

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA, ORGÁNICA Y BIOFERTILIZACIÓN  
SOBRE LA NUTRICIÓN Y RENDIMIENTO DE AJÍ (*Capsicum* spp.)  
EN EL VALLE DEL CAUCA**

**EDGAR ALFONSO RODRÍGUEZ ARAUJO**  
**Código 8106007**



**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA, ORGÁNICA Y BIOFERTILIZACIÓN  
SOBRE LA NUTRICIÓN Y RENDIMIENTO DE AJÍ (*Capsicum* spp.)  
EN EL VALLE DEL CAUCA**

**EDGAR ALFONSO RODRÍGUEZ ARAUJO**  
**Código 8106007**

Trabajo de tesis presentado como requisito parcial para optar al título de Magíster en  
**Ciencias Agrarias, área de énfasis en SUELOS**

**JUAN CARLOS MENJIVAR FLORES I. A., Ph. D**  
**MARTHA MARINA BOLAÑOS BENAVIDES Bióloga., Ph. D**  
**Directores**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**POSGRADOS**  
**Palmira, 2009**

**“La facultad y los jurados de tesis no se harán responsable  
de las ideas emitidas por el autor”**

**Articulo 24, resolución 04 de 1974**

## **DEDICATORIA**

A DIOS nuestro padre celestial por guiarme por el camino correcto

A mi Esposa CELIA por su gran Amor y Apoyo para culminar mis logros

A mi Madre LUZ MARINA por su Comprensión, Apoyo y Amor

A mi Padre EDGAR por su Apoyo incondicional y enseñanza de la Vida

A mis Hermanos INDIRA, DEISY, JOSÉ LUIS y mi sobrina LAURA SOFIA por su Cariño y

Tolerancia

A mis Familiares y Amigos por su Lealtad y Cariño

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis sinceros agradecimientos a:

Dr. Juan Carlos Menjivar Flores (Coordinador del posgrado de suelos)

Dra. Martha Marina Bolaños Benavides (Líder del proyecto Corpoica)

Ing. Carlos Colonia Ospina (Asalgodon)

Dr. Carlos Escobar Chalarca

Dr. Harold Tafur Herrán, Dr. Diosdado Baena

Dra. Carmen Rosa Bonilla, Dr. Edgar Madero, Dr. Oscar Chaparro, por sus enseñanzas y valiosa colaboración.

A todo el personal de Corpoica que siempre ha estado dispuesto a apoyarme y ofrecerme su ayuda.

Todo el personal de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira por brindarme su apoyo en el momento que lo necesité.

A mis compañeros José Vásquez, Sara Pérez, Yury Redondo, Betsy Villanueva, Diomara Suárez, Liliana Cortina, Yovanni Rodríguez, Helena Bornacelly.

Y a todos aquellos que de alguna manera colaboraron en la realización de este trabajo.

**A TODOS MUCHAS GRACIAS**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	
<b>SUMMARY</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. OBJETIVOS</b>	3
<b>3. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	4
3.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE AJÍ	4
3.2. REQUERIMIENTOS AGROCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE AJÍ	6
3.2.1. Altitud	6
3.2.2. Pendiente	6
3.2.3. Precipitación	6
3.3. SITUACIÓN MUNDIAL DEL CULTIVO DE AJÍ	7
3.4. SITUACIÓN NACIONAL DEL CULTIVO DE AJÍ	8
3.5. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIEDADES DE AJÍ A EVALUAR EN EL ESTUDIO	9
3.5.1. El ají jalapeño híbrido Ixtapa	9
3.5.2. El ají variedad Cayenne Durkee	11
3.6. FERTILIZANTES	13
3.7. FERTILIZACIÓN FOLIAR	16
3.8. FERTILIZACIÓN QUÍMICA	18
3.9. FERTILIZACIÓN ORGÁNICA	20
3.10. FERTIRRIGACIÓN O FERTIRRIEGO	22
3.10.1. Compatibilidad de fuentes utilizadas en fertirrigación	23
3.11. BIOFERTILIZACIÓN	24
3.11.1. Hongos formadores de Micorrizas Arbusculares	26
3.11.2. Solubilizadores de Fósforo	29
3.11.2.1. <i>Penicillium janthinellum</i>	31
3.11.3. Fijadores de Nitrógeno	32
3.11.3.1. <i>Azotobacter chroococcum</i>	33
3.11.3.2. <i>Azospirillum</i> sp.	34
3.11.4. Actividad microbiana (respiración) (C – CO <sub>2</sub> )	35

<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>36</b>
4.1. LOCALIZACIÓN	36
4.2. TIPOLOGÍA DE SUELO	37
4.2.1. Estudio taxonómico de los suelos de la Finca El Samán	37
4.3. FASE DE INVERNADERO	39
4.3.1. Experimento de evaluación de los diferentes tipos de fertilización para producción de plántulas	39
4.3.1.1. Descripción de los tratamientos	39
4.3.1.2. Diseño Experimental fase invernadero	40
4.3.1.3. Descripción de la Unidad Experimental	40
4.3.1.4. Variables evaluadas y metodología para su determinación	40
4.3.1.5. Análisis estadístico de la Información	41
4.3.1.6. Conducción del experimento	41
4.4. FASE DE CAMPO	42
4.4.1. Experimento de evaluación de fertilización química, orgánica y biofertilización	42
4.4.1.1. Descripción de los tratamientos	42
4.4.1.2. Diseño Experimental fase de campo	42
4.4.1.3. Descripción de la Unidad Experimental	42
4.4.1.4. Variables evaluadas y metodología para su determinación	43
4.4.1.5. Análisis estadístico de la Información	44
4.4.1.6. Conducción del experimento	44
4.4.2. Época de aplicación de los diferentes tratamientos	45
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>48</b>
5.1. FASE DE INVERNADERO	48
5.1.1. Evaluación de fertilización química más orgánica y biofertilización	48
5.2. CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA FASE DE CAMPO	49
5.2.1. Caracterización química de los suelos de la finca El Samán	49
5.2.2. Caracterización química del agua para riego de la finca El Samán	50
5.3. CARACTERIZACIÓN FINAL DE LOS SUELOS DE LA FINCA EL SAMÁN DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE LOS PLANES DE FERTILIZACIÓN	51
5.3.1. Caracterización final de los suelos sembrados con ají jalapeño híbrido Ixtapa	52
5.3.1.1. pH	52
5.3.1.2. Materia Orgánica	53

5.3.1.3. Fósforo	53
5.3.1.4. Azufre	54
5.3.1.5. Calcio	55
5.3.1.6. Sodio	55
5.3.1.7. Boro	56
5.3.1.8. Cobre	57
5.3.1.9. Hierro	57
5.3.1.10. Manganeso	58
5.3.1.11. Zinc	59
5.3.1.12. Conductividad Eléctrica	59
5.3.1.13. Relación Ca + Mg / K	60
5.3.1.14. Relación Ca / Mg	61
5.3.2. Caracterización final de los suelos sembrados con ají Cayenne Durkee	61
5.3.2.1. pH	62
5.3.2.2. Materia Orgánica	63
5.3.2.3. Fósforo	64
5.3.2.4. Azufre	64
5.3.2.5. Calcio	65
5.3.2.6. Potasio	66
5.3.2.7. Sodio	66
5.3.2.8. Capacidad de Intercambio Catiónico	67
5.3.2.9. Boro	68
5.3.2.10. Cobre	68
5.3.2.11. Hierro	69
5.3.2.12. Manganeso	70
5.3.2.13. Zinc	70
5.3.2.14. Relación Ca + Mg / K	71
5.4. ANÁLISIS DE TEJIDOS VEGETALES DEL CULTIVO EXPERIMENTAL DE AJÍ DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE LOS PLANES DE FERTILIZACIÓN	72
5.4.1. Análisis de tejidos vegetales de ají variedad Cayenne Durkee	72
5.4.1.1. Magnesio	72
5.4.1.2. Sodio	73
5.4.2. Análisis de tejidos vegetales de ají Jalapeño híbrido Ixtapa	74



5.4.2.1. Nitrógeno	74
5.4.2.2. Potasio	75
5.4.2.3. Magnesio	76
5.4.1.6. Sodio	76
5.5. DENSIDAD DE ESPORAS DE MICORRIZAS POR GRAMO DE SUELO	77
5.6. PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EN RAÍCES DE AJÍ	82
5.7. ACTIVIDAD BIOLÓGICA O MICROBIANA MEDIDA COMO RESPIRACIÓN (C – CO <sub>2</sub> )	84
5.8. PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE AJÍ VARIEDAD CAYENNE DURKEE Y JALAPEÑO HÍBRIDO IXTAPA	86
5.8.1. Número de frutos por planta	86
5.8.2. Peso promedio de frutos	88
5.8.3. Rendimiento por hectárea	89
5.9. COMPARACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN ENTRE EL AJÍ VARIEDAD CAYENNE DURKEE Y JALAPEÑO HÍBRIDO IXTAPA.	91
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>92</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio	36
Figura 2. Muestreo de suelos para clasificación taxonómica	37
Figura 3. Muestreo de la profundidad de las raíces de ají.	39
Figura 4. Diagrama de campo establecido en la finca El Samán	43
Figura 5. Materia seca en plántulas de ají que recibieron diferentes tratamientos	48
Figura 6. Evolución del valor del pH del suelo sembrado con ají Jalapeño	52
Figura 7. Evolución del contenido de M.O del suelo sembrado con ají Jalapeño	53
Figura 8. Evolución del contenido de P del suelo sembrado con ají Jalapeño	54
Figura 9. Evolución del contenido de S del suelo sembrado con ají Jalapeño	54
Figura 10. Evolución del contenido de $\text{Ca}^{++}$ del suelo sembrado con ají Jalapeño	55
Figura 11. Evolución del contenido de $\text{Na}^+$ del suelo sembrado con ají Jalapeño	56
Figura 12. Evolución del contenido de B del suelo sembrado con ají Jalapeño	56
Figura 13. Evolución del contenido de $\text{Cu}^{++}$ del suelo sembrado con ají Jalapeño	57
Figura 14. Evolución del contenido de $\text{Fe}^{++}$ del suelo sembrado con ají Jalapeño	58
Figura 15. Evolución del contenido de $\text{Mn}^{++}$ del suelo sembrado con ají Jalapeño	58
Figura 16. Evolución del contenido de $\text{Zn}^{++}$ del suelo sembrado con ají Jalapeño	59

Figura 17. Evolución del valor de C. E del suelo sembrado con ají Jalapeño	60
Figura 18. Evolución del valor de la relación $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} / \text{K}^+$ del suelo sembrado con ají Jalapeño	60
Figura 19. Evolución del valor de la relación $\text{Ca}^{++} / \text{Mg}^{++}$ del suelo sembrado con ají Jalapeño	61
Figura 20. Evolución del valor del pH del suelo sembrado con ají Cayenne	63
Figura 21. Evolución del contenido de M.O del suelo sembrado con ají Cayenne	63
Figura 22. Evolución del contenido de P del suelo sembrado con ají Cayenne	64
Figura 23. Evolución del contenido de S del suelo sembrado con ají Cayenne	65
Figura 24. Evolución del contenido de $\text{Ca}^{++}$ del suelo sembrado con ají Cayenne	65
Figura 25. Evolución del contenido de $\text{K}^+$ del suelo sembrado con ají Cayenne	66
Figura 26. Evolución del contenido de $\text{Na}^+$ del suelo sembrado con ají Cayenne	67
Figura 27. Evolución del valor de la C.I.C del suelo sembrado con ají Cayenne	67
Figura 28. Evolución del contenido de B del suelo sembrado con ají Cayenne	68
Figura 29. Evolución del contenido de $\text{Cu}^{++}$ del suelo sembrado con ají Cayenne	69
Figura 30. Evolución del contenido de $\text{Fe}^{++}$ del suelo sembrado con ají Cayenne	69
Figura 31. Evolución del contenido de $\text{Mn}^{++}$ del suelo sembrado con ají Cayenne	70
Figura 32. Evolución del contenido de $\text{Zn}^{++}$ del suelo sembrado con ají Cayenne	71

Figura 33. Evolución del valor de la relación $\text{Ca}^{++}+\text{Mg}^{++}/\text{K}^+$ del suelo sembrado con ají Cayenne	71
Figura 34. Evolución de la concentración de $\text{Mg}^{++}$ de tejido vegetal de ají Cayenne	73
Figura 35. Evolución de la concentración de $\text{Na}^+$ de tejido vegetal de ají Cayenne	73
Figura 36. Evolución de la concentración de N de tejido vegetal de ají Jalapeño	75
Figura 37. Evolución de la concentración de $\text{K}^+$ de tejido vegetal de ají Jalapeño	75
Figura 38. Evolución de la concentración de $\text{Mg}^{++}$ de tejido vegetal de ají Jalapeño	76
Figura 39. Evolución de la concentración de $\text{Na}^+$ de tejido vegetal de ají Jalapeño	77
Figura 40. Número de esporas por gramo de suelo en experimentos sembrados con ají Jalapeño y Cayenne	78
Figura 41. Relación entre el número de esporas de HMA por gramo de suelo y contenido de P en el suelo sembrado con ají Jalapeño híbrido Ixtapa	80
Figura 42. Relación entre el número de esporas de HMA por gramo de suelo y contenido de P en el suelo sembrado con ají Cayenne Durkee	81
Figura 43. Porcentaje de colonización de HMA en experimentos cultivados con ají Jalapeño híbrido Ixtapa y Cayenne Durkee	82
Figura 44. Relación entre el número de esporas de HMA por gramo de suelo y contenido de P en el suelo sembrado con ají Jalapeño híbrido Ixtapa	84
Figura 45. Producción de $\text{CO}_2$ realizada por microorganismos en rizosfera de Ají Jalapeño híbrido Ixtapa y Cayenne Durkee en diferentes planes de fertilización	85
Figura 46. Efecto de la fertilización e inoculación con HMA sobre el número de frutos por plantas de ají Cayenne Darkee y Jalapeño híbrido Ixtapa	87
Figura 47. Efecto de la fertilización e inoculación con HMA sobre el peso promedio de frutos por plantas de ají	88
Figura 48. Rendimientos de ají variedad Cayenne Durkee y Jalapeño híbrido Ixtapa	89
Figura 49. Rendimiento total del ají por variedad	90

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales países donde se siembra <i>Capsicum</i> , a nivel mundial	7
Tabla 2. Principales países Importadores de <i>Capsicum</i> , a nivel mundial	7
Tabla 3. Diferencias entre el Ají Cayenne y el Ají Jalapeño Híbrido Ixtapa	9
Tabla 4. Valor nutritivo del Ají Jalapeño Híbrido Ixtapa y Cayenne Durkee	12
Tabla 5. Requerimientos de nutrientes de ají según la etapa de producción	15
Tabla 6. Concentraciones críticas y óptimas de nutrientes para ají (muestras tomadas de hojas y peciolo, durante la floración, fructificación y producción).	16
Tabla 7. Compatibilidad de fuentes nutricionales usadas en fertirrigación	23
Tabla 8. Descripción del perfil	38
Tabla 9. Plan de fertilización de síntesis completa	40
Tabla 10. Productos utilizados y dosificación de la fertirrigación del cultivo de ají en la zona plana del lote experimental.	45
Tabla 11. Productos utilizados y dosificación de la fertirrigación del cultivo de ají en ladera.	46
Tabla 12. Programa de fertilización foliar	47
Tabla 13. Resultado análisis químico del suelo experimental finca El Samán	50
Tabla 14. Resultado análisis químico de agua finca El Samán	51
Tabla 15. Resumen de costos de producción de ají en el Valle del Cauca Vs costos del proyecto	87

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Niveles edáficos de nutrientes óptimos para ají	108
ANEXO 2. Niveles de extracción de nutrientes en plántulas ají	108
ANEXO 3. Respiración microbiana estimada como C – Co <sub>2</sub>	108
ANEXO 4. Técnica para el aislamiento de esporas del suelo	109
ANEXO 5. Metodología para la tinción de raíces	109
ANEXO 6. ANOVA de evaluación de los diferentes tipos de fertilización para producción de plántulas	110
ANEXO 7. Prueba comparación de medias según TUKEY (5%) para las variables evaluadas en vivero.	110
ANEXO 8. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) realizado para las propiedades químicas en el muestreo final para suelos sembrados con ají Jalapeño.	111
ANEXO 9. Correlación Pearson para ají Jalapeño híbrido Ixtapa (Suelos)	112
ANEXO 10. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) realizado para las propiedades químicas en el muestreo final para suelos sembrados con ají Cayenne	114
ANEXO 11. Correlación Pearson para ají Variedad Cayenne Durkee (Suelos)	115
ANEXO 12. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) realizado para nutrientes en tejidos foliares de plantas en ají de la variedad Cayenne Durkee	117
ANEXO 13. Correlación Pearson para ají Variedad Cayenne Durkee (Foliar)	118
ANEXO 14. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) realizado para nutrientes en tejidos foliares de plantas en ají Jalapeño híbrido Ixtapa	119
ANEXO 15. Correlación Pearson para ají Jalapeño híbrido Ixtapa (Foliar)	120

ANEXO 16. ANOVA de la evaluación de densidad de esporas por gramo de suelo	121
ANEXO 17. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) de la evaluación de densidad de esporas por gramo de suelo	121
ANEXO 18. ANOVA de la evaluación del porcentaje de colonización de hongos Micorrícicos arbusculares sobre raíces de ají.	122
ANEXO 19. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) de la evaluación del porcentaje de colonización de HMA en raíces de ají	122
ANEXO 20. ANOVA de la actividad microbiana medida como respiración (C – CO <sub>2</sub> )	123
ANEXO 21. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) de la actividad microbiana medida como respiración (C – CO <sub>2</sub> ).	123
ANEXO 22. ANOVA de la evaluación del número de frutos por planta	124
ANEXO 23. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) de la evaluación del número de frutos por planta.	124
ANEXO 24. ANOVA de la evaluación del peso promedio de frutos	125
ANEXO 25. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) de la evaluación del peso promedio de frutos.	125
ANEXO 26. ANOVA de evaluación de la producción por planta	126
ANEXO 27. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) evaluación de la producción por planta	126
ANEXO 28. Costos de producción por hectárea de ají Cayenne y Jalapeño	127
ANEXO 29. Costos producción por hectárea de ají Cayenne y Jalapeño a diez meses	128
ANEXO 30. Dase de datos de experimento de Suelo	129
ANEXO 31. Dase de datos de experimento de tejidos Vegetales	131

## RESUMEN

Este estudio se realizó con el fin de evaluar el efecto de la fertilización química, orgánica y biofertilización sobre la nutrición y rendimiento del ají (*Capsicum* spp.) en el Valle del Cauca en la producción inicial de plántulas en vivero y producción final en campo.

