un campo y luego tendrá contacto con el otro campo magnético inmediatamente mientras se recircula durante uno de los 3 tiempos establecidos y luego se aplicará a las plántulas hasta que el suelo llegue a capacidad de campo. Se consideró la magnitud del campo magnético constante como el promedio de los dos campos generados, es decir, 156.5 mT.

5.5. PRE-GERMINACIÓN.

El viernes 13 de marzo de 2015 fueron seleccionados 100 rizomas de cúrcuma de 8 a 12 centímetros de longitud con características físicas homogéneas, las cuales fueron pre-germinadas en camas de arena de río durante dos semanas a la sombra, luego, se ubicaron en el balcón del Laboratorio de Física Ambiental para que recibieran luz solar durante cuatro semanas, lapso en el cual se obtuvieron 50 cúrcumas de buen aspecto y vigor con una a dos hojas desarrolladas de longitudes de tallo entre los 7.5 y 12.6 cm (ver fotografía 8 a, b y c).



Fotografía 8. a. Selección rizomas de 8-12 cm; b. Camas con arena de río; c. Cúrcumas listas para transplantar.

Posteriormente, el día viernes 1 de mayo de 2015 se seleccionaron 42 de las 50 plántulas y se sembraron en materas con 15 kg de suelo tamizado proveniente de la vereda “El Limonar” del municipio de Dagua (Valle del Cauca), distribuidas así: 21 plántulas para el experimento de la fase II y 21 plántulas para el experimento con agua magnetizada (ver fotografía 9 a, b1 y b2) de manera aleatoria.



Fotografía 9. a. Disposición materas en casa de malla; b1. Ahoyado del suelo en matera; b2. Transplantado de cúrcuma de 1 mes y medio.

Debido al estrés que sufrieron las plántulas a la hora de ser trasplantadas se hizo necesaria la aplicación de dos fertilizantes de síntesis química, Agro-K [0-30-52] de la casa “Cosmoagro” y Startazo SN [17-33-0] de la casa “Soluciones Nutritivas” (ver ficha técnica en Anexo III y IV) el primero y el ocho de mayo a la concentración recomendada por el fabricante.

La primera medición de longitudes de tallo se realizó el día 11 de mayo. Ese mismo día comenzaron los tratamientos tanto de agua estimulada magnéticamente como de biofertilizante.

5.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.

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%.

5.6.1. Validación estadística.

Para la fase I, la fase II y el experimento con agua magnetizada, se validaron las 4 condiciones fundamentales para asegurar que la información con la que trabajó fue estadísticamente significativa a un nivel de confianza de 95% y con $p < 0.05$, tales condiciones fueron: correcta especificación del modelo estadístico, normalidad, varianza homogénea e independencia (o aleatoriedad).

Para asegurar la correcta especificación del modelo se realizó control local sobre los 3 experimentos (fase I, fase II y agua de riego magnetizada) para aumentar su precisión y reducir el error experimental. Se siguieron los preceptos descritos en la tabla 6 evitando así, la pérdida de exactitud (insesgamiento) de los estimadores.

Tabla 6. Control local de los experimentos.

Fase I	Fase II y agua de riego magnetizada
✓ Realizar un lavado exhaustivo de todos los instrumentos de medición (Beakers, probetas, pipetas, recipientes plásticos de 1 galón, recipientes de vidrio de 200 cc, espátulas). ✓ Preparar reactivos usando balanza analítica y conservando tales reactivos en un lugar seco y a temperatura de 25°C. ✓ Usar los mismos instrumentos en cada uno de los 3 ensayos. ✓ Realizar los ensayos a la misma hora del día. ✓ Preparar reactivos con especificaciones técnicas que sigue el laboratorio de física ambiental (Montenegro y Malagón, 1990).	✓ Toma de las muestras de suelo en la misma zona. ✓ Tamizar el suelo para homogenizarlo. ✓ Llenar las bolsas plásticas con una misma cantidad de suelo. ✓ Usar rizomas de cúrcuma provenientes de un mismo sitio. ✓ Pre-seleccionar rizomas con tamaño, forma y diámetros aproximadamente parecidos. ✓ Realizar un lavado con agua normal a las cúrcumas pre-seleccionadas. ✓ Uso del mismo sustrato para la pre-germinación de los rizomas. ✓ Uso de los mismos instrumentos de medición. ✓ Purgado del sistema de recirculación. ✓ Frecuencia de riego constante (tanto con el sistema recirculador de biofertilizante, de agua magnetizada y del sistema alterno). ✓ Usar la misma marca y tipo de emisores y mangueras de riego.

La validación de la prueba de normalidad de los residuales para los 3 experimentos (fase I, fase II y agua de riego magnetizada) se realizó con el programa Minitab® versión 16 (ver Anexo I) siendo en todos los casos satisfactoria; es importante recordar que si los datos no son normales las pruebas de hipótesis pierden su eficiencia y potencia.

La prueba de homogeneidad de varianza se realizó con la prueba de Levene en el programa SPSS® versión 20 (ver Anexo I), siendo en todos los casos satisfactoria. Si no se verifica la independencia y la homogeneidad de varianza los estimadores pierden la condición de optimalidad.

La validación de la independencia o de aleatoriedad se realizó con la prueba no paramétrica de Rachas de Wald-Wolfowitz en el programa SPSS® versión 20, verificando positivamente como

aleatorios e independientes los datos de los 3 experimentos (ver Anexo I). En la práctica, tanto para la fase II como para agua magnetizada, las plántulas de 1 mes y medio se sembraron en las materas y se distribuyeron de manera aleatoria en las dos zonas del invernadero dispuestas para cada experimento. En principio las plántulas se listaron con un número del 1 al 42 y usando la herramienta de Excel® 2013 “Generación de números aleatorios” (`=ALEATORIO.ENTRE(1;42)`) se redistribuyeron siguiendo el nuevo listado obtenido. Finalmente, cada matera fue rotulada.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

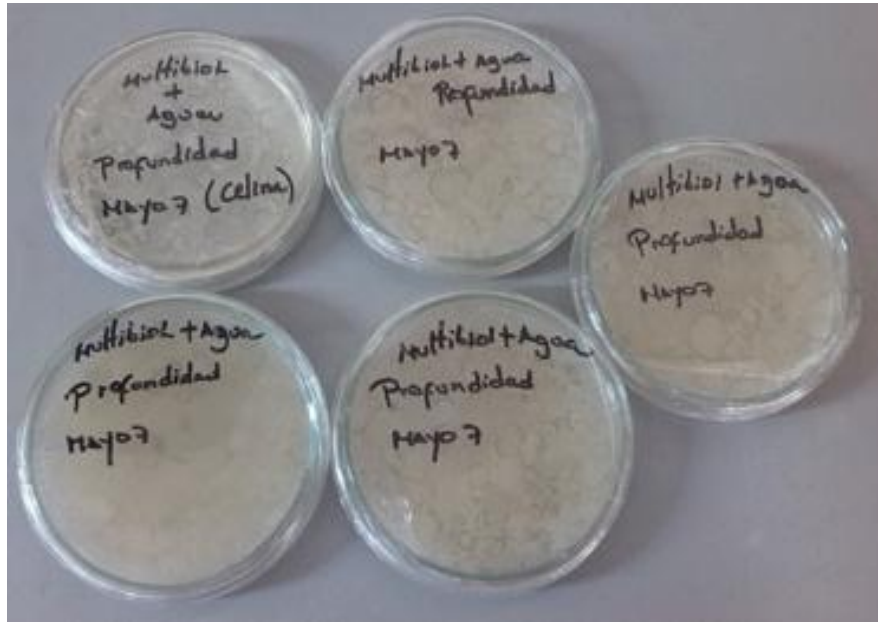
6.1. ESTIMULACIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE BIOFERTILIZANTE (FASE I).

6.1.1. Ensayo población microbiana.

El día 12 de mayo de 2014 se verificó el cultivo de poblaciones microbianas (aerobias y anaerobias) sobre el testigo y el tratamiento (solución recirculada). Las 10 muestras testigo tuvieron algo en común, todas presentaron una población de microorganismos aerobios como anaerobios, con la técnica de inoculación por superficie como con la de profundidad (ver fotografía 10 y 11).



Fotografía 10. Muestras de solución de Multibiol® sin recircular (testigo) inoculadas en superficie con cultivo de microorganismos aerobios.



Fotografía 11. Muestras de solución de Multibiol® sin recircular (testigo) inoculados en profundidad con cultivo de microorganismos anaerobios.

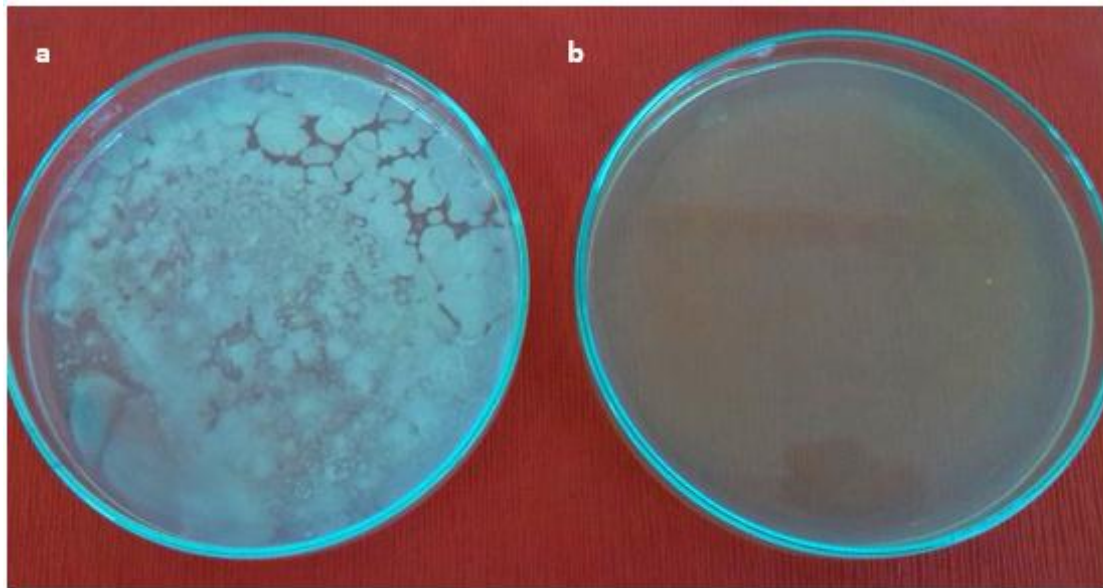
Por otro lado, ocurrió algo interesante con las 10 muestras que pasaron por el sistema de recirculación. Las 5 muestras de solución tratadas bajo la técnica de inoculación de microorganismos por superficie, presentaron una población parecida al testigo, es decir, el tratamiento no pareció afectar de manera significativa a los microorganismos aerobios. Mientras que las 5 muestras de solución tratadas bajo la técnica de cultivo en profundidad, presentaron una población de microorganismos anaerobios despreciable (ver fotografía 12, 13 y 14).



Fotografía 12. Muestras de solución de Multibiol® recirculado inoculados en superficie con cultivo de microorganismos aerobios.



Fotografía 13. Muestras de solución de Multibiol® recirculados inoculados en profundidad sin microorganismos anaerobios.



Fotografía 14. Detalle comparativo de un par de muestras de solución de Multibiol® recirculado. a. Presencia de microorganismos aerobios y b. Población despreciable de microorganismos anaerobios.

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.

6.1.2. Ensayos actividad microbiana.

El ensayo se realizó en tres ocasiones (2 de noviembre de 2014, 24 de diciembre de 2014 y 7 de mayo de 2015) para obtener valores de interacción de campo electromagnético versus tiempo de exposición confiables con respecto a la prueba de actividad microbiana (ver gráfico 1, 2 y 3).

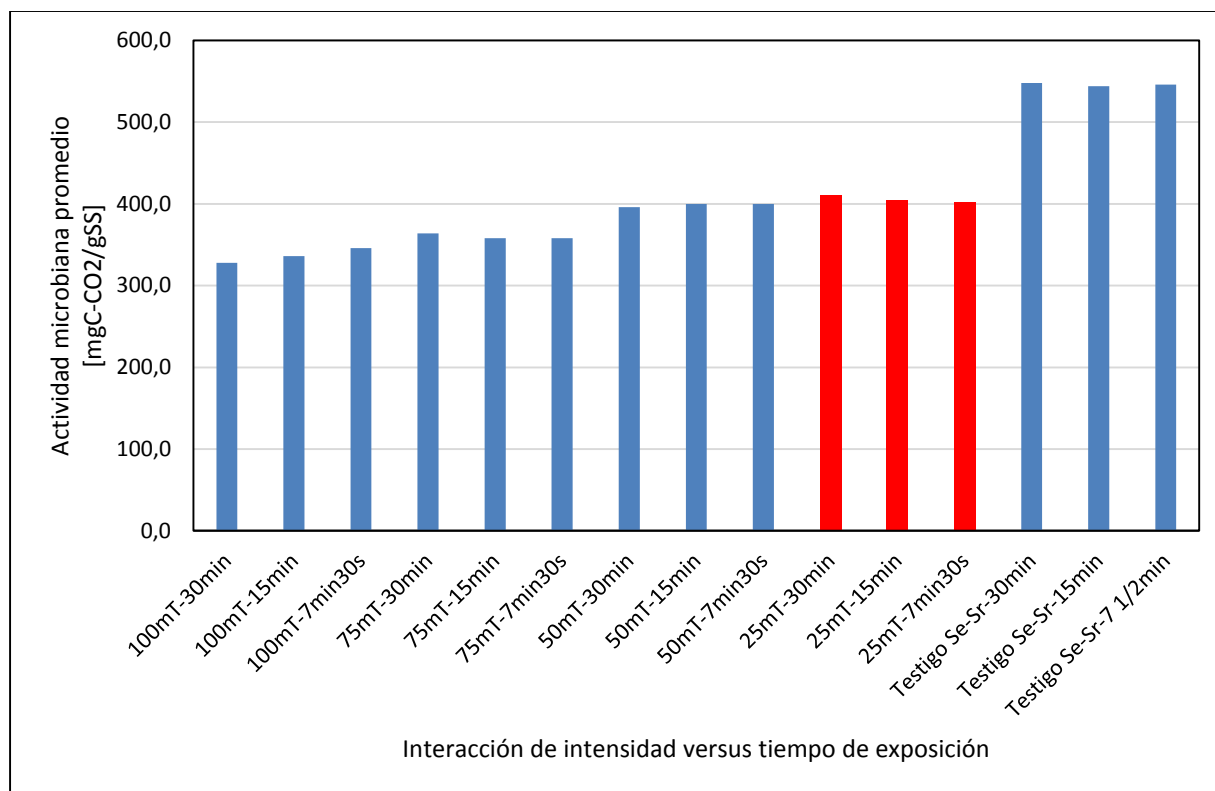


Gráfico 1. Resultados prueba de actividad microbiana ensayo I noviembre 2 de 2014 (Testigo Se-Sr sin estimular sin recircular).

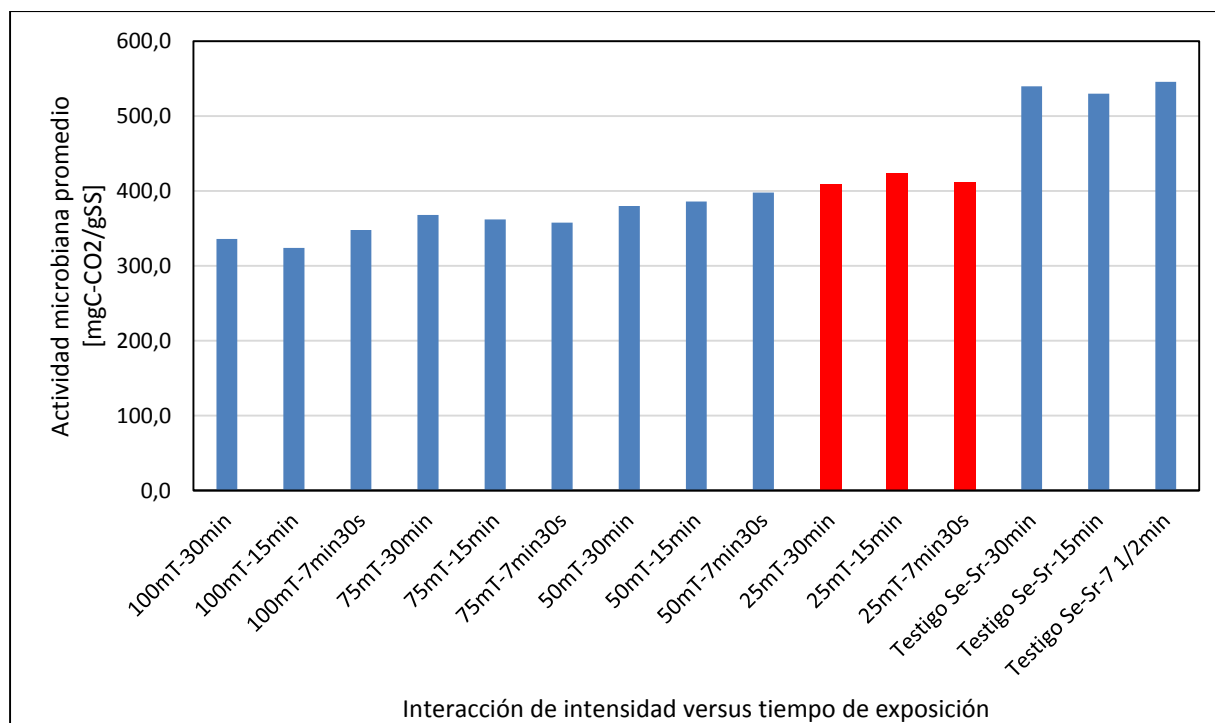


Gráfico 2. Resultados prueba de actividad microbiana ensayo II diciembre 24 de 2014 (Testigo Se-Sr sin estimular sin recircular).

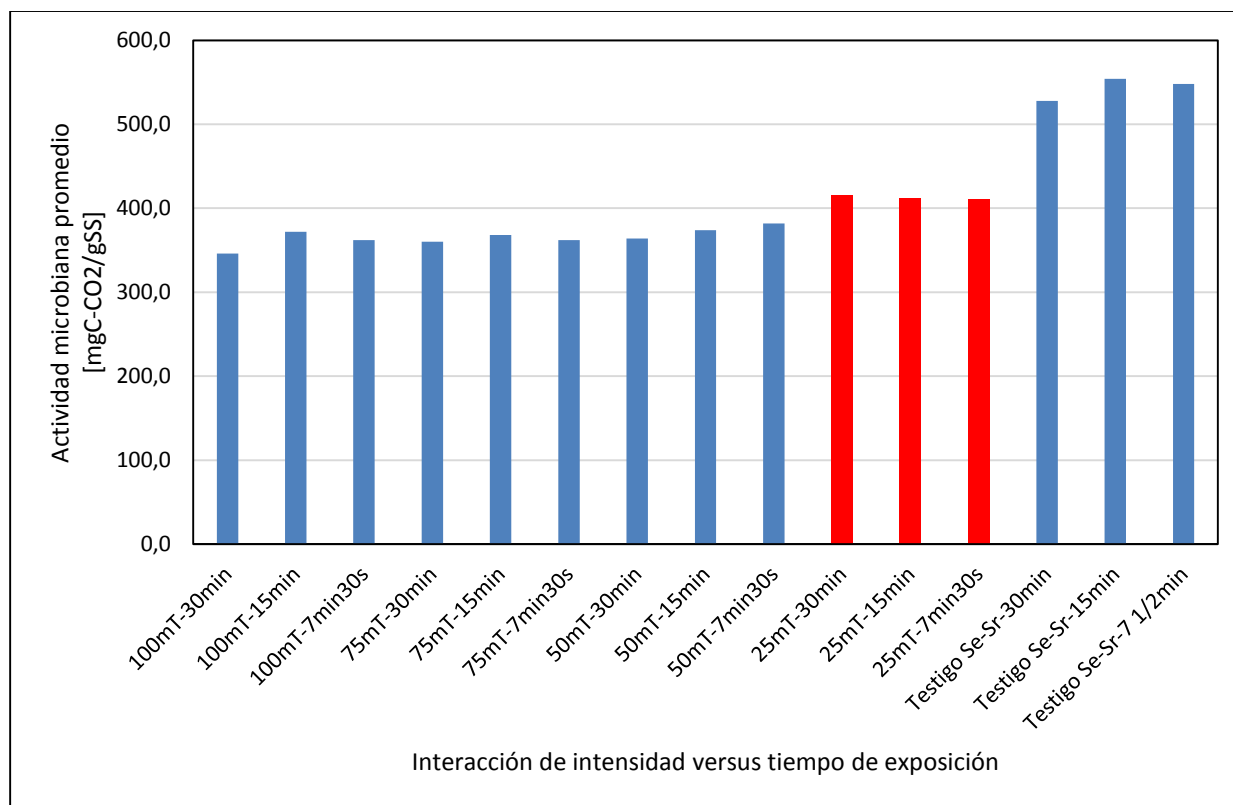


Gráfico 3. Resultados prueba de actividad microbiana ensayo III mayo 7 de 2015 (Testigo Se-Sr sin estimular sin recircular).

De los gráficos 1, 2 y 3 se observa que los testigos sin estimular y sin recircular cuentan con un mayor nivel de actividad microbiana lo que puede atribuírsele 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.

De los gráficos 1, 2 y 3 se observó que a una intensidad de campo electromagnético de 25 mT se tienen los resultados de mayor actividad microbiana para los tres tiempos de exposición, hecho que fue verificado con los resultados de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) y que indicó la mayor significancia estadística para una intensidad de 25 mT en cualquiera de los 3 tiempos de exposición al campo electromagnético (ver Anexo I).

Como se observa en los ANOVAS expuestos en las tablas 8, 10 y 12 el valor de probabilidad es menor que el nivel de significancia y además el valor del estadístico de prueba F de Snedecor calculado es superior a su equivalente crítico, lo que indica diferencia significativa entre los tratamientos para la intensidad de campo electromagnético, mientras que para el tiempo de exposición, tanto la probabilidad como el valor F indican que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos para el tiempo de exposición.

Para los 3 ensayos se tienen las siguientes hipótesis:

Hipótesis filas (Intensidad): Para los 3 ensayos se sigue que,

$$\textbf{Hipótesis nula: } H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

Hipótesis alterna: H_1 : Al menos una de las medias de actividad microbiana para cada nivel de intensidad de campo electromagnético no son iguales.

Hipótesis columnas (tiempo de exposición): Para los 3 ensayos se sigue que,

$$\textbf{Hipótesis nula: } H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

Hipótesis alterna: H_1 : Al menos una de las medias de actividad microbiana para cada nivel de tiempo de exposición no son iguales.

Donde,

μ : Media de actividad microbiana [mgC-CO₂/gSS]

α (nivel de significancia): 0,05

Ensayo I. Para calcular el ANOVA se dispuso la información de intensidad de campo electromagnético aplicado y el tiempo de exposición como se muestra en la tabla 7 para el ensayo I.

Tabla 7. Resumen de valores de actividad microbiana promedio [mgC-CO₂/gSS] con respecto a la intensidad de campo electromagnético y al tiempo de exposición para el ensayo I.

	Tiempo 7 1/2 min	Tiempo 15 min	Tiempo 30 min
Intensidad 25 mT	402	404	410
Intensidad 50 mT	400	400	396
Intensidad 75 mT	358	358	364
Intensidad 100 mT	346	336	328
Intensidad 0 mT	546	544	548

De las hipótesis planteadas para la intensidad de campo electromagnético y el tiempo de exposición se realizó el análisis de varianza planteada en la tabla 8 para el ensayo I.

Tabla 8. Análisis de varianza Ensayo I.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas (Intensidad)	79565,3333	4	19891,3333	692,274	3,4353E-10	3,8378534
Columnas (tiempo de exposición)	10,1333333	2	5,06666667	0,17633	0,841509505	4,4589701
Error	229,866667	8	28,7333333			
Total	79805,3333	14				

Ensayo II. Para calcular el ANOVA se dispuso la información de intensidad de campo electromagnético aplicado y el tiempo de exposición como se muestra en la tabla 9 para el ensayo II.

Tabla 9. Resumen de valores de actividad microbiana promedio [mgC-CO₂/gSS] con respecto a la intensidad de campo electromagnético y al tiempo de exposición para el ensayo II.

	Tiempo 7 1/2 min	Tiempo 15 min	Tiempo 30 min
Intensidad 25 mT	412	424	410
Intensidad 50 mT	398	386	380
Intensidad 75 mT	358	362	368
Intensidad 100 mT	348	324	336
Intensidad 0 mT	546	530	540

De las hipótesis planteadas para la intensidad de campo electromagnético y el tiempo de exposición se realizó el análisis de varianza planteada en la tabla 10 para el ensayo II.

Tabla 10. Análisis de varianza Ensayo II.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas (Intensidad)	74299,7333	4	18574,9333	243,979	2,17102E-08	3,8378534
Columnas (tiempo de exposición)	142,933333	2	71,4666667	0,9387	0,430316466	4,4589701
Error	609,066667	8	76,1333333			
Total	75051,7333	14				

Ensayo III. Para calcular el ANOVA se dispuso la información de intensidad de campo electromagnético aplicado y el tiempo de exposición como se muestra en la tabla 11 para el ensayo III.