Se realizaron dos experimentos, uno en etapa de vivero y otro en etapa de campo. En vivero se evaluó el efecto de los diferentes tipos de fertilización en ají. En campo se evaluó el efecto de la fertilización química, orgánica y biofertilización en ají. Las variables fisiológicas evaluadas fueron: peso fresco raíz y aéreo, número de hojas, altura de la planta (en cm), diámetro del tallo (en mm), peso seco total, peso seco de raíz y aéreo. En el experimento de biofertilización tanto para etapa de vivero como para la etapa de campo, se evaluaron seis tratamientos y un diseño estadístico de bloques completos al azar, así: Fertilización de síntesis completa (Testigo), fertilización de síntesis completa más orgánica, fertilización integrada de síntesis completa, orgánica y biofertilización 1 (solubilizador de fósforo: fosfol con base en *Penicillium janthinellum* ( $1 \times 10^7$  conidias/ml), fertilización de síntesis completa más orgánica más micorrizas, fertilización integrada de síntesis completa, orgánica y biofertilización 2 (Fijador de Nitrógeno: Dimazos con base en *Azotobacter chroococcum* ( $1 \times 10^8$  UFC/mL) y *Azospirillum* sp. ( $1 \times 10^8$  UFC/mL), fertilización integrada de síntesis completa, orgánica y biofertilización 3 (fijador de nitrógeno: Dimargón con base en *Azotobacter chroococcum* ( $1 \times 10^8$  UFC/mL). El experimento se instaló sobre un suelo clasificado como *Typic Hapludolls*.

El análisis estadístico arrojó que en todos los experimentos el plan de fertilización de síntesis química + orgánica + micorrizas fue el que arrojó los mejores resultados seguido de los tratamientos a los que se les aplicó la fuente de biofertilización (Microorganismos solubilizadores de fósforo y fijadores de nitrógeno).

Para los suelos estudiados se concluyó que el mayor rendimiento de ají se consigue cuando se aplica al suelo una fuente química completa más una fuente de materia orgánica más micorrizas arbusculares. Además, que la biofertilización es un complemento de la fertilización química.

**Palabras claves:** *Micorrizas Arbusculares HMA, Capsicum spp., Biofertilización,*



## SUMMARY

This study was realised with the purpose of to evaluate the effect of the chemical, organic fertilization and biofertilization on the nutrition and yield of the red pepper (*Capsicum spp.*) in the Valley of the Cauca in the initial production of plants in breeding ground and final production in field.

Three experiments were realized, two in stage of fish-pond and one in field stage. In fish-pond an experiment was realized where there was evaluated the effect of the different types of fertilization in chili and other one where there was evaluated the effect of the chemical, organic fertilization and biofertilización in chili. In field there was evaluated the effect of the chemical, organic fertilization and biofertilización in chili. The physiological evaluated variables were: fresh weight root and air, number of leaves (sheets), height of the plant(floor) (in cm), diameter of the stem (in mm), dry total weight, dry weight of root and air. In the experiment of biofertilización both for stage of fish-pond and for the field stage, there were evaluated six treatments and a statistical design of complete blocks at random, this way: Fertilization of complete synthesis (Witness), fertilization of synthesis completes more organic, integrated fertilization of synthesis completes, organic and biofertilización 1 (solubilizador of phosphorus: fosfosol with base in *Penicillium janthinellum* (1x107conidias/ml), Fertilization of synthesis completes more organic more mycorrhizae, integrated fertilization of synthesis completes, organic and biofertilización 2 (Fastener of Nitrogen: Dimazos with base in *Azotobacter chroococcum* (1x108 UFC/mL) and *Azospirillum* sp. (1x108 UFC/mL), integrated fertilization of synthesis completes, organic and biofertilización 3 (fastener of nitrogen: Dimargón with base in *Azotobacter chroococcum* (1x108 UFC/mL). The beginning of the experiment classified like *Typic Hapludolls*.

The statistic analysis threw that in all the experiments the denominated treatment fertilization of organic + chemical synthesis + mycorrhizae was the one that I throw the best results followed of the treatments to which the biofertilization source was applied to them (Microorganismos solubilizers of phosphorus and nitrogen fixing devices)

One concluded that the greater red pepper yield is obtained when a complete chemical source plus a source of organic matter is applied to the soil more mycorrhizae arbusculares, for studied soils. In addition that the biofertilization is a complement of the chemical fertilization.

*Index words: Mycorrhiza, Capsicum spp, Biofertilization.*

## 1. INTRODUCCIÓN

A partir de la década de los ochenta los sistemas de producción hortícolas presentaron una dinámica creciente en cuanto a área de siembra, dándose mayor aceleración en los últimos 15 años; el crecimiento promedio del área cultivada aumentó a razón de 13.3 % anual, lo cual refleja que la exportación de hortalizas es una alternativa productiva, económicamente viable y atractiva en diversas zonas del país (Corporación Colombia internacional, 1996; citado por Corpoica, 2007).

El cultivo de ají es una especie hortícola que se explota tradicionalmente en el Valle del Cauca y la Costa Atlántica, su fruto tiene alta demanda en los mercados de las hortalizas de Colombia, en plazas de mercado y en supermercados; ocupa mano de obra no solo en las labores del campo sino también en los centros de consumo, debido a que este producto es comercializado por los vendedores informales (Consejo Departamental de Estadísticas - CODE (2006) citado por Corpoica, 2007).

El producto es consumido preferiblemente en estado verde, ya que en esta condición presenta buen aroma y es utilizado en forma de condimento especialmente en las comidas y ensaladas; en estado maduro también se emplea para adobar comidas pero su demanda es menor. La industria produce mermeladas utilizando el fruto maduro y elaborando encurtidos con los frutos verdes y maduros (Consejo Departamental de Estadísticas CODE (2006). citado por Corpoica, 2007).

Esta hortaliza se siembra en pequeñas áreas, las cuales no sobrepasan las cinco hectáreas, y es cultivada durante todo el año, alcanzando las mejores producciones en el segundo semestre. La demanda del ají en supermercados en las ciudades capitales es de 452 t/año; mientras que en las plazas del mercado la demanda se estima en 675 t/año (MADR, 2006. Citado por Corpoica, 2007).

Los rendimientos de los cultivos tradicionales son en promedio de  $9 \text{ t.ha}^{-1}$ , es característico el poco uso de tecnología moderna en las labores de cultivo, especialmente en lo referente a manejo de semilleros, manejo de suelos y aguas, fertilizaciones prevención y control de plagas y enfermedades y manejo de cosechas. En la actualidad a través de transferencia de tecnología (uso de plántulas de ají de calidad, uso de cobertura plástica en camas altas

“acolchado”, uso de riego por goteo, nutrición balanceada y oportuna a través del Fertirriego, aplicación de biofertilización, Bioestimulación y biocontrol) se pueden aumentar los rendimientos a 25 t.ha<sup>-1</sup>, con lo cual se espera generar cambios significativos en la productividad de las explotaciones de pequeños y medianos productores y cultivadores de ají (Corpoica, 2007).

El uso de fuentes minerales sintéticas y naturales (fertilizantes químicos), ha sido una práctica generalizada y casi exclusiva para mejorar el estado nutricional de los cultivos; sin embargo, se ha comprobado que también tienen alta eficiencia las fuentes naturales orgánicas (ácidos húmicos y fúlvicos) y productos a base de microorganismos edáficos (biofertilizantes).

Los fertilizantes químicos aportan al suelo nutrientes minerales disponibles en forma inmediata, los abonos orgánicos aportan gradualmente tanto nutrimentos minerales como orgánicos y sirven de sustrato para los microorganismos; el aporte de nutrientes por los biofertilizantes es indirecto, acelerando su liberación de la materia orgánica (mineralización de N, P, S, B) o solubilizadores de minerales (P), o incrementando su absorción por las plantas (P, Zn<sup>++</sup>) o fijando N atmosférico, dependiendo de la clase de microorganismos; además, pueden suministrar hormonas y reguladores del crecimiento (Guerrero, 1990).

Así, la utilización de materia orgánica (ácidos húmicos y fúlvicos) y de biofertilizantes, constituye un complemento eficaz de la fertilización química en el manejo del suelo para optimizar la nutrición y el crecimiento de los cultivos, el objetivo primordial es incrementar la rentabilidad del cultivo, mejorando la fertilidad del suelo y disminuyendo el maltrato del medio ambiente. Este trabajo estudió el efecto de la biofertilización sobre la nutrición y rendimiento del ají (*Capsicum* spp.) en el municipio de Vijes, Valle del Cauca y evaluó su acción sobre la producción de plántulas en vivero y rendimiento en campo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la fertilización química, orgánica y biofertilización sobre la nutrición producción y rendimiento de ají (*Capsicum* spp.) variedad Cayenne Durkee y Jalapeño híbrido Ixtapa en un Typic Hapludolls del Valle del Cauca.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes químicos, orgánicos y biofertilización en la nutrición del ají variedad Cayenne Durkee y Jalapeño híbrido Ixtapa y su relación con la producción y rendimiento del cultivo de ají.

Determinar las concentraciones foliares de nutrientes y su relación con el rendimiento del cultivo en campo para ají variedad Cayenne Durkee y Jalapeño híbrido Ixtapa

## **3. REVISIÓN DE LITERATURA**

### 3.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE AJÍ

Los Ajíes y pimentones (*Capsicum*) son importantes para muchos países por su uso como condimento y como hortaliza. El número total de especies que componen el género *Capsicum* no está bien definido. Hunziker, 1979 cita 25 especies y Eshbaugh, 1980, 27 especies. Los dos autores concuerdan en la existencia de cinco especies domésticas. La distribución de las especies del género en América es amplia en las regiones de Centro América, zona Andina y la Amazonía. El conocimiento que se tiene de las especies silvestres se limita a su descripción morfológica. Estudios sobre las relaciones intra e interespecíficas son escasos y los límites genéricos son confusos. Varias especies tienen problemas de clasificación taxonómica, algunas aparecen clasificadas en otros géneros, otras no corresponden al género donde están clasificadas (Debouck y Libreros, 1993).

De acuerdo con Casali y Couto (1984); Ibar y Juscafressa (1987); Zapata, Bañón y Cabrera, (1992) el pimentón *Capsicum annum* L, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. pubescens*, son las especies más cultivadas en el mundo. Estas especies, se ubican dentro de la siguiente clasificación taxonómica:

**División:** Fanerógamas o Spermofitas o Antofitas

**Sub – división:** Angiospermas

**Clase:** Dicotiledoneas (Magnoliopsida)

**Sub clase:** Simpétalas o gamopétalas

**Orden:** Tubiflora

**Sub Orden:** Solanineas

**Familia:** *Solanáceae*

**Tribu:** Solaneae

**Sub – tribu:** Solaninae

**Género:** *Capsicum*

**Especie:** *annuum*, *chinense*, *frutescens*, *baccatum* y *pubescens*.

El género *Capsicum*, pertenece a la familia *Solanaceae* del orden Solanales (Nuez *et al.*, 1996). *Capsicum* posee una taxonomía compleja debido a la heterogeneidad de formas existentes en las especies cultivadas y diversidad de criterios utilizados en clasificarlas.

El ají tiene su centro de origen en las regiones tropicales y subtropicales de América, probablemente en el área de Bolivia – Perú y la zona amazónica de Colombia, donde se han encontrado semillas de formas ancestrales de más de 7.000 años y desde donde se habría diseminado a toda América. Las especies de interés comercial son *Capsicum chinense*, cuyo cultivar “Habanero” produce el ají más picante que se conoce; *C. frutescens*, cuyo cultivar “Tabasco” es muy usado para la elaboración de salsas picantes; *C. baccatum*, cuyo producto es conocido como ají andino y es ampliamente cultivado en las zonas altiplánicas, y *C. pubescens*, cuyo cultivar, “Rocoto” es muy apreciado por su sabor y picantes en diversas regiones del altiplano de América (Orbegoso, 1954; Ortiz, 1983; Vargas, 1985).

El contenido nutricional de *Capsicum* spp. es alto, comparado con otras hortalizas; posee componentes que fijan su valor biológico, sabor específico y uso como condimento, tales como vitaminas, Capsicina, pigmentos y aceites volátiles y otros componentes enmarcados en azúcares, fibra, proteínas, minerales y ácidos orgánicos. Posee un gran número de usos, especialmente como condimento, colorante u hortaliza. Los tipos picantes se usan en fresco, encurtidos, secos o como salsa industrializada. Los tipos dulces son usados en verde como hortaliza; también se consumen maduros, frescos, encurtidos, asados y cocinados; secos en polvo o en conserva (Nuez *et al.*, 1996).

El ají es un producto de gran demanda internacional por sus propiedades alimentarias, industriales y medicinales. El ají se usa en gran variedad de salsas, condimentos, polvos, encurtidos y como fruta fresca en los supermercados. También se ha utilizado con unos excelentes resultados en tratamientos de prevención y control de enfermedades gastrointestinales es estimulante del apetito por su condición de astringente o pungente (picante), debido al alcaloide “*Capsicina*”, al contenido de aceites esenciales, sustancias aromáticas, carotenos y vitaminas. (Orbegoso, 1954; Ortiz, 1983; Vargas, 1985).

## **3.2. REQUERIMIENTOS AGROCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE AJÍ**

El cultivo del ají, para su desarrollo y producción, requiere grandes inversiones económicas y recursos técnicos, lo cual exige una estricta selección del sitio de siembra, los agricultores deben producir de manera competitiva, tanto económica como ecológicamente, con el fin de hacer rentable su empresa sin provocarle mayor deterioro al medio ambiente. Debido a lo anterior, es indispensable definir e identificar de manera científica y por lo tanto confiable, las áreas donde las plantas de ají puedan encontrar las mejores condiciones agroecológicas para su crecimiento y producción (Corporación Colombia Internacional, 1996).

**3.2.1. Altitud** El cultivo se desarrolla adecuadamente en altitudes desde cero hasta 2.500 metros sobre el nivel del mar dependiendo de la variedad, aunque el óptimo es hasta los 600 m.s.n.m., así por ejemplo, los chiles Tabasco, Cayenne, Serrano y Jalapeños, se dan bien en los suelos de la parte plana del Valle del Cauca como en los municipios de Yumbo, Vijes, Roldadillo, La Unión, San Pedro y Cereté en el departamento de Córdoba (Jaramillo, 2002).

**3.2.2. Pendiente** El ají se produce bien en los municipios de ladera como Dagua, Vijes en especial el ají Habanero. Sin embargo, en terrenos donde las pendientes van de 0 - 4 por ciento, es más factible darle un manejo agronómico adecuado. Los suelos con pendientes de 5 - 9 por ciento pueden utilizarse, si se implementan prácticas de laboreo tendientes a evitar problemas de erosión. Estos suelos se ubican alrededor de áreas de montaña (Jaramillo, 2002).

**3.2.3. Precipitación** El cultivo requiere entre 500 – 600 mm. de lluvia distribuidos uniformemente durante su ciclo de desarrollo. Esto varía según el tipo de suelo y características propias de drenaje, por lo que en suelos arenosos con un drenaje excesivo, el cultivo puede necesitar hasta 1.300 mm. de lluvia efectiva. Las zonas productoras de ají del Valle, presentan precipitaciones de 300 – 500 mm. anuales, por lo tanto, para evitar daños a las plantas por falta de humedad en las etapas de desarrollo vegetativo, producción de flores, el amarre y cuajamiento de los frutos, es necesario suministrar agua de riego de manera complementaria durante prácticamente todo el ciclo de vida (Jaramillo, 2002).

### 3.3. SITUACIÓN MUNDIAL DEL CULTIVO DE AJI.

La superficie cultivada de *Capsicum* en el mundo, está alrededor de 1.341.438 hectáreas, con una producción de 18.024.719 toneladas. Asia es el continente donde más se cultiva este vegetal siendo China, Indonesia y Japón los principales países productores (Tabla 1). Europa ocupa el segundo lugar, con España como primer productor, seguido de Italia y Yugoslavia. En el tercer lugar se ubica el continente Americano con México y Estados Unidos como principales productores (FAO, 2005).

**Tabla 1. Principales países donde se siembra *Capsicum*, a nivel mundial**

PAÍS	ÁREA SEMBRADA (ha)	PRODUCCIÓN (t)
China	603.000	11.534.871
Indonesia	155.495	552.679
Japón	152.000	982.453
México	149.930	1.853.310
Nigeria	91.000	720.000
Turquía	88.000	1.786.000
Corea	76.724	381.156
Ghana	75.000	270.000

Fuente: FAO, 2005

El mercado de ajíes a nivel mundial es grande, siendo Estados Unidos y Alemania los principales países importadores, Colombia no ocupa un puesto importante como productor y exportador. (Tabla 2)

**Tabla 2. Principales países Importadores de *Capsicum*, a nivel mundial**

PAÍS	ÁREA SEMBRADA (ha)	PRODUCCIÓN (t)
Estados Unidos	401.195	458.279
Alemania	284.300	378.767
Francia	114.510	105.080
Inglaterra	93.988	168.985
Canadá	93.662	102.685
Italia	57.517	56.758
Austria	48.526	51.313
Holanda	47.362	61.401

Fuente: FAO, 2005



Países como México y Estados Unidos siembran alrededor de 180.000 hectáreas de ajíes picantes con ventas que ascienden a 1600 millones de dólares. Estos productores buscan países tropicales como Colombia, Perú, Bolivia, Costa Rica y Guatemala para que incrementen las siembras de ají y suplir la creciente demanda mundial de picantes (Colonia E. Com. Pers.).

En Chile se cultiva una superficie aproximada de 1.000 ha de ají al año, concentrándose casi 70 % de ella en la Región de Maule. En el año 2002, por primera vez, se exportaron 558.674 kilos de ají, los que retornaron \$US 1.711.606 dólares. El destino de esas exportaciones, en orden decreciente en cuanto al volumen (kg), fue México (62 %), Estados Unidos (34 %), Alemania (2 %), Australia (1 %) y España (1 %). El orden varía si se considera el retorno (dólares), quedando en primer lugar Estados Unidos (46 %), seguido por México (45 %), Alemania (3 %) y España (2 %). El cultivo de ají es de importancia mundial. En el 2007 se sembraron en el mundo 1.696.891 ha con un rendimiento de 14.7 t.ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2005).

### **3.4. SITUACIÓN NACIONAL DEL CULTIVO DE AJI**

En Colombia se sembraron 2.831 ha de pimentón y ají, con un rendimiento de 11,9 t.ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2005). En el Valle del Cauca en el 2003 se cultivaron 248 ha de ají con un rendimiento de 15 t.ha<sup>-1</sup>, siendo los municipios de Yumbo, Roldadillo, Vijes y Palmira los de mayor área sembrada (78.8 %) (URPA-Gobernación del Valle del Cauca, 2004).

El ají es la principal hortaliza de exportación de Colombia, durante el 2005, se sembraron 1.513 ha, siendo los principales productores los departamentos de Valle y Magdalena. La producción nacional de ají para el 2007, ha sido calculada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) (Apuesta Exportadora Agropecuaria, 2006), en 20.610 t. La información disponible muestra incremento creciente de los cultivos de ají en todo el país dadas las demandas externas y los diversos ambientes favorables que existen. Según URPA del Valle del Cauca, 2004, se sembraron 425 ha siendo la mayor área por departamento, principalmente con las variedades picantes de Tabasco, Cayenne Durkee,

Habanero y jalapeño híbrido Ixtapa, para su posterior procesamiento en pastas y salsas con destino en su mayoría para exportación.