Tabla 11. Resumen de valores de actividad microbiana promedio [mgC-CO₂/gSS] con respecto a la intensidad de campo electromagnético y al tiempo de exposición para el ensayo III.

	Tiempo 7 1/2 min	Tiempo 15 min	Tiempo 30 min
Intensidad 25 mT	410	412	416
Intensidad 50 mT	382	374	364
Intensidad 75 mT	362	368	360
Intensidad 100 mT	362	372	346
Intensidad 0 mT	548	554	528

De las hipótesis planteadas para la intensidad de campo electromagnético y el tiempo de exposición se realizó el análisis de varianza planteada en la tabla 12 para el ensayo III.

Tabla 12. Análisis de varianza Ensayo III.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas (Intensidad)	71417,0667	4	17854,2667	312,867	8,09785E-09	3,8378534
Columnas (tiempo de exposición)	474,133333	2	237,066667	4,15421	0,057904636	4,4589701
Error	456,533333	8	57,0666667			
Total	72347,7333	14				

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se continuó con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para determinar la intensidad de campo electromagnético de mayor significancia estadística, encontrando, para los 3 ensayos, que tal intensidad correspondió a 25 mT (ver Anexo I).

Con respecto al tiempo de exposición, dado que se probó la inexistencia de diferencia estadísticamente significativa, se escogieron los 3 tiempos (7 ½, 15 y 30 minutos) para hacerlos interactuar a una intensidad de 25 mT en la fase II.

Finalmente, se pueden resumir los resultados de las 3 interacciones óptimas halladas en la fase I en la tabla 13.

Tabla 13. Disposición final de tratamientos de la fase II de acuerdo a las interacciones óptimas halladas en la fase I.

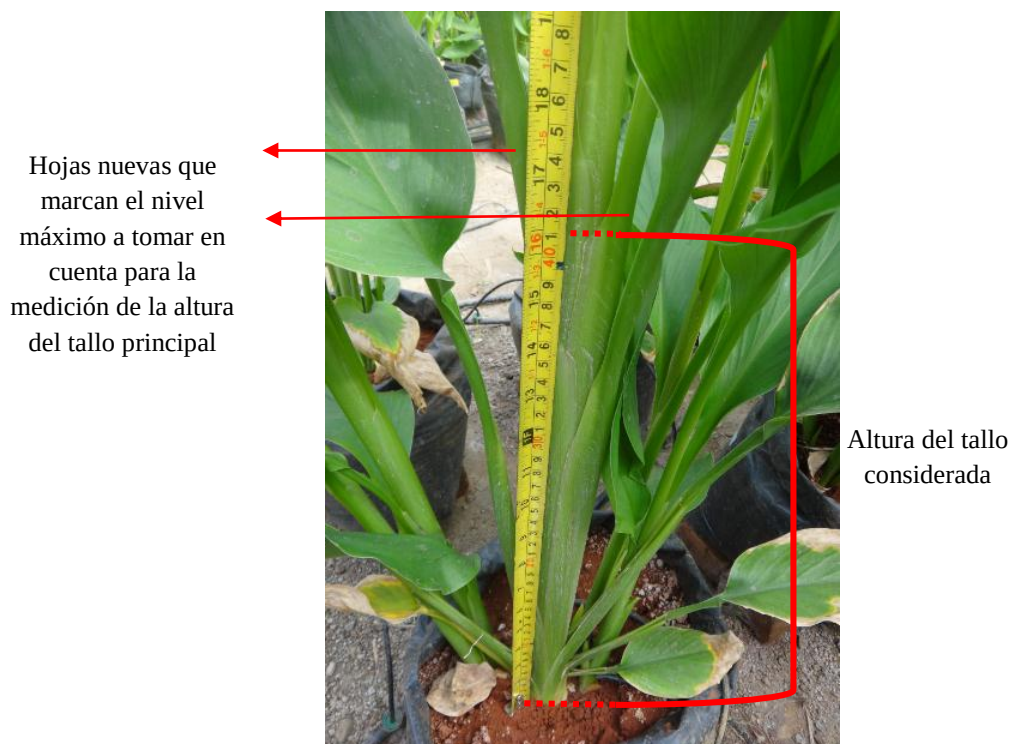
Tratamiento	Interacción (intensidad CEM [mT]-tiempo exposición [minutos])
T1R1	25-7 1/2
T1R2	25-7 1/2
T1R3	25-7 1/2
T1R4	25-7 1/2
T1R5	25-7 1/2
T2R1	25-15
T2R2	25-15
T2R3	25-15
T2R4	25-15
T2R5	25-15
T3R1	25-30
T3R2	25-30
T3R3	25-30
T3R4	25-30
T3R5	25-30
T1-Se-Sr-30min	Testigo 1 sin estimular sin recircular durante 30 minutos
T2-Se-Sr-30min	Testigo 2 sin estimular sin recircular durante 30 minutos
T3-Se-Sr-30min	Testigo 3 sin estimular sin recircular durante 30 minutos
Ta1	Testigo absoluto 1
Ta2	Testigo absoluto 2
Ta3	Testigo absoluto 3

Los testigos sin estimular y sin recircular tuvieron la misma concentración de biofertilizante disuelto en agua que los demás tratamientos y se prepararon en un recipiente distinto dejándolo estático durante 30 minutos para luego ser aplicado a las plántulas correspondientes. El testigo absoluto consistió en agua normal proveniente del sistema de riego alterno por goteo.

6.2. ESTIMULACIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE BIOFERTILIZANTE (FASE II).

6.2.1. Longitud del tallo.

Fueron tomados 18 registros de longitud del tallo de las plántulas de cúrcuma entre los meses de mayo, junio y julio de 2015. La medición se realizó desde el nivel del suelo de la matera hasta el punto de inserción de la hoja más joven del tallo principal (ver fotografía 15).



Fotografía 15. Medición de la longitud del tallo, desde la base del mismo hasta marcar el punto donde crecen y se desplegan las nuevas hojas.

A continuación, en el gráfico 4 se expone la altura promedio en centímetros con respecto al tratamiento realizado en el periodo mayo, junio y julio correspondiente al periodo de crecimiento activo.

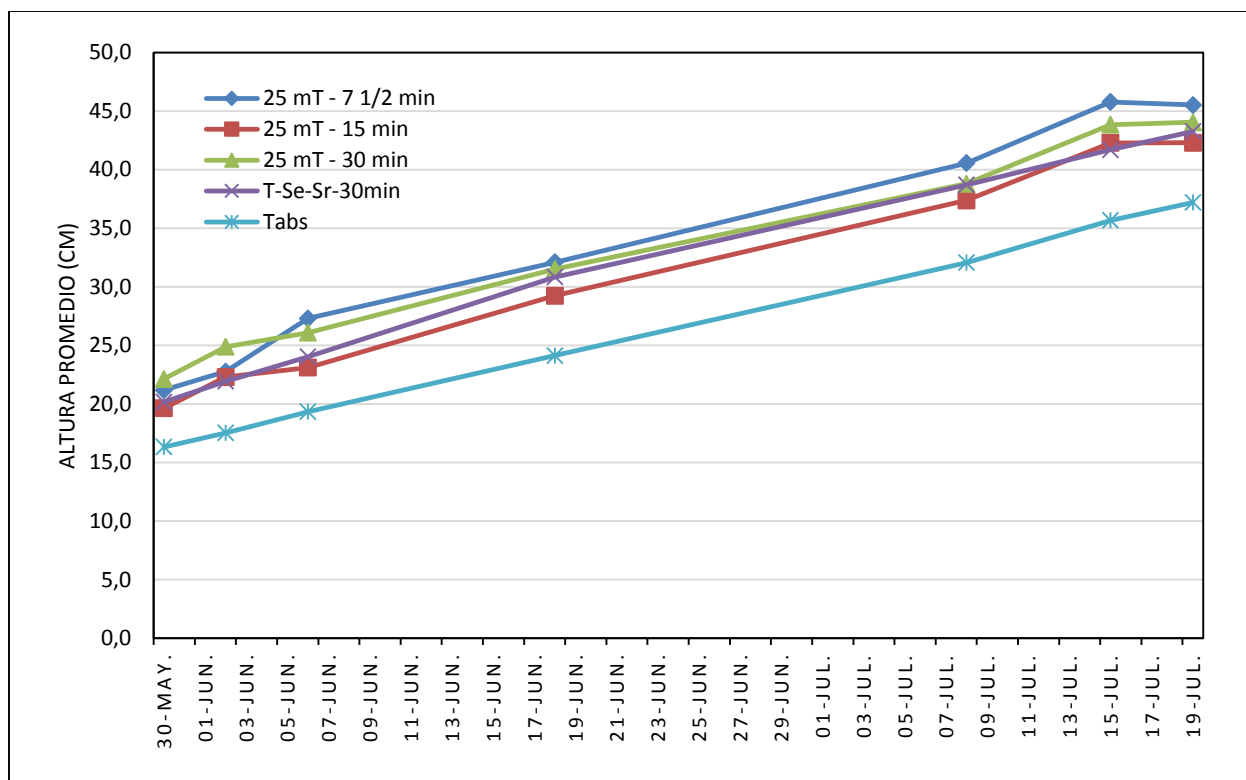


Gráfico 4. Resultados de altura del tallo en centímetros versus tiempo para la fase II.

De las 18 fechas bajo las cuales se midió la longitud en centímetros del tallo 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 (ver Anexo I). 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 ½ 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 ½ min), en el mes de julio fue superado también por el tratamiento 3 (25 mT-30 min) y

para medidos 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 gráfico 1, 2 y 3) 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 biofertilizantes 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.

Por otro lado, los incrementos de la altura observados en el tratamiento 1 con respecto a los demás tratamientos puede estar asociado al buen nivel de materia orgánica que contiene el suelo (ver Anexo VI) que después de las aplicaciones de biofertilizante disuelto en agua estimulada y recirculada al menor tiempo (7 ½ min) pudo haber dado pie al desarrollo de un efecto sinérgico entre los microorganismos ya presentes en el suelo, los adicionados en la solución estimulada y los contenidos de macro y microelementos presentes en el suelo más los aplicados en las 2 ocasiones con fertilizantes minerales para darle ventaja sobre los otros tratamientos.

A este respecto es importante mencionar que la presencia de material orgánico es el factor que más influye en la actividad y población de microorganismos del suelo, ya que la materia orgánica es fuente de energía. En el proceso de descomposición se liberan al suelo elementos esenciales, los cuales pueden ser atraídos por partículas del suelo o reabsorbidos por nuevas plantas. La materia orgánica incrementa la capacidad de retener agua del suelo, actuando en gran medida como una esponja (Villegas, 1996 citado por Rosero, 2013).

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.

6.2.2. Número de rizomas y número de macollos.

El día 19 de julio se efectuó la cosecha de la cúrcuma. En principio se contabilizaron el número de macollos por planta, indicador de vigor y salud de la planta. Luego se cortó la bolsa plástica y con cuidado se retiró la planta del suelo, después se lavó el sistema radicular de la planta con agua y finalmente se contaron los rizomas producidos (ver fotografía 16 a, b, c y d).



Fotografía 16. a. Contado de macollos; b. Corte de bolsa; c. Lavado y d. Contado de rizomas.

A continuación se presenta el número de rizomas y el número de macollos resultantes por tratamiento de la fase II en el gráfico 5.

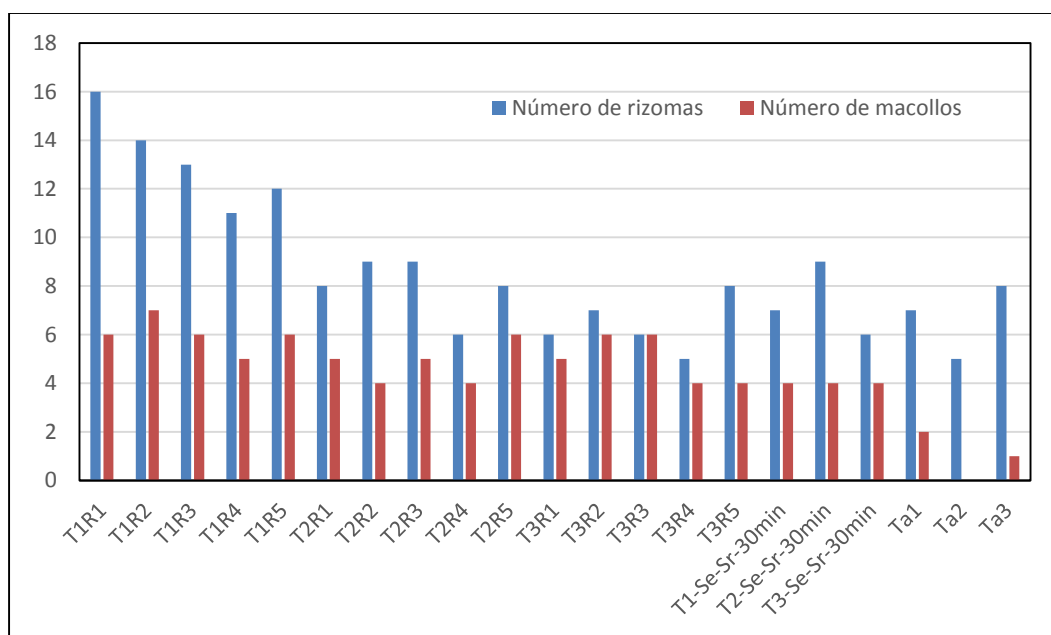


Gráfico 5. Número de rizomas y número de macollos según tratamientos para la fase II.

Del gráfico 5 y de la información validada se encontró que todos los datos resultaron normalizados, independientes y con varianza homogénea para el número de rizomas y de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) se tuvo que el mejor tratamiento fue el número 1 (25mT-7 ½ min) llegando casi a doblar el valor promedio de rizomas para el testigo y el testigo absoluto y siendo superior al valor promedio para el tratamiento 2 y 3 (ver tabla 14).

Tabla 14. Promedio de rizomas y de macollos por tratamiento para la fase II.

Tratamiento	Promedio número rizomas	Promedio número macollos
T1 (25mT-7,5min)	13	6
T2(25mT-15min)	8	5
T3(25mT-30min)	6	5
T-Se-Sr-30min	7	4
Tab	7	1

Es importante mencionar que la planta en sí misma juega un papel crítico como estimulador de los microorganismos en el suelo, los cuales captan las exudaciones radicales o desprendimiento de materiales orgánicos. Es interesante notar de la tabla 14 que el tratamiento 1 (25 mT-7 ½ min) fue el que produjo la mayor actividad microbiana y que a su vez, este tratamiento tuvo asociado la mayor cantidad de rizomas y de macollos en promedio, lo cual es una relación gana-gana debido a que a mayor número de macollos, se tendrá una planta más sana, vigorosa, de mayor crecimiento y con mayores producciones asociadas debido probablemente a que en la rizosfera de la cúrcuma hay mayor concentración de nutrientes orgánicos provenientes de las raíces, las cuales favorecen el crecimiento de los microorganismos (Mora, 2006 citado por Vargas, 2015) que a su vez favorecen la asimilación de nutrientes para las plantas.

Las plantas pueden influir en la disponibilidad de los nutrientes inorgánicos para los microorganismos y además, el desprendimiento de células radicales muertas y materiales orgánicos solubles debido al movimiento de raíces en el suelo hacen que se produzcan sustratos para la microflora (Burbano, 1989 citado por Vargas, 2015). La diferencia en la emisión de CO₂ en los tratamientos indicados en la tabla 13 se debió al efecto combinado de la respiración de raíces y actividad respiratoria de los microorganismos presentes en el suelo (Muñoz, 2009, citado por Vargas, 2015).

De acuerdo a los datos expuestos en la tabla 14, con respecto al testigo absoluto, el tratamiento 1 (25mT-7 ½ min) obtuvo en promedio 98% más rizomas y 500% más macollos. Con respecto al testigo sin recircular y sin estimular durante 30 minutos, el tratamiento 1 obtuvo un promedio de 80% más de rizomas y 50% más de macollos.

6.2.3. Masa fresca y seca.

Una vez medida la masa en gramos de cada cúrcuma el día 19 de julio de 2015, las plántulas se trocearon y se ubicaron en bolsas de papel debidamente rotuladas, tales bolsas fueron puestas a secar durante 7 días a 90°C en el horno marca Quincy Lab Inc. modelo 40GC, garantizando así un porcentaje de humedad cercano al 10%. Finalmente se tomó de nuevo la masa de las cúrcumas con la balanza analítica marca OHAUS Traveler (ver fotografía 17 a, b, c y d).



Fotografía 17. a) Rotulado, b) ingreso al horno, c) determinación de la masa con balanza, d) cúrcuma con aproximadamente 10% de humedad.

A continuación se presentan los resultados de masa fresca y masa seca de las cúrcumas por tratamiento en el gráfico 6 y 7.

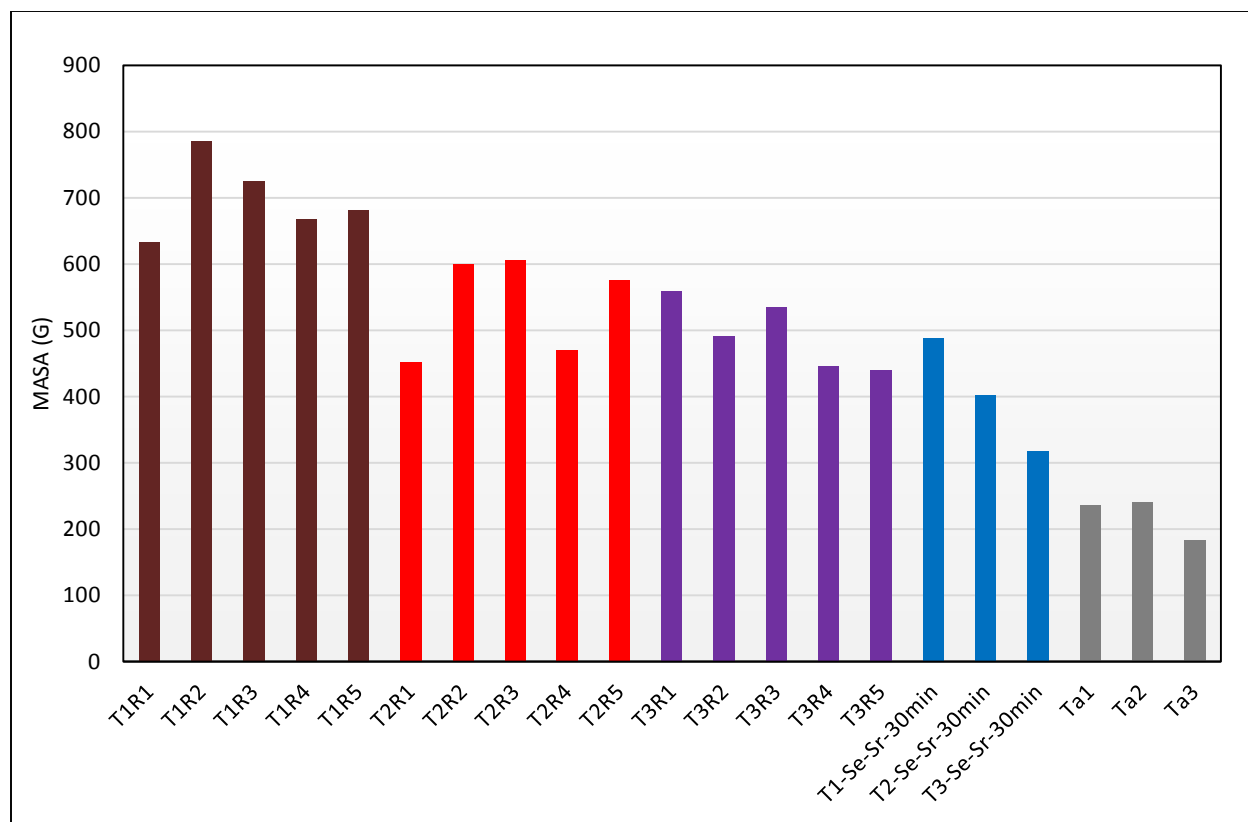


Gráfico 6. Masa fresca según tratamientos para fase II.

Según el gráfico 6 para la masa fresca en gramos y de acuerdo a los resultados validados (normalidad, varianza homogénea, independencia y diferencia significativa con la prueba de Tukey) con el paquete estadístico Minitab® y SPSS® (ver Anexo I), se puede afirmar que los mejores resultados correspondieron al tratamiento 1 (25 mT-7 ½ minutos) con 217.4% más masa fresca promedio en relación al masa alcanzada por el testigo absoluto (agua normal proveniente del sistema de riego alterno). Con respecto al testigo sin recircular y sin estimular por 30 minutos, el tratamiento 1 tuvo una masa fresca promedio 73.3% mayor.

La eficiencia en la absorción de agua por parte de las raíces de las plántulas puede asociarse en parte al número de macollos que ésta genera. En este sentido, Alikamanoğlu et al. (2007) citado por Hozayn et al, 2011 sugirió que el tratamiento magnético sobre agua de riego promovió la absorción de N, P y K e incrementó el número de raíces, el grosor de tallo y número de macollos. Los niveles de P para el suelo del Limonar fueron bajos (ver Anexo VI), no obstante, el biofertilizante disuelto en agua estimulado pudo haber mejorado las condiciones de absorción de P por parte del sistema radicular de la cúrcuma, cabe resaltar que los efectos benéficos del P para

la cúrcuma son la proliferación de raíces - y rizomas - y en consecuencia el uso eficiente de agua por la planta (Prabhakaran, 2013). En relación a lo anterior, Abou El-Yazied et al, (2012) estudió el efecto del campo magnético sobre agua de riego aplicado a un cultivo de tomate a una intensidad de 8×10^{-3} mT encontrando que las plantas expuestas a este tratamiento presentaron niveles de fósforo mayores, lo que podría explicar la gran diferencia entre los tratamientos con biofertilizante disuelto en agua pasados por el campo y el testigo absoluto.

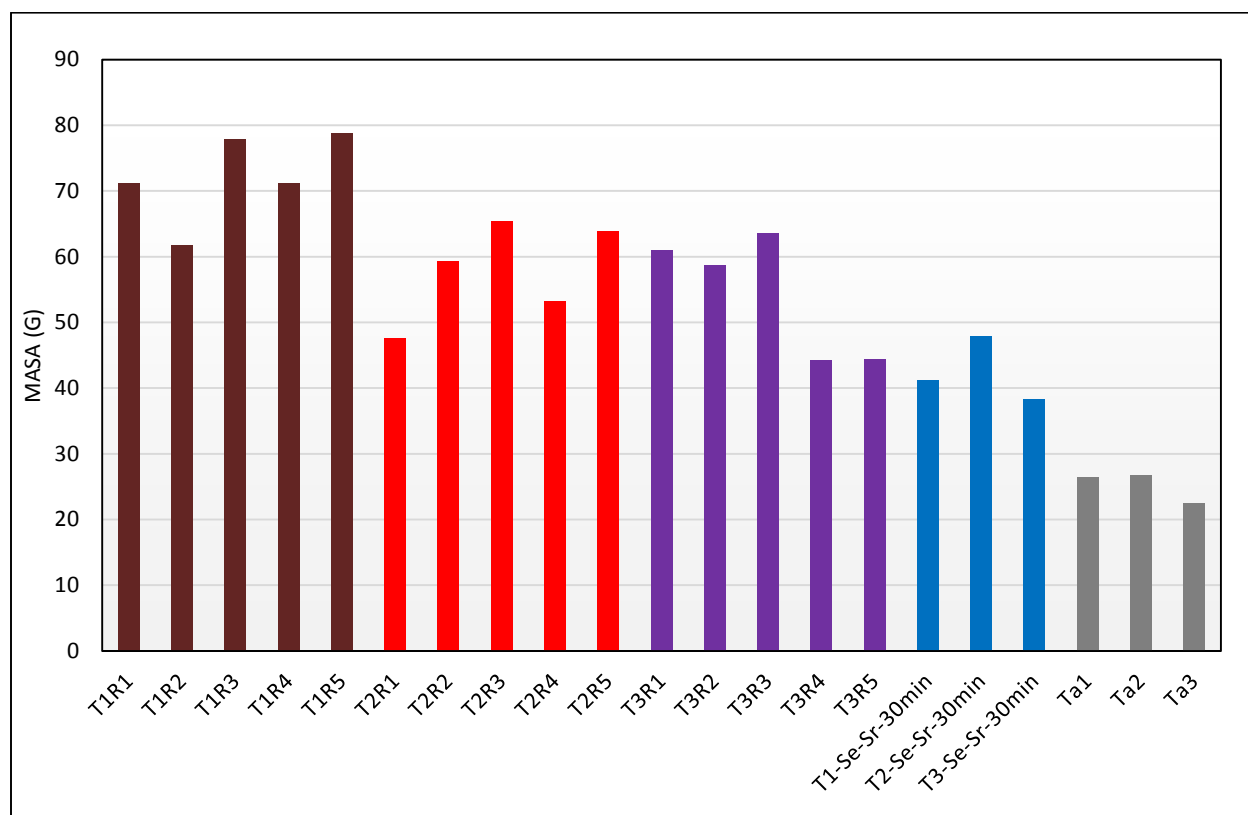


Gráfico 7. Masa seca según tratamientos para la fase II.