Los principales municipios productores del Valle del Cauca, según el URPA, 2004, son Roldanillo, Trujillo y Palmira, con rendimientos promedios de 13 t.ha<sup>-1</sup>. Para el Año 2005 el MADR (2006), reporta producción promedio que van de 4.5 t (Bolívar), a 18.13 en el Valle del Cauca. Los rendimientos promedios en Colombia fueron de 8,9 t.ha<sup>-1</sup>. En el caso del Magdalena, con 42 % del área sembrada, está en un 61 % por debajo del promedio nacional. En el caso de la Costa Atlántica se trabaja con ajíes dulces (Topito, selección local que puede ser dulce o picante) y picantes como Tabasco, para el mercado interno y para agroindustria y exportación.

### 3.5. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIEDADES DE AJÍ A EVALUAR EN EL ESTUDIO

Las variedades de ají que se estudiaron en esta investigación son la variedad Cayenne Durkee, y el Ají Jalapeño híbrido Ixtapa. Sus diferencias se presentan en las tablas 3 y 4.

**Tabla 3. Diferencias entre el Ají Cayenne y el Ají Jalapeño Híbrido Ixtapa**

TIPO DE CHILE O AJÍ	TAMAÑO	FORMA	PARED	USO	CANTIDAD DE PICANTE MEDIDO EN UNIDADES SCOVILLE
Variedad Cayenne Durkee	Mediano	Muy delgado Ahusado	Delgada	Fresco, Desecado Procesado	4,000 – 8,000
Jalapeño híbrido Ixtapa	Pequeño	Oblongo Obtuso	Gruesa	Procesado Fresco	4,000 – 8,000

Fuente: FAO, 2005, Elaborada por el autor, 2009

**3.5.1. El ají jalapeño híbrido Ixtapa:** es también conocido como ají o chile jalapeño su nombre proviene de la ciudad Jalapa de Veracruz (México). Se adapta fácilmente a climas cálidos y templados, la temperatura óptima para su desarrollo va de 20 a 25 °C en el día y de 16 a 18 °C en la noche. Para conseguir una buena cosecha la temperatura debe ser de 18 a 22 °C, no resiste heladas. A temperaturas menores de 15 grados se detiene el

crecimiento y temperaturas demasiado altas provocan la caída de hojas y frutos. La humedad relativa debe estar entre 50 y 70 % (Universidad Eafit, 2002).

El cultivo de jalapeño se adapta a diferentes tipos de suelo, pero prefiere suelos profundos, de 30 a 60 centímetros de profundidad, de ser posible, de textura franco arenosa. El ají o chile se adapta y desarrolla en suelos con pH desde 6.5 a 7.0. Por abajo o arriba de los valores indicados no es recomendable su siembra ya que se afecta la disponibilidad de los nutrientes para la planta (Universidad Eafit, 2002).

La localización del cultivo también debe estar cerca a una buena fuente de mano de obra, pues el ají requiere mucho de esta. Los cambios drásticos en el ambiente, por ejemplo de exceso de sequía y calor, pasar a una lluvia intensa puede causar el aborto de frutos. Su cultivo tiene una duración aproximada de 3 meses. La planta puede tener una altura máxima de 1.50 m de alto, las flores aparecen solitarias en cada nudo del tallo en las ramas donde van las hojas. Estas flores son blancas. Para que la planta produzca flores es necesario que tenga un buen grado de maduración, que no consigue hasta que tiene alrededor de 10 hojas y la alcanza aproximadamente a los 60 días. Su duración como producto fresco es muy corto, es decir, germina con prontitud (Ayala, 2000).

El fruto es alargado de aproximadamente 7.5 cm y su diámetro de 2.5 cm, el color lo define el grado de maduración que tenga, comenzando en verde, después amarillo, y hasta llegar a rojo que es la maduración total. Tiene algunas rayas lo cual es una de las principales características del producto. La cosecha se realiza muchas veces dependiendo de las exigencias del mercado. El peso de cada fruto fluctúa entre 20 y 30 gramos (Ayala, 2000).

El ají jalapeño tiene alto contenido de ácido ascórbico (Tabla 4) presenta un valor casi 10 veces más alto de vitamina A que los pimientos, además es de elevada pungencia, aspecto que los caracteriza. En la placenta y septas de los ajíes se ubican unas glándulas ricas en alcaloides (*Capsacinoïdes*) entre los que prevalece la "*Capsicina*" que determina el grado de pungencia del fruto. El picante del fruto es variable según el cultivo (Universidad Eafit, 2002).

### 3.5.2. El ají variedad Cayenne Durkee: *Capsicum annum*, *Capsicum frutescens*

El ají Picante (variedad Cayenne Durkee) posee frutos de 15 cm de largo, delgados, que se vuelven de un color verde a un rojo intenso. La planta compacta y erguida produce frutos en abundancia en nudos internos cortos. Se cultiva regularmente durante todo el verano (Corrales, 1961).

El fruto del ají variedad Cayenne Durkee, posee un sabor fuerte astringente y picante. El grado de picantes se debe al alcaloide capsicina, que se hereda como gen dominante y se mide en grados Scoville, que es la unidad de picantes de un ají (Corrales, 1961).

Los aceites esenciales, azúcares y pigmentos son los factores que contribuyen al color, sabor y aroma, así, los ajíes rojos tienen más sabor. Climas ardientes o helados hacen que los ajíes pierdan azúcares, la luz y el aire los decoloran después de cosechados (Chiappe, 1960).

El ají se desarrolla bien entre los 18 °C y 28 °C y necesita menor oxigenación que el pimentón, su familiar más cercano. Crece bien con mucha o poca luz pero sí requiere de calor para el cuajamiento de frutos. Los climas secos son más adecuados ya que se presentan menores problemas de orden fungoso y bacteriano (Chiappe, 1960).

Las flores blancas solitarias, crecen en las axilas de polinización cruzada. El fruto es una baya con lóculos o cavidades verdes y rojas, mide de 15 a 25 cm de longitud y de 2 a 4 cm de diámetro. Las semillas tienen forma de riñón, lisas: un gramo tiene aproximadamente 130 semillas. Con una libra (55.000 semillas), se siembra una hectárea. La raíz es moderadamente profunda, de 90 a 120 cm la principal y las secundarias de 50 a 70 cm, crecen como serpiente y es el órgano más importante y de mayor cuidado del ají (Delgado, 1988).

La raíz en el cultivo de ají desempeña un conjunto complejo y variado de funciones incluyendo el anclaje de la planta al suelo, la absorción y translocación de agua y solutos, el almacenamiento de sustancias de reserva y la síntesis de reguladores de crecimiento. La función de anclaje impide el desplazamiento de la planta y facilita la interacción de la planta

con el suelo subyacente, formando una compleja red que determina la fijación de la planta al suelo. La esclerificación de tejido vascular en el centro de las raíces jóvenes y el desarrollo de esclerénquima en las raíces más viejas da rigidez y tenacidad al sistema radical permitiendo soportar la tracción mecánica que el viento y otros factores externos ejercen sobre la planta (Nuez *et al.*, 1996).

En la tabla 4 se presenta información sobre el valor nutritivo del ají Jalapeño y Cayenne.

**Tabla 4. Valor nutritivo del Ají Jalapeño Híbrido Ixtapa y Cayenne Durkee \***

COMPUESTO	AJÍ VARIEDAD CAYENNE DURKEE		AJÍ JALAPEÑO HÍBRIDO IXTAPA	
	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD
	MINIMA	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA
Agua	20.7 g	93.1 g	20.7 g	93.00 g
Hidratos de Carbono	5.3 g	63.8 g	3.74 g	5.40 g
Proteínas	0.8 g	6.7 g	0.38 g	1.35 g
Extracto etéreo	0.3 g	0.8 g	0.3 g	0.8 g
Fibra	1.4 g	23.2 g	4.9 g	33.2 g
Cenizas	0.6 g	7.1 g	6.5 g	9.4 g
Calcio	7.0 mg	116.0 mg	2.63 mg	5.40 mg
Fósforo	31.0 mg	200.0 mg	14.64 mg	21.60 mg
Potasio	98.3 mg	120.4 mg	139.7 mg	194.00 mg
Sodio	8.2 mg	10.02 mg	9.76 mg	10.80 mg
Hierro	1.3 mg	15.1 mg	0.17 mg	1.20 mg
Caroteno	0.03 mg	25.2 mg	0.09 mg	27.7 mg
Tiamina	0.03 mg	1.09 mg	0.03 mg	0.08 mg
Riboflabina	0.07 mg	1.73 mg	0.02 mg	0.05 mg
Niacina	0.75 mg	3.30 mg	0.22 mg	0.54 mg
Ac. Ascórbico	14.4 mg	157.5 mg	18.4 mg	128.00 mg
Vitamina A (valor)	215 mg	437 mg	322 mg	526 mg
Calorías	23 cal	233 cal	83 cal	127 cal
Capcicina	4,000	8,000	4,000	8,000
	° Scoville	° Scoville	° Scoville	° Scoville

Fuente: FAO, 2005, Nuez *et al.*, 1996. Elaborada por el autor

\* Composición nutritiva de 100 g de ají jalapeño Híbrido Ixtapa y ají variedad Cayenne Durkee crudo.

### 3.6. FERTILIZANTES

Los fertilizantes agrícolas consisten en una mezcla de compuestos de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio ( $K^+$ ), elementos considerados como los macronutrientes básicos de las plantas. También hay fertilizantes compuestos de elementos secundarios como el Calcio ( $Ca^{++}$ ), el Magnesio ( $Mg^{++}$ ) y el Azufre (S) y de otros elementos denominados menores (Conpes, 2009).

Según la ley del fertilizante: los fertilizantes son sustancias que se aplican directa o indirectamente a las plantas, para favorecer su crecimiento, aumentar su producción o mejorar su calidad (Guerrero, 1994).

Los productos que se venden en el mercado pueden ser fertilizantes simples inorgánicos que contienen un sólo elemento mayor, entre los que destacan por su uso generalizado en el país la Urea, el Fosfato Diamónico (DAP) y el Cloruro de Potasio (KCl). De otra parte, se encuentran fertilizantes compuestos inorgánicos, que contienen más de un elemento mayor o menor, de los cuales hay en el mercado una enorme variedad en términos de su composición, concentración y formulación (Conpes, 2009).

El término inglés “fertilizer”, cuya utilización se ha generalizado en todo el mundo para indicar fertilizante o abono, proviene de la raíz latina “fertil” el término “fertilization” quiere decir volver fértil y se adapta en gran medida al significado científico del concepto de fertilización (Finck, 1988). La fertilización es una de las prácticas más eficientes para asegurar la expresión del potencial genético de las plantas, pues pone a disposición de los cultivos las cantidades adecuadas de los elementos esenciales para que puedan realizar funciones fisiológicas importantes como la toma, transporte, transformación y finalmente producción de alimentos.

Los suelos suelen ser medios nutritivos con concentraciones aceptables de elementos esenciales bajo condiciones naturales; no obstante, en terrenos cultivados, cuando se practica la fertilización sin un diagnóstico integral previo, se incurre en desbalances nutricionales por aplicaciones inadecuadas de nutrientes, así como en baja rentabilidad por el aumento de los costos de producción (Finck, 1988).

Entre tanto, las prácticas de fertilización comprenden una tercera parte o más de los costos de producción de los cultivos; no obstante, en sistemas productivos de alto rendimiento estos costos ascienden a 60 y 80 %. En muchos casos, una fertilización adecuada representa la diferencia entre la pérdida y una ganancia substancial, y ello lo saben agricultores y técnicos, cuyo objetivo es aumentar los rendimientos y las ganancias (Baanate *et al.*, 1989).

La fertilización productiva y específica busca aumentar la disponibilidad de los nutrientes en el suelo a través de prácticas que suministren a los cultivos una nutrición eficiente y balanceada, teniendo en cuenta el equilibrio de los factores de producción en las relaciones suelo – planta – ambiente y bajo criterios de sostenibilidad agrícola. En el manejo agronómico de los cultivos es necesario conocer y cuantificar estos factores, puesto que inciden en la disponibilidad de los nutrientes y en la mejora de los rendimientos y la calidad de las cosechas. En consecuencia, una fertilización productiva e integral tiene como resultado mayores ganancias para el agricultor, una buena sanidad vegetal, calidad en el producto y equilibrio con el medio ambiente (Fassbender y Bornemisza, 1994).

Por otro lado, en los países en vía de desarrollo, el uso de fertilizantes, como componente clave en la producción de cultivos, ha sufrido incrementos notables en los últimos años. La explicación es diáfana, ya que se ha comprobado que la fertilidad bien manejada puede resultar en incrementos significativos de rendimientos, calidad y economía de los productos agrícolas. La comisión del medio ambiente y desarrollo declara, así mismo que el tremendo incremento en el uso de fertilizantes, se ha multiplicado por diez en los países en vía de desarrollo, ha sido seguramente el factor de mayor trascendencia en el incremento de la producción de alimentos (Baanate *et al.*, 1989).

En la producción agrícola moderna, los fertilizantes comerciales, se utilizan para: 1. Corregir las deficiencias nutricionales de las plantas; 2. Mantener en los cultivos niveles nutricionales eficientes y balanceados; 3. Generar en las plantas resistencia a condiciones de estrés; 4. Mejorar la calidad de las cosechas, y 5. Mantener en nivel óptimo las condiciones de fertilidad de los suelos. En esencia, el uso adecuado de fertilizantes elimina la posibilidad que la fertilidad del suelo se constituya en un factor limitante para la producción de cultivos. Los principios fundamentales para una buena fertilización son: 1. requerimientos de

nutrientes; 2. Disponibilidad de nutrientes; 3. Productividad potencial; 4. Eficiencia de la fertilización; 5. Tipo de fertilizante; 6. Época de aplicación; 7. Sistema de aplicación (Guerrero, 1990).

Para realizar un buen plan de fertilización se debe tener en cuenta aspectos importantes del cultivo, en este caso el cultivo de ají:

1. Se necesita conocer los requerimientos de nutrientes según la etapa de producción del cultivo (tabla 5), de igual forma conocer los niveles edáficos de nutrientes óptimos para ají (Anexo 1) y los niveles de extracción de nutrientes en plantas de ají (Anexo 2) 2. el análisis de suelos y agua a la cual se tiene acceso. 3. se debe también considerar la fertilidad, el pH, la C.E. y la CIC. 4. otro aspecto a tener en cuenta para el diagnóstico nutricional es el análisis foliar o de tejidos de la planta en sus etapas fenológicas (concentraciones críticas y óptimas de nutrientes para ají (tabla 6). Los aspectos mencionados anteriormente aplicados de forma acertada y oportuna resultan fundamentales para el éxito de la fertilización (Guerrero, 1994).

**Tabla 5. Requerimientos de nutrientes de ají según la etapa de producción**

Etapas	Relación			No. Fertirriegos	Unidades de nutrientes/ha			Unidades de nutrientes/ha por riego		
	N	P	K <sup>+</sup>							
I. Trasplante + 20 días	2	1	1	10	31.25	16.66	16.66	3.12	1.66	1.66
II. Desarrollo + 30 días (55)	3	1	2	15	46.86	16.66	33.32	3.12	1.11	2.22
III. Fructificación 55 + 30 días (85)	2	3	2	15	31.24	49.98	33.32	2.08	3.33	2.22
IV. Producción 85 + 62 días (147)	1	1	4	31	15.62	16.66	66.66	0.50	0.53	2.15
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>71</b>	<b>125</b>	<b>100</b>	<b>150</b>			

Fuente: Ayala, 2000

- Fase vegetativa; N (10 %) – P (100 %) – K<sup>+</sup> (10 %) (Anexo 1 y 2)
- Fase reproductiva; N (40 %) – K<sup>+</sup> (40 %).
- Fase cuajado y maduración; N (50 %) – K<sup>+</sup> (50 %).



- Aplicaciones foliares de  $\text{Ca}^{++}$ , se inician con la floración y durante el máximo de la floración.
- Aplicaciones de Micro-elementos son requeridas desde los 50 ddt.
- Las necesidades de agua por ciclo productivo son 6.000 – 7500 m<sup>3</sup>.
- En cultivos tecnificados los requerimientos de nutrientes y agua se suministran a través del fertirriego.

**Tabla 6. Concentraciones críticas y óptimas de nutrientes para ají (muestras tomadas de hojas y peciolo, durante la floración, fructificación y producción).**

ETAPA FENOLOGICA	$\text{NO}_3$ ppm	$\text{P-P0}_4$ ppm	$\text{K}^+$ (%)	$\text{Ca}^{++}$ (%)	$\text{Mg}^{++}$ (%)	$\text{Fe}^{++}$ ppm	$\text{Cu}^{++}$ ppm	$\text{Zn}^{++}$ ppm	$\text{Mn}^{++}$ ppm
FLORACIÓN									
Óptimo	160.000	4.000	7	1.5	0.8	130	30	45	90
Crítico	120.000	3.500	6	1.2	0.7	110	15	35	70
FRUCTIFICACIÓN									
Óptimo	140.000	3.000	6.5	2	0.8	120	25	40	80
Crítico	110.000	2.500	5.5	1.5	0.7	100	10	30	60
PRODUCCIÓN									
Óptimo	120.000	2.800	6	2.5	0.8	110	25	30	80
Crítico	9.000	2.000	5	1.8	0.7	90	10	25	50

Fuente: Nuez *et al.*, 1996.

### 3.7. FERTILIZACIÓN FOLIAR:

La fertilización foliar se utiliza como un complemento a la fertilización al suelo; esta práctica es reportada en la literatura desde 1844, aunque su uso se inicia desde la época Babilónica. Bajo este sistema de nutrición la hoja juega un papel importante en el aprovechamiento de los nutrimentos, algunos componentes de ésta participan en la absorción de los iones. Los factores que influyen en la fertilización foliar pueden clasificarse en tres grupos; aquellos que corresponden a la planta, el ambiente y la formulación foliar (Trinidad y Aguilar, 1999).

Dentro de los aspectos de la planta, se analiza la función de la cutícula, los estomas y ectodesmos en la absorción foliar. En el ambiente, la temperatura, luz, humedad relativa y hora de aplicación. En la formulación foliar se analiza el pH de la solución, surfactantes y adherentes, presencia de sustancias activadoras, concentración de la solución, nutrimentos

y el ion acompañante en la aspersión. Varios trabajos de fertilización foliar han demostrado su bondad en la respuesta positiva de los cultivos, sin embargo, los incrementos de rendimiento por el uso de esta práctica han sido muy variables, lo que sugiere se hagan más trabajos en busca de optimizar la capacidad productiva de las cosechas de diferentes cultivos, utilizando la fertilización foliar como un apoyo a la fertilización al suelo (Trinidad y Aguilar, 1999).