Con los datos de masa seca validados presentados en el gráfico 7 (normalidad, varianza homogénea, independencia y diferencia significativa con la prueba de Tukey $\alpha=0.05$) con el paquete estadístico Minitab® y SPSS® se puede afirmar que la mejor masa seca en gramos se dio bajo el tratamiento 1 (25mT-7 ½ min). El tratamiento 1 obtuvo masas secas promedio mayores al tratamiento testigo absoluto en un 186.6%. Con respecto al testigo sin recircular y sin estimular durante 30 minutos, el tratamiento 1 lo superó en el orden de 70.1% para masa seca promedio.

Para que la cúrcuma generara un buen número de macollos, la planta debía estar sana, a este respecto, Moussa (2011) al evaluar el efecto del agua magnetizada a una intensidad de 30 mT aplicada sobre un cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), concluyó que ésta puede mejorar la cantidad y calidad del cultivo, por otro lado, el estudio sugiere que el agua magnetizada podría estimular el sistema de defensa, actividad fotosintética y la eficiencia de translocación de los fotoasimilados en esta planta, lo que sumado a la carga de microorganismos adicionados al suelo, podría redundar en el desarrollo de una planta de mayor tamaño y con producciones de rizomas superiores al testigo absoluto.

6.2.4. Actividad microbiana en muestras de suelo.

Durante la cosecha, se tomaron 3 muestras representativas de suelo de 3 de las 5 unidades experimentales que formaban un tratamiento de interacción y sobre las cuales se desarrolló la cúrcuma a 10 y a 15 cm (mayor densidad de raíces), además de los testigos y testigos absolutos (ver fotografía 18 a1, a2 a3 y a4); a éstas se les realizó la prueba de actividad microbiana con un tiempo de incubación de 6 días, los resultados se exponen en la tabla 15.



Fotografía 18. a1, a2, a3 y a4. Toma de muestras de suelo de la fase II para prueba de actividad microbiana.

Los datos encontrados superaron los resultados de varias investigaciones que establecieron rangos de respiración obtenidos en laboratorio, para suelos agrícolas (15-32 $\mu\text{gC-CO}_2/\text{gSS}$) y suelos enmendados (53-86 $\mu\text{gC-CO}_2/\text{gSS}$) (Pascual *et al.*, 1999 y 2001, citados por Vargas, 2015) y los encontrados por Bustamante *et al.* (2010) citado por Vargas (2015) donde los mayores valores llegaron hasta 85,1 $\mu\text{gC-CO}_2/\text{gSS}$ mientras que para este trabajo de

investigación el mayor valor registrado fue 184 $\mu\text{gC-CO}_2/\text{gSS}$, es interesante notar que este valor está asociado al primer tratamiento (25mT-7 ½ min) que dio los mejores resultados de las variables de respuesta estudiadas para la fase II.

Tabla 15. Actividad microbiana en muestras de suelo por tratamiento; (*) testigos absolutos.

Tiempo [min]	Rótulo muestra	Actividad Microbiana Promedio [$\mu\text{gC-CO}_2/\text{gSS}$]
7 1/2	T1R1	184
7 1/2	T1R2	
7 1/2	T1R3	
15	T2R1	138
15	T2R2	
15	T2R3	
30	T3R1	122
30	T3R2	
30	T3R3	
30	Tes1	134
15	Tes2	122
7 1/2	Tes3	122
*	Ta1	122
*	Ta2	110
*	Ta3	140

El suelo tomado del lote ubicado en la vereda “El Limonar”, municipio de Dagua (Valle del Cauca) (con 9 puntos de muestreo) utilizado para la fase II y para la aplicación de agua de riego estimulada magnéticamente cuenta con una textura franco-arcillosa, ideal para conservar la humedad de los tratamientos a establecer, con rangos de pH fuertemente ácidos entre los 4.90 y 5.51, con una conductividad eléctrica con una ligera influencia en cultivos sensibles de 0.12 a 0.36 dS/m, con niveles normales-altos de materia orgánica oxidable entre 2.27 y 3.03% con niveles de fósforo muy bajos entre 1.1 y 1.3 ppm, con niveles muy bajos de sodio entre 0.17 y 0.19 me/100 g, en 6 de los 9 puntos de muestreo se observan niveles normales de potasio (0.62-0.87 me/100 g) en 2 hay un nivel bajo (0.46 me/100 g) y en un punto de muestreo el nivel es muy bajo (0.22 me/100 g). Los niveles de calcio son bajos (3-6.78 me/100 g), los niveles de magnesio son normales-altos (1.9-4 me/100 g), con una capacidad de intercambio catiónico baja (5.98-11.1 me/100 g) (ver Anexo VI).

6.3. RESULTADOS AGUA DE RIEGO ESTIMULADA MAGNÉTICAMENTE.

6.3.1. Longitud del tallo.

Fueron tomados 26 registros de longitud del tallo de las plántulas de cúrcuma entre los meses de mayo, junio y julio de 2015. La medición se realizó desde la base de la materia hasta el punto de inserción de la hoja más joven del tallo principal (ver gráfico 8).

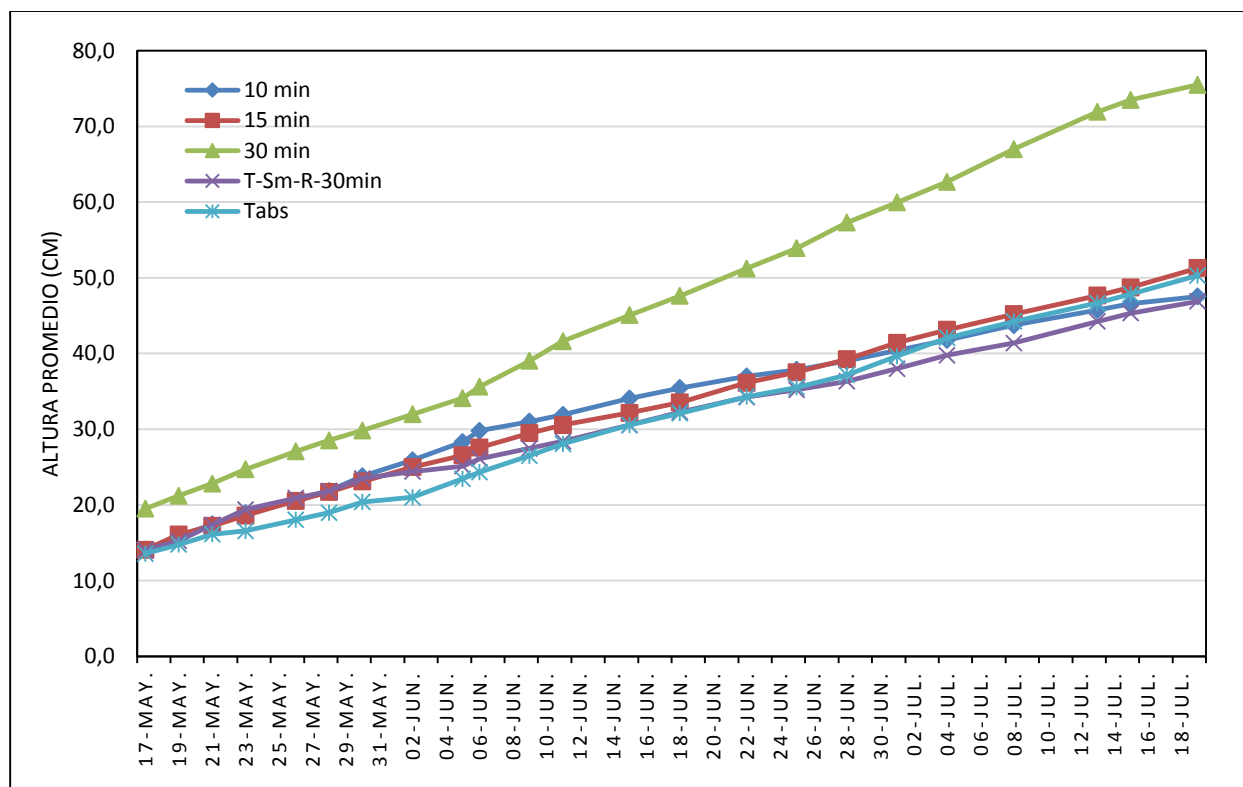


Gráfico 8. Resultados de altura del tallo en centímetros versus tiempo con agua magnetizada a un campo magnético constante ($B=156.5$ mT).

De las 26 fechas analizadas, 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 (ver Anexo I).

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) (ver Anexo I). 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 (ver Anexo I).

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 y del Anexo VI se observa un buen nivel de este elemento en el suelo del “Limonar”, por tanto, el campo magnético doría 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).

6.3.2. Número de rizomas y número de macollos.

El día 19 de julio se efectuó la cosecha de la cúrcuma. En principio se contabilizaron el número de macollos por planta. Luego se cortó la bolsa plástica y con cuidado se retiró la planta del suelo, después se lavó el sistema radicular de la planta con agua y finalmente se contaron los rizomas producidos (ver fotografía 16 a, b, c y d).

A continuación se presenta el número de rizomas y el número de macollos resultantes por tratamiento en el gráfico 9.

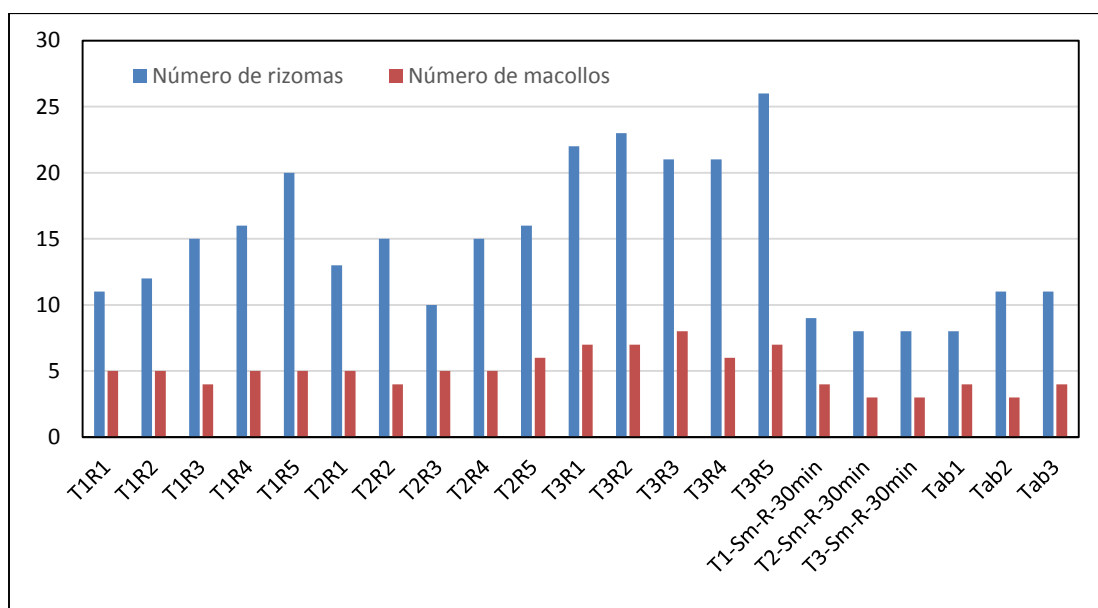


Gráfico 9. Número de rizomas y número de macollos por tratamiento con agua de riego magnetizada.

El tratamiento que produjo el mayor número de rizomas y con mayor significancia estadística según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) corresponde al tratamiento 3 (30 minutos) que superó al testigo absoluto en términos de número promedio de rizomas en un 126% y a la vez superó

también al testigo recirculado sin magnetizar durante 30 minutos en el número promedio de rizomas en un 171.2%.

Con respecto a número de macollos, el tratamiento 3 superó tanto al testigo absoluto como al testigo recirculado sin magnetizar durante 30 minutos en un 90.9% y 110% respectivamente (ver tabla 16).

Tabla 16. Promedio de rizomas y de macollos por tratamiento con agua de riego magnetizada.

Tratamiento	Promedio número rizomas	Promedio número macollos
T1	15	5
T2	14	5
T3	23	7
T-Sm-R-30min	8	3
Ta	10	4

Los resultados obtenidos con agua magnetizada fueron superiores a los obtenidos con el biofertilizante estimulado electromagnéticamente. En el gráfico 10 presentado a continuación se considera a T1 como el tratamiento 1 para biofertilizante estimulado a 25 mT durante 7 ½ minutos a la vez que corresponde al tratamiento 1 para agua magnetizada (30 minutos) y así sucede con T2 y T3. El testigo corresponde por un lado al tratamiento del biofertilizante sin estimular y sin recircular (SeSr) durante 30 minutos y para el agua magnetizada indica el agua sin magnetizar recirculada (SmR) durante 30 minutos. En todo caso el testigo absoluto indica el uso de agua normal proveniente del sistema de riego auxiliar.

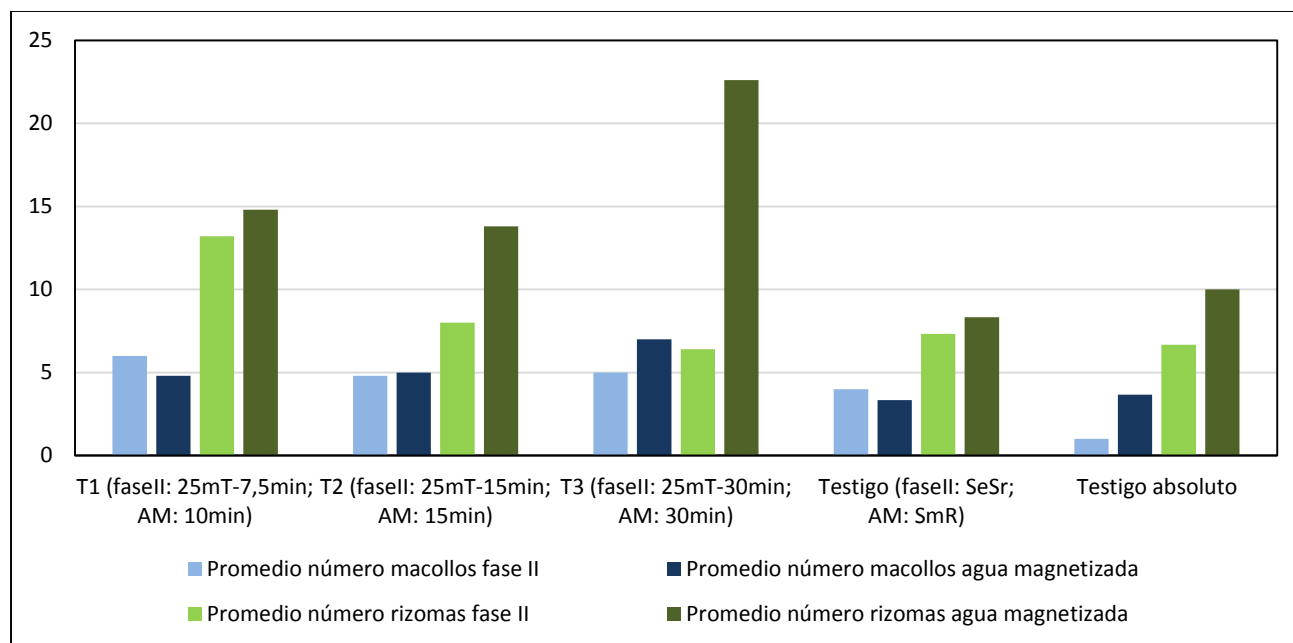


Gráfico 10. Cantidad promedio de rizomas y macollos para la fase II y para agua de riego magnetizada (AM); SeSr: sin estimular sin recircular; SmR: sin magnetizar recirculado.

Es interesante observar que para el tratamiento 3 (biofertilizante estimulado durante 30 minutos y agua magnetizada durante 30 minutos) en el gráfico 10, 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.

6.3.3. Masa fresca y seca.

Una vez medido la masa en gramos de cada cúrcuma el día 19 de julio de 2015, las plántulas se trocearon y se ubicaron en bolsas de papel debidamente rotuladas, tales bolsas fueron puestas a secar durante 7 días a 90°C en el horno marca Quincy Lab Inc. modelo 40GC, garantizando así un porcentaje de humedad cercano al 10%. Finalmente se tomó de nuevo la masa de las cúrcumas con la balanza analítica marca OHAUS Traveler (ver fotografía 16 a, b c y d).

A continuación se presentan los resultados de masa fresca y masa seca de las cúrcumas por tratamiento en los gráficos 11 y 12 respectivamente.

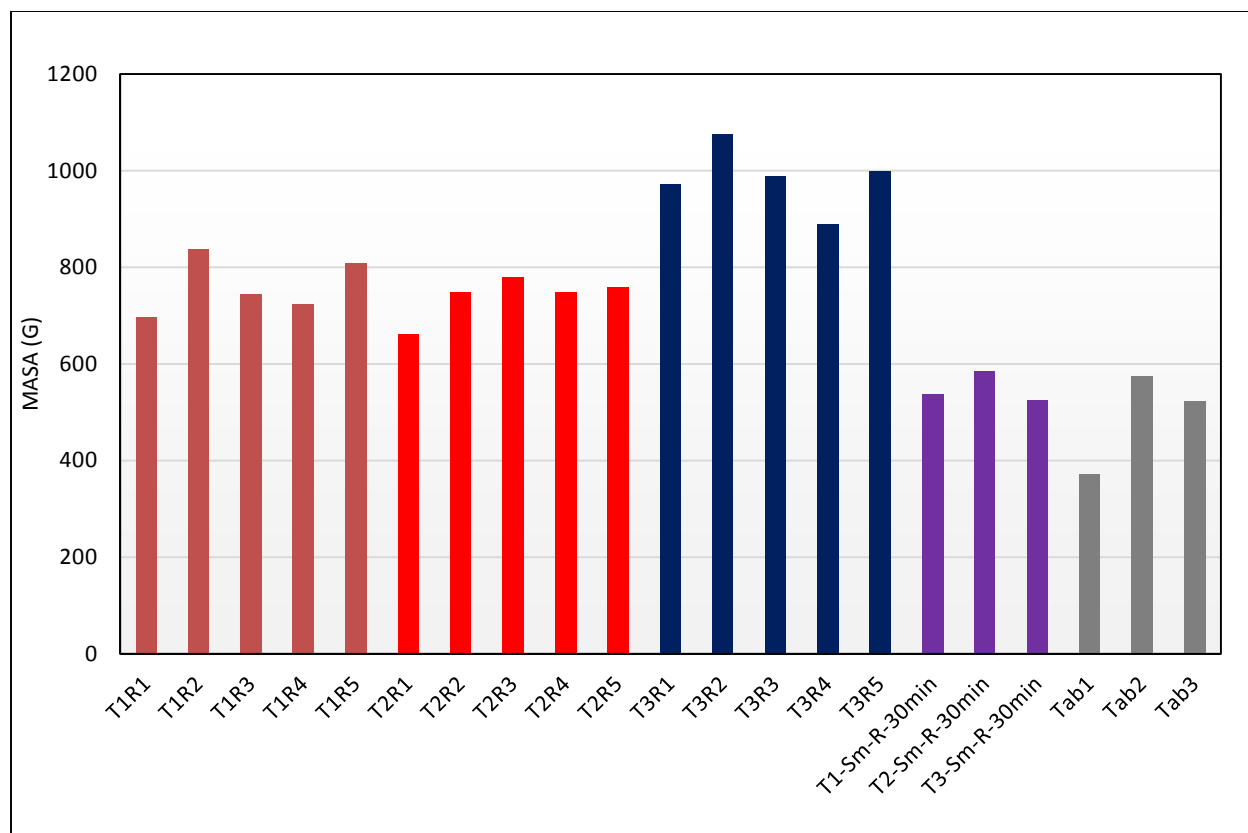


Gráfico 11. Masa fresca (g) según tratamientos para agua de riego magnetizada.

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

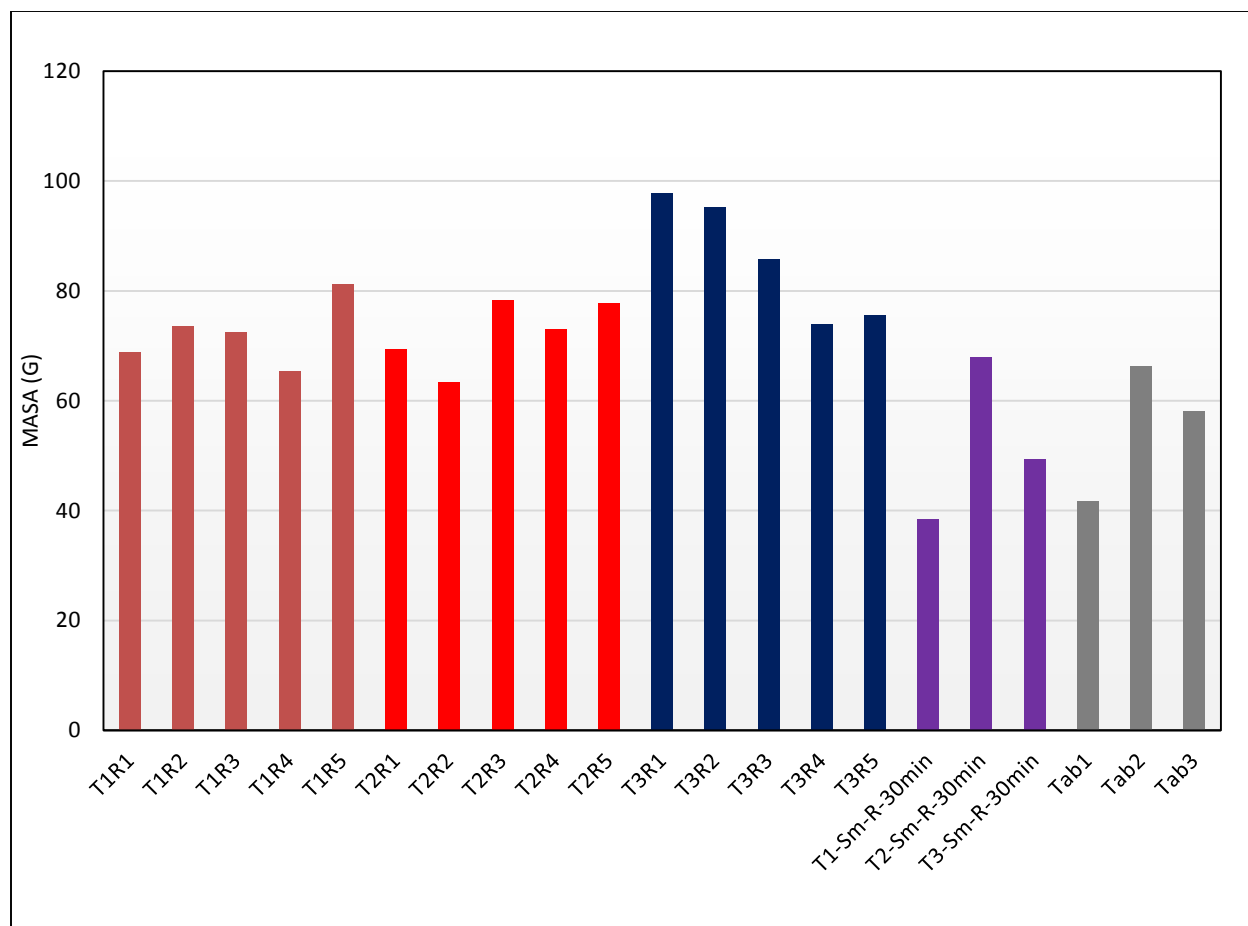


Gráfico 12. Masa seca (g) según tratamientos para agua de riego magnetizada.

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 recirculado durante 30 minutos en 54.7% y 64.8% respectivamente.

Se presentan a continuación los gráficos 13 y 14 que comparan los resultados de masa fresca promedio (g) y masa seca promedio (g) para la fase II y el experimento con agua de riego magnetizada.

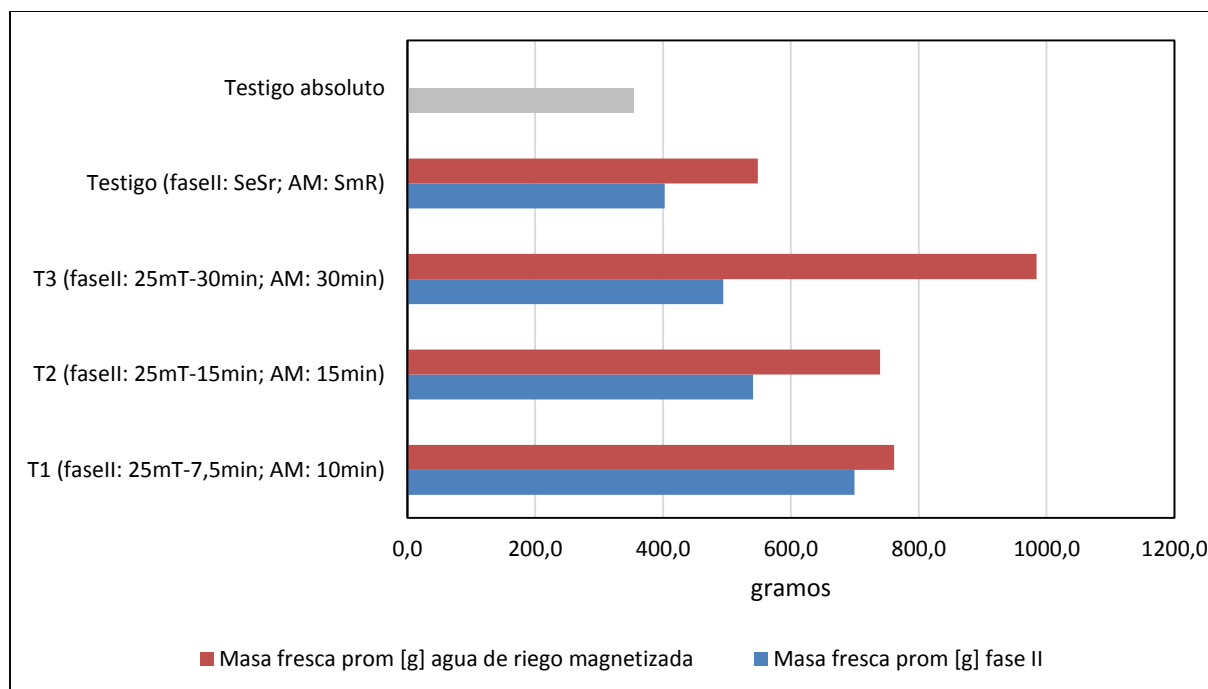


Gráfico 13. Masa fresca promedio (g) para la fase II vs agua de riego magnetizada (AM).

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 13).

De la gráfica 13 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 13).

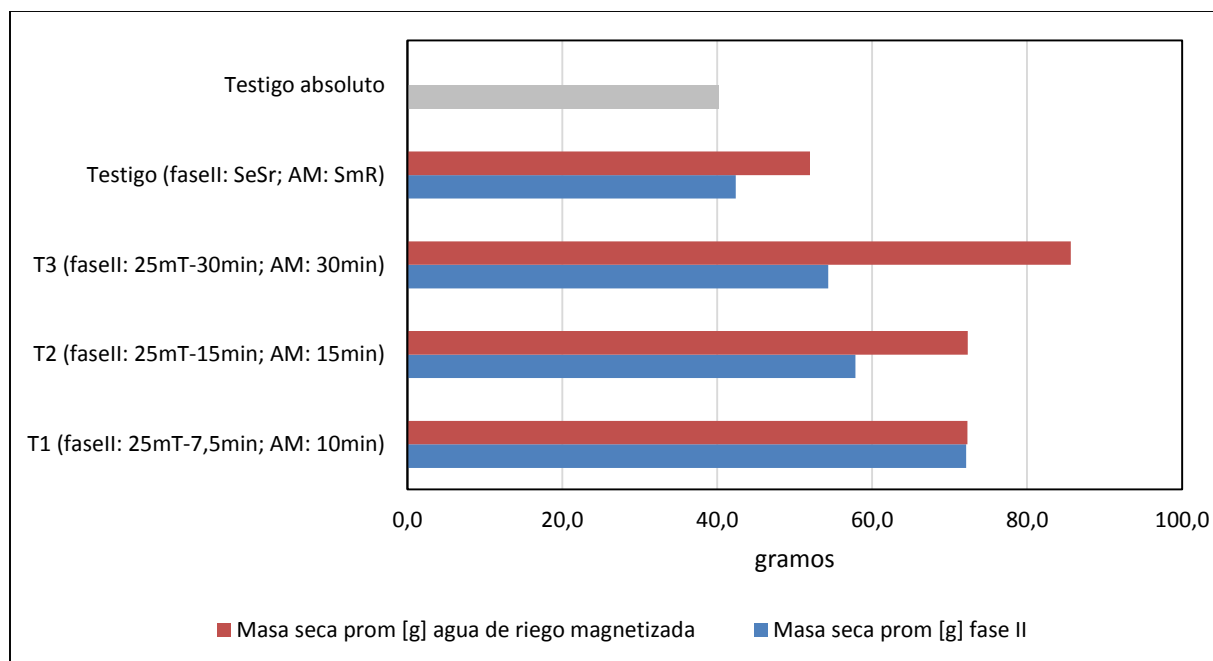


Gráfico 14. Masa seca promedio (g) para la fase II y agua de riego magnetizada.

De la gráfica 14 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.

Una de las posibles explicaciones del efecto positivo observado en el tratamiento magnético podría encontrarse en las propiedades paramagnéticas de algunos átomos en las células y pigmentos de las plantas, es decir, los cloroplastos. En un campo magnético externo, los momentos magnéticos de estos átomos se alinean con la dirección del campo. Las propiedades magnéticas de las moléculas determinan su habilidad de absorber la energía del campo magnético, para luego transformarla en otro tipo de energía y transferirla luego a otras estructuras en las células de la planta, generando así, su activación. Los efectos magnéticos en plantas pueden ser explicados con la estructura de la resonancia del ciclotrón de iones y los modelos de radicales pares, dos mecanismos que también juegan un importante papel en la magnetorecepción de otros organismos (Galland & Pazur, 2005 citados por Aladjadjiyan, 2012). La hipótesis propuesta por Shine et al. (2011) recae en el rol de los iones Ca^{2+} . El incremento en la concentración de iones Ca^{2+} después del tratamiento magnético posiblemente juega un papel de señalización para que las células entren más rápidamente en el ciclo mitótico. El campo magnético afecta también la electroconductividad (Szcze'z et al., 2011) por tanto cambia el estado celular.

7. CONCLUSIONES.

La recirculación de biofertilizante disuelto en agua estimulada electromagnéticamente y de agua de riego magnetizada sobre el cultivo de cúrcuma tuvieron un impacto positivo en las variables de respuesta analizadas (altura de tallo principal, número de rizomas, número de macollos, masa fresca y masa seca), no obstante, fue la tecnología de agua magnetizada la que produjo mejores resultados, siendo 30 minutos el mejor tiempo de exposición al campo magnético de los dos magnetrones en serie con una intensidad de 156.5 mT.

El mejor resultado obtenido sobre las variables de respuesta analizadas (altura de tallo principal, número de rizomas, número de macollos, masa fresca y masa seca) para la fase II se produjo a una intensidad de 25 mT durante 7 ½ minutos, previo análisis de las 3 mejores interacciones de campo electromagnético-tiempo de exposición en laboratorio.

Los resultados de esta investigación indican que el riego con agua magnetizada recirculada puede ser considerado como una valiosa tecnología usada para aumentar, posiblemente, la producción del cultivo de la cúrcuma y para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo donde se aplique, sin embargo, 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.

La heterogeneidad de las especies y tipos de plantas, condiciones físico-químicas del agua utilizada para riego agrícola, tipos de suelo, condiciones locales y la falta de un modelo físico así como de unos protocolos estandarizados para el tratamiento de la tecnología de magnetización con fines agrícolas es muy compleja, de ahí que sean necesarias más investigaciones a nivel local para obtener información suficiente como para generar curvas detalladas que integren la intensidad del campo, el tiempo de exposición y la respuesta en cultivos promisorios como lo es el de la cúrcuma sobre unidades y frecuencias de riego definidas y diferenciadas.

8. RECOMENDACIONES.

Se recomienda la tecnología de agua magnetizada recirculada sobre la de biofertilizante estimulado electromagnéticamente recirculado debido a su mayor impacto sobre la mejoría en las características de crecimiento y desarrollo del cultivo de la cúrcuma bajo condiciones de invernadero y debido también a la practicidad de su uso, instalación y mantenimiento en campo en comparación al sistema de recirculación con biofertilizante.

Se recomienda adelantar una investigación sobre el efecto de la longitud de los laterales del sistema de riego por goteo y del tiempo máximo de retención del efecto magnetizador del agua recirculada y estimulada magnéticamente en campo, considerando variables de desarrollo y crecimiento del cultivo de la cúrcuma para estimar de esta manera el área máxima por módulo de riego y la frecuencia máxima de riego disponible para regar teniendo en cuenta la relación costo-beneficio del cultivo.

Se sugiere analizar los constituyentes químicos de la cúrcuma (pigmentos fotosintéticos - clorofila a, clorofila b, clorofila total a+b , carotenoides, porcentaje de curcumina), actividad fotosintética, eficiencia de traslocación de los fotoasimilados, fenoles totales, calcio, magnesio y potasio contenidos en las plantas para exhibir su respuesta al riego con agua magnetizada de una manera más precisa.

Se recomienda adelantar una investigación en la cual se magnetice vinaza disuelta en agua para ser aplicada sobre un cultivo cúrcuma bajo condiciones de invernadero durante 30, 60 y 90 minutos (en el sistema de recirculación con los dos magnetrones en serie), debido al alto aporte en potasio y materia orgánica de este subproducto, críticos para el desarrollo óptimo de la cúrcuma y de la calidad de la curcumina contenida en los rizomas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- About El-Yazied A., El-Gizawy A.M., Khalf S. M., El-Satar A. & Shalaby O.A. (2012). Effect of magnetic field treatments for seeds and irrigation water as well as N, P and K levels on productivity of tomato plants. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(4), 2088-2099.
- 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.
- Aladjadjian A. (2010). Influence of stationary magnetic field on lentil seeds. *International Agrophysics*, 24, 321-324.
- Aladjadjian A. (2012). *Physical Factors for Plant Growth Stimulation Improve Food Quality, Food Production - Approaches, Challenges and Tasks*. ISBN: 978-953-307-887-8.
- 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.
- Amira M., Abdul Qados A. M. S. & Hozayn M. (2010). Response of growth, yield, yield components and some chemical constituents of flax for irrigation with magnetized and tap water. *World Applied Sciences Journal*, 8(5), 630-634.
- Amiri M. C. & Dadkhah A. A. (2006). On reduction in the surface tension of water due to magnetic treatment. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 278, 252–255.
- Autor institucional. Asociación Hortifrutícola de Colombia - ASOHOFrucol. (2007). Plan Hortícola Nacional. Colombia. p539.
- Balouchi H. R. & Sanavy S.A.M.M. (2009). Electromagnetic field impact on annual medic and dodder seed germination. *International Agrophysics*, 23, 111-115.
- Belyavskaya N. A. (2004). Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Advances in Space Research*, 34, 1566–1574.

- Bilalis D., Katsenios N., Efthimiadou A., Efthimiadis P. & Karkanis A. (2012). Pulsed electromagnetic fields effect in oregano rooting and vegetative propagation: A potential new organic method. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 62, 94-99.
- Chang K. & Weng C. (2006). The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamics simulation. *Journal of Applied Physics*, 100(4), [043917]1-6.
- Cuero R. & Tulande R. (2004). *Evaluación de la estimulación magnética con campo magnético variable en la cachaza seca y en el periodo de compostaje de la cachaza verde de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) tratadas con microorganismos benéficos* (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, sede Meléndez, Cali, Colombia & Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Colombia.
- Díaz J. A. & Ávila L. M. (2002). *Sondeo del mercado mundial de cúrcuma (Cúrcuma longa L.)*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt”.
- Duarte C., Guevara G. & Méndez M. (2004). Uso del agua activada y con tratamiento magnético del tomate en condiciones de organopónico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(3), 1010-2760.
- Filho A. B., De Souza R. J., Faquin V. & De Carvalho C. M. (2004). Época e densidade de plantio na produção de cúrcuma. *Ciência Rural*, Santa Maria, 34(4), 1021-1026.
- Galland P. & Pazur A. (2005). Magnetoreception in plants. *Journal of Plant Research*. 118:371-389.
- Gil Pascual, J. A. (2015). Estadística e informática (SPSS) en la investigación descriptiva e inferencial. Editorial UNED. P296.
- Goel, A.; Kunnumakkara A. B. & Aggarwal B. B. (2008). Curcumin as 'Curecumin': From kitchen to clinic. *Biochemical Pharmacology*, 75(4), 787-809.
- Harari M. & Lin I. J. (1992). Water exposed to magnetic treatment: muskmelon (*cantaloupe*) growing. *Magnetic and Electrical Separation*, 3, 93-104.

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., Abdelraouf R. E. & Abdalla M. (2013) Do magnetic water affect water efficiency, quality and yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plant under arid regions conditions? *Journal of Agronomy*, 12(1), 1-10.

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.

Isaac E., Dubois A. & Fung Y. (2010). Efecto de la aplicación de un campo electromagnético sobre el contenido de proteínas solubles y carbohidratos de embriones cigóticos de *Coffea arabica* L. cultivados *in vitro*. *Biotecnología Vegetal*, 10(1), 53 - 56.

Jayaprakasha, G. K.; Rao L. J. & Sakariah K. K. (2005). Chemistry and biological activities of *C. Longa*. *Trends in Food Science and Technology*, 16(12), 533-548.

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).

Kamal M. Z. U. & Yousuf M. N. (2012). Effect of Organic Manures on Growth, Rhizome Yield and Quality Attributes of Turmeric (*Curcuma longa* L.). *The Agriculturists*, 10(1), 16-22.

Kandiannan K., Sasikumar B., Thankamani C. K., Suseela R., Santhosh J., Devasahayam S. & Zachariah J. (2008). *Turmeric (Extension Pamphlet)*. India: Niseema Printers & Publishers, Kochi – 18. Indian Institute of Spices Research.

Khoshravesh M., Mostafazadeh-Fard B., Mousavi S. F. & Kiani A. R. (2011). Effects of magnetized water on the distribution pattern of soil water with respect to time in trickle irrigation. *Soil Use and Management*, 27, 515–522.

- Kumar B. & Gill B. S. (2010). Growth, yield and quality of turmeric (*Curcuma longa* L.) as influenced by planting method, plant density and planting material. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 19(1 & 2), 42–49.
- 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.
- Majd A. & Shabrangi A. (March, 2009). Effect of seed pretreatment by magnetic fields on seed germination and ontogeny growth of agricultural plants. *Progress In Electromagnetics Research Symposium*, Beijing, China.
- Mohamed A. I. & Ebead B. M. (2013). Effect of irrigation with magnetically treated water on faba bean growth and composition. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 1(2), 24-40.
- Mostafazadeh-Fard B., Khoshravesh M., Mousavi S. F. & Kiani A. R. (2011). Effects of magnetized water on soil sulphate ions in trickle irrigation. *2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications*, IACSIT Press, Singapore.
- Moussa H. R. (2011). The Impact of Magnetic Water Application for Improving Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Production. *New York Science Journal*, 4(6), 15-20.
- Mulook Al-Khazan, Batoul M. & Nabila Al-Assaf (2011). Effects of magnetically treated water on water status, chlorophyll pigments and some elements content of Jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) at different growth stages. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(9), 722-731.
- Najafi S., Heidari R. & Jamei R. (2013). Influence of the magnetic field stimulation on some biological characteristics of phaseolus vulgarisin two different times. *Global Journal of Science, Engineering and Technology*, 11, 51-58.
- Noran R., Shani U. & Israel L. (1996). The effect of irrigation with magnetically trated water on the translocation of minerals in the soil. *Magnetic and Electrical Separation*, 7, 109-122.

- Pang X. & Deng B. (2008). Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. *Science in China Series G: Physics, Mechanics & Astronomy*, 51(11), 1621-1632.
- Parlevliet J. E. (2002). Durability of resistance against fungal, bacterial and viral pathogens, present situation. *Euphytica*, 124, 147-156.
- Pietruszewski S., Muszyński S., & Dziwulska A. (2007). Electromagnetic fields and electromagnetic radiation as non-invasive external stimulants for seeds (selected methods and responses). *International Agrophysics*, 21, 95-100.
- Prabhakaran K. P. (2013). *The agronomy and economy of turmeric and ginger the invaluable medicinal spice crops*. India: Elsevier.
- Qin, N. Y., Yang F. Q., Wang Y. T. & Li S. P. (2007). Quantitative determination of eight components in rhizome (Jianghuang) and tuberous root (Yujin) of *Curcuma longa* using pressurized liquid extraction and gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 43(2), 486-492.
- 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.
- Ratushnyak, A. A., M. G. Andreeva, O. V. Morozova, G. A. Morozov & M. V. Trushin (2008). Effect of extremely high frequency electromagnetic fields on the microbiological community in rhizosphere of plants. *International Agrophysics*, 22, 71-74.
- Ríos E., Duque A. & León D. (2009). Caracterización espectroscópica y cromatográfica de curcumina extraída de los rizomas de Cúrcuma (*Curcuma longa* L.) Cultivada en el departamento del Quindío. *Revista de investigación de la Universidad del Quindío*, (19), 18- 22.
- Ríos E., Giraldo G., León D & Moreno A. (2008). Estudio del perfil de compuestos volátiles de los rizomas de *Curcuma longa* L. Cultivada en el departamento del Quindío – Colombia. *Revista de investigación de la Universidad del Quindío*, (18), 32-37.

Rosero, E. (2013). *Evaluación de la aplicación de compost proveniente de biorresiduos del municipio de Versailles y residuos de poda de jardín en las propiedades químicas y biológicas de un suelo Andisol y en la producción de maíz (Zea mays)*. (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, sede Meléndez, Cali (Valle del Cauca).

Roy S. S. & Hore J. K. (2011). Effect of organic manures and microbial inoculants on yield, root colonization and total bacterial population in turmeric (*Curcuma longa* L.) intercropped in arecanut (*Areca catechu* L.) garden. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 20(2), 66–71.

Samani M. A., Pourakbar L. & Azimi N. (2013). Magnetic field effects on seed germination and activities of some enzymes in cumin. *Life Science Journal*, 10(1), 323-325.

Serway R. & Beichner R. (2002). *Física para ciencias e ingeniería. Quinta Edición. Tomo II*. México D. F.: McGraw-Hill.

Stange B. C., Rowland R. E., Rapley B. I. & Podd J. V. (2002). ELF magnetic fields increase amino acid uptake into *Vicia faba* L. roots and alter ion movement across the plasma membrane. *Bioelectromagnetics*, 23, 347-354.

Stašelis A. & Stašelis V. (2011). The Effect of Electromagnetic Fields on Agricultural Plants. *Engineering and Environment of Biosystems*, 442-447.

Szcze's A., Chibowski E., Hołysz L. & Rafalski P. (2011). Effects of static magnetic field on water at kinetic condition. *Chemical Engineering and Processing*, 50, 124–127.

Taia W. K., Al-Zahrani H. S. & Kotbi A. M. (2007). The effect of static magnetic forces on water contents and photosynthetic pigments in Sweet Basil *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 14(1), 103-107.

Torres A., Porras E. & Casate F. (1999). Efecto del tratamiento magnético de semillas de tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal*, 14(3), 437-444.

Urrea A., Canal A. & Monsalve Z. (2011). Micropropagación e inducción de órganos de almacenamiento en *Curcuma longa* L. *Actual Biology*, 33(94), 5-15.

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).

Yano A., Ohashi Y., Hirasaki T. & Fujiwara K. (2004). Effects of 60Hz magnetic field on photosynthetic uptake and early growth of radish seedlings. *Bioelectromagnetics*, 25(8), 572-581.

Yun-Zhu Guo, Da-Chuan Yin, Hui-Ling Cao, Jian-Yu Shi, Chen-Yan Zhang, Yong-Ming Liu, Huan-Huan Huang, Yue Liu, Yan Wang, Wei-Hong Guo, Ai-Rong Qian and Peng Shang (2012). Evaporation Rate of Water as a Function of a Magnetic Field and Field Gradient. *International Journal of Molecular Sciences*. 13, 16916-16928.

Zapata J., Moreno G. & Márquez E. (2002). Efectos de los campos magnéticos sobre el crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae*. *INCI Revista Interciencia*, 27(10), 544-550.

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.

ANEXOS

I. Validación estadística.

FASE I

Ensayo I

ANOVA de dos factores: ActMicrProm (μgC vs. Intensidad (mT); Tiempo exp (min)

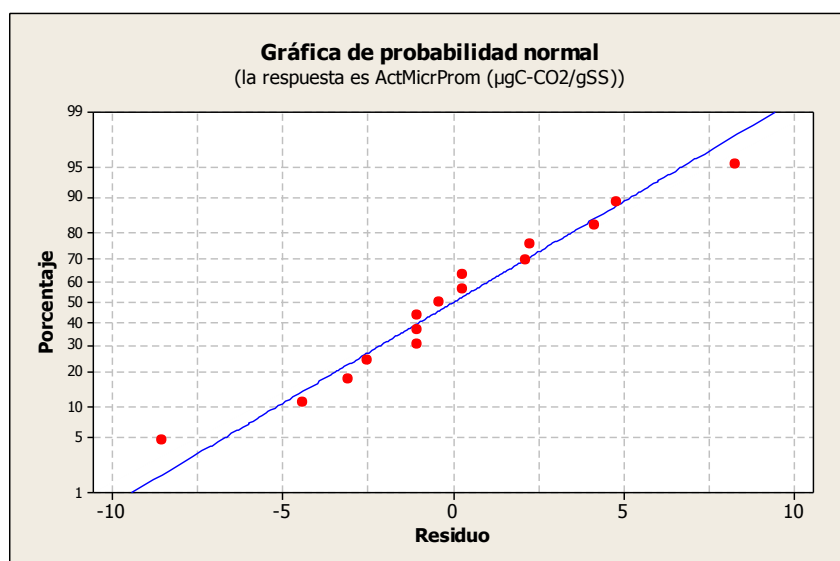
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Intensidad (mT)	4	79565,3	19891,3	692,27	0,000
Tiempo exp (min)	2	10,1	5,1	0,18	0,842
Error	8	229,9	28,7		
Total	14	79805,3			

S = 5,360 R-cuad. = 99,71% R-cuad. (ajustado) = 99,50%

Intensidad (mT)		ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Media			
0	546,000		(*)
25	405,333	(-*)	
50	398,667	(*-)	
75	360,000	(*)	
100	336,667	(*)	

Tiempo exp (min)		ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Media			
7,5	410,4	(-----*)	
15,0	408,4	(-----*)	
30,0	409,2	(-----*)	

Normalidad



Estadístico de prueba VARIANZA HOMOGÉNEA: Test de Levene

H_0 : Las varianzas de ambos grupos son homogéneas
 H_1 : Las varianzas de ambos grupos no son homogéneas

Prueba de homogeneidad de varianzas

Residuo Ensayo1--SPSS® V20

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.--Pvalor
1,337	4	10	,322

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Valor de P: 0,322

Criterio de decisión:

Si el P valor es $<$ que α rechaza la hipótesis nula.

Si el P valor es $>$ que α no se rechaza la hipótesis nula.

$P > \alpha$ ($0,322 > 0,05$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, las varianzas son homogéneas.

Estadístico de prueba (no paramétrico): Prueba de Rachas

H_0 : Los elementos de la muestra están mezclados aleatoriamente
 H_1 : Los elementos de la muestra no están mezclados aleatoriamente

Prueba de rachas--SPSS® V20

	Residuo Ensayo1
Valor de prueba ^a	-,40
Casos $<$ Valor de prueba	7
Casos $\geq$ Valor de prueba	8
Casos en total	15
Número de rachas	6
Z	-1,059
Sig. asintót. (bilateral)	,290

a. Mediana

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

De la distribución normal estandarizada áreas de cola bilateral ($Z \alpha/2$), se tiene:

$Z \alpha/2 = Z 0,025 = 1,96$

Criterio de decisión:

Si el Z valor $>$ que $Z \alpha/2$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor $<$ que $Z \alpha/2$ no se rechaza la hipótesis nula.

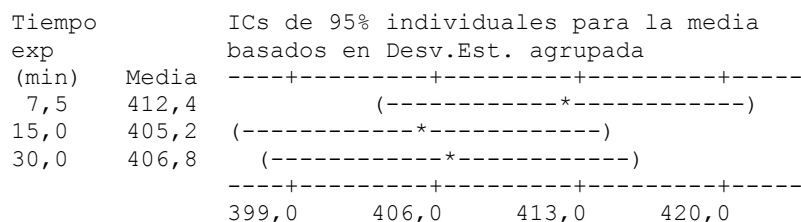
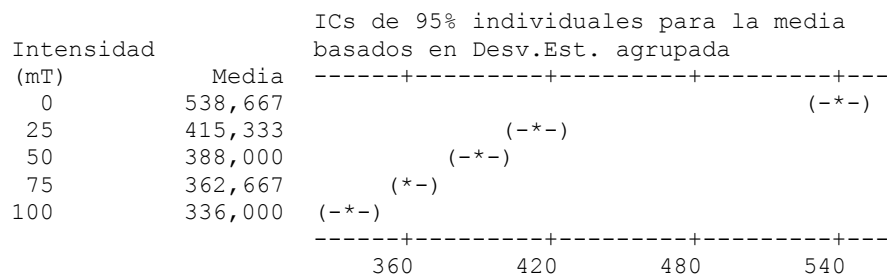
$Z < \alpha/2$ ($-1,059 < 1,96$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos indican aleatoriedad o independencia.