Es de todos conocido que la hoja es el órgano de la fotosíntesis, formación de asimilados y el centro de la transpiración. La absorción foliar de nutrientes y solutos orgánicos ha sido comprobada en plantas superiores por estructuras especializadas (espacios intercelulares y espacios interestomáticos) que conforman la hoja (Marschner, 1998; Malavolta, 1998). Fisiológicamente todos los nutrientes pueden ser absorbidos vía foliar, con mayor o menor velocidad.

En este sentido la fertilización foliar es un complemento del fertirriego. El abastecimiento de los nutrientes mayores como nitrógeno, fósforo y potasio es más efectivo y económico si se usa la vía fertirriego. Sin embargo, la aplicación foliar ha demostrado ser un excelente método para suplir los requerimientos de los nutrientes secundarios (magnesio y azufre) y los micronutrientes (zinc, hierro, cobre, manganeso, boro y molibdeno) (Malavolta, 1998).

La nutrición foliar es importante en los estados del cultivo donde se disminuye el metabolismo de la planta y ocurre una baja absorción de nutrientes vía radical, en función de ayudar a la translocación de nutrientes en periodos críticos de requerimientos nutricionales específicos o en condiciones de stress que afectan el normal desarrollo del cultivo (Malavolta, 1998).

Para el cultivo de ají se recomiendan aplicaciones foliares, cada 12 días después de la siembra, con nutrimentos como  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , S,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{Zn}^{++}$ ,  $\text{Cu}^{++}$ , Mo y B (Trinidad y Aguilar, 1999). Así, los mecanismos de absorción foliar son muy parecidos a los que actúan en la absorción radical de nutrimentos. El transporte de los elementos absorbidos se hace por el floema, pero hay elementos como el  $\text{Ca}^{++}$  y los micronutrimentos que tienen poca o casi ninguna movilidad. La velocidad de absorción es influenciada por factores relacionados

con la planta misma, con el ambiente y con la composición de la solución. La urea presenta la difusión facilitada y debido a ella penetra más rápidamente (Malavolta, 1994).

### **3.8. FERTILIZACIÓN QUÍMICA**

Según Guerrero (1994) Las diferentes especies cultivadas no tienen los mismos requerimientos nutricionales, ya que la extracción de nutrientes varía considerablemente dependiendo de la especie cultivada. Sin embargo, los valores de extracción nutricional determinados experimentalmente para cada especie no pueden generalizarse, ya que dependen de varios factores, siendo los principales: 1. Rendimiento obtenido; 2. Variedad o híbrido; 3. Disponibilidad de agua; 4. Temperatura; 5. Tipo de suelo; 6. Disponibilidad de nutrientes y su balance en el suelo; 7. Población de plantas; 8. Tipo de labranza; 9. Control sanitario. En el ámbito del sentido común, las demandas nutricionales de las diferentes especies cultivadas influyen sobre la dosificación de fertilizante requerida para obtener máximo rendimiento, pero; al utilizarlos con este propósito, debe tomarse en cuenta las siguientes premisas conceptuales:

- La demanda nutricional depende del rendimiento obtenido lo cual, a su vez, está relacionado con múltiples factores genéticos, fisiológicos, edáficos, climáticos y agronómicos.
- Solamente una proporción de la cantidad de nutrientes extraída del suelo es exportada por la cosecha; el resto vuelve al suelo en reciclaje, dependiendo del cultivo y del elemento nutritivo.
- La extracción total del nutriente durante el ciclo productivo de un cultivo, constituye lo que se conoce como demanda interna. La demanda externa es diferente y no siempre existe correlación entre los dos parámetros.
- Los niveles de extracción de nutrientes, por sí solos, no son suficientes para estimar la dosificación de fertilizante requerida, ya que, la demanda de fósforo en los cultivos suele ser relativamente baja en comparación con el nitrógeno y potasio, pero con mucha frecuencia, la dosificación de P en el fertilizante duplica la de N y  $K^+$  (Guerrero, 1994).

Con base en lo expuesto, la demanda nutricional de los cultivos no es homogénea sino que varía con los estados fisiológicos de las diferentes especies cultivadas. Durante los dos primeros estados de crecimiento (Siembra – Trasplante y Desarrollo) los cultivos utilizan una mayor proporción de la absorción total de potasio, que la correspondencia a nitrógeno y fósforo, en esos mismos estados (Guerrero 1994).

Estos resultados destacan la importancia de un adecuado suministro de potasio durante los estados tempranos del crecimiento de las plantas. En los dos últimos períodos de desarrollo (Fructificación y Producción), la proporción de absorción de N y P superan a la de  $K^+$ . En consecuencia, la clave del éxito consistirá en disponer en el suelo con la suficiente cantidad de nutrientes, en las proporciones adecuadas, para cubrir las demandas nutricionales durante todo el ciclo productivo (Guerrero 1994).

De la misma manera, el estado fisiológico juega un papel muy importante en la demanda nutricional de los cultivos perennes. La extracción de nutrientes varía con respecto a la edad del cultivo (Marschner, 1998).

La disponibilidad de los nutrientes es fundamental para el desarrollo de los cultivos. El contenido de nutrientes del suelo depende del material y el proceso de formación del suelo, el contenido original del suelo, del abastecimiento y naturaleza de los fertilizantes, de la intensidad de la lixiviación y la erosión, de la absorción de los nutrimentos por parte de los cultivos y de la CIC del suelo (Guerrero, 1994).

Aunque la deficiencia de nutrimentos en muchos casos puede ser fácilmente corregida, los suelos con mejor disponibilidad natural de nutrimentos requerirán menores inversiones y, por lo tanto, muestran una aptitud natural para dar mejores rendimientos. El conocimiento de la necesidad de aplicar o no grandes cantidades de nutrimentos en forma de fertilizantes, comparada con la disponibilidad de recursos, es un factor determinante para la recomendación de uso de la tierra. Además de evaluar los contenidos y proporciones de cationes intercambiables ( $Ca^{++}$   $Mg^{++}$   $K^+$  y  $Na^+$ ) también será necesario evaluar el contenido de nitrógeno del suelo a través de la materia orgánica, el contenido de fósforo disponible, el contenido de micronutrientes esenciales y el valor de la CIC del suelo (Marschner, 1998).

### 3.9. FERTILIZACIÓN ORGÁNICA

La fertilización orgánica es la aplicación al suelo de materiales que contienen moléculas constituidas principalmente por átomos de carbono e hidrogeno, también pueden encontrarse constituidas por átomos de oxígeno, nitrógeno y azufre entre otros átomos (Bohn *et al.*, 1993). La fertilización orgánica es una alternativa que en muchos casos resulta de bajo costo y fácil de preparar, además presenta la ventaja de aumentar la cantidad de materia orgánica y microorganismos que se encuentran disponibles en el suelo (León, 1998). Gracias a los métodos de fertilización orgánica, el contenido de materia orgánica es generalmente más alto en los suelos trabajados orgánicamente que en los suelos de explotación tradicional, que han sido fertilizados exclusivamente con minerales. El alto contenido de materia orgánica contribuye además a evitar la acidificación del suelo (León, 1998).

El manejo orgánico mejora la estructura del suelo reduciendo el riesgo de erosión y beneficia la simbiosis de las raíces. Los suelos cultivados orgánicamente, muestran una actividad biológica (lombrices, hongos, bacterias, microorganismos) mucho mayor que los labrados en forma tradicional, además, una mayor cantidad de predadores ayuda a controlar los organismos dañinos (León, 1998).

Sin embargo, la base de los programas de fertilización debe estar formada por materiales biodegradables de origen microbiano, vegetal o animal, las principales fuentes de humus que aparecen en el Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica son: Abonos orgánicos (estiércol, residuos de cosechas, abonos verdes, compost, lombricompost, Algas marinas y derivados, guano de aves, subproductos orgánicos de la industria alimentaria y textil, siempre que no estén contaminados ni tengan aditivos químicos; aserrín, virutas y cortezas, si proceden de madera no tratada. Por otro lado, los abonos minerales que autoriza el Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica son los que se enumeran a continuación: rocas en polvo, enmiendas calcáreas, magnésicas y de azufre o yeso, algas calcáreas, fosfatos naturales, cenizas de madera, escorias Thomas, mineral magnésico, mineral potásico con bajo contenido en cloro y oligoelementos (Salisbury y Ross, 1994).

La aplicación de ácidos húmicos de leonardita (AHL) es una alternativa utilizada en los últimos años, por parte de los cultivadores de banano (*Musa AAA*) en el área de la cuenca del Lago de Valencia. El empleo de esta práctica es consecuencia de la penetración comercial, en el área, de empresas que comercializan estos ácidos. En este sentido el productor ha recibido información acerca de que el uso de estos materiales permite mantener o incrementar los contenidos de materia orgánica del suelo (MOS). Los AHL son obtenidos comercialmente a partir de la roca leonardita, en Venezuela es posible obtener soluciones al 15 % de dichos ácidos. La leonardita es una roca formada por oxidación de lignitos fósiles, a partir de la misma y por procesos industriales que incluyen homogeneización y tratamientos con agua y soluciones alcalinas se obtienen los ácidos húmicos (AH) que se expenden comercialmente. Los agricultores de banano de la zona antes mencionada efectúan, por recomendación de las comercializadoras, aplicaciones de estos ácidos cada tres meses durante el ciclo de producción de la planta, es decir cuatro aplicaciones por año. Se parte del supuesto que dichas aplicaciones generan ventajas tales como incrementos en el contenido de MOS así como una mayor reactividad de la misma (Rivero *et al.*, 2004).

Las sustancias húmicas del suelo constan de una mezcla heterogénea de compuestos, en la que cada fracción (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas) está constituida por moléculas de tamaños diferentes, y su estructura depende considerablemente tanto de los materiales orgánicos presentes en el suelo, como de las diferentes condiciones ambientales (Rivero *et al.*, 2004).

También, las sustancias húmicas tienen efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso. Cuando se refiere al efecto sobre las propiedades químicas del suelo, los autores mencionan que aumenta la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas. Y en cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas, favorece los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un

sistema ecológico equilibrado. Estos efectos de la materia orgánica también han sido sugeridos por otros autores (Anónimo, 1988; Graetz, 1997).

El término bioestimulante se refiere a sustancias que a pesar de no ser un nutriente, un pesticida o un regulador de crecimiento, al ser aplicadas en cantidades pequeñas generan un impacto positivo en la germinación, el desarrollo, el crecimiento vegetativo, la floración, el cuajado y/o el desarrollo de los frutos (ICA, 2003).

### **3.10. FERTIRRIGACIÓN O FERTIRRIEGO**

Está claro, que la aplicación de fertilizantes (Sales nutritivas) de alta solubilidad en el agua de riego, como práctica, es una consecuencia de la utilización de los riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) en la producción intensiva de los cultivos. Su objetivo es la aplicación de nutrientes químicos para suplir las necesidades nutricionales de los cultivos (Amezquita, 1994).

La aplicación no debe resultar en taponamientos o corrosión del sistema de tubería o de alguno de sus componentes y para que el método sea eficiente, los fertilizantes finalmente deben ser uniformemente distribuidos a través del campo. Dicha uniformidad de distribución depende de la eficiencia de la mezcla, de la uniformidad de la aplicación del agua y de las características de flujo del agua y de los fertilizantes en la distribución. Los fertilizantes pueden ser inyectados al sistema de irrigación por dos métodos: presión diferencial o sistema venturi y por bombeo (Amezquita, 1994).

Entre tanto, la fertirrigación cobra cada vez más importancia sobre todo en cultivos de producción intensiva como las hortalizas, en donde, el objetivo es mantener condiciones de cultivo controladas, con el propósito de aumentar productividad y calidad con fines de exportación (Gómez, 2006). El agua es el vehículo de transporte de los elementos nutritivos desde el suelo a través de las raíces, que asciende vía xilema a las hojas y demás órganos aéreos de las plantas para elaborar sustancias orgánicas, y luego distribuirse vía floema y acumularse en determinados sitios. Para que este proceso ocurra, es indispensable que la relación suelo – agua – clima – ambiente sea adecuada y que no se presente carencia de agua y nutrientes en el suelo (Gómez, 2006). El agua es el elemento básico de la

fertirrigación y de su composición fisicoquímica depende en gran medida la eficiencia del proceso así:

- Nutrición: el aporte nutricional por la calidad de agua es fundamental particularmente si la concentración de iones es apreciable, lo que puede incidir en la disolución de los fertilizantes.
- Salinidad: es otro factor importante y es una de las variables de monitoreo tanto en aplicación como en muestreo durante todo el periodo de aplicación de fertirriego, se utiliza un índice de conductividad eléctrica que define su clasificación (Gómez, 2006).

### 3.10.1. Compatibilidad de fuentes utilizadas en fertirrigación

Es indispensable para los fertilizantes usados en fertirrigación, la alta solubilidad a fin de que no se presenten obstrucciones en emisores (goteros, aspersores), sino que se forme una verdadera solución nutritiva. Otro aspecto es la compatibilidad de los fertilizantes cuando se combinan entre si e inclusive con la composición química del agua de riego, en la tabla 7 se muestra la compatibilidad de algunas fuentes nutritivas (Gómez, 2006).

**Tabla 7. Compatibilidad de fuentes nutricionales usadas en fertirrigación**

Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Sulfato de amonio	Nitrato de amonio cálcico	Nitrato de potasio y sodio	Nitrato de calcio	Cianamida de calcio	Urea	Superfosfato, fosfato triple	Fosfato de amonio	Escorias básicas	Fosfato rhenania	Hiperfosfatos	Carbonato de calcio	
A	A	A	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	Cloruro de potasio
A	A	A	B	B	B	A	B	A	A	A	A	A	A	Sulfato de potasio
A	A	A	A	B	B	C	B	A	A	C	C	B	C	Sulfato de amonio
B	B	A	A	B	B	C	B	A	A	C	B	A	A	Nitrato de amonio cálcico
B	B	B	A	A	A	B	B	A	A	A	A	B	A	Nitrato de potasio y sodio
B	B	B	B	B	A	B	B	C	C	B	B	B	B	Nitrato de calcio
B	A	C	C	B	B	A	B	C	C	A	A	A	A	Cianamida de calcio
B	B	B	B	B	B	B	A	B	B	B	B	B	C	Urea
A	A	A	B	B	C	C	B	A	A	C	C	C	C	Superfosfato, fosfato triple
A	A	A	B	B	C	C	B	A	A	C	C	C	C	Fosfato de amonio
A	A	C	C	A	B	A	B	C	C	A	A	A	A	Escorias básicas
A	A	C	B	A	B	A	B	C	C	A	A	A	A	Fosfato rhenania
A	A	B	A	A	B	A	B	C	C	A	A	A	A	Hiperfosfatos
A	A	C	A	A	B	A	C	C	C	A	A	A	A	Carbonato de calcio



A: Fertilizantes factibles de mezclarse, B: Fertilizantes factibles de mezclarse en corto tiempo antes de usarse, C: Fertilizantes no factibles de mezclarse por razones químicas  
Fuente: (Gómez, 2006).

### **3.11. BIOFERTILIZACIÓN**

Los biofertilizantes pueden definirse como productos a base de microorganismos que viven normalmente en el suelo, aunque en poblaciones bajas y que al incrementar sus poblaciones por medio de la inoculación artificial son capaces de poner a disposición de las plantas, mediante su actividad biológica, una parte importante de las sustancias nutritivas que necesitan para su desarrollo así como suministrar sustancias hormonales o promotoras del crecimiento (Castilla, 2006).

La importancia de estos bioproductos radica en su capacidad para suplementar o movilizar nutrientes con un mínimo uso de recursos no renovables, además tiene las ventajas de que los procesos microbianos son rápidos y los biopreparados pueden aplicarse en pequeñas unidades para solucionar problemas locales específicos (Castilla, 2006).

La biofertilización es una alternativa muy viable para nuestro medio, lo cual permite darles a las plantas los nutrimentos necesarios, reducir costos de producción y disminuir el efecto contaminante ambiental.

Según la red de acción en alternativas al uso de agroquímicos (RAAA, 2006), la biofertilización consiste en el uso de microorganismos para mejorar la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrimentos para las plantas en la solución del suelo, como las bacterias que fijan el nitrógeno atmosférico (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*), algas (*Azolla*) y hongos que viven en las raíces de las plantas (micorriza) y solubilizadores de fósforo, permitiéndoles absorber mejor los nutrimentos y protegiéndolos contra las enfermedades (Castilla, 2006).

Desde el punto de vista de sus relaciones con las plantas, los microorganismos del suelo se dividen en tres grandes grupos: a) saprofitos, que utilizan compuestos orgánicos procedentes de residuos de animales, vegetales o microbianos; b) simbioses parasíticas o "patógenos", causantes de enfermedades a las plantas; c) simbioses, los cuales benefician el desarrollo y nutrición vegetal (Sánchez *et al.*, 2006).

Entre los beneficios para el sistema suelo-planta, pueden citarse los siguientes:

- Estimulación de la germinación de las semillas y del enraizamiento.
- Incremento en el suministro y disponibilidad de nutrientes
- Mejora de la estructura del suelo como consecuencia de la contribución microbiana en la formación de agregados estables.
- Protección de la planta frente a estrés hídrico y abiótico

La fuente de dichos beneficios en general es atribuible a las colonias bacterianas y actinomicetos, relacionados con la mineralización del sustrato orgánico y procesos metabólicos y fisiológicos en la rizósfera. Así las bacterias rizosféricas, conocidas en la literatura como *PGPR* (del inglés "Plant Growth Promoting Rhizobacteria"), desempeñan funciones importantes para la planta (solubilización de fosfatos, fijación de nitrógeno y control biológico de patógenos), al facilitar la emergencia o el enraizamiento; además, se conoce que bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrizógenos son los componentes más destacados entre los simbioses mutualistas.

Los hongos de tipo micorriza arbusculares (HMA), una vez que colonizan la raíz desarrollan un micelio externo que la conecta con los variados microhábitas del suelo, permitiendo una mayor disponibilidad de nutrientes (fósforo y nitrógeno fundamentalmente), protección frente a estreses bióticos y abióticos. Las bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium*, *Frankia* y de vida libre) efectúan su función en la rizósfera de las plantas a las cuales les incorporan altas cantidades de nitrógeno.

La fertilidad y el funcionamiento de los suelos dependen en una gran proporción de las propiedades bioquímicas y microbiológicas, ya que son muy importantes para definir las principales funciones edáficas: productiva, filtrante y degradativa. Por lo tanto, la actividad biológica y bioquímica del suelo es de importancia capital en el mantenimiento de la fertilidad del hábitat terrestre y consecuentemente del funcionamiento de los ecosistemas forestales y agrícolas.

### **3.11.1. Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares**

Se conoce, que el componente principal de las comunidades microbianas rizosféricas está representado por los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), los cuales establecen simbiosis con las plantas y son de gran importancia para su nutrición y desarrollo, por lo cual son utilizados principalmente como complemento de programas de fertilización. No obstante, dichos hongos ofrecen ventajas adicionales tales como control biológico de fitopatógenos, biorremediación de suelos con presencia de metales pesados y compuestos orgánicos contaminantes, recuperación de suelos degradados, entre otras, lo que ha generado gran interés por implementar su producción masiva y utilización comercial (Sánchez *et al.*, 2006).