Ensayo II

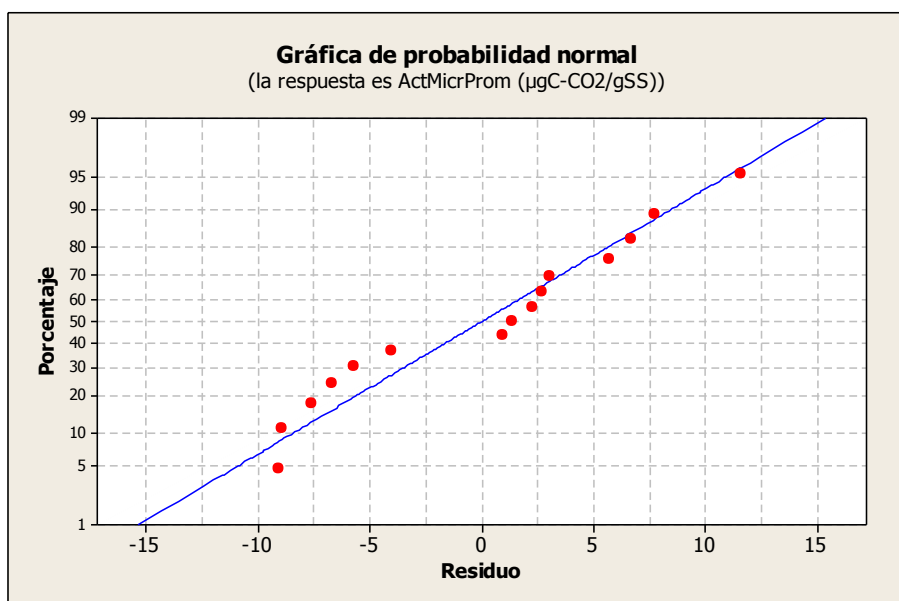
ANOVA de dos factores: ActMicrProm (μgC vs. Intensidad (mT); Tiempo exp (min)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Intensidad (mT)	4	74299,7	18574,9	243,98	0,000
Tiempo exp (min)	2	142,9	71,5	0,94	0,430
Error	8	609,1	76,1		
Total	14	75051,7			

$S = 8,725$ R-cuad. = 99,19% R-cuad. (ajustado) = 98,58%



Normalidad



Estadístico de prueba VARIANZA HOMOGÉNEA: Test de Levene

H_0 : Las varianzas de ambos grupos son homogéneas
 H_1 : Las varianzas de ambos grupos no son homogéneas

Prueba de homogeneidad de varianzas

Residuo Ensayo2--SPSS® V20

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.-- Pvalor
,636	4	10	,649

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$
 Valor de P: 0,649

Criterio de decisión:
 Si el P valor es $<$ que α rechaza la hipótesis nula

Si el P valor es $>$ que α no se rechaza la hipótesis nula
 $P > \alpha$ ($0,649 > 0,05$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, las varianzas son homogéneas.

Estadístico de prueba (no paramétrico): Prueba de Rachas

H_0 : Los elementos de la muestra están mezclados aleatoriamente
 H_1 : Los elementos de la muestra no están mezclados aleatoriamente

Prueba de rachas--SPSS® V20

	Residuo Ensayo2
Valor de prueba ^a	1,33
Casos $<$ Valor de prueba	7
Casos $\geq$ Valor de prueba	8
Casos en total	15
Número de rachas	10
Z	,556
Sig. asintót. (bilateral)	,578

a. Mediana

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

De la distribución normal estandarizada áreas de cola bilateral ($Z \alpha/2$), se tiene:

$Z \alpha/2 = Z 0,025 = 1,96$

Criterio de decisión:

Si el Z valor $>$ que $Z \alpha/2$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor $<$ que $Z \alpha/2$ no se rechaza la hipótesis nula.

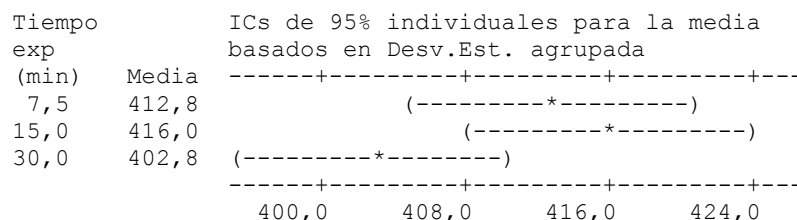
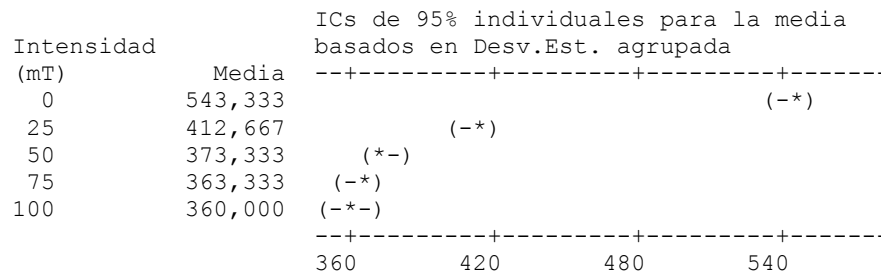
$Z < \alpha/2$ ($0,556 < 1,96$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos indican aleatoriedad o independencia.

Ensayo III

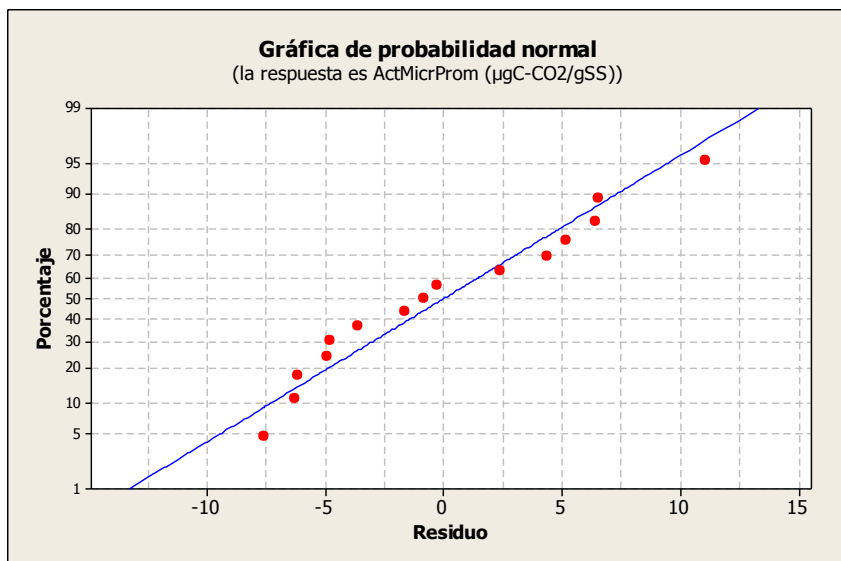
ANOVA de dos factores: ActMicrProm (μgC vs. Intensidad (mT); Tiempo exp (min)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Intensidad (mT)	4	71417,1	17854,3	312,87	0,000
Tiempo exp (min)	2	474,1	237,1	4,15	0,058
Error	8	456,5	57,1		
Total	14	72347,7			

S = 7,554 R-cuad. = 99,37% R-cuad. (ajustado) = 98,90%



Normalidad



Estadístico de prueba VARIANZA HOMOGÉNEA: Test de Levene

H_0 : Las varianzas de ambos grupos son homogéneas
 H_1 : Las varianzas de ambos grupos no son homogéneas

Prueba de homogeneidad de varianzas

Residuo Ensayo3--SPSS® V20

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig. -- Pvalor
1,016	4	10	,444

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Valor de P: 0,444

Criterio de decisión:

Si el P valor es $<$ que α rechaza la hipótesis nula

Si el P valor es $>$ que α no se rechaza la hipótesis nula

$P > \alpha$ ($0,444 > 0,05$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, las varianzas son homogéneas.

Estadístico de prueba (no paramétrico): Prueba de Rachas

H_0 : Los elementos de la muestra están mezclados aleatoriamente
 H_1 : Los elementos de la muestra no están mezclados aleatoriamente

Prueba de rachas--SPSS® V20

	Residuo Ensayo3
Valor de prueba ^a	-,80
Casos $<$ Valor de prueba	7
Casos $\geq$ Valor de prueba	8
Casos en total	15
Número de rachas	7
Z	-,521
Sig. asintót. (bilateral)	,603

a. Mediana

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

De la distribución normal estandarizada áreas de cola bilateral ($Z \alpha/2$), se tiene:
 $Z \alpha/2 = Z_{0,025} = 1,96$

Criterio de decisión:

Si el Z valor $>$ que $Z \alpha/2$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor $<$ que $Z \alpha/2$ no se rechaza la hipótesis nula.

$Z < \alpha/2$ ($-0,521 < 1,96$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos indican aleatoriedad o independencia.

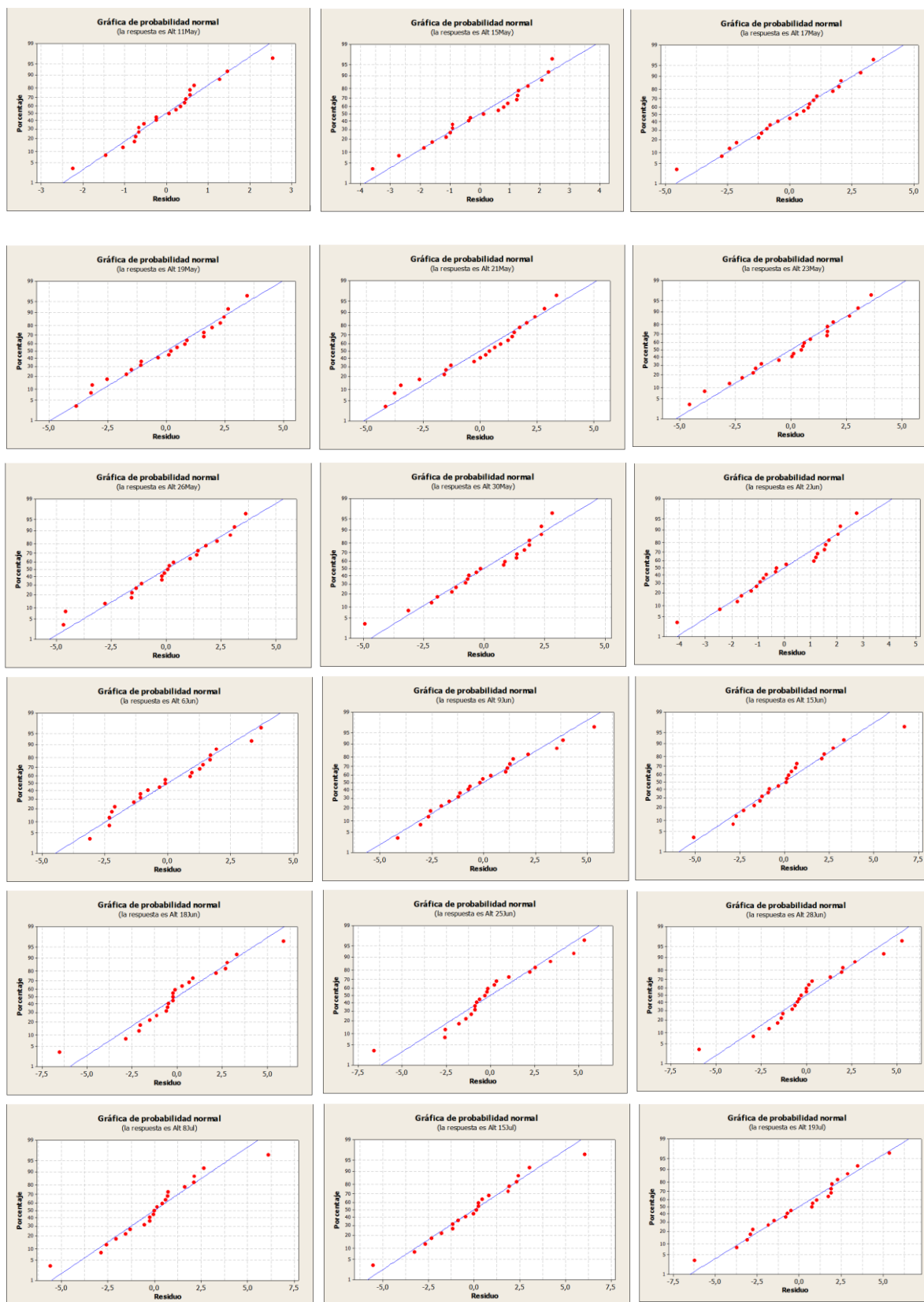
FASE II

Longitud (cm) multi-mensual

Según la agrupación de información utilizando el método de Tukey (Minitab®) para los meses de Mayo, Junio y Julio 2015 BiofertEstimuladoEM						
	A	AB	ABC	B	BC	C
Mayo 11	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes
Mayo 15	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes
Mayo 17	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes
Mayo 19	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes
Mayo 21	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes
Mayo 23	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes
Mayo 26	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes	sdes
Mayo 30	T3	T1 Tabs T2		T-Se-Sr-30min		
Junio 2	T3 T1 T2	Tabs		T-Se-Sr-30min		
Junio 6	T1	T3	Tabs		T2	T-Se-Sr-30min
Junio 9	T1 T3	Tabs T2		T-Se-Sr-30min		
Junio 15	T1 T3	Tabs T2		T-Se-Sr-30min		
Junio 18	T1 T3	Tabs T2		T-Se-Sr-30min		
Junio 25	T1 T3 T2	Tabs		T-Se-Sr-30min		
Junio 28	T1 T3 T2	Tabs		T-Se-Sr-30min		
Julio 8	T1 T3 T abs	T2		T-Se-Sr-30min		
Julio 15	T1 T3 T2	Tabs		T-Se-Sr-30min		
Julio 19	T1		T3 Tabs T2	T-Se-Sr-30min		

sdes: Sin diferencia estadísticamente significativa según el Método de Tukey.

Normalidad



Estadístico de prueba VARIANZA HOMOGÉNEA: Test de Levene y Estadístico de prueba (no paramétrico): Prueba de Rachas

Para varianza homogénea:

H_0 : Las varianzas de ambos grupos son homogéneas
 H_1 : Las varianzas de ambos grupos no son homogéneas

Criterio de decisión:

Si el P valor es $<$ que α rechaza la hipótesis nula

Si el P valor es $>$ que α no se rechaza la hipótesis nula

Para Rachas:

H_0 : Los elementos de la muestra están mezclados aleatoriamente
 H_1 : Los elementos de la muestra no están mezclados aleatoriamente

Criterio de decisión:

Si el Z valor $>$ que $Z \alpha/2$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor $<$ que $Z \alpha/2$ no se rechaza la hipótesis nula.

	Test de Levene ($\alpha=0,05$)			Prueba de Rachas ($Z \alpha/2 = Z 0,025 = 1,96$)		
	Valor P	Varianzas homogéneas	Varianzas no homogéneas	Valor Z	Independencia	No independencia
Mayo 11	0,47			0,46		
Mayo 15	0,308			-0,887		
Mayo 17	0,241			-0,887		
Mayo 19	0,191			0,46		
Mayo 21	0,18			0,46		
Mayo 23	0,225			0,46		
Mayo 26	0,281			0,46		
Mayo 30	0,394			0,46		
Junio 2	0,328			1,471		
Junio 6	0,2			0,46		
Junio 9	0,014			0,46		
Junio 15	0,005			0,46		
Junio 18	0,175			0		
Junio 25	0,026			0		
Junio 28	0,016			0,46		
Julio 8	0,127			0,011		
Julio 15	0,372			0		
Julio 19	0,444			1,357		

Número de rizomas FASE II

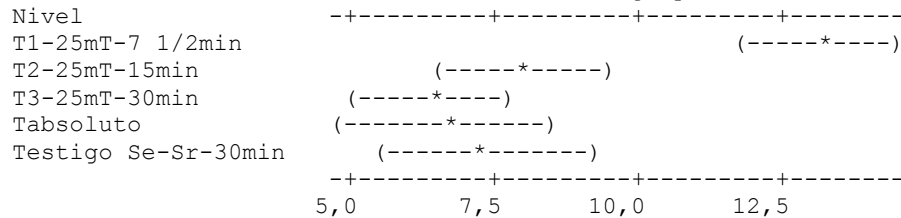
ANOVA unidireccional

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	4	147,81	36,95	16,73	0,000
Error	16	35,33	2,21		
Total	20	183,14			

S = 1,486 R-cuad. = 80,71% R-cuad. (ajustado) = 75,88%

Nivel	N	Media	Desv.Est.
T1-25mT-7 1/2min	5	13,200	1,924
T2-25mT-15min	5	8,000	1,225
T3-25mT-30min	5	6,400	1,140
Tabsooluto	3	6,667	1,528
Testigo Se-Sr-30min	3	7,333	1,528

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada



Desv.Est. agrupada = 1,486

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T1-25mT-7 1/2min	5	13,200	A
T2-25mT-15min	5	8,000	B
Testigo Se-Sr-30min	3	7,333	B
Tabsooluto	3	6,667	B
T3-25mT-30min	5	6,400	B

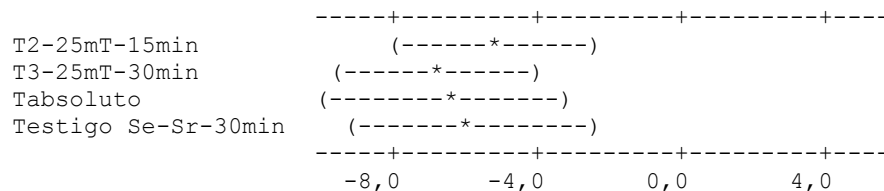
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 99,25%

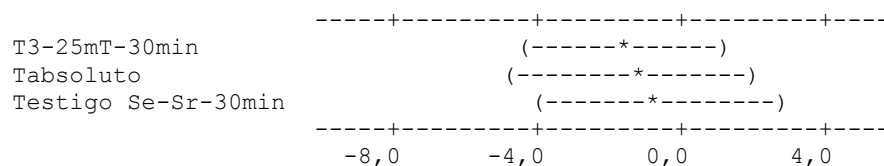
Se restó T1-25mT-7 1/2min a:

	Inferior	Centro	Superior
T2-25mT-15min	-8,078	-5,200	-2,322
T3-25mT-30min	-9,678	-6,800	-3,922
Tabsooluto	-9,856	-6,533	-3,211
Testigo Se-Sr-30min	-9,189	-5,867	-2,544



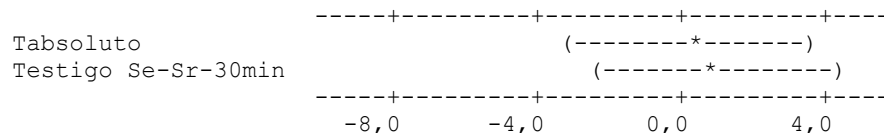
Se restó T2-25mT-15min a:

	Inferior	Centro	Superior
T3-25mT-30min	-4,478	-1,600	1,278
Tabsooluto	-4,656	-1,333	1,989
Testigo Se-Sr-30min	-3,989	-0,667	2,656



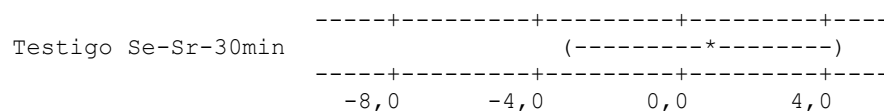
Se restó T3-25mT-30min a:

	Inferior	Centro	Superior
Tabsoluto	-3,056	0,267	3,589
Testigo Se-Sr-30min	-2,389	0,933	4,256

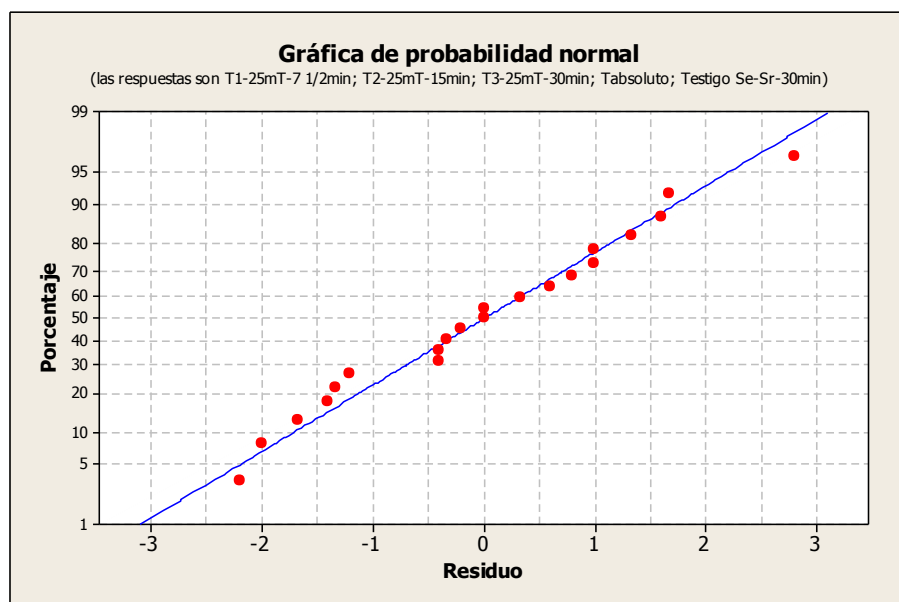


Se restó Tabsoluto a:

	Inferior	Centro	Superior
Testigo Se-Sr-30min	-3,048	0,667	4,382



Normalidad



Estadístico de prueba VARIANZA HOMOGÉNEA: Test de Levene

H_0 : Las varianzas de ambos grupos son homogéneas
 H_1 : Las varianzas de ambos grupos no son homogéneas

Prueba de homogeneidad de varianzas

Residuo Rizomas FaseII--SPSS® V20

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig. -- Pvalor
,472	4	16	,756

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Valor de P: 0,756

Criterio de decisión:

Si el P valor es $<$ que α rechaza la hipótesis nula

Si el P valor es $>$ que α no se rechaza la hipótesis nula

$P > \alpha$ (0,756 $>$ 0,05) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, las varianzas son homogéneas.

Estadístico de prueba (no paramétrico): Prueba de Rachas

H_0 : Los elementos de la muestra están mezclados aleatoriamente
 H_1 : Los elementos de la muestra no están mezclados aleatoriamente

Prueba de rachas--SPSS® V20

	Residuo Rizomas FaseII
Valor de prueba ^a	,00
Casos $<$ Valor de prueba	10
Casos $\geq$ Valor de prueba	11
Casos en total	21
Número de rachas	14
Z	,908
Sig. asintót. (bilateral)	,364

a. Mediana

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

De la distribución normal estandarizada áreas de cola bilateral ($Z \alpha/2$), se tiene:

$Z \alpha/2 = Z 0,025 = 1,96$

Criterio de decisión:

Si el Z valor $>$ que $Z \alpha/2$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor $<$ que $Z \alpha/2$ no se rechaza la hipótesis nula.

$Z < \alpha/2$ (0,908 $<$ 1,96) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos indican aleatoriedad o independencia.

Número de macollos FASE II

ANOVA unidireccional

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	4	50,438	12,610	18,68	0,000
Error	16	10,800	0,675		
Total	20	61,238			

S = 0,8216 R-cuad. = 82,36% R-cuad. (ajustado) = 77,95%

Nivel	N	Media	Desv.Est.
T1-25mT-7 1/2min	5	6,0000	0,7071
T2-25mT-15min	5	4,8000	0,8367
T3-25mT-30min	5	5,0000	1,0000
Tabsooluto	3	1,0000	1,0000
Testigo Se-Sr-30min	3	4,0000	0,0000

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	
T1-25mT-7 1/2min	(---*---)
T2-25mT-15min	(---*---)
T3-25mT-30min	(---*---)
Tabsooluto	(----*----)
Testigo Se-Sr-30min	(----*----)
	0,0 2,0 4,0 6,0

Desv.Est. agrupada = 0,8216

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T1-25mT-7 1/2min	5	6,0000	A
T3-25mT-30min	5	5,0000	A B
T2-25mT-15min	5	4,8000	A B
Testigo Se-Sr-30min	3	4,0000	B
Tabolsuto	3	1,0000	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 99,25%

Se restó T1-25mT-7 1/2min a:

	Inferior	Centro	Superior
T2-25mT-15min	-2,7909	-1,2000	0,3909
T3-25mT-30min	-2,5909	-1,0000	0,5909
Tabolsuto	-6,8371	-5,0000	-3,1629
Testigo Se-Sr-30min	-3,8371	-2,0000	-0,1629

T2-25mT-15min	(-----*-----)
T3-25mT-30min	(-----*-----)
Tabolsuto	(-----*-----)
Testigo Se-Sr-30min	(-----*-----)

+-----+-----+-----+-----+
-7,0 -3,5 0,0 3,5

Se restó T2-25mT-15min a:

	Inferior	Centro	Superior
T3-25mT-30min	-1,3909	0,2000	1,7909
Tabolsuto	-5,6371	-3,8000	-1,9629
Testigo Se-Sr-30min	-2,6371	-0,8000	1,0371

T3-25mT-30min	(-----*-----)
Tabolsuto	(-----*-----)
Testigo Se-Sr-30min	(-----*-----)

+-----+-----+-----+-----+
-7,0 -3,5 0,0 3,5

Se restó T3-25mT-30min a:

	Inferior	Centro	Superior
Tabolsuto	-5,8371	-4,0000	-2,1629
Testigo Se-Sr-30min	-2,8371	-1,0000	0,8371

Tabolsuto	(-----*-----)
Testigo Se-Sr-30min	(-----*-----)

+-----+-----+-----+-----+
-7,0 -3,5 0,0 3,5

Se restó Tabolsuto a:

Prueba de rachas--SPSS® V20

	Residuo Macollos FaseII
Valor de prueba ^a	,00
Casos < Valor de prueba	6
Casos >= Valor de prueba	15
Casos en total	21
Número de rachas	11
Z	,515
Sig. asintót. (bilateral)	,606

a. Mediana

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

De la distribución normal estandarizada áreas de cola bilateral ($Z \alpha/2$), se tiene:

$Z \alpha/2 = Z 0,025 = 1,96$

Criterio de decisión:

Si el Z valor > que $Z \alpha/2$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor < que $Z \alpha/2$ no se rechaza la hipótesis nula.