Inicialmente, los factores limitantes en el manejo práctico de las micorrizas en la producción vegetal han sido el desarrollo de métodos simples para su aplicación en suelo o en las raíces de las plantas, así como la disponibilidad de un inóculo asequible y de buena calidad, obtenido a escala industrial. En este sentido, desde la década pasada, muchos de los problemas asociados con la producción han sido resueltos en mayor o menor proporción, permitiendo alcanzar una producción de buena calidad aplicable en diversos mercados (Marx *et al.*, 2002), siendo su uso principal como biofertilizantes, es decir insumos biológicos que favorecen la conservación y desarrollo de cultivos y plantaciones, reduciendo considerablemente los posibles problemas de contaminación que ocasiona la aplicación intensiva de insumos químicos (Guerrero, 1996; Bolaños y Luna, 2007).

Adicionalmente, la producción industrial de HMA es un proceso que involucra además de desarrollo biotecnológico, el cumplimiento de requerimientos legales, éticos, académicos y comerciales, que exigen aporte considerable de investigación en metodologías y estrategias para monitorear el comportamiento del inóculo en campo, aumentar el conocimiento de la ecofisiología de la HMA en ecosistemas intervenidos por el hombre y en su interacción con otros microorganismos rizosféricos, seleccionar nuevas variedades de plantas hospederas con características óptimas de micorrización y de cepas de HMA con características simbióticas excepcionales, así como en propender por un incremento general en la toma de conciencia del potencial que ofrecen dichos hongos para lograr una producción sostenible y conservación del suelo (Gianinazzi y Vosátha, 2004).

La dependencia de las plantas a los HMA involucra considerar tres elementos principales del sistema, esto es, la planta hospedera, el hongo asociado y el sustrato donde la simbiosis se desarrolla, resulta de utilidad iniciar el recorrido por los elementos involucrados en el proceso de producción industrial de éstos microorganismos, señalando que a pesar de la distribución universal de la simbiosis, no todas las plantas hospederas responden de la misma manera a la asociación con estos hongos. Algunas especies de plantas no forman simbiosis con HMA, (familias *Cruciferaeae*, *Brassicaceae*, *Chenopodiaceae* y *Caryophyllaceae*), encontrando que incluso plantas de interés comercial como la canola, que pertenece a la segunda familia, no forma dicha simbiosis (Sánchez *et al.*, 2006).

Adicionalmente, las especies de plantas difieren en sus requerimientos de fertilización y en consecuencia, su dependencia micorrícica varía considerablemente de un cultivo a otro. Un punto interesante al momento de considerar los HMA como inoculantes es la dependencia permanente de una planta hospedera para su desarrollo lo que supone un trabajo especial del productor dedicado a la escogencia de una planta hospedera altamente efectiva para generar la simbiosis (altas tasas de colonización en poco tiempo), así como una labor investigativa robusta para obtener información de la eficiencia de la aplicación de su inóculo a diferentes cultivos de interés comercial (Sánchez *et al.*, 2006).

El potencial de aplicación de HMA y su utilización en cultivos agrícolas, un punto fundamental que los productores de inóculo comercial de HMA deben tener muy claro desde el comienzo de su proyecto de producción industrial es el efecto de dicho inóculo sobre las plantas tratadas. La aplicación de HMA estimula el desarrollo de las plantas principalmente mediante el aumento del área superficial de absorción (con la consecuente optimización en la búsqueda y toma de nutrientes disponibles en la solución del suelo), la producción de enzimas para mineralización de compuestos orgánicos y favoreciendo la agregación y estabilidad del suelo (Sylvia, 1998).

Guerrero (1996) también señaló que a pesar de todos los posibles efectos benéficos, es importante aclarar que por tratarse de un insumo biológico, el inóculo micorrícico tienen características básicas que lo distinguen de fertilizantes químicos fosforados, y que determinan un manejo específico así como unos resultados diferenciados con respecto a una fertilización química típica, especialmente porque más que un sustituto, el bioinsumo

con HMA se considera un complemento de la fertilización química, ya que la aplicación combinada reduce las dosis de este último, manteniendo el mismo efecto. Las diferencias principales tienen que ver con que el inóculo fúngico es un producto relativamente perecedero en condiciones de almacenamiento y con que los efectos de la inoculación no se manifiestan en los mismos tiempos observados para la fertilización química, aunque al final, el resultado esperado en cuanto a la productividad por lo general es similar.

En la actualidad se acepta ampliamente que los HMA deben ser considerados en el diseño de sistemas agrícolas, en especial porque se ha observado que las prácticas modernas de agricultura tales como rotación de cultivos, aplicación de plaguicidas, arado y fertilización química, afectan la calidad de los propágulos de HMA infectivos, así como el número de especies fúngicas que sobreviven a este tipo de prácticas en el suelo. Es así como la aplicación de diferentes inóculos de HMA se ha empleado para compensar la situación mencionada, observando que la efectividad del inóculo como tal y su efecto en el incremento de la producción de los cultivos post – inoculación están relacionados principalmente con la fertilización inicial del suelo (especialmente el contenido de P), la aplicación de plaguicidas, las poblaciones nativas de HMA presentes, la capacidad de colonización de las cepas introducidas y su habilidad para sobrevivir en el suelo antes de entrar en contacto con las raíces (Marx *et al.*, 2002).

Inoculantes comerciales de HMA: a continuación se presenta una lista de los requerimientos que debe cumplir el inóculo antes de implementar su producción y uso a escala comercial (Marx *et al.*, 2002; Dalpe y Monreal, 2003; Gianinazzi y Vosátka, 2004):

- Idealmente debería ser una mezcla de diferentes especies de hongos adaptadas a las diferentes propiedades del suelo. Esto permite a las inoculaciones ser efectivos a través de un amplio espectro de condiciones ecológicas. En la formulación final el número de propágulos de cada hongo debe ser conocido.
- Debe tener un efecto positivo sobre la supervivencia, el crecimiento o la salud de la planta. Si se usa de manera preventiva, anticipándose a posibles condiciones de estrés presentes en la planta, el tratamiento debe mantener su vigor.
- Debe tener una viabilidad significativa en condiciones de almacenamiento, de tal forma que su efecto se mantenga durante el tiempo transcurrido entre la producción y su

aplicación en campo. Cabe anotar que afortunadamente, las esporas de micorrizas en general tienen una gran longevidad en condiciones de almacenamiento y en el suelo, en comparación a otros propágulos.

- Debe ser económico y práctico de utilizar. No obstante, permanece como un problema latente el hecho que los costos asociados al mantenimiento en un sistema in vivo de propagación de plantas, puede impedir que los costos sean competitivos en comparación con los de los fertilizantes fosforados.
- Aunque uno de los requisitos esenciales que debe cumplir el inóculo es un estricto control sanitario, por lo general, en la actualidad los inóculos producidos usando cultivos en materos (Invernaderos, cámaras de crecimientos, campo) no están completamente libres de microorganismos externos, a pesar del uso de sustancias para su control. Por lo anterior algunos agricultores evitan el uso de inóculos que contenga fragmentos de raíces. No obstante, dichos propágulos pueden ser desinfectados superficialmente, sin afectar su efectividad.

### **3.11.2. Solubilizadores de fósforo**

La formación y funcionamiento del suelo dependen de la gran cantidad de interacciones que ocurren entre sus componentes orgánicos e inorgánicos, vivos y no vivos. Ciertos elementos requeridos por la biota, como el fósforo (P), se encuentran presentes en grandes concentraciones, pero en formas que no son fácilmente asimilables por las raíces de las plantas (Lavelle, 2001), las cuáles comprenden la parte más extensa de biomasa viva del suelo, donde actúan como “organismos heterotróficos” que obtienen energía y carbono a partir de la parte superior de la planta y nutrientes necesarios y agua a partir del suelo.

La interacción planta – microorganismos a menudo se entiende como un proceso en donde los azúcares y demás sustancias solubles provenientes de la planta son intercambiados por nutrientes obtenidos de la descomposición de residuos vegetales y animales, mediante la actividad microbiana de mineralización (Asunuma *et al.*, 1980; Walter *et al.*, 2003). No obstante, la disponibilidad de estos nutrientes es limitada y su permanencia en la solución del suelo es corta, debido a múltiples procesos físico químicos de fijación que ocurren permanentemente en éste ecosistema. De ahí la importancia de ciertos grupos funcionales

de microorganismos que median la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas como el fósforo.

El fósforo en el suelo: el contenido promedio de fósforo (P) en el suelo es aproximadamente del 0.05 % del peso total, pero de éste, sólo un 0.1 % está disponible para las plantas y después del nitrógeno (N), la deficiencia de P es uno de los factores químicos más importante que pueden restringir su crecimiento. Las formas de P presentes en el suelo se transforman de manera continua por la acción de condiciones específicas del medio, así, las formas inorgánicas del fósforo dependen principalmente del pH. En suelos ácidos se encuentran asociadas con compuestos del Al y  $Fe^{++}$ , mientras que en suelos calcáreos forman fosfatos de  $Ca^{++}$  (Bohn *et al.*, 1993; Prasad y Power, 1997; Osorio, 2004). Por su parte, el fósforo orgánico, se encuentran principalmente en forma de inositol (1 al 62 %), como ácidos nucleicos (0.2 – 1.8 %) y fosfolípidos y otras moléculas (-5 %), estimado que el 30 – 50% restante puede haber parte estructural de los microorganismos (Kloepper, 1993)

El fósforo en las plantas: el P se absorbe fácilmente como ión monovalente fosfato  $H_2PO_4$  y en menor grado como  $HPO_4^{-2}$ , Gran parte del fósforo se convierte a formas orgánicas cuando es absorbido por la raíz o después de ser transportado por el xilema a tallos y hojas. En contraste con lo que ocurre con el nitrógeno y el azufre, el fósforo nunca se reduce en las plantas, ya que permanece como fosfato libre o unido a formas orgánicas como los ésteres. En las plantas el fósforo es constituyente primario de muchos glucofosfatos que participan en la fotosíntesis, la respiración y varios procesos metabólicos, además de formar parte de los nucleótidos y de fosfolípidos de membrana. Así mismo, hace parte esencial del metabolismo energético ya que constituye parte de las moléculas de ATP, ADP, AMP y pirofosfato (Salisbury y Ross, 1994).

Las deficiencias de fósforo en las plantas se expresan en un notable retardo de la madurez, enanismo y raíces débiles. Para suplir las deficiencias naturales de fósforo, las plantas hacen una eficiente translocación de este elemento desde las partes senescentes de la planta hasta las nuevas estructuras, por tanto sus síntomas se manifiestan principalmente en las partes más maduras de la planta (Azcon – Bieto y Talón, 2000).

Por tanto, la fijación del fósforo en el suelo es un proceso natural que puede llevar a una deficiencia de este elemento aun cuando el contenido total de fósforo en el suelo pueda ser alto. La fijación fosfórica es un proceso específico de absorción que ocurre principalmente en los suelos con altos contenidos de óxidos de hierro, hematita, goethita, y óxidos de aluminio, gibsita y minerales arcillosos principalmente caolinita. Estos suelos son típicos de zonas tropicales y subtropicales. A un bajo nivel de pH tienden a fijar los fosfatos y aumentando el pH del suelo por medio de la aplicación de cal y materia orgánica, la absorción específica del fosfato se reduce.

El papel de los microorganismos en la solubilización de fosfatos: en diferentes plantas se han demostrado los beneficios de la interacción con microorganismos en condiciones de deficiencia de P, la cual incide de manera benéfica en la toma del P disponible como en el caso de los hongos micorrizicos HM (Duponnoisa *et al.*, 2005), o haciendo que las fuentes de P se vuelvan disponibles para la planta, papel desarrollado por hongos levaduriformes, filamentosos, bacterias y actinomicetes (Whitelaw, 1999), que tienen la capacidad de solubilizar complejos de fosfatos minerales insolubles, especialmente los formados con calcio. Adicional a su papel directo sobre la solubilización del P, los microorganismos implicados pueden mejorar el crecimiento de las plantas al incrementar la eficiencia de la fijación simbiótica de nitrógeno, aumentar la disponibilidad de otros elementos traza como  $Fe^{++}$  y  $Zn^{++}$ , además de producir sustancias promotoras del crecimiento vegetal (Gyaneshwar *et al.*, 2002).

**3.11.2.1 *Penicillium janthinellum*:** Hongo filamentoso, Se encuentra comúnmente en el suelo y puede ser aislado de una gran variedad de sustratos como frutas. Algunas cepas, que provienen de suelos ácidos, presentan actividad solubilizadora de fosfato de calcio en medio de cultivo (Vera, 1999). Colonia con superficie de color amarillo fuerte, que a medida que envejece se torna violeta. El reverso de la colonia es violeta. Luego de 4 días de crecimiento en agar maltosa 4 %, a 25 °C, el diámetro de la colonia es de 3 cm. Produce pigmento difusible al medio de color violeta. El micelio es algodonoso y denso. Produce esclerocios en masas pequeñas y uniformemente distribuidas, el micelio crece alrededor de estas masas en forma estrellada. En este medio, bajo las condiciones ya mencionadas, el hongo no esporula. En agar glucosa-asparagina las colonias presentan en el anverso una coloración verde-azulada, debido a la esporulación.



El micelio es de color crema. Luego de 14 días de incubación a 25 °C el diámetro de la colonia es de 6,8 cm. La esporulación le confiere una apariencia algodonosa a la colonia, se observan surcos radiales y desaparecen los esclerocios. Los conidióforos son erectos, de coloración verde y de 125-281 x 3 µm, generalmente con dos a tres fiálides. Fiálides escasas, con bases semiaguzadas y terminando con un cuello triangular corto, de tamaño variable 4-14 x 1,6-1,9 µm. Conidios globosos a subglobosos, de color verde, con un diámetro de 1,2-2,8 µm, que forman cadenas largas. Clamidosporas intercalares globosas, de paredes muy gruesas y un tamaño de 15-15,6 µm. Dentro de este género hay varias especies utilizadas en la elaboración de quesos (Roquefort, Brie, Camembert, Stilton). La especie *P. chysogenum* produce el antibiótico Penicilina. Aquellas cepas con capacidad solibilizadora de fosfato tendrían un uso potencial como bioinsumo en la elaboración de biofertilizantes (Sánchez *et al.*, 2006).

### **3.11.3. Fijadores de Nitrógeno**

La deficiencia del nitrógeno en las plantas detiene su desarrollo y se manifiesta principalmente como una clorosis generalizada especialmente en las hojas más senescentes, no obstante, las hojas más jóvenes permanecen verdes durante mayor tiempo gracias a que reciben formas solubles de nitrógeno provenientes de las hojas más antiguas (Azcon – Bieto y Talón, 2000).

De otro lado, (Kennedy *et al.*, 2004) propone que los biofertilizantes y particularmente, la utilización de microorganismos FBN, pueden asegurar en buena medida el suministro de los nutrientes para el rendimiento de los cultivos. Existe la necesidad de proporcionar N adicional ya sea mediante la utilización de productos comerciales de origen químico o por FBN para suplementar la baja disponibilidad de N, la cual depende principalmente de la cantidad de N inorgánico al subsuelo, la magnitud de la desnitrificación del suelo como N<sub>2</sub>O o N<sub>2</sub>, la extensión y duración del N inmovilizado y su tasa de removilización en la biomasa del suelo. En términos generales el complejo enzimático de la nitrogenasa (CEN) se caracteriza porque contiene elementos como hierro, molibdeno, o vanadio y requiere iones de Mg<sup>++</sup> para ser activado. Durante su funcionamiento transforma el ATP a ADP, reduce el dinitrógeno y pequeñas moléculas con triple enlace y reduce H<sup>+</sup> a H<sup>2</sup>, aún cuando el dinitrógeno está presente (Sylvia, 1998).

El CEN requiere de una abundante fuente de energía, estas fuentes de energía pueden provenir desde el metano hasta de carbohidratos complejos, de tal forma que en algunos casos la fuente de carbohidratos en muchos hábitats limita la fijación no simbiótica del nitrógeno. En cuanto a las fuentes de carbono para la FBN por bacterias heterótrofas, estas provienen principalmente de residuos vegetales, descomposición de raíces del suelo y del carbono emitido por la actividad de la raíz (Sylvia, 1998).

**3.11.3.1. *Azotobacter chroococcum*:** es una bacteria fijadora de nitrógeno atmosférico que presenta la capacidad de utilizar determinados compuestos fenólicos como fuente de carbono y energía. Este género comprende bacterias grandes, levaduriformes, aerobias estrictas, no esporógenas y Gram negativos; son mesófilas y su temperatura óptima de desarrollo es de 30 °C. La eficacia media en relación con el N<sub>2</sub> fijado por unidad de azúcar descompuesto es de 5 – 10 g, lo cual se cataloga como bajo. El pH óptimo de crecimiento es de 6 y a niveles inferiores disminuyen las cantidades de N<sub>2</sub> fijado y hasta puede inhibirse su actividad metabólica (Martínez-Viera, 1986; Mayea *et al.*, 1998). La capacidad de fijación de N<sub>2</sub> por estas bacterias varía considerablemente en dependencia de la composición del medio, su acidez, temperatura y aireación, de la presencia de N combinado, de la naturaleza de las fuentes de carbono, microelementos y de la acción de organismos antagonicos en el medio.

Sin embargo, el efecto de diferentes fuentes de carbono sobre la fijación de N<sub>2</sub> depende de la estructura de las sustancias orgánicas y de las reservas de energía química utilizable que contiene, siendo también importantes los procesos de oxidación de la materia orgánica durante la respiración (Martínez-Viera, 1986). Según este autor, la propagación de estas bacterias está relacionada estrechamente con la presencia en el medio de suficientes cantidades de fósforo (P) y potasio (K<sup>+</sup>), siendo mayor el efecto del P, cuya escasez o ausencia puede hasta inhibir el desarrollo del cultivo. Este elemento estimula el metabolismo del carbono, la multiplicación y la fijación de N<sub>2</sub>. Las cantidades necesarias de K<sup>+</sup> son menores, cuando existen altas concentraciones de este en el suelo se inhibe el desarrollo de las bacterias fijadoras, dependiendo del grado de toxicidad de la fracción aniónica de sal. Los requerimientos de microelementos son notables, el molibdeno (Mo) es esencial para la mayoría de las cepas de este género, tanto cuando crecen sobre medios libre de nitrógeno

como cuando se desarrollan sobre nitratos, aunque las necesidades son mayores en ausencia de nitrógeno combinado.

Según Rodelas (2001), dentro del grupo de los fijadores de vida libre el género *Azotobacter* presenta la capacidad de fijar  $N_2$  atmosférico cuando en el suelo existen suficientes cantidades de materia orgánica, ya que en suelos poco fértiles con escaso contenido de materia orgánica no se obtiene efecto agronómico positivo.