$Z < \alpha/2$ ($0,515 < 1,96$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos indican aleatoriedad o independencia.

Masa fresco (g) FASE II

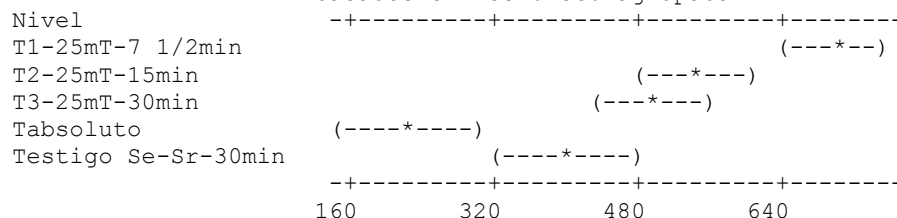
ANOVA unidireccional

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	4	470132	117533	29,65	0,000
Error	16	63429	3964		
Total	20	533561			

S = 62,96 R-cuad. = 88,11% R-cuad. (ajustado) = 85,14%

Nivel	N	Media	Desv.Est.
T1-25mT-7 1/2min	5	699,34	58,93
T2-25mT-15min	5	540,96	74,10
T3-25mT-30min	5	494,34	52,73
Tabsooluto	3	220,37	31,38
Testigo Se-Sr-30min	3	402,70	85,10

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada



Desv.Est. agrupada = 62,96

Agrupar información utilizando el método de Tukey

Nivel	N	Media	Agrupación
T1-25mT-7 1/2min	5	699,34	A
T2-25mT-15min	5	540,96	B
T3-25mT-30min	5	494,34	B
Testigo Se-Sr-30min	3	402,70	B
Tabsooluto	3	220,37	C

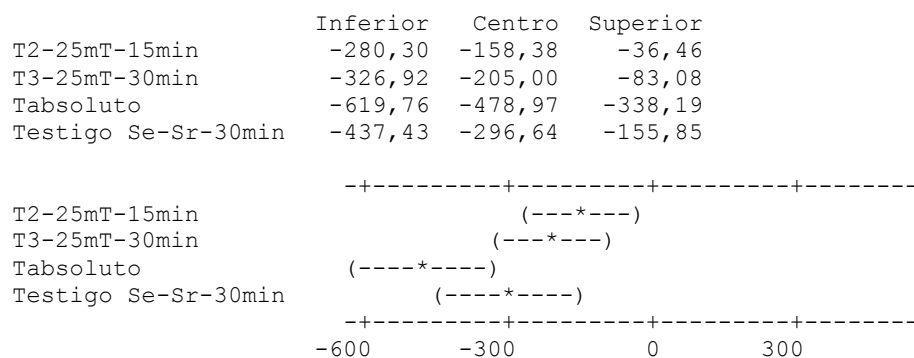
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

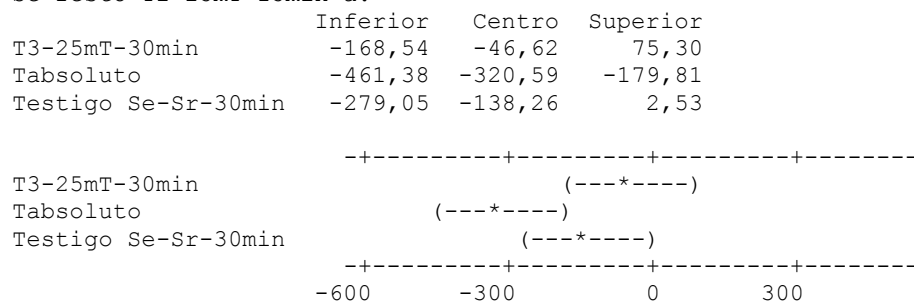
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 99,25%

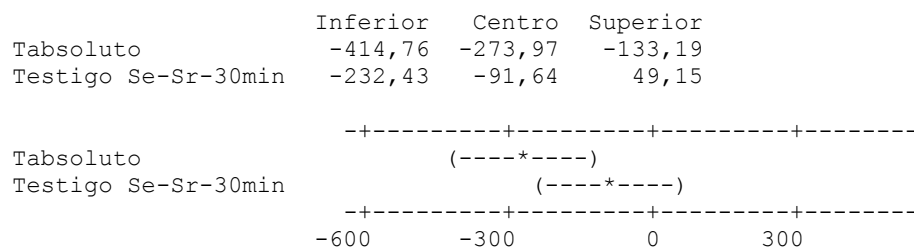
Se restó T1-25mT-7 1/2min a:



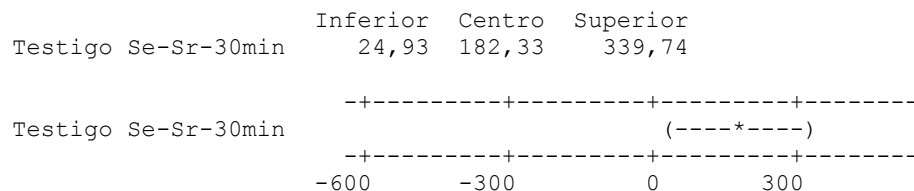
Se restó T2-25mT-15min a:



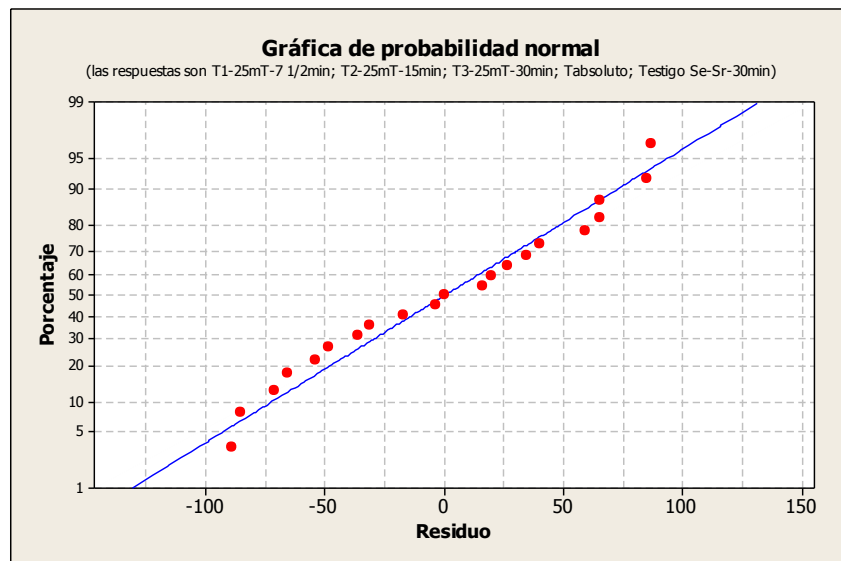
Se restó T3-25mT-30min a:



Se restó Tabsoluto a:



Normalidad



Estadístico de prueba **VARIANZA HOMOGÉNEA: Test de Levene**

H_0 : Las varianzas de ambos grupos son homogéneas
 H_1 : Las varianzas de ambos grupos no son homogéneas

Prueba de homogeneidad de varianzas

Residuo Pfresco FaseII--SPSS® V20

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig. -- Pvalor
1,109	4	16	,386

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$
 Valor de P: 0,386

Criterio de decisión:

Si el P valor es $<$ que α rechaza la hipótesis nula

Si el P valor es $>$ que α no se rechaza la hipótesis nula

$P > \alpha$ ($0,386 > 0,05$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, las varianzas son homogéneas.

Estadístico de prueba (no paramétrico): Prueba de Rachas

H_0 : Los elementos de la muestra están mezclados aleatoriamente
 H_1 : Los elementos de la muestra no están mezclados aleatoriamente

Prueba de rachas--SPSS® V20

	Residuo Pfresco FaseII
Valor de prueba ^a	,00
Casos $<$ Valor de prueba	10
Casos $\geq$ Valor de prueba	11
Casos en total	21
Número de rachas	13
Z	,460
Sig. asintót. (bilateral)	,646

a. Mediana

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

De la distribución normal estandarizada áreas de cola bilateral ($Z \alpha/2$), se tiene:

$Z \alpha/2 = Z 0,025 = 1,96$

Criterio de decisión:

Si el Z valor > que Z $\alpha/2$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor < que Z $\alpha/2$ no se rechaza la hipótesis nula.

Z < $\alpha/2$ (0,460 < 1,96) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos indican aleatoriedad o independencia.

Masa seco (g) FASE II

ANOVA unidireccional

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	4	4608,3	1152,1	22,51	0,000
Error	16	818,8	51,2		
Total	20	5427,1			

S = 7,153 R-cuad. = 84,91% R-cuad. (ajustado) = 81,14%

Nivel	N	Media	Desv.Est.
T1-25mT-7 1/2min	5	72,120	6,844
T2-25mT-15min	5	57,820	7,446
T3-25mT-30min	5	54,340	9,335
Tabsofuto	3	25,167	2,401
Testigo Se-Sr-30min	3	42,400	4,979

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	
T1-25mT-7 1/2min	(---*---)
T2-25mT-15min	(---*---)
T3-25mT-30min	(---*---)
Tabsofuto	(-----*-----)
Testigo Se-Sr-30min	(-----*-----)

16 32 48 64

Desv.Est. agrupada = 7,153

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T1-25mT-7 1/2min	5	72,120	A
T2-25mT-15min	5	57,820	B
T3-25mT-30min	5	54,340	B
Testigo Se-Sr-30min	3	42,400	B C
Tabsofuto	3	25,167	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

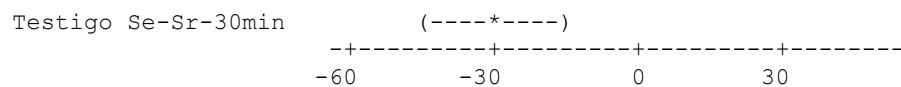
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 99,25%

Se restó T1-25mT-7 1/2min a:

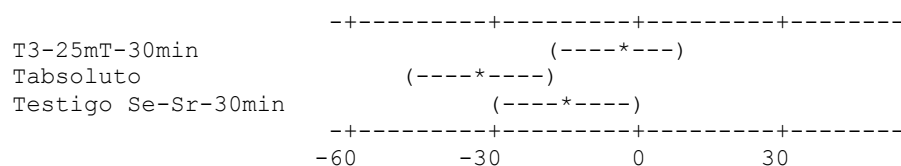
	Inferior	Centro	Superior
T2-25mT-15min	-28,152	-14,300	-0,448
T3-25mT-30min	-31,632	-17,780	-3,928
Tabsofuto	-62,949	-46,953	-30,958
Testigo Se-Sr-30min	-45,715	-29,720	-13,725

T2-25mT-15min	(---*---)
T3-25mT-30min	(---*---)
Tabsofuto	(-----*-----)



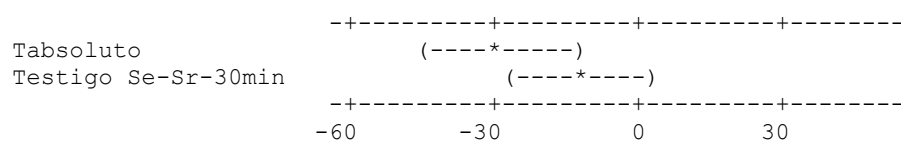
Se restó T2-25mT-15min a:

	Inferior	Centro	Superior
T3-25mT-30min	-17,332	-3,480	10,372
Tabsoluto	-48,649	-32,653	-16,658
Testigo Se-Sr-30min	-31,415	-15,420	0,575



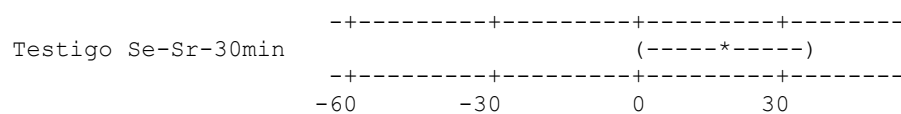
Se restó T3-25mT-30min a:

	Inferior	Centro	Superior
Tabsoluto	-45,169	-29,173	-13,178
Testigo Se-Sr-30min	-27,935	-11,940	4,055

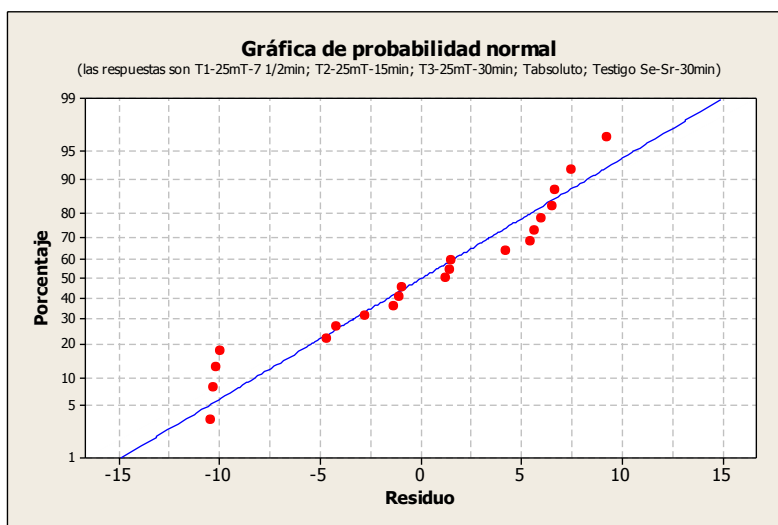


Se restó Tabsoluto a:

	Inferior	Centro	Superior
Testigo Se-Sr-30min	-0,650	17,233	35,116



Normalidad



Estadístico de prueba VARIANZA HOMOGÉNEA: Test de Levene

H_0 : Las varianzas de ambos grupos son homogéneas
 H_1 : Las varianzas de ambos grupos no son homogéneas

Prueba de homogeneidad de varianzas

Residuo Pseco FaseII--SPSS® V20

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig. -- Pvalor
2,321	4	16	,101

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Valor de P: 0,101

Criterio de decisión:

Si el P valor es $<$ que α rechaza la hipótesis nula

Si el P valor es $>$ que α no se rechaza la hipótesis nula

$P > \alpha$ (0,101 $>$ 0,05) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, las varianzas son homogéneas.

Estadístico de prueba (no paramétrico): Prueba de Rachas

H_0 : Los elementos de la muestra están mezclados aleatoriamente
 H_1 : Los elementos de la muestra no están mezclados aleatoriamente

Prueba de rachas--SPSS® V20

	Residuo Pseco FaseII
Valor de prueba ^a	1,23
Casos $<$ Valor de prueba	10
Casos $\geq$ Valor de prueba	11
Casos en total	21
Número de rachas	13
Z	,460
Sig. asintót. (bilateral)	,646

a. Mediana

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

De la distribución normal estandarizada áreas de cola bilateral ($Z \alpha/2$), se tiene:

$Z \alpha/2 = Z 0,025 = 1,96$

Criterio de decisión:

Si el Z valor $>$ que $Z \alpha/2$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor $<$ que $Z \alpha/2$ no se rechaza la hipótesis nula.

$Z < \alpha/2$ (0,460 $<$ 1,96) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos indican aleatoriedad o independencia.

AGUA MAGNETIZADA

Longitud (cm) multi-mensual

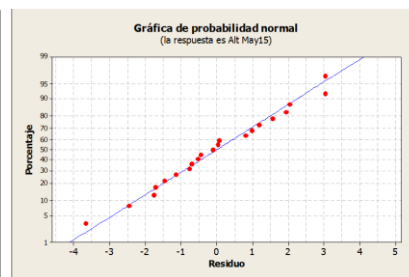
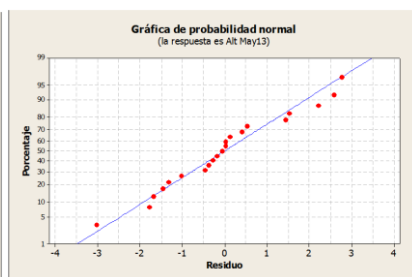
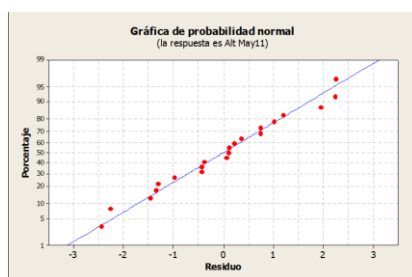
Según la agrupación de información utilizando el método de Tukey (Minitab®) para el mes de Mayo de 2015 con agua de riego magnetizada			
	A	AB	B
Mayo 11	sdes	sdes	sdes
Mayo 13	T3-30 min	Test-SmR-30min Test absoluto	T1-10 min T2-15 min
Mayo 15	T3-30 min		T2-15 min T1-10 min Test-SmR-30min Test absoluto
Mayo 17	T3-30 min		T1-10 min T2-15 min Test-SmR-30min Test absoluto
Mayo 19	T3-30 min		T2-15 min T1-10 min Test-SmR-30min Test absoluto
Mayo 21	T3-30 min		T1-10 min Test-SmR-30min T2-15 min Test absoluto
Mayo 23	T3-30 min		Test-SmR-30min T1-10 min T2-15 min Test absoluto
Mayo 26	T3-30 min		Test-SmR-30min T2-15 min T1-10 min Test absoluto
Mayo 28	T3-30 min		T1-10 min Test-SmR-30min T2-15 min Test absoluto
Mayo 30	T3-30 min		T1-10 min Test-SmR-30min T2-15 min Test absoluto

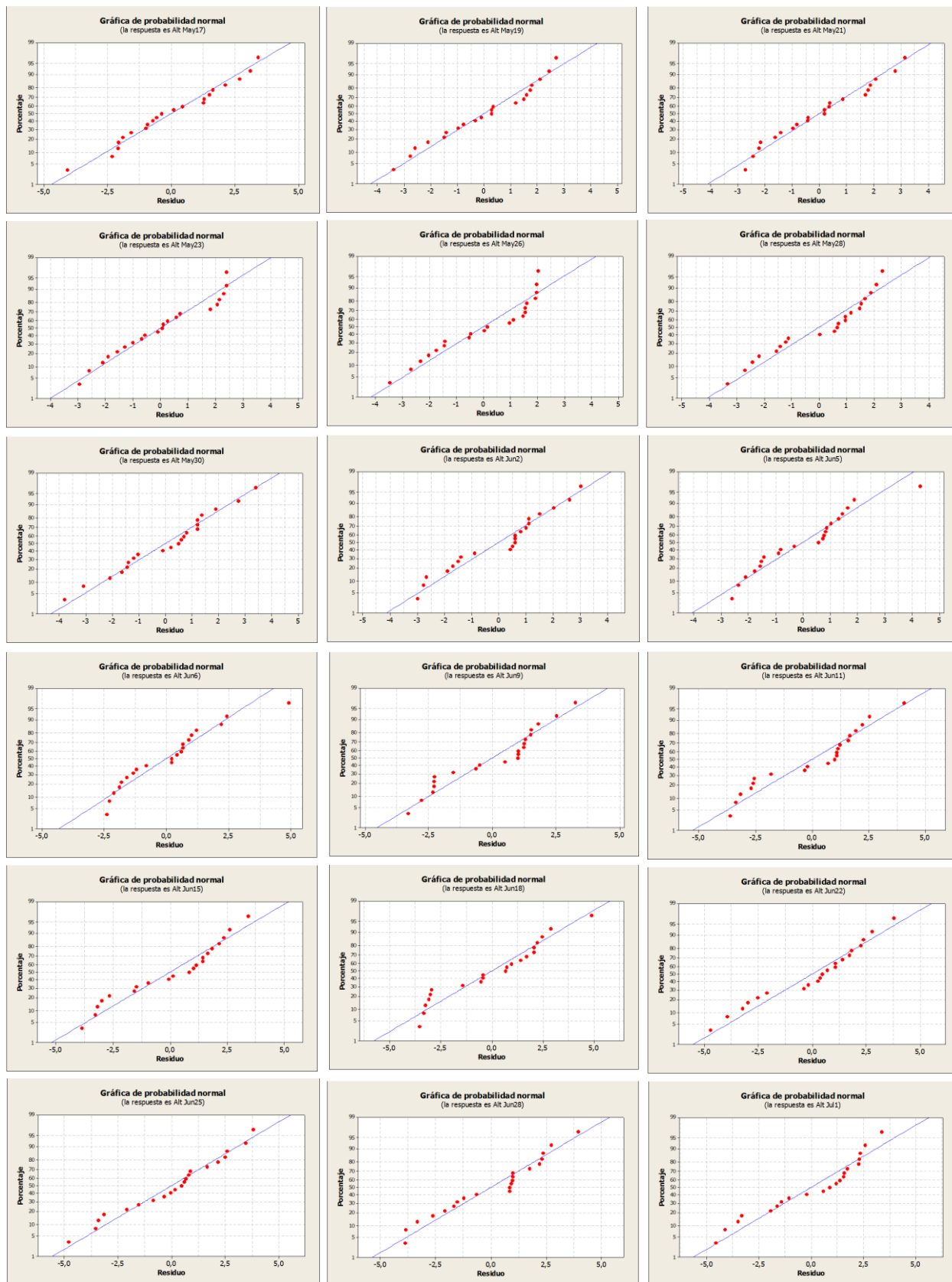
sdes: Sin diferencia estadísticamente significativa según el Método de Tukey.

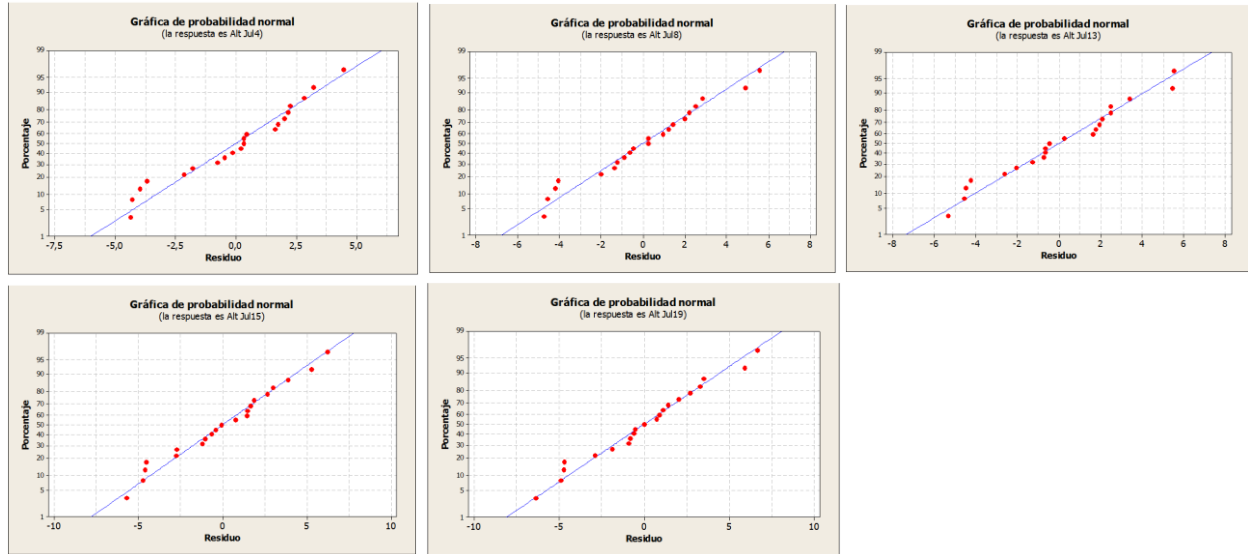
Según la agrupación de información utilizando el método de Tukey (Minitab®) para el mes de Junio de 2015 con agua de riego magnetizada				
	A	B	BC	C
Junio 2	T3-30 min	T1-10 min	T2-15 min Test-SmR-30min	Test absoluto
Junio 5	T3-30 min	T1-10 min	T2-15 min Test-SmR-30min	Test absoluto
Junio 6	T3-30 min	T1-10 min	T2-15 min Test-SmR-30min	Test absoluto
Junio 9	T3-30 min	T1-10 min T2-15 min Test-SmR-30min Test absoluto		
Junio 11	T3-30 min	T1-10 min T2-15 min Test-SmR-30min Test absoluto		
Junio 15	T3-30 min	T1-10 min T2-15 min Test-SmR-30min Test absoluto		
Junio 18	T3-30 min	T1-10 min T2-15 min Test-SmR-30min Test absoluto		
Junio 22	T3-30 min	T1-10 min T2-15 min Test-SmR-30min Test absoluto		
Junio 25	T3-30 min	T1-10 min T2-15 min Test-SmR-30min Test absoluto		
Junio 28	T3-30 min	T2-15 min T1-10 min Test absoluto Test-SmR-30min		

Según la agrupación de información utilizando el método de Tukey (Minitab®) para el mes de Julio de 2015 con agua de riego magnetizada		
	A	B
Julio 1	T3-30 min	T2-15 min T1-10 min Test absoluto Test-SmR-30min
Julio 4	T3-30 min	T2-15 min Test absoluto T1-10 min Test-SmR-30min
Julio 8	T3-30 min	T2-15 min Test absoluto T1-10 min Test-SmR-30min
Julio 13	T3-30 min	T2-15 min Test absoluto T1-10 min Test-SmR-30min
Julio 15	T3-30 min	T2-15 min Test absoluto T1-10 min Test-SmR-30min
Julio 19	T3-30 min	T2-15 min Test absoluto T1-10 min Test-SmR-30min

Normalidad







Estadístico de prueba VARIANZA HOMOGÉNEA: Test de Levene y Estadístico de prueba (no paramétrico): Prueba de Rachas

Para varianza homogénea:

H_0 : Las varianzas de ambos grupos son homogéneas
 H_1 : Las varianzas de ambos grupos no son homogéneas

Criterio de decisión:

Si el P valor es $<$ que α rechaza la hipótesis nula

Si el P valor es $>$ que α no se rechaza la hipótesis nula

Para Rachas:

H_0 : Los elementos de la muestra están mezclados aleatoriamente
 H_1 : Los elementos de la muestra no están mezclados aleatoriamente

Criterio de decisión:

Si el Z valor $>$ que $Z_{\alpha/2}$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor $<$ que $Z_{\alpha/2}$ no se rechaza la hipótesis nula.