González y Lluch (1992) reportan que el género *Azotobacter* presenta alta capacidad de biodegradación, muy especialmente para la oxidación de compuestos fenólicos sustituidos. Este hecho resulta de especial interés, basándose en recientes observaciones que muestran como estas bacterias aumentan su actividad biológica (incluyendo la capacidad fijadora de  $N_2$ ) en suelos agrícolas adicionados de residuos que poseen un alto contenido en sustancias fenólicas, pudiéndose sugerir que estos microorganismos pueden contribuir a la biotransformación de este tipo de residuos cuando se usen como fertilizantes. En este contexto estos diazótrofos están considerados por algunos investigadores como bacterias ciertamente ideales para los procesos de descontaminación de suelos agrícolas con sustancias xenobióticas.

**3.11.3.2. *Azospirillum* sp.:** Las bacterias del género *Azospirillum* sp. han sido conocidas por muchos años como PGPR y fijan nitrógeno en condiciones microaerófilas, con bajos niveles de nitrógeno (Bashan, 1999). Este género presenta un metabolismo muy versátil para incorporar diversas fuentes de C, N y una alta movilidad hacia condiciones nutricionales favorables. *Azospirillum* sp. exhibe quimiotaxis positiva hacia ácidos orgánicos, azúcares, aminoácidos y compuestos aromáticos, así como exudados rizosféricos. Esto hace que se adapte muy bien en un ambiente muy competitivo como la rizósfera (Steenhoudt y Vanderleyden, 2000). Y aún cuando se considera como un microorganismo típicamente rizosférico, tiene la facultad de ser endófito (Bashan, 1999). No obstante aun faltan estudios referentes a los factores que afectan la supervivencia en el suelo de PGPR (Stotzky, 1997).

Se ha observado que la inoculación con *Azospirillum* sp. genera una alteración en la morfología de la raíz, atribuida a la producción bacteriana de reguladores de crecimiento. Un

aumento en el número de raíces laterales y del sistema radical incide en una mayor superficie disponible para nutrientes. Este aumento en la toma de nutrientes y en el estado hídrico de la planta podría ser el principal factor que fortalece su crecimiento (Steenhoudt y Vanderleyden, 2000).

#### **3.11.4. Actividad microbiana (respiración) C – CO<sub>2</sub>**

La actividad microbiana del suelo puede ser estimada indirectamente en la determinación de la respiración basal. Esta consiste en determinar la producción de O<sub>2</sub> en el medio o bien la concentración de CO<sub>2</sub> desprendido (función de la actividad biológica y del contenido del suelo en carbono orgánico fácilmente mineralizable), mediante la técnica de incubación estática que captura el producto de mineralización en una solución alcalina durante un periodo de tiempo bajo condiciones ambientales óptimas (Alef y Nannipieri, 1995; García *et al.*, 2003).

Comúnmente se analiza la tasa de evolución de CO<sub>2</sub> proveniente de la mineralización del sustrato orgánico del suelo. El flujo de CO<sub>2</sub> teóricamente representa una medición integrada de la respiración de raíces, respiración de la fauna del suelo y la mineralización del carbono desde las diferentes fracciones de la materia orgánica del suelo y del mantillo. Las mediciones también proveen una indicación sensitiva de la respuesta de la actividad microbiana a variaciones de temperatura y humedad, los efectos de humedecimiento – secado, la aplicación de agroquímicos o elementos metálicos, la exudación de sustancias supresoras y el manejo del medio, entre otros (García *et al.*, 2003; Peña, 2004).

La respiración continúa siendo el método más popular que se usa como indicador de la actividad microbiana y de la descomposición de sustratos específicos del suelo. Estos parámetros indican de manera fehaciente la mineralización que ocurre en el sustrato orgánico del suelo y son indicadores de la calidad de la materia orgánica y salud del suelo.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación hizo parte del proyecto “Desarrollo de la producción y calidad de ají en el Valle del Cauca a partir del manejo integrado de la fertilización (edáfica y fertirriego) que se desarrollo por parte de Corpoica, la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira y Asalgodon. La investigación se realizó en dos fases, la primera fase de invernadero donde se realizó un experimento con el objetivo de obtener un tratamiento ideal para producción de plántulas de calidad, las cuales se utilizarían para desarrollar un segundo experimento en campo que permita obtener un tratamiento que logre los máximos rendimientos, el cual podría ser un punto de partida para las recomendaciones de fertilización en estas dos variedades de ají.

### 4.1. LOCALIZACIÓN

El presente estudio de investigación se realizó en la finca El Samán. (Figura 1).

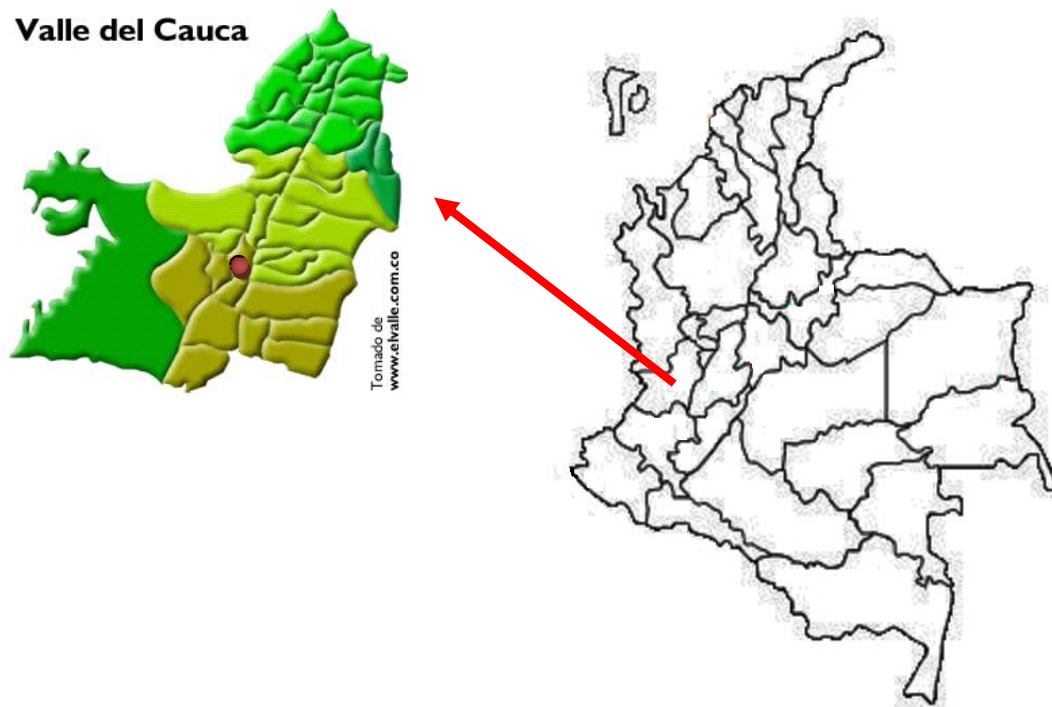


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio

Esta finca se localiza en el municipio de Vijos, zona centro del Valle geográfico del río Cauca, a una altitud entre 900 y 1000 m.s.n.m. con un área de 45 ha. Con temperatura promedio anual de 23 °C y precipitación pluvial de 300 – 500 mm/año. Se localiza a los 3° 28' 14" latitud norte y 76° 48' 11" de longitud oeste. Las zonas experimentales presentan relieve de topografía plana; el cual se encuentra dentro de la clasificación agroecológica de bosque seco tropical (Bs - T) (Holdridge, 1975).

## 4.2. TIPOLOGÍA DE SUELOS

Se realizó el reconocimiento del suelo se preparó una calicata con el fin de clasificarlo taxonómicamente (Figura 2),



**Figura 2. Muestreo de suelos para clasificación taxonómica**

### 4.2.1. Estudio taxonómico de los suelos de la Finca El Samán (Figura 3)

En la clasificación del suelo se trabajó con el estudio detallado de suelos del Valle del Cauca IGAC – CVC (2004) y las claves de clasificación de USDA (2006). El sistema de clasificación utilizado se fundamenta en la génesis del suelo, las características diagnósticas como: los horizontes diagnósticos (endopedones y epipedones) y clima edáfico (regímenes de temperatura y humedad del suelo). El objetivo fundamental de este estudio de clasificación era conocer las características del tipo de suelo (perfil del suelo) tabla 8 en el cual se montarían posteriormente los experimentos en campo.

### Descripción del perfil de la muestra de suelo en estudio

Localización:	Municipio de Vijes (Valle del Cauca)
Coordenadas:	N 3° 28' 14" y W 76° 48' 11"
Altitud:	957 m.s.n.m.
Posición fisiográfica:	plana con algunas ondulaciones
Topografía circundante:	plana con aluviones mixtos
Pendiente:	de 1 a 3
Vegetación o uso:	Cultivo de Ají
Material original:	depósitos superficiales clásticos hidrogénicos (aluviones mixtos)
Drenaje:	Moderado
Condiciones de humedad	Údico permanece seco más de 90 días
Pedregosidad:	No
Afloramientos rocosos:	sin piedras clase 0
Erosión:	No
Orden:	Molisol
Suborden:	Udolls
Clasificación:	Typic Hapludolls

**Tabla 8. Descripción del perfil**

Horizonte	Profundidad en Centímetros	Descripción del perfil
<b>(Ap)</b>	0 – 35	Color negro (5Y 4/1) seco, (7.5YR 2.5/1) húmedo, clase textural arcillosa, estructura en bloques subangulares débilmente desarrollados y reacción ligeramente ácida, plástica, alta presencia de raíces, poros escasos.
<b>(Bw)</b>	35 – 83	Color gris muy oscuro (2.5YR 3/1) seco, (2.5YR 3/1) húmedo, clase textural arcillosa estructura en bloques subangulares fuertemente desarrollados y reacción neutra, plástica, no hay presencia de raíces, poros escasos.
<b>C</b>	83 – 130	Color gris con moteados de color oliva (2.5Y 4/3) seco, (5Y 3/2) húmedo, clase textural franco arenosa, sin estructura de suelo y reacción ligeramente alcalina, no plástica



**Figura 3. Muestreo de la profundidad de las raíces de ají.**

### **4.3. FASE DE INVERNADERO**

Como se mencionó, la idea de estos dos experimentos en invernadero es obtener por un lado la mezcla ideal de sustratos para la producción de plántulas que fue un trabajo de pregrado y del que se concluye que la mejor mezcla es tres partes de turba mas una de carbonilla, con esta mezcla se parte y se desarrolla el otro experimento también en invernadero y se evalúa varios tratamientos de fertilización de plántulas en un vivero comercial de la ciudad de Palmira Valle; las cuales se evaluaron en campo para ver si mantenían igual comportamiento que en la fase de rendimiento.

#### **4.3.1. Experimento de evaluación de los diferentes tipos de fertilización para producción de plántulas.**

##### **4.3.1.1. Descripción de los tratamientos.**

Tratamiento No. 1. Fertilización de síntesis química completa FSQC. (Testigo) (Tabla 9)

Tratamiento No. 2. Fertilización de síntesis química completa más orgánica FSQC + O. (Strong Power: ácidos húmicos y fúlvicos)

Tratamiento No. 3. Fertilización de síntesis química completa más orgánica más biofertilización I FSQC + O + B1. (Solubilizador de Fósforo: Fosfosol producido con base en *Penicillium janthinellum* ( $1 \times 10^7$  conidias /  $\text{ml}^{-1}$ ))

Tratamiento No. 4. Fertilización de síntesis química completa más orgánica más Micorrizas FSQC + O + M.

Tratamiento No. 5. Fertilización de síntesis química completa más orgánica más biofertilización II FSQC + O + B2. (Fijador de Nitrógeno:) Dimasón producido con base en *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum* sp.  $1 \times 10^8$  UFC/ $\text{ml}^{-1}$ ).



Tratamiento No. 6. Fertilización de síntesis química completa más orgánica más biofertilización III FSQC + O + B3. (Fijador de Nitrógeno: Dimargón producido con base en *Azotobacter chroococcum*  $1 \times 10^8$  UFC/ml<sup>-1</sup>).

**Tabla 9. Plan de fertilización de síntesis completa**

<b>Fertilizantes</b>	<b>Dosis</b>
Nitrato de Potasio	50 g
Nitrato de Calcio	80 g
Sulfato de Potasio	5 g
Sulfato de Amonio	10 g
10 - 30 -10	15 g
Sulfato de Magnesio	50 g
Acido Fosfórico	7,5 cm <sup>3</sup>
Boroliquid	5 cm <sup>3</sup>
Quelato de Hierro	1,5 g
Quelato de Zinc	0,25 g
Quelato de Manganeso	0,2 g
Mezclas en 100 litros de agua	

#### **4.3.1.2. Diseño Experimental fase invernadero:**

El diseño utilizado fue completamente al azar (CA), con seis tratamientos y tres repeticiones para un total de 18 unidades experimentales.

#### **4.3.1.3. Descripción de la Unidad Experimental.**

La unidad experimental fueron 20 plantas tomadas de bandejas de 128 alvéolos, esto correspondió a una repetición.

#### **4.3.1.4. Variables evaluadas y metodología para su determinación.**

El crecimiento en función de la producción de materia seca (MS), peso fresco aéreo (PFA), peso fresco radical (PFR), número de hojas por planta (NH), altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), peso seco radical (PSR) y peso seco aéreo (PSA).

Las plantas se lavaron con agua y se separó la parte aérea (pecíolo, lámina y tallo) de la raíz, para determinar el peso seco, el material se clasificó en secciones de la planta y por repetición, se colocó en bolsas de papel y se secó a 70°C por 24 a 48 horas hasta alcanzar un peso constante. Para evaluar el crecimiento de las plantas, se midió el peso seco de cada una de las secciones en una balanza analítica.

#### **4.3.1.5. Análisis estadístico de la información.**

A los resultados obtenidos se les realizó análisis de varianza y luego la prueba de comparación de medias según TUKEY al 5 %.

#### **4.3.1.6. Conducción del experimento:**

Se sembraron las semillas, una por alvéolo en cada bandeja y se les aplicó la mezcla de fertilizantes que se relacionan en la tabla 9 en medio litro de agua por bandeja con una bomba espaldera. Estas bandejas después de la siembra fueron llevadas al cuarto de imprimación de semillas, en el cual duraron un tiempo aproximado entre 9 y 10 días; lo cual permite tener una mejor plántula, luego pasan al invernadero para que sigan su proceso de crecimiento.

La aplicación de los productos orgánicos se realizó semanalmente aplicando 10 cm<sup>3</sup> de producto comercial que tenía como ingrediente activo ácidos húmicos y fúlvicos en 20 litros de agua, y la aplicación de los productos biológicos se realizó una hora antes de la siembra con *Penicillium janthinellum* (1x10<sup>7</sup> conidias.ml<sup>-1</sup>), *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum* sp. 1x10<sup>8</sup> UFC.ml<sup>-1</sup>) y *Azotobacter chroococcum* 1x10<sup>8</sup> UFC.ml<sup>-1</sup>) y el tratamiento que incluía micorrizas se inoculó a razón de dos gramos por alveolo al momento de la siembra.

#### **4.4. FASE DE CAMPO**

##### **4.4.1. Experimento de evaluación de fertilización química, orgánica y biofertilización.**

###### **4.4.1.1. Descripción de los tratamientos**

Tratamiento No. 1. Fertilización de síntesis química completa FSQC. (Testigo) (Tabla 9)

Tratamiento No. 2. Fertilización de síntesis química completa más orgánica FSQC + O. (Strong Power: ácidos húmicos y fúlvicos)

Tratamiento No. 3. Fertilización de síntesis química completa más orgánica más biofertilización I FSQC + O + B1. (Solubilizador de Fósforo: Fosfosol producido con base en *Penicillium janthinellum* ( $1 \times 10^7$  conidias / ml<sup>-1</sup>))

Tratamiento No. 4. Fertilización de síntesis química completa más orgánica más Micorrizas FSQC + O + M.

Tratamiento No. 5. Fertilización de síntesis química completa más orgánica más biofertilización II FSQC + O + B2. (Fijador de Nitrógeno:) Dimasón producido con base en *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum* sp  $1 \times 10^8$  UFC/ml<sup>-1</sup>).

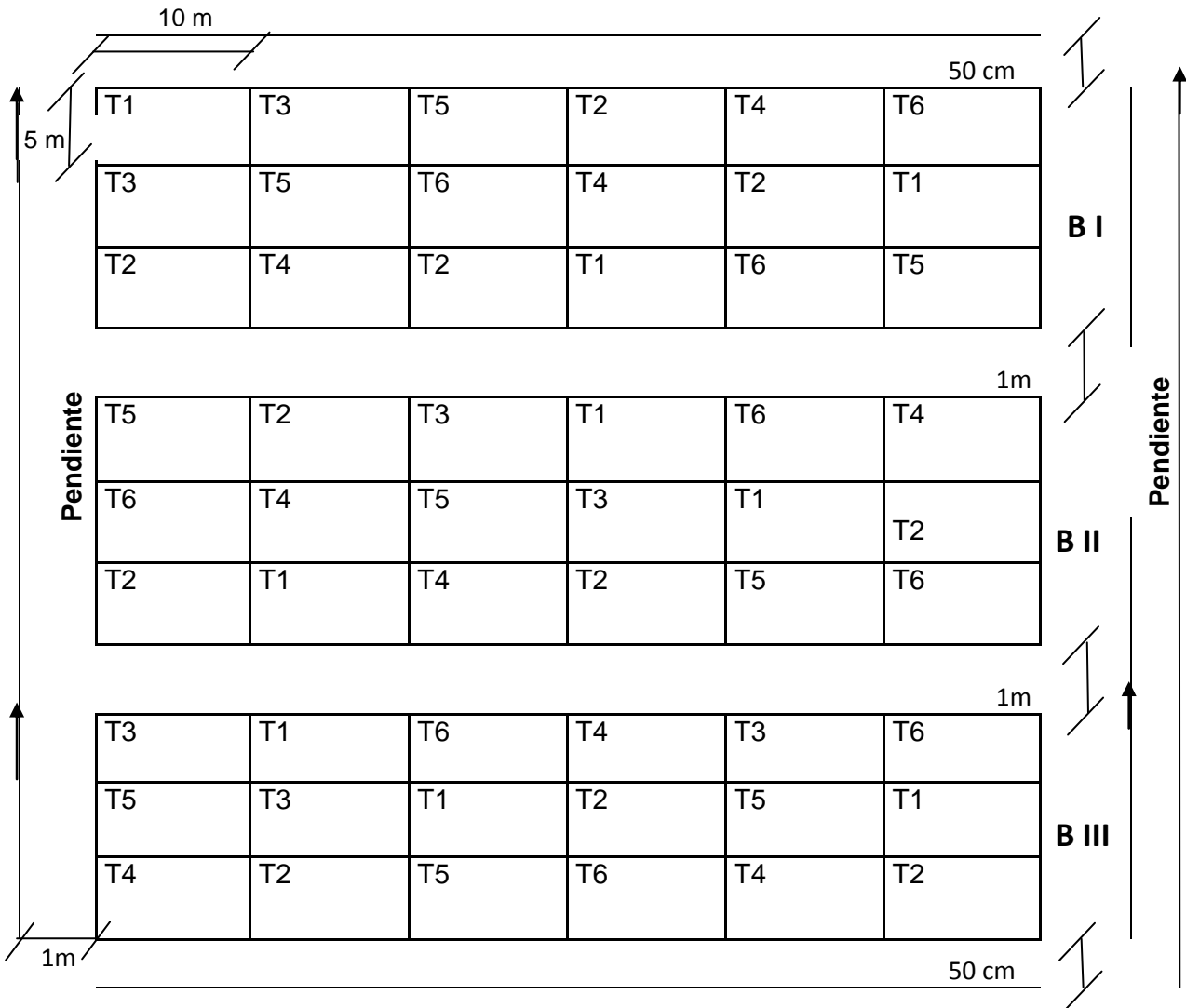
Tratamiento No. 6. Fertilización de síntesis química completa más orgánica más biofertilización III FSQC + O + B3. (Fijador de Nitrógeno: Dimargón producido con base en *Azotobacter chroococcum*  $1 \times 10^8$  UFC/ml<sup>-1</sup>).