	Test de Levene ($\alpha=0,05$)			Prueba de Rachas ($Z \alpha/2 = Z 0,025 = 1,96$)		
	Valor P	Varianzas homogéneas	Varianzas no homogéneas	Valor Z	Independencia	No independencia
11 Mayo	0,026			0,098		
Mayo 13	0,002			0,011		
Mayo 15	0,037			0,011		
Mayo 17	0,229			-0,438		
Mayo 19	0,159			0,011		
Mayo 21	0,246			-0,438		
Mayo 23	0,755			0,011		
Mayo 26	0,884			-0,438		
Mayo 28	0,613			0,011		
Mayo 30	0,392			0,011		
Junio 2	0,11			0		
Junio 5	0,175			-0,438		
Junio 6	0,429			-0,36		
Junio 9	0,385			0,011		
Junio 11	0,437			0,011		
Junio 15	0,379			0,011		
Junio 18	0,33			0,011		
Junio 22	0,397			0,011		
Junio 25	0,476			0,011		
Junio 28	0,497			1,013		
Julio 1	0,754			1,357		
Julio 4	0,355			0,908		
Julio 8	0,607			0,908		
Julio 13	0,671			0,011		
Julio 15	0,594			0,011		
Julio 19	0,486			-0,438		

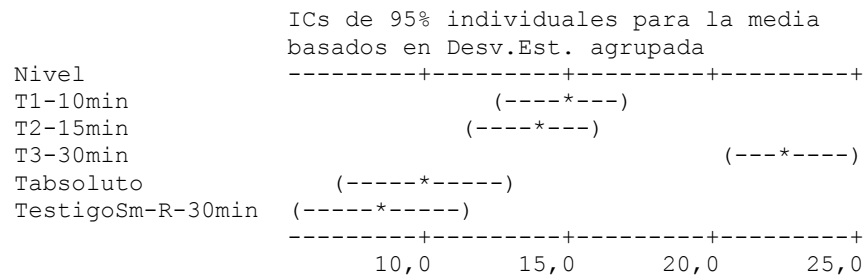
Número de rizomas AGUA MAGNETIZADA

ANOVA unidireccional

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	4	503,77	125,94	20,67	0,000
Error	16	97,47	6,09		
Total	20	601,24			

S = 2,468 R-cuad. = 83,79% R-cuad. (ajustado) = 79,74%

Nivel	N	Media	Desv.Est.
T1-10min	5	14,800	3,564
T2-15min	5	13,800	2,387
T3-30min	5	22,600	2,074
Tabsooluto	3	10,000	1,732
TestigoSm-R-30min	3	8,333	0,577



Desv.Est. agrupada = 2,468

Agrupar información utilizando el método de Tukey

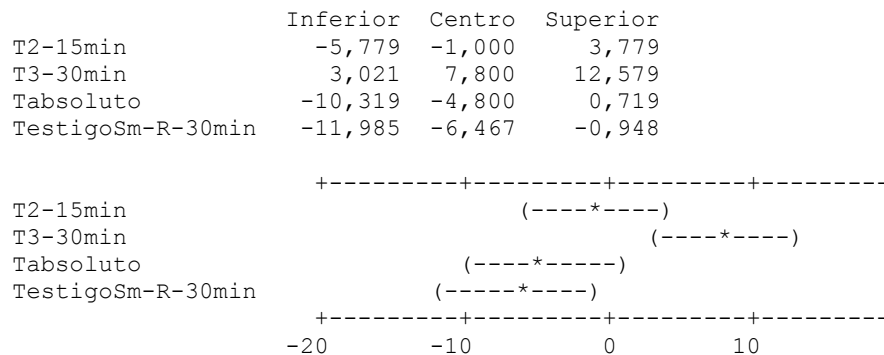
	N	Media	Agrupación
T3-30min	5	22,600	A
T1-10min	5	14,800	B
T2-15min	5	13,800	B C
Tabsoluto	3	10,000	B C
TestigoSm-R-30min	3	8,333	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

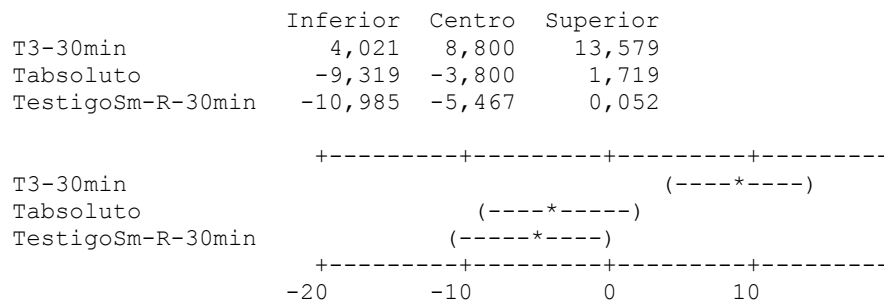
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 99,25%

Se restó T1-10min a:

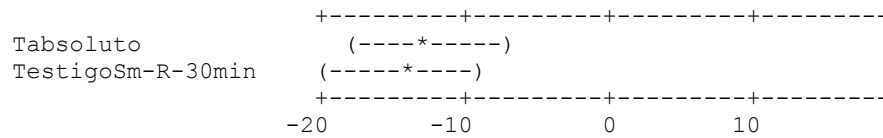


Se restó T2-15min a:



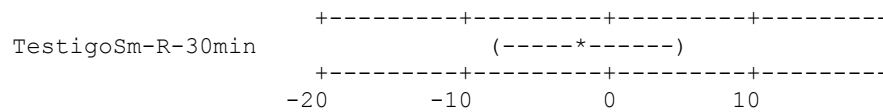
Se restó T3-30min a:

	Inferior	Centro	Superior
Tabsoluto	-18,119	-12,600	-7,081
TestigoSm-R-30min	-19,785	-14,267	-8,748

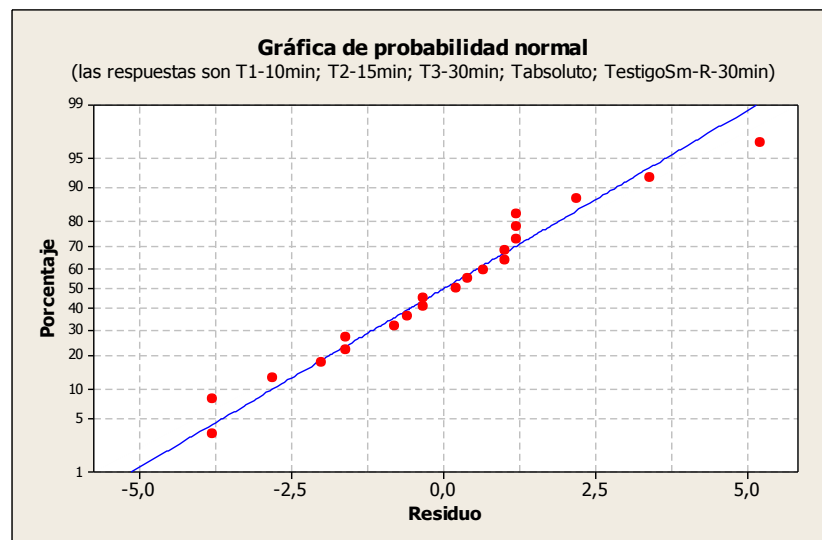


Se restó Tabsoluto a:

	Inferior	Centro	Superior
TestigoSm-R-30min	-7,837	-1,667	4,503



Normalidad



Estadístico de prueba VARIANZA HOMOGÉNEA: Test de Levene

H_0 : Las varianzas de ambos grupos son homogéneas
 H_1 : Las varianzas de ambos grupos no son homogéneas

Prueba de homogeneidad de varianzas

Residuo Rizomas aguaMagn--SPSS® V20

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig. -- Pvalor
1,390	4	16	,282

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$
 Valor de P: 0,282

Criterio de decisión:

Si el P valor es $<$ que α rechaza la hipótesis nula

Si el P valor es $>$ que α no se rechaza la hipótesis nula

$P > \alpha$ ($0,282 > 0,05$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, las varianzas son homogéneas.

Estadístico de prueba (no paramétrico): Prueba de Rachas

H_0 : Los elementos de la muestra están mezclados aleatoriamente
 H_1 : Los elementos de la muestra no están mezclados aleatoriamente

Prueba de rachas--SPSS® V20

	Residuo Rizomas aguaMagn
Valor de prueba ^a	,20
Casos < Valor de prueba	10
Casos >= Valor de prueba	11
Casos en total	21
Número de rachas	13
Z	,460
Sig. asintót. (bilateral)	,646

a. Mediana

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

De la distribución normal estandarizada áreas de cola bilateral ($Z \alpha/2$), se tiene:

$Z \alpha/2 = Z 0,025 = 1,96$

Criterio de decisión:

Si el Z valor > que $Z \alpha/2$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor < que $Z \alpha/2$ no se rechaza la hipótesis nula.

$Z < \alpha/2$ ($0,460 < 1,96$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos indican aleatoriedad o independencia.

Número de macollos AGUA MAGNETIZADA

ANOVA unidireccional

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	4	33,867	8,467	22,09	0,000
Error	16	6,133	0,383		
Total	20	40,000			

S = 0,6191 R-cuad. = 84,67% R-cuad.(ajustado) = 80,83%

Nivel	N	Media	Desv.Est.
T1-10min	5	4,8000	0,4472
T2-15min	5	5,0000	0,7071
T3-30min	5	7,0000	0,7071
Tabsooluto	3	3,6667	0,5774
TestigoSm-R-30min	3	3,3333	0,5774

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	
T1-10min	(---*---)
T2-15min	(---*---)
T3-30min	(---*---)
Tabsooluto	(----*----)
TestigoSm-R-30min	(----*----)
	3,0 4,5 6,0 7,5

Desv.Est. agrupada = 0,6191

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T3-30min	5	7,0000	A
T2-15min	5	5,0000	B
T1-10min	5	4,8000	B
Tabsooluto	3	3,6667	B C
TestigoSm-R-30min	3	3,3333	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 99,25%

Se restó T1-10min a:

	Inferior	Centro	Superior
T2-15min	-0,9989	0,2000	1,3989
T3-30min	1,0011	2,2000	3,3989
Tabsoluto	-2,5177	-1,1333	0,2511
TestigoSm-R-30min	-2,8511	-1,4667	-0,0823

T2-15min	(---*---)
T3-30min	(---*---)
Tabsoluto	(---*---)
TestigoSm-R-30min	(---*---)

	-3,0	0,0	3,0	6,0
--	------	-----	-----	-----

Se restó T2-15min a:

	Inferior	Centro	Superior
T3-30min	0,8011	2,0000	3,1989
Tabsoluto	-2,7177	-1,3333	0,0511
TestigoSm-R-30min	-3,0511	-1,6667	-0,2823

T3-30min	(---*---)
Tabsoluto	(---*---)
TestigoSm-R-30min	(---*---)

	-3,0	0,0	3,0	6,0
--	------	-----	-----	-----

Se restó T3-30min a:

	Inferior	Centro	Superior
Tabsoluto	-4,7177	-3,3333	-1,9489
TestigoSm-R-30min	-5,0511	-3,6667	-2,2823

Tabsoluto	(---*---)
TestigoSm-R-30min	(---*---)

	-3,0	0,0	3,0	6,0
--	------	-----	-----	-----

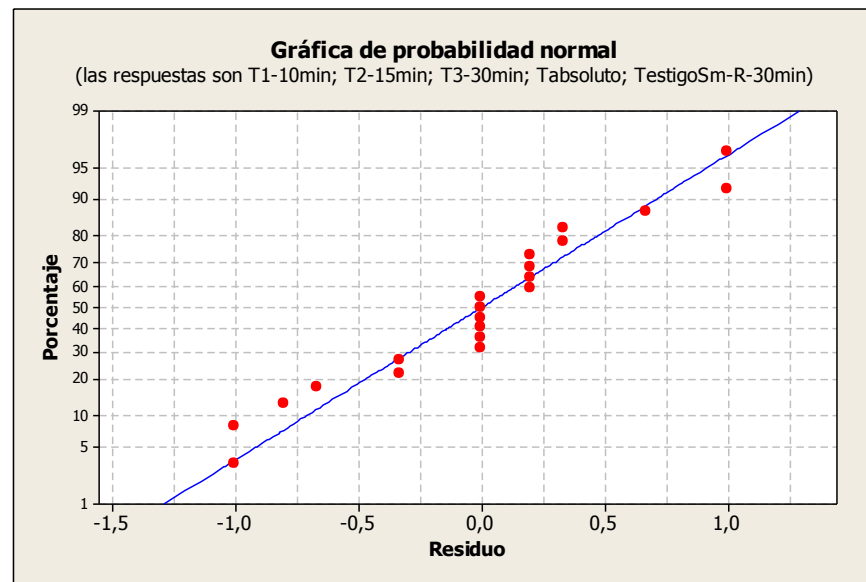
Se restó Tabsoluto a:

	Inferior	Centro	Superior
TestigoSm-R-30min	-1,8811	-0,3333	1,2145

TestigoSm-R-30min	(---*---)
-------------------	-----------

	-3,0	0,0	3,0	6,0
--	------	-----	-----	-----

Normalidad



Estadístico de prueba VARIANZA HOMOGÉNEA: Test de Levene

H_0 : Las varianzas de ambos grupos son homogéneas
 H_1 : Las varianzas de ambos grupos no son homogéneas

Prueba de homogeneidad de varianzas

Residuo Macollos aguaMagn--SPSS® V20

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig. -- Pvalor
,061	4	16	,993

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Valor de P: 0,993

Criterio de decisión:

Si el P valor es $<$ que α rechaza la hipótesis nula

Si el P valor es $>$ que α no se rechaza la hipótesis nula

$P > \alpha$ ($0,993 > 0,05$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, las varianzas son homogéneas.

Estadístico de prueba (no paramétrico): Prueba de Rachas

H_0 : Los elementos de la muestra están mezclados aleatoriamente
 H_1 : Los elementos de la muestra no están mezclados aleatoriamente

Prueba de rachas--SPSS® V20

	Residuo Macollos aguaMagn
Valor de prueba ^a	,00
Casos $<$ Valor de prueba	6
Casos $\geq$ Valor de prueba	15
Casos en total	21
Número de rachas	10
Z	,000
Sig. asintót. (bilateral)	1,000

a. Mediana

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

De la distribución normal estandarizada áreas de cola bilateral ($Z \alpha/2$), se tiene:

$Z \alpha/2 = Z 0,025 = 1,96$

Criterio de decisión:

Si el Z valor > que Z $\alpha/2$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor < que Z $\alpha/2$ no se rechaza la hipótesis nula.

Z < $\alpha/2$ (0 < 1,96) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos indican aleatoriedad o independencia.

Masa fresco (g) AGUA MAGNETIZADA

ANOVA unidireccional

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	4	599203	149801	37,48	0,000
Error	16	63952	3997		
Total	20	663155			

S = 63,22 R-cuad. = 90,36% R-cuad. (ajustado) = 87,95%

Nivel	N	Media	Desv.Est.
T1-10min	5	761,8	58,5
T2-15min	5	739,5	45,3
T3-30min	5	984,2	66,6
Tabsooluto	3	489,4	105,3
TestigoSm-R-30min	3	548,3	32,6

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	
T1-10min	(---*--)
T2-15min	(---*--)
T3-30min	(---*--)
Tabsooluto	(----*---)
TestigoSm-R-30min	(----*---)

-----+-----+-----+-----+-----
480 640 800 960

Desv.Est. agrupada = 63,2

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T3-30min	5	984,18	A
T1-10min	5	761,84	B
T2-15min	5	739,50	B
TestigoSm-R-30min	3	548,30	C
Tabsooluto	3	489,37	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones en parejas

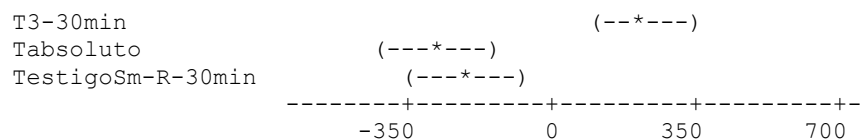
Nivel de confianza individual = 99,25%

Se restó T1-10min a:

	Inferior	Centro	Superior
T2-15min	-144,76	-22,34	100,08
T3-30min	99,92	222,34	344,76
Tabsooluto	-413,84	-272,47	-131,11
TestigoSm-R-30min	-354,90	-213,54	-72,18

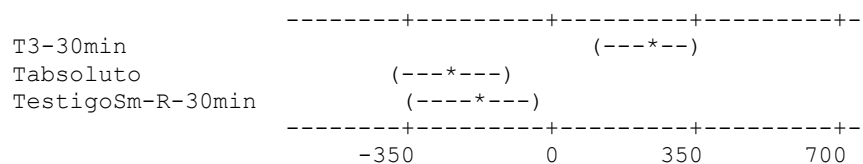
T2-15min	(--*--)
----------	---------

-----+-----+-----+-----+-----



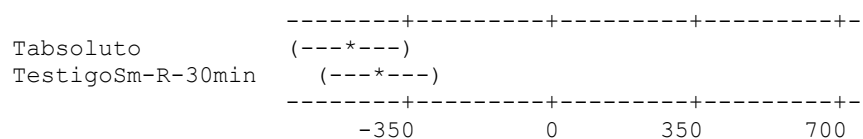
Se restó T2-15min a:

	Inferior	Centro	Superior
T3-30min	122,26	244,68	367,10
Tabsoluto	-391,50	-250,13	-108,77
TestigoSm-R-30min	-332,56	-191,20	-49,84



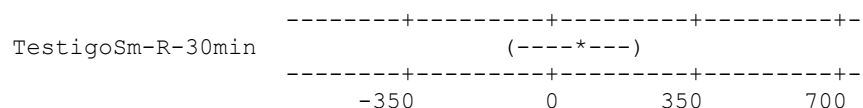
Se restó T3-30min a:

	Inferior	Centro	Superior
Tabsoluto	-636,18	-494,81	-353,45
TestigoSm-R-30min	-577,24	-435,88	-294,52

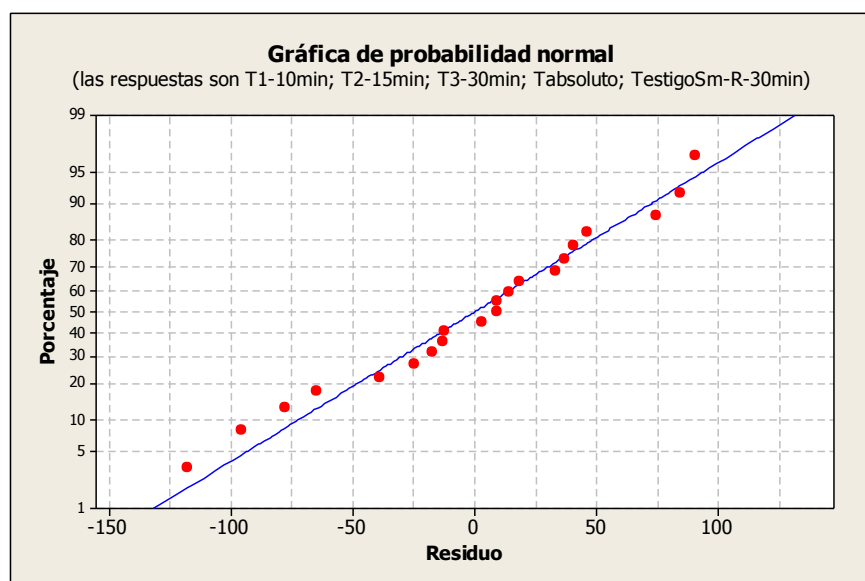


Se restó Tabsoluto a:

	Inferior	Centro	Superior
TestigoSm-R-30min	-99,12	58,93	216,98



Normalidad



Estadístico de prueba VARIANZA HOMOGÉNEA: Test de Levene

H_0 : Las varianzas de ambos grupos son homogéneas
 H_1 : Las varianzas de ambos grupos no son homogéneas

Prueba de homogeneidad de varianzas

Residuo Pfresco aguaMagn--SPSS® V20

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig. -- Pvalor
1,280	4	16	,319

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Valor de P: 0,319

Criterio de decisión:

Si el P valor es $<$ que α rechaza la hipótesis nula

Si el P valor es $>$ que α no se rechaza la hipótesis nula

$P > \alpha$ ($0,319 > 0,05$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, las varianzas son homogéneas.

Estadístico de prueba (no paramétrico): Prueba de Rachas

H_0 : Los elementos de la muestra están mezclados aleatoriamente
 H_1 : Los elementos de la muestra no están mezclados aleatoriamente

Prueba de rachas--SPSS® V20

	Residuo Pfresco aguaMagn
Valor de prueba ^a	9,10
Casos $<$ Valor de prueba	10
Casos $\geq$ Valor de prueba	11
Casos en total	21
Número de rachas	15
Z	1,357
Sig. asintót. (bilateral)	,175

a. Mediana

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

De la distribución normal estandarizada áreas de cola bilateral ($Z \alpha/2$), se tiene:

$Z \alpha/2 = Z 0,025 = 1,96$

Criterio de decisión:

Si el Z valor $>$ que $Z \alpha/2$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor $<$ que $Z \alpha/2$ no se rechaza la hipótesis nula.

$Z < \alpha/2$ ($1,357 < 1,96$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos indican aleatoriedad o independencia.