###### **4.4.1.2. Diseño Experimental fase campo:**

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar (BCA), con seis tratamientos y tres repeticiones dado que el terreno tiene un gradiente por efecto de la pendiente, los bloques se ubicaron perpendicularmente a la misma.

###### **4.4.1.3. Descripción de la Unidad Experimental.**

En cada repetición de cada tratamiento se sembraron 800 plantas distribuidas en cuatro surcos dobles de los cuales se seleccionaron 20 plantas por tratamiento en cada bloque. A continuación se presenta el diagrama de campo (figura 4).



**Figura 4. Mapa de campo establecido en la finca El Samán**

**4.4.1.4. Variables evaluadas y metodología para su determinación.**

Las variables de producción fueron: peso del fruto (PF), número de frutos por planta (NFP) las cuales se registraron el día de la cosecha. Se realizaron análisis foliares al finalizar el experimento.

En campo se realizaron los muestreos de suelos: en dos épocas, el primero al momento de la selección del lote y el segundo después de la recolección de frutos. En el laboratorio se realizaron los análisis químicos completos donde se determinó pH por el método de Potenciométrico (1:1), CIC por el método de Acetato de Amonio 1N, pH 7.0, % M.O por el

método de Walkey Black, Macro y Micronutrientos determinado por Absorción Atómica, Fósforo por el método de Bray II.

Las variables biológicas determinadas fueron actividad microbiana medida como respiración C – CO<sub>2</sub> por el método de desprendimiento de CO<sub>2</sub> (Anexo 3), para evaluar la presencia de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) se empleó el método de tamizado y decantación en húmedo y centrifugación en gradiente de sacarosa (Gerderman and Nicolson, 1963 modificado por Bolaños (1996) (Anexo 4), el cual permite la extracción de esporas en un alto porcentaje y mejora la separación de esporas del suelo y del material orgánico. En planta, para determinar niveles de colonización de la HMA, se utilizó la tinción de raíces (técnica de Phillips y Hayman, 1970, modificada por Bolaños, (1996) (Anexo 5).

#### **4.4.1.5. Análisis estadístico de la información.**

A los resultados obtenidos se les realizaron análisis de varianza, (ANDEVA) donde se evaluó el efecto de los tratamientos y luego para aquellas variables que presentaron diferencias estadísticas la prueba de comparación de medias según Duncan al 5 %, se utilizaron para los casos en los cuales se detectaron diferencias significativas. Para evaluar a nivel estadístico las posibles relaciones entre las propiedades del suelo, densidad de esporas de HMA por gramo de suelo, porcentaje de colonización de HMA en raíces de ají y la actividad microbiana medida como respiración (C – CO<sub>2</sub>), se hizo análisis de correlación de Pearson ( $p \leq 0.05$ ). El paquete estadístico usado fue SAS (2008).

#### **4.4.1.6. Conducción del experimento fase campo:**

Para la siembra en campo se produjeron en vivero las plántulas de ají. Fue necesario 872 bandejas, las cuales se llenaron con sustrato turba + carbonilla en una proporción 70:30. Se utilizó el ají variedad Cayenne y Jalapeño híbrido Ixtapa. De acuerdo a cada tratamiento, en campo la aplicación de los productos orgánicos se realizó semanalmente (250 cm<sup>3</sup> de producto comercial que tenía como ingrediente activo ácidos húmicos y fúlvicos / 100 litros de agua). A las plantas del tratamiento No. 4, se les aplicaron dos gramos de micorrizas al momento de la siembra teniendo presente colocar la plántula sobre el inóculo de micorrizas.

La aplicación de los productos biológicos se realizó tomando las semillas correspondientes a los tratamientos No. 3, 5 y 6 y se introdujeron en recipientes con medio litro del inoculante *Penicillium janthinellum* ( $1 \times 10^7$  conidias.ml<sup>-1</sup>), *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum* sp.  $1 \times 10^8$  UFC.ml<sup>-1</sup>) y *Azotobacter chroococcum*  $1 \times 10^8$  UFC.ml<sup>-1</sup>) y una hora después se sembraron.

#### 4.4.2. Época de aplicación de los diferentes tratamientos

Se considero importante el fraccionamiento de la aplicación de los diferentes tratamientos teniendo en cuenta cuatro etapas fenológicas del cultivo, y se aplicaron los productos utilizados y dosificados en la fertirrigación del cultivo de ají (Tabla 10 y 11).

Etapas 1. Trasplante + 20 días

Etapas 2. Desarrollo + 30 días (55 días)

Etapas 3. Fructificación + 30 días (85 días)

Etapas 4. Producción + 62 días (147 días)

**Tabla 10. Productos utilizados y dosificación de la fertirrigación del cultivo de ají en la zona plana del lote experimental**

ETAPAS	N	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>
	Kg. de SAM	Kg. ácido fosfórico	Kg. nitrato de potasio	Kg. nitrato de calcio
I (30 días)	3.0	1	0.7	0.7
II (60 días)	3.0	1	0.7	0.7
III (90 días)	4.0	2.5	2	1.3
IV (120 días)	5.0	2	1.3	1.3
Total	900 Kg.	390 Kg.	282 Kg.	240 Kg.
ETAPAS	N	P	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>
	Kg. de nitrox		Kg. sulfato de potasio	Kg. sulfato magnesio
I (30 días)	1.0		1.5	0.3
II (60 días)	1.0		2.4	0.3
III (90 días)	2.0		4	0.6
IV (120 días)	1.6		3	0.3
Total	336 Kg.		654 Kg.	90 Kg.
ETAPAS	Aminoácidos +Fitoorm	B	Fe <sup>++</sup>	Zn <sup>++</sup>
	Tricho-Activ	Trichocal-Boro	Trichoquel Fe <sup>++</sup> Star	Zinc Tip
I (30 días)	30 cm <sup>3</sup>	40 cm <sup>3</sup>	30 cm <sup>3</sup>	30 cm <sup>3</sup>
II (60 días)	30 cm <sup>3</sup>	40 cm <sup>3</sup>	30 cm <sup>3</sup>	30 cm <sup>3</sup>
III (90 días)	30 cm <sup>3</sup>	40 cm <sup>3</sup>	30 cm <sup>3</sup>	30 cm <sup>3</sup>
IV (120 días)	30 cm <sup>3</sup>	40 cm <sup>3</sup>	30 cm <sup>3</sup>	30 cm <sup>3</sup>
Total	7.2 l	9.6 l	7.2 l	7.2 l

Cantidad Kg /válvula por aplicación de las fuentes para las 7 válvulas de la zona plana

**Tabla 11. Productos utilizados y dosificación de la fertirrigación del cultivo de ají en la zona de ladera del lote experimental**

ETAPAS	N	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>
	Kg. de SAM	Kg. ácido fosfórico	Kg. nitrato de potasio	Kg. nitrato de calcio
I (30 días)	1.5	0.5	0.4	0.4
II (60 días)	1.5	0.5	0.4	0.4
III (90 días)	2.0	1	1	0.8
IV (120 días)	1.5	0.8	1	1
Total	360 Kg.	168 Kg.	168 Kg.	156 Kg.
ETAPAS	N	P	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>
	Kg. de nitrox		Kg. sulfato de potasio	Kg. sulfato magnesio
I (30 días)	0.5		1	0.2
II (60 días)	0.5		1.5	0.2
III (90 días)	1.0		2	0.4
IV (120 días)	1.0		1.5	0.2
Total	180 Kg.		360 Kg.	60 Kg.
ETAPAS	Aminoácidos +Fitoorm	B	Fe <sup>++</sup>	Zn <sup>++</sup>
	Tricho-Activ	Trichocal-Boro	Trichoquel Fe <sup>++</sup> Star	Zinc Tip
I (30 días)	20 cm <sup>3</sup>	24 cm <sup>3</sup>	20 cm <sup>3</sup>	20 cm <sup>3</sup>
II (60 días)	20 cm <sup>3</sup>	24 cm <sup>3</sup>	20 cm <sup>3</sup>	20 cm <sup>3</sup>
III (90 días)	20 cm <sup>3</sup>	24 cm <sup>3</sup>	20 cm <sup>3</sup>	20 cm <sup>3</sup>
IV (120 días)	20 cm <sup>3</sup>	24 cm <sup>3</sup>	20 cm <sup>3</sup>	20 cm <sup>3</sup>
Total	4.8 l	5.7 l	4.8 l	4.8 l

Cantidad Kg /válvula por aplicación de las fuentes para las 4 válvulas de la zona plana

A continuación se presenta el plan de fertilización foliar utilizada para el cultivo, para complementar la fertilización edáfica (tabla 12).

**Tabla 12. Programa de fertilización foliar**

<b>Semana</b>	<b>Producto</b>	<b>Dosis</b>	<b>Objetivo</b>
<b>1</b>	Razormin	1.5 cm <sup>3</sup> . l <sup>-1</sup> agua	Bioestimulación radicular
<b>2</b>	Atlante	1.5 cm <sup>3</sup> . l <sup>-1</sup> agua	Bionutriente activador
	Nitrato de Potasio	1 kg . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar
	Miel	3 kg . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar
<b>3</b>	Atlante	1.5 cm <sup>3</sup> . l <sup>-1</sup> agua	Bionutriente activador
	Nitrato de potasio	1 kg . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar
	Pro-Gibb	10 g . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar
<b>4</b>	Atlante	500 cm <sup>3</sup> . l <sup>-1</sup> agua	Desarrollo foliar
	Nitrato de potasio	1 kg . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar
	Pro-Gibb	10 g . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar
<b>5</b>	Folicat – Calcio	1.5 cm <sup>3</sup> . l <sup>-1</sup> agua	Fisiopatías Ca <sup>++</sup> – B
	Nitrato de Potasio	1 kg . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar
	Miel	3 kg . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar
<b>6</b>	Florone	1.5 cm <sup>3</sup> . l <sup>-1</sup> agua	Floración – Desarrollo frutos
	Nitrato de Potasio	1 kg . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar
	Pro-Gibb	10 g . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar
<b>7</b>	Florone	1 cm <sup>3</sup> . l <sup>-1</sup> agua	Cuaje de frutos
<b>8</b>	Folicat – Calcio	1.5 cm <sup>3</sup> . l <sup>-1</sup> agua	Fisiopatías Ca – B
<b>9</b>	Folicat – Calcio	1.5 cm <sup>3</sup> . l <sup>-1</sup> agua	Fisiopatías Ca – B
<b>10</b>	Florone	1 cm <sup>3</sup> . l <sup>-1</sup> agua	Cuaje de frutos
	Pro-Gibb	10 g . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar
<b>11 y 12</b>	Igual que semana 8 y 9		
<b>13 y 14</b>	Igual que semana 6 y 7		
<b>15 y 16</b>	Igual que semana 4 y 5		
<b>17 y 18</b>	Nitrato de Potasio	1 kg . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar
<b>19 y 20</b>	Nitrato de Potasio	2 kg . 200 l <sup>-1</sup>	Desarrollo foliar

Fuente: Colonia 2008; adaptado por el autor 2009.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. FASE DE INVERNADERO

#### 5.1.1. Experimento de evaluación de diferentes tipos de fertilización para producción de plántulas.

El análisis de varianza (Anexo 6) muestra que se presentaron diferencias significativas en peso seco total, peso seco radical, peso seco aéreo y no se presentaron diferencias significativas en número de hojas, altura de la planta y diámetro de las plantas de ají.

En la figura 5, generada a partir de la prueba de comparación de medias se muestra que el tratamiento que más influyó en el desarrollo y crecimiento de las plantas de ají hasta su época de trasplante fue el tratamiento T5 FSQC + O + M (fertilización de síntesis química completa más orgánica más micorrizas), las plantas inoculadas con micorrizas presentaron, a los 35 días valores de 8.49 g de peso seco y las plantas que menos valor presentaron fueron las que recibieron el T1 FSQC + O con 7.4 g.

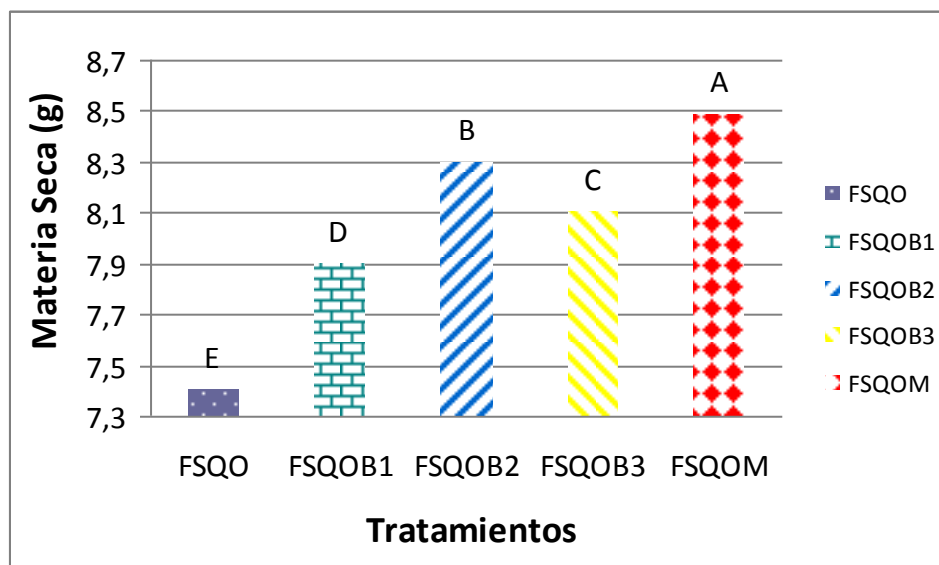


Figura 5. Materia seca en plántulas de ají que recibieron diferentes tratamientos

Es de hacer notar que las plantas con un sistema de raíces bien desarrolladas logran explorar mayor volumen de suelo, eso implica mayor absorción de los nutrientes que se mueven en flujo de masa, difusión y aun más por contacto radical como es el caso del sistema de raíces de las plantas de ají fertilizadas con el T3 FSQC + O + B2 y T5 FSQC + O + M que presentan los mayores valores y que está influenciado definitivamente por el peso seco de las raíces ya que este representa 36,74 y 35,57 % del total de la planta respectivamente, y el que menos valor reportó fueron las plantas del T1 FSQC + O con 33.51 %. Estos resultados coinciden con lo planteado por Azofeifa *et al.* (2004) quienes manifiestan que el peso seco es el criterio más apropiado para medir el crecimiento y la magnitud del sistema de asimilación de la planta. Gironza y Mamian (1988) afirman que la inoculación con hongos micorrízico arbusculares mejora la absorción de nutrientes, lo que repercute en ganancia de peso seco.

En relación con la variable de crecimiento, se determinó que cuando se fertiliza con HMA y se aplican productos biológicos, se favoreció significativamente la producción de materia seca y altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas por planta, peso total, peso fresco aéreo, y radical, peso seco radical y aéreo y peso seco total por planta.

En este estudio, al cabo de 22 días se obtuvieron plantas germinadas que presentaron condiciones para ser trasplantadas independientemente del tratamiento aplicado, las plantas presentaron altura entre 24 y 29 cm, y de 7 a 8 hojas formadas. Mortensen y Bullard (1971), señalan que las mejores plántulas para ser trasplantadas son aquellas que presentan altura entre 12 y 25 cm, además de la altura, se debe tomar en cuenta el número de hojas, que debe ser de 6 a 8 hojas. Lo "ideal" para trasplantar es que tengan tallos gruesos, firmes y vigorosos; ausentes de clorosis, buen desarrollo radical, libre de insectos plagas y enfermedades.

## **5.2 CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LOS SUELOS EN CAMPO**

### **5.2.1. Caracterización Química de los suelos de la finca El Samán**

En la tabla 13 se muestran las características de los suelos en los primeros 25 cm de profundidad, antes de la aplicación de los diferentes tipos de fertilización. Su interpretación

se realizó de acuerdo con las tablas presentadas en la quinta aproximación del documento de fertilización en diversos cultivos editado por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA (1992).

**Tabla 13. Resultado análisis químico del suelo experimental finca El Samán**

pH	M.O	P	S	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	CICe
1:1	%	ppm		Cmol <sup>(+)</sup> . kg <sup>-1</sup>				
6.69	2,82	20,7	12,5	8,86	4,01	0,27	0,23	13,36

B	Cu <sup>++</sup>	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Zn <sup>++</sup>	C.E	Ca <sup>++</sup> +Mg <sup>++</sup> /K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup> /Mg <sup>++</sup>
mg . Kg <sup>-1</sup>					dS/m		
0.31	10,8	120,0	25,2	3,7	0,42	48,5	2,21

Fuente: Laboratorio de suelos, Agua y Foliar de Corpoica

El suelo analizado presentó un pH con reacción neutra (6,69) lo cual es bueno para el cultivo del ají ya que este prefiere suelos con pH ligeramente ácidos, se presentaron contenidos abundantes o altos de S, Ca<sup>++</sup>, Cu<sup>++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Mn<sup>++</sup> y Zn<sup>++</sup>. Se observa adecuado porcentaje de materia orgánica, la relación Ca<sup>++</sup>/Mg<sup>++</sup> es adecuada, igual que la cantidad de intercambio de cationes (13,36), B y Mg<sup>++</sup>. Este análisis reporta contenidos bajos de P, conductibilidad eléctrica y relación Ca<sup>++</sup> + Mg<sup>++</sup> / K<sup>+</sup> debido a la deficiencia de este último. El contenido de sodio es muy bajo.

La CIC de este suelo es media, el porcentaje de saturación de las bases en la CIC, está dado por Ca<sup>++</sup> con 66,32 % seguido de Mg<sup>++</sup> 30,01 %, y Na<sup>+</sup> 1,72 %.

### 5.2.2. Caracterización química del agua para riego de la finca El Samán

En la tabla 14 se muestran los resultados del análisis de agua de la finca El Samán (Vijes). Su interpretación se realizó de acuerdo con las tablas presentadas en la quinta aproximación del documento de fertilización en diversos cultivos editado por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA (1992).