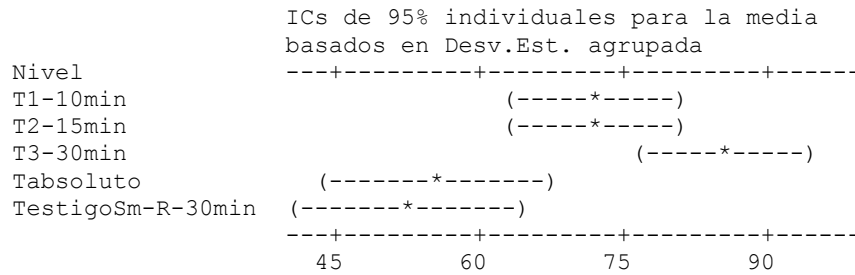
Masa seco (g) AGUA MAGNETIZADA

ANOVA unidireccional

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	4	2893,9	723,5	7,56	0,001
Error	16	1531,6	95,7		
Total	20	4425,5			

S = 9,784 R-cuad. = 65,39% R-cuad. (ajustado) = 56,74%

Nivel	N	Media	Desv.Est.
T1-10min	5	72,300	5,903
T2-15min	5	72,320	6,236
T3-30min	5	85,640	10,930
Tabsooluto	3	55,367	12,526
TestigoSm-R-30min	3	51,967	14,917



Desv.Est. agrupada = 9,784

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T3-30min	5	85,640	A
T2-15min	5	72,320	A B
T1-10min	5	72,300	A B
TestigoSm-R-30min	3	55,367	B
TestigoSm-R-30min	3	51,967	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza individual = 99,25%

Se restó T1-10min a:

	Inferior	Centro	Superior
T2-15min	-18,926	0,020	18,966
T3-30min	-5,606	13,340	32,286
TestigoSm-R-30min	-38,810	-16,933	4,944
TestigoSm-R-30min	-42,210	-20,333	1,544

T2-15min (-----*-----)

T3-30min (-----*-----)

TestigoSm-R-30min (-----*-----)

TestigoSm-R-30min (-----*-----)

-30 0 30 60

Se restó T2-15min a:

	Inferior	Centro	Superior
T3-30min	-5,626	13,320	32,266
TestigoSm-R-30min	-38,830	-16,953	4,924
TestigoSm-R-30min	-42,230	-20,353	1,524

T3-30min (-----*-----)

TestigoSm-R-30min (-----*-----)

TestigoSm-R-30min (-----*-----)

-30 0 30 60

Se restó T3-30min a:

	Inferior	Centro	Superior
TestigoSm-R-30min	-52,150	-30,273	-8,396
TestigoSm-R-30min	-55,550	-33,673	-11,796

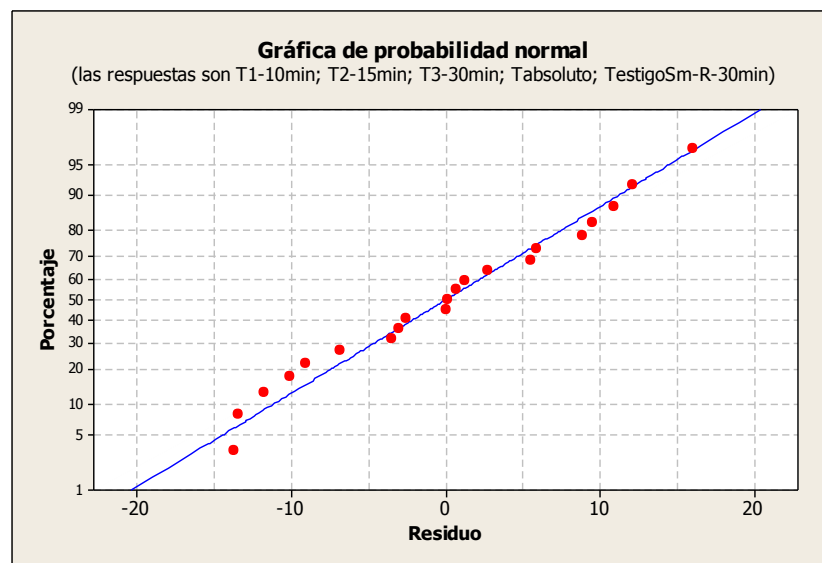
Tabsoluto
 TestigoSm-R-30min
 -----+-----+-----+-----+
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+
 -30 0 30 60

Se restó Tabsoluto a:

Inferior Centro Superior
 TestigoSm-R-30min -27,859 -3,400 21,059

TestigoSm-R-30min
 -----+-----+-----+-----+
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+
 -30 0 30 60

Normalidad



Estadístico de prueba **VARIANZA HOMOGÉNEA: Test de Levene**

H_0 : Las varianzas de ambos grupos son homogéneas
 H_1 : Las varianzas de ambos grupos no son homogéneas

Prueba de homogeneidad de varianzas

Residuo Pseco aguaMagn--SPSS® V20

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig. -- Pvalor
1,493	4	16	,251

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Valor de P: 0,251

Criterio de decisión:

Si el P valor es $<$ que α rechaza la hipótesis nula

Si el P valor es $>$ que α no se rechaza la hipótesis nula

$P > \alpha$ ($0,251 > 0,05$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, las varianzas son homogéneas.

Estadístico de prueba (no paramétrico): Prueba de Rachas

H_0 : Los elementos de la muestra están mezclados aleatoriamente

H_1 : Los elementos de la muestra no están mezclados aleatoriamente

Prueba de rachas--SPSS® V20

	Residuo_Pseco_aguaMagn
Valor de prueba ^a	,10
Casos < Valor de prueba	10
Casos >= Valor de prueba	11
Casos en total	21
Número de rachas	11
Z	,000
Sig. asintót. (bilateral)	1,000

a. Mediana

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

De la distribución normal estandarizada áreas de cola bilateral ($Z \alpha/2$), se tiene:
 $Z \alpha/2 = Z 0,025 = 1,96$

Criterio de decisión:

Si el Z valor > que $Z \alpha/2$ se rechaza la hipótesis nula.

Si el Z valor < que $Z \alpha/2$ no se rechaza la hipótesis nula.

$Z < \alpha/2$ ($0 < 1,96$) no se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos indican aleatoriedad o independencia.

II. Ficha técnica biofertilizante líquido Multibiol ®



ESPECIFICACION DEL PRODUCTO

Mezcla de Microorganismos benéficos fijadores de nitrógeno atmosférico, solubilizadores de fósforo y demás nutrientes presentes en el suelo, transformándolos a formas asimilables por las plantas.

Además son productores de sustancias promotoras de crecimiento vegetal (Giberelinas, auxinas, citoquininas, vitaminas, enzimas y aminoácidos). Son eficientes descomponedores de residuos de cosecha para convertirlos en materia orgánica que contribuye a mejorar la estructura del suelo (aireación, retención de agua y nutrientes). La mezcla de los microorganismos contenidos en **MULTIBIOL** ejercen acción protectante contra plagas y enfermedades en los cultivos donde son aplicados, desde la siembra y durante el ciclo vegetativo del cultivo.

TIPO DE PRODUCTO

Bioestimulante, Biofungicida, Protectante y acondicionador de suelos. Estimula la germinación de las semillas y el incremento y desarrollo de raíces, permitiendo de esta manera una mayor toma de nutrientes, que redunde en mínimos niveles de stress para la planta y por ende en una mayor productividad.

COMPOSICIÓN MICROBIOLÓGICA

Contiene bacterias del genero *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter vinelandii*, *Azospirillum brasiliense*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Lactobacillus casei*, *L. acidophilus*, *L. brevis*, *L. bulgaricus*, *L. plantarum*, *Bacillus megaterium*, *B. subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, además hongos antagonistas del genero *Trichoderma spp.* y *Gliocladium spp.* y hongos entomopatógenos como *Paecilomyces lilacinus*, *Paecilomyces fumosoroseus*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*. Contiene además un completo balance nutricional N, P, K, S, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, B, Zn, Co, y Ácido Giberelico.

INSTRUCCIONES DE EMPLEO

Para aplicación directa en cultivo se realiza una dilución de 100 a 150 cc de **MULTIBIOL** por litro de agua, y se aplica por vía foliar o al suelo (Drench). En el cultivo de Caña de Azúcar aplicado inmediatamente después del corte, estimula el remacollo temprano de la cepa, incrementa el sistema radicular, y numero de tallos, los cuales crecen vigorosamente. En las plantillas del cultivo de Caña de Azúcar (semillas) estimula la germinación de las yemas y raíces y las protege de plagas y enfermedades. La mezcla de los microorganismos contenidos en **MULTIBIOL** ejercen acción protectante contra plagas y enfermedades en los cultivos donde son aplicados, desde la siembra y durante el ciclo vegetativo del cultivo.

MULTIBIOL MODO DE ACCION

Los microorganismos contenidos en **MULTIBIOL®** a partir de su metabolismo generan vitaminas, enzimas, aminoácidos y sustancias hormonales que estimulan la germinación y crecimiento de raíces, así como la floración, fructificación, y desarrollo vigoroso de las plantas y por consiguiente aumenta el rendimiento de los cultivos.

Las bacterias del genero ***Azotobacter chroococcum***, ***Azotobacter vinelandii***, ***Azospirillum brasiliense***, tienen la habilidad de fijar el nitrógeno atmosférico y convertirlo en un nutriente aprovechable por las raíces de las plantas. ***Lactobacillus casei*** productor de ácido láctico, el cual es un compuesto altamente esterilizante que suprime organismos nocivos y mejoran la transformación de la materia orgánica, además promueven la fermentación y descomposición de materiales como lignina y celulosa, eliminando los efectos indeseables de la materia orgánica no descompuesta. ***Saccharomyces cerevisae***, son microorganismos que sintetizan sustancias antimicrobiales que segregan hormonas y enzimas que promueven la división activa de células y raíces. ***Bacillus megaterium*** solubiliza las formas orgánicas del fósforo (ortofósforo) y las transforman a fosfatos asimilables por las plantas. ***Pseudomonas fluorescens*** las cuales producen un compuesto antifúngico derivado de la fenazina. Y ***Rhodopseudomonas palustris*** estas bacterias sintetizan sustancias útiles a partir de las secreciones de las raíces, materia orgánica y/o gases nocivos, emplean la luz solar como fuente de energía.

Los metabolitos desarrollados por estos microorganismos son absorbidos directamente por las plantas y actúan como sustrato para incrementar las poblaciones de microorganismos benéficos.

Además **MULTIBIOL®** contiene cepas del género ***Trichoderma spp*** y ***Gliocladium sp***, los cuales además de bioestimular, ejercen un efecto protectante de las semillas y hacen desinfección del suelo.

COMPATIBILIDAD

Puede mezclarse con insecticidas y fertilizantes, No mezclar con Fungicidas.

ALMACENAMIENTO

Puede conservarse por períodos cortos (1-3 meses) a temperatura ambiente en un lugar seco y fresco, para períodos de almacenamiento más largos (6 meses) debe refrigerarse a temperaturas entre 5 – 12 grados.

PRECAUCIONES

Para las aplicaciones de **MULTIBIOL®** Se recomienda el uso de mascarilla en la preparación de la mezcla. No es tóxico para el hombre, animales domésticos, flora y fauna. Evítese la ingestión, la inhalación y todo contacto innecesario con el producto, No fumar, comer o beber durante su manipulación.

III. Ficha técnica fertilizante Agro-K 0-30-52®.

	HOJA TECNICA PRODUCTO TERMINADO				
	Fecha de Elaboración	Fecha de Actualización	Versión	Proceso	
	Junio 2002	Agosto 2006	02	Control de calidad	

AGRO-K

Fertilizante 0-40-53

Registro de venta N° 1015

Fertilizante Foliar.

Polvo soluble para aplicación foliar, o sistemas de irrigación. Fertilizante foliar de alta concentración en fósforo y potasio. (0-40-53).

COMPOSICION:

Fósforo asimilable	P ₂ O ₅	390 g/kg.	39.0%
Potasio soluble en agua.	K ₂ O	520 g/kg.	52.0%
EXENTO DE CLORO			
Sin material de relleno			

Solubilidad: Solubilidad 1700 g de AGRO-K en un litro de agua a 25 °C.
pH en solución al 10% : 7.5 a 8.5

ACCION: La combinación fósforo – potasio, hacen de **AGRO-K** un producto apropiado para las épocas de floración y llenado de frutos cuando los requerimientos por estos elementos son altos.

El fósforo interviene en la formación de los compuestos orgánicos más importantes de las plantas (ATP). Está presente también en los ácidos nucleicos, interviene en el crecimiento, en la reproducción celular, en los procesos de fecundación y en el desarrollo radicular.

El potasio interviene en el transporte de azúcares, en el metabolismo de carbohidratos, es osmoregulador, da resistencia a los tejidos y calidad a la cosecha.

BENEFICIOS:

Fácil manejo. por su alta solubilidad y compatibilidad con otros agroquímicos, **AGRO-K** es una excelente herramienta para aportar en el menor tiempo posible los requerimientos de fósforo y potasio por vía foliar.

Compatible. La estructura química estable permite aplicarlo con la mayoría de los agroquímicos de uso corriente.

Efecto rápido. Aplicaciones foliares con **AGRO-K** son una forma efectiva para que el fósforo y el potasio lleguen directamente a la planta, actuando de inmediato y en especial el fósforo es 4 veces más eficiente vía foliar que vía suelo.

Efficiente. **AGRO-K** ofrece una forma de fósforo (HPO₄²⁻), que es fácilmente convertible a la forma metabólica (PO₄³⁻), que en asocio con el potasio disminuyen el aborto de estructuras florales, aumentando así el numero de frutos por planta.

Económico. **AGRO-K** aporta mas de 910 gramos de nutriente activo en un kilogramo, exento de materiales de relleno.

Rentable. Obtiene un alto retorno sobre la inversión realizada, debido al mayor incremento en la productividad de los cultivos.

CALIDAD DE COSECHA: AGRO-K mejora las características de palatabilidad, porque se producen frutos con mas azucares, almidones y aceites, frutos con mejor color, tamaño y grado de maduración más homogéneos. También mejora la estructura y resistencia de los tejidos y fibras, lo que da consistencia a la fruta, aportándole resistencia en la postcosecha, lo mismo que a plagas y enfermedades.

APLICACIONES Y DOSIS:

Inducción floral:

Café: Aspersiones foliares de 10 g/l de AGRO-K junto con 4 g/l de KELATEX Zn, 2 G/L de KELATEX Boro, y 1 g/l de KELATEX Cu, en café con estructuras florales (botones), en estado de puntilla y repetirla 3 veces con intervalos mensuales, inducen la floración, retiene estas estructuras para que lleguen a cosecha.

Otros cultivos: Este mismo programa de inducción floral se esta llevando a cabo en maracuya, cacao, cítricos y otros frutales.

Llenado de frutos: En esta etapa se requieren grandes cantidades de fósforo y potasio, las aplicaciones foliares de AGRO-K® garantizan un aporte certero de estos importantes nutrientes. Se recomienda complementar estas aplicaciones con elementos menores (KELATEX®-Fe, KELATEX®-Mg, KELATEX®-Zn KELATEX®-Cu, KELATEX®-Mn, KELATEX®-Ca, ELATEX®-B).

Las dosis fluctúan entre 2 y 3 kg/ha en cada aplicación; y de 2 a 4 g/l de mezcla cuando se usan fumigadoras de espalda.

IV. Ficha técnica Startazo SN®.

	FICHA TÉCNICA STARTAZO SN	Código: C-FT-PRO-001-29
		Versión: 2
		Fecha Elaboración: 05/06/2013
		Página 1 de 3

FICHA TÉCNICA STARTAZO SN

1. NOMBRE COMERCIAL

STARTAZO SN – Gránulos Solubles

2. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

NTC 1061 - Abonos o Fertilizantes, Tolerancias
Registro de venta ICA No.7778

NUTRIENTE	VALOR %	MÉTODO ANALÍTICO
Nitrógeno Total (N)	17.0	SUMATORIA
Nitrógeno Amoniacal (N)	14.5	NTC 211
Nitrógeno Ureico	2.5	NTC 211
Fósforo Asimilable (P ₂ O ₅)	33.0	NTC 234
Azufre Total (S)	10.0	NTC 1154
Molibdeno Soluble en Agua (Mo)	0.04	NTC 1369

2.1 COMPOSICIÓN GARANTIZADA

3. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICA

PARAMETRO	VALORES
pH en solución al 10%	3.78
Solubilidad en agua a 20 °C g/100 cm ³	42.0
Conductividad Eléctrica (1:100) dS/m	11.3
Aspecto	Cristales solubles

4. RECOMENDACIONES DE USO

STARTAZO SN es un fertilizante en cristales solubles fuente de Nitrógeno y Fósforo enriquecido con azufre y molibdeno, su aplicación puede ser foliar, al suelo y mediante sistemas de fertirriego.

STARTAZO es altamente compatible con la mayoría de los agroquímicos sin embargo se recomienda efectuar una pequeña prueba de compatibilidad.

Para la aplicación de este fertilizante es recomendable la prescripción de un ingeniero Agrónomo, con base en un análisis de suelo o tejido foliar.

5. VENTAJAS

- La principal característica agronómica es su reacción ácida en la solución del suelo (pH 3.81) la cual evita bloqueos y ayuda a la absorción de micronutrientes nativos del suelo.
- Su alto contenido en fósforo lo hace un producto ideal para mejorar el enraizamiento de las plantas y promover la aparición de tallos nuevos.
- Asegura un buen desarrollo en los estados primarios del cultivo, especialmente cuando el Fósforo en el suelo es bajo.
- Su combinación de nitrógeno y fósforo acompañado de azufre Y molibdeno permiten un mejor desarrollo de la planta, activando y acelerando la floración y fructificación.

6. PRESENTACIÓN

Disponible en bolsa de 1 Kg, y saco de 20 Kg

7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

MANEJO

- Manténgase fuera del alcance de los niños.
- No ingiera el producto y evite contacto y la inhalación del mismo.
- Durante la aplicación utilice el equipo de protección adecuado (Overol, Gafas de seguridad, Guantes, Botas)
- Lave sus manos después de manejar este producto. Evite el contacto, especialmente si la piel tiene heridas.
- No comer, beber o fumar durante las aplicaciones.

V. Resultados de pruebas de laboratorio muestra de agua – Universidad del Valle sede Meléndez.



Calle 79 B No.70 - 16 Bogotá D.C.
Teléfono: 2231999
Telefax: 2234087
e-mail: agrilab@etb.net.co

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

Propietario	UNIVERSIDAD DEL VALLE	Remitente	UNIVERSIDAD DEL VALLE
Identificación suministrada	PROYECTO BIOREGIÓN Mtra. 1	No. Lab	AR 8727
		Fecha Ingreso	19/08/14
		Fecha Entrega	28/08/2014

PARÁMETRO	RESULTADO		MÉTODO ANALÍTICO
pH	6,87		Potenciómetro
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0,14		Conductímetro
Elementos / Unidades	p.p.m.	meq/Litro	Método Analítico
Potasio (K+)	3,0	0,08	Absorción Atómica (Met. Interno)
Calcio (Ca++)	14	0,70	Absorción Atómica (Met. Interno)
Magnesio (Mg++)	3,4	0,28	Absorción Atómica (Met. Interno)
Sodio (Na+)	6,9	0,30	Emisión Llama (Met. Interno)
Suma Cationes	1,36		
Bicarbonatos (HCO ₃ -)	27	0,44	Volumetría (Met. Interno)
Cloruros (Cl-)	4,6	0,13	Volumetría (Met. Interno)
Fósforo (P-H ₂ PO ₄ -)	9,0	0,29	Colorimétrico (Met. Interno)
Azufre (S-SO ₄ =)	8,8	0,55	Turbidimétrico (Met. Interno)
Suma Aniones	1,41		
Boro	0,03		Colorimétrico (Met. Interno)
Hierro (pH Real)	0,30		Absorción Atómica (Met. Interno)
Hierro (pH 2.0)	0,30		Absorción Atómica (Met. Interno)

Cálculos	RAS	0,43	Salinidad Efectiva (meq/L)	0,66	PSP (%)	45,7
	Dureza (p.p.m.CaCO ₃)	43,3	Salinidad Potencial (meq/L)	0,41	Otro	
	Alcalinidad (p.p.m.CaCO ₃)	21,8	CSR (meq/L)	0		

Observaciones:

La expresión de resultados en partes por millón se refiere al elemento y en miliequivalentes por litro a la especie iónica

Pág 1 de 1

MYRIAM BENDECK LUGO

Química Director Técnico PQ-1168

ADRIANA NAVARRO URDANETA

Lic. Química Coordinadora de Área

VI. Resultados suelo punto toma de muestras lote Vereda Limonar, Dagua (Valle del Cauca).

Calle 79B No. 70-16 Bogotá, D.C.
Teléfono: 22319999
Telefax: 2234087
email: agrilab@etb.net.co



UNIVERSIDAD DEL VALLE ANÁLISIS CONVENCIONAL DE SUELOS CULTIVO: NO ESPECIFICADO Departamento: VALLE MUNICIPIO: DAGUA

Remitente: Inq ORLANDO JIMENEZ-EL LIMONAR - Fecha de Recepción: 15/07/2014

No. Laboratorio	Identif.	Arena	Limo	Arcilla	Textura	pH	C.Elec dS/m	Sat. Media %	C.I.C.E. me/100g	C. Org. %	P	S
			%									p.p.m.
119351	Lote: Punto 03	44	26	30	Fr-Ar	5,21	0,3	N.A.	11,1	2,76	1,1	8,4
119352	Lote: Punto 07	42	26	32	Fr-Ar	5,35	0,35	N.A.	11	3,22	1,2	13
119353	Lote: Punto 08	42	24	34	Fr-Ar	5,29	0,4	N.A.	10,2	2,63	1,3	13
119354	Lote: Punto 11	40	28	32	Fr-Ar	4,98	0,35	N.A.	8,37	2,57	1,1	10
119355	Lote: Punto 12	40	26	34	Fr-Ar	5,11	0,22	N.A.	8,6	2,27	1,1	6,5
119356	Lote: Punto 15	40	24	36	Fr-Ar	4,9	0,17	N.A.	5,98	2,42	1,2	14
119357	Lote: Punto 17	40	22	38	Fr-Ar	5,2	0,12	N.A.	7,9	2,43	1,3	7,2
119358	Lote: Punto 19	38	30	32	Fr-Ar	5,18	0,4	N.A.	8,78	3,03	1,1	8
119359	Lote: Punto 20	38	28	34	Fr-Ar	5,51	0,36	N.A.	10,9	2,92	1,2	14

Métodos: Textura Bouyoucos; pH Pasta saturación; C. Eléctrica Extracto saturación; C.I.C.E. Suma de Catiónes; Carbono Org. Walkley-Black; N-NH₄ NaCl; N-NO₃ AcONa; P Bray II; S, B Fosfato monocalcico; K, Ca, Mg, Na AcONH₄; Fe, Mn, Cu, Zn Mehlich. Observaciones: N.A. No aplica

Atentamente,

Bogotá, D.C., 24/07/2014

MYRIAM BENDECK LUGO
Química Directora Técnica PQ-1168

Página 1 de 3

ADRIANA NAVARRO URDANETA
Lic. Química Coordinadora de Área

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DEL SECTOR AGRÍCOLA



Calle 79B No. 70-16 Bogotá, D.C.
Teléfono: 22319999
Telefax: 2234087
email: agrilab@etb.net.co

UNIVERSIDAD DEL VALLE

ANÁLISIS CONVENCIONAL DE SUELOS CULTIVO: NO ESPECIFICADO

Departamento: VALLE Municipio: DAGUA

Remitente: Inq ORLANDO JIMENEZ-EL LIMONAR - Fecha de Recepción: 15/07/2014

No. Laboratorio	Identificación	me/100g						p.p.m.					
		K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Si	Cl
119351	Lote: Punto 03	0,87	6,78	3,18	0,17	0,06	190	24	6,1	6,8	0,15	N.A.	N.A.
119352	Lote: Punto 07	1,42	6,15	3,22	0,19	0,06	170	23	5	4,4	0,17	N.A.	N.A.
119353	Lote: Punto 08	0,82	6,2	2,93	0,17	0,05	101	27	5,7	5,3	0,11	N.A.	N.A.
119354	Lote: Punto 11	0,62	4,4	3,09	0,17	0,09	130	29	6,5	3,6	0,07	N.A.	N.A.
119355	Lote: Punto 12	0,69	4,5	3,18	0,17	0,06	67	25	6,1	3,3	0,18	N.A.	N.A.
119356	Lote: Punto 15	0,46	3	1,9	0,17	0,45	120	23	5,6	3,8	0,07	N.A.	N.A.
119357	Lote: Punto 17	0,22	3,8	3,63	0,18	0,07	150	53	10	6,1	0,06	N.A.	N.A.
119358	Lote: Punto 19	0,78	4,75	3,01	0,18	0,06	140	35	5,2	4,4	0,07	N.A.	N.A.
119359	Lote: Punto 20	0,46	6,18	4	0,17	0,05	150	59	8,2	7,6	0,07	N.A.	N.A.

Atentamente,

Bogotá, D.C., 24/07/2014

MYRIAM BENDECK LUGO
Química Director Técnico PQ-1168

Página 2 de 3

ADRIANA NAVARRO URDANETA
Lic. Química Coordinadora de Área

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DEL SECTOR AGRÍCOLA



Calle 7 9B No. 70-16 Bogotá, D.C.
Teléfono: 2231999
Telefax: 2234087
email: agrilab@etb.net.co

UNIVERSIDAD DEL VALLE

ANÁLISIS CONVENCIONAL DE SUELOS CULTIVO: NO ESPECIFICADO

Departamento: VALLE Municipio: DAGUA

Remitente: Ing ORLANDO JIMENEZ-EL LIMONAR - Fecha de Recepción: 15/07/2014

No. Laboratorio	Identif.	Sat. K	Sat. Ca	Sat. Mg	Sat. Na	Sat. Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
		%								
119351	Lote: Punto 03	7,87	61,3	28,7	1,5	0,59	2,13	7,79	3,65	11,4
119352	Lote: Punto 07	12,9	55,7	29,1	1,73	0,59	1,91	4,32	2,26	6,57
119353	Lote: Punto 08	8,06	61	28,8	1,63	0,54	2,12	7,56	3,57	11,1
119354	Lote: Punto 11	7,42	52,5	36,9	2,08	1,13	1,42	7,07	4,97	12
119355	Lote: Punto 12	8,03	52,3	36,9	1,92	0,76	1,42	6,52	4,6	11,1
119356	Lote: Punto 15	7,69	50,2	31,7	2,91	7,52	1,58	6,52	4,12	10,6
119357	Lote: Punto 17	2,72	48,1	46	2,31	0,89	1,05	17,7	16,9	34,6
119358	Lote: Punto 19	8,93	54	34,3	2,08	0,68	1,58	6,05	3,84	9,89
119359	Lote: Punto 20	4,24	56,9	36,9	1,52	0,51	1,54	13,4	8,7	22,1

Atentamente,

Bogotá, D.C., 24/07/2014

MYRIAM BENDECK LUGO
Química Director Técnico PQ-1168

Página 3 de 3

ADRIANA NAVARRO URDANETA
Lic. Química Coordinadora de Área

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DEL SECTOR AGRÍCOLA