**Tabla 14. Resultado análisis químico de agua finca El Samán**

Ph	P	B	C.E	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ras
1:2;5	mg/L		dS/m	me/L				
7,49	0,42	0,19	1,22	4,61	6,60	0,07	3,07	1,30

CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	Dureza	TDS
me/L				ppm de CaCO <sub>3</sub>	mg/L
0.00	7,80	7,0	0,75	561	567

Fuente: Laboratorio de suelos, Agua y Foliar de Corpoica

El agua presentó pH medio sin restricciones de ningún tipo, con limitación ligera a moderada por concentración de sales solubles (C.E), baja en contenido de sodio soluble (RAS) por lo cual no ofrece peligro de causar problemas en los suelos o toxicidad en plantas susceptibles a esta condición, sin impedimento en las propiedades hídricas – infiltración por evaluación conjunta de C.E y RAS y disminución en la velocidad de infiltración del agua sin problemas aparentes por concentración de SO<sub>4</sub>. Con restricción ligera por sólidos solubles disueltos (TDS), con peligro de oclusión en sistemas de riego por goteo, por dureza “muy duras” por lo cual se necesitó acondicionarla ya que fueron utilizadas como vehículo de aplicación de agroquímicos, con limitación “ligera” por concentración de HCO<sub>3</sub>, sin prohibición por concentración de cloruros para utilización en equipos por aspersión y gravedad, sin inconveniente aparente por contenido de fósforo y boro Corpoica, 2009.

### **5.3. CARACTERIZACIÓN FINAL DE LOS SUELOS DE LA FINCA EL SAMÁN DESPUÉS DE APLICAR LOS TRATAMIENTOS**

Después de aplicados todos los tipos de fertilización y obtener los resultados de rendimiento, se tomó una muestra de suelos correspondiente al final del experimento para su análisis en el laboratorio de suelos de CORPOICA y se comparó con los datos del análisis inicial.

### 5.3.1. Caracterización final de los suelos sembrados con ají jalapeño híbrido Ixtapa

El análisis de varianza ( $p < 0.01$ ) y las pruebas de comparación de medias muestran diferencias significativas en los contenidos de todos los nutrientes (Anexo 7 y 8).

La interpretación de análisis en suelos se realizó teniendo en cuenta las tablas presentadas en la quinta aproximación del documento de fertilización en diversos cultivos editado por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA (1992) y se notó que las propiedades químicas  $K^+$ ,  $Mg^{++}$  y  $ClCe$  se encuentran en concentraciones normales considerados como apropiados para el cultivo. Para el caso del pH, M.O, P, S,  $Ca^{++}$ ,  $Na^+$ , B,  $Cu^{++}$ ,  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ,  $Zn^{++}$ , C.E, y la relación  $Ca^{++}+Mg^{++}/K^+$  resultaron con concentraciones por encima o por debajo del óptimo.

#### 5.3.1.1. pH

El análisis inicial (figura 6) de suelos muestra diferencias significativas con respecto al análisis final, el valor inicial del pH con 6.69 considerado como moderadamente ácido y disminuyó en mayor proporción con la aplicación al suelo del tratamiento T1 FSQC. Los tratamientos T6 FSQC + O + B3 seguido de T4 FSQC + O + M presentan los valores más altos y el suelo que recibió el tratamiento T1 FSQC presentó el menor valor, esto puede deberse al efecto de la aplicación de fertilizante químico y la residualidad de sus componentes (García, 2006).

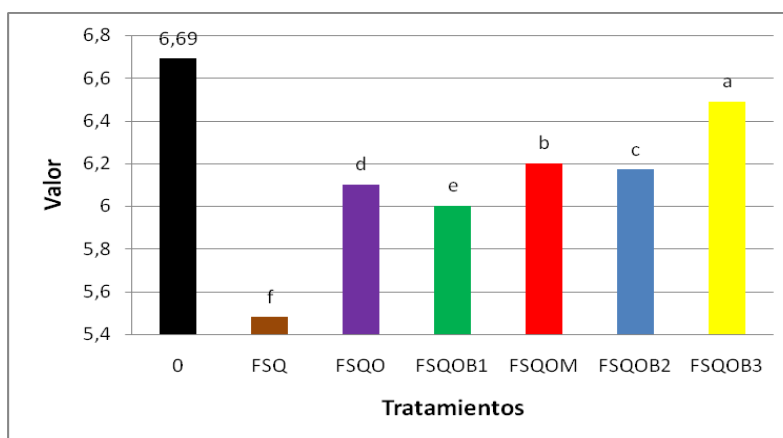
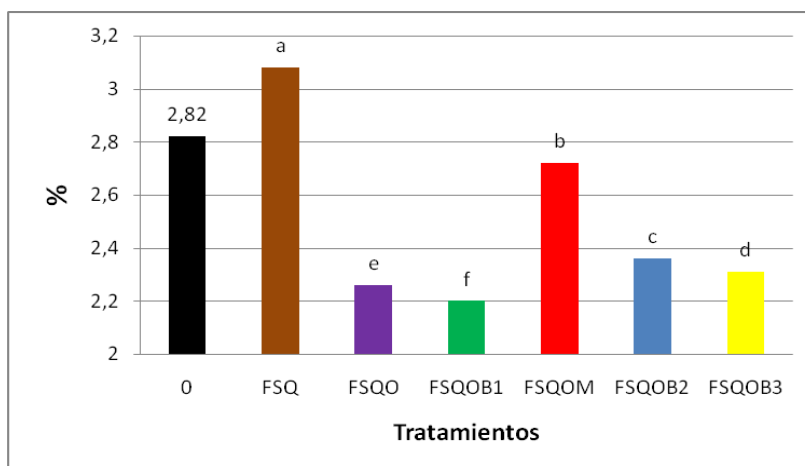


Figura 6. Evolución del pH del suelo sembrado con ají Jalapeño

### 5.3.1.2. Materia Orgánica

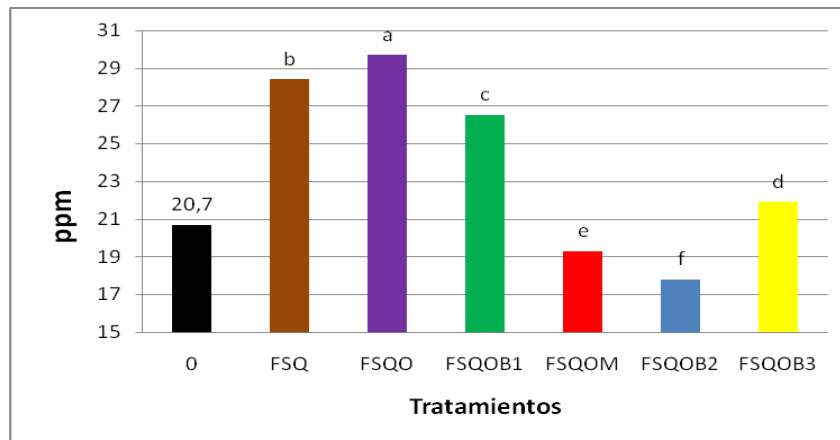
El ANDEVA (figura 7) muestra que el contenido de la materia orgánica presenta diferencias significativas entre el muestreo inicial y final, el valor inicial fue de 2.82 % considerado como adecuado y el valor final más alto fue para el suelo que recibió el T1 FSQC con 3.08 % y el menor valor fue para el suelo al cual se le aplicó el T3 FSQC + O + B1 con 2.20% considerado también como adecuado. La matriz de correlación, la M.O. presenta una relación directa sobre la disponibilidad de elementos nutrientes como P ( $r=0.65$ ),  $Ca^{++}$  ( $r=0.80$ ), B ( $r=0.50$ ). Esto puede deberse a las rotaciones de cultivos y residuos de cosechas anteriores en el lote; Barrera (2003) manifiesta que las rotaciones de cultivos aportan residuos de cosecha y materia orgánica para mejorar el suelo.



**Figura 7. Evolución del contenido de M.O del suelo sembrado con ají Jalapeño**

### 5.3.1.3. Fósforo

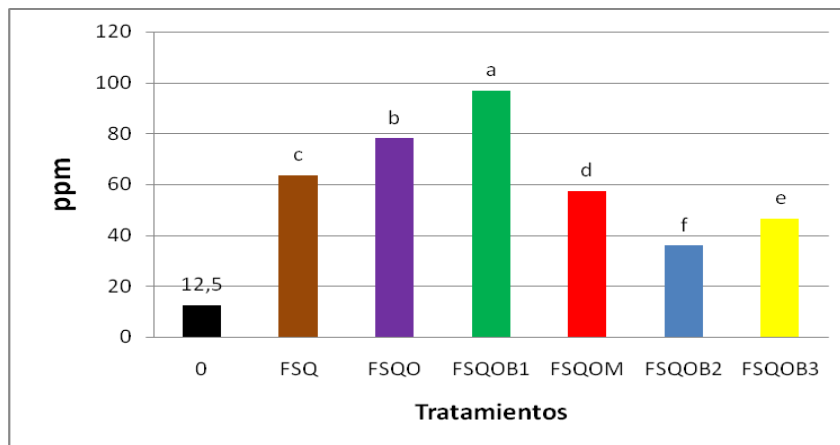
El muestreo inicial (figura 8) presentó 20,7 ppm considerado como pobre y en el muestreo final el suelo que se fertilizó con el tratamiento T2 FSQC + O presentó 29.7 ppm, siendo este el valor más alto considerado como adecuado y el suelo que recibió el tratamiento T5 FSQC + O + B2, presentó el menor valor (17,8 ppm de P), considerado como pobre, la matriz de correlación presenta una relación directa entre la disponibilidad de P y M.O ( $r=0.65$ ) e indirecta con Na ( $r=0.60$ ). Los valores de P encontrados en este suelo se pueden considerar bajos de acuerdo con Porta (1986), Domínguez (1984) y Garrido, (1994) citados por Sánchez (2003) e IGAC (1996) citado por Castro (1998) ya que contenidos por encima de 30 ppm, determinados por el método Bray II, son altos.



**Figura 8. Evolución del contenido de P del suelo sembrado con ají Jalapeño**

#### 5.3.1.4. Azufre

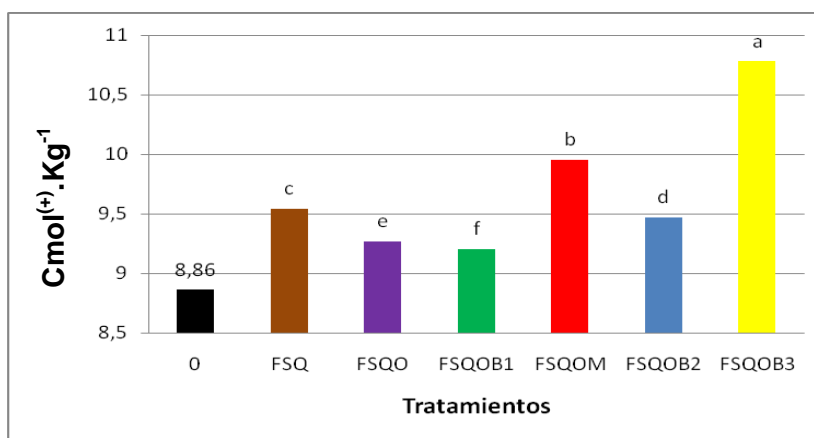
El análisis inicial (figura 9) de suelos muestra diferencias significativas con respecto al análisis final, el valor inicial de S con 12.5 ppm considerado como alto, aumentó en mayor proporción con la aplicación al suelo del tratamiento T3 FSQC + O + B1 presentando el valor más alto (96,9 ppm) y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T5 FSQC + O + B2 con 35.9 ppm presentó el menor valor, los contenidos del elemento en todos los suelos tratados son catalogados como muy altos, es posible que estos valores se hayan incrementado por estar el cultivo cerca a la zona industrial de Valle del Cauca donde se aprecia con mucha frecuencia la generación de gases con compuestos azufrados que llegan a la atmósfera y pueden ser incorporados al suelo por acción de la lluvia, según León, 1994; generalmente en la atmósfera existen cantidades variables de compuestos azufrados, que pueden ser incorporados al suelo por acción del agua de lluvia.



**Figura 9. Evolución del contenido de S del suelo sembrado con ají Jalapeño**

### 5.3.1.5. Calcio

El ANDEVA (figura 10) muestra que el  $\text{Ca}^{++}$  presenta diferencias significativas entre el muestreo inicial y final, el valor inicial del  $\text{Ca}^{++}$  ( $8.86 \text{ Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) considerado como alto y el valor final más alto ( $10.78 \text{ Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) fue para el suelo que recibió el tratamiento T6 FSQC + O +B3. El suelo que se fertilizó con el tratamiento T3 FSQC + O + B1 presentó  $9.20 \text{ Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{++}$ , siendo el menor valor, los contenidos del elemento en todos los suelos tratados fueron considerados como altos. La matriz de correlación el  $\text{Ca}^{++}$  presenta una relación directa con el contenido de la M.O ( $r=0.80$ ), al relacionar el análisis de suelos con el análisis de tejidos vegetales se observa que este nutrimento fue tomado en gran parte por la planta de ají y está correlacionado estrechamente con los valores de pH, este resultado es acorde con lo planteado por Azofeifa y Moreira (2004). Estos valores se consideran altos pues superan a  $6 \text{ Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo, 1990 y 2001).



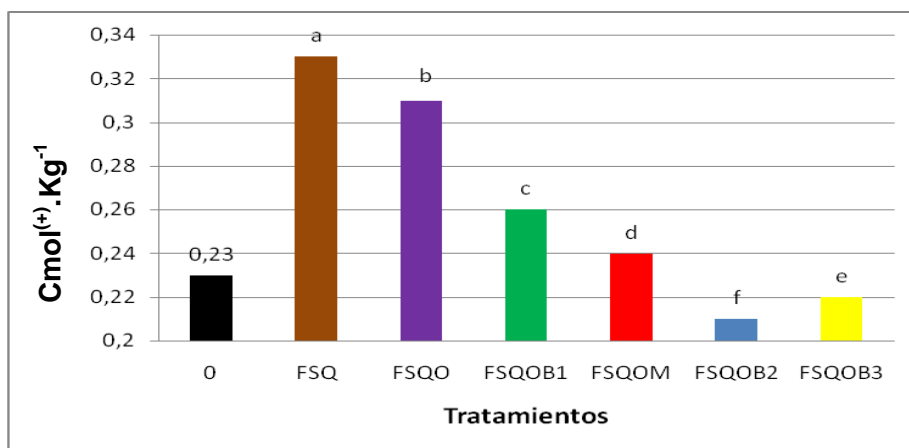
**Figura 10. Evolución del contenido de  $\text{Ca}^{++}$  del suelo sembrado con ají Jalapeño**

### 5.3.1.6. Sodio

El ANDEVA (figura 11) muestra que el  $\text{Na}^{+}$  presenta diferencias significativas entre el muestreo inicial y final, el valor inicial del  $\text{Na}^{+}$  ( $0.23 \text{ Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) considerado como muy pobre y el valor final más alto ( $0.77 \text{ Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) se encontró en el suelo que recibió el tratamiento T6 FSQC + O +B3 y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T5 FSQC + O + B2 presenta el menor valor ( $0.44 \text{ Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), los contenidos del elemento en todos los suelos tratados fueron considerados como pobres a excepción del tratamiento T6 FSQC + O +B3 y T3 FSQC + O + B1 que se encuentran en forma adecuada. La matriz de correlación el  $\text{Na}^{+}$  presenta una relación indirecta sobre la disponibilidad del P ( $r=0.60$ ), B ( $r=0.56$ ) y la C. E( $r=0.51$ ). Se presume que con esos contenidos de sodio los suelos no presentan



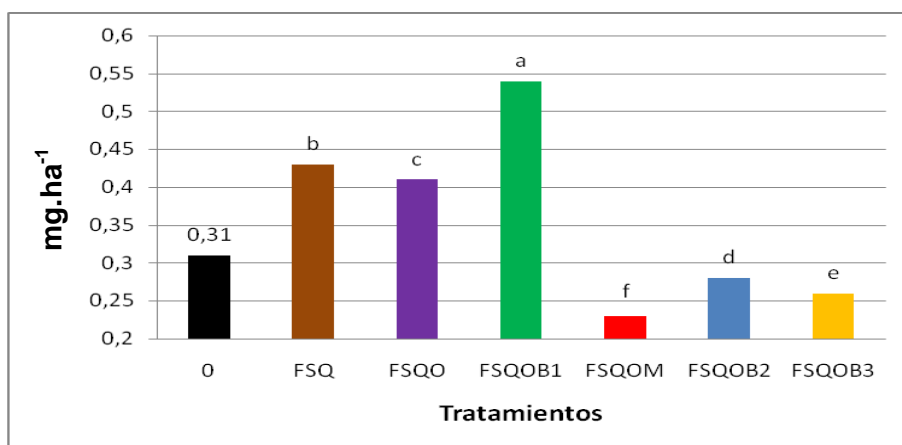
problemas de salinidad, ya que para ello, se necesitarían contenidos del orden de  $0.9 \text{ Cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$  de suelo (AGROSAGI, 2007).



**Figura 11. Evolución del contenido de  $\text{Na}^+$  del suelo sembrado con ají Jalapeño**

#### 5.3.1.7. Boro

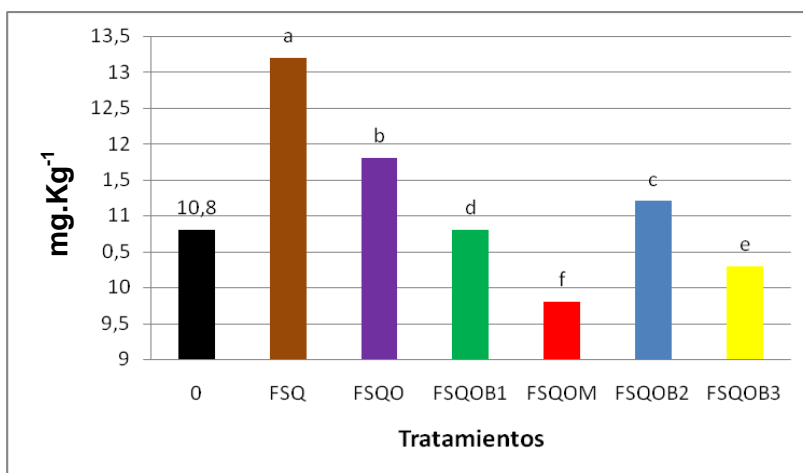
En el muestreo inicial (figura 12) se encontraron ( $0.31 \text{ mg}.\text{kg}^{-1}$  de B) considerado como valor adecuado y en el muestreo final del suelo que recibió el tratamiento T3 FSQC + O + B1 presentó el valor más alto ( $0.54 \text{ mg}.\text{kg}^{-1}$ ) y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T4 FSQC + O + M presentó el menor valor ( $0.23 \text{ mg}.\text{kg}^{-1}$ ), el contenido del elemento en el suelo que recibió los tratamientos T3 FSQC + O+ B1 y T1 FSQC es considerado como muy alto y en los restantes tratamientos es considerado como adecuado, la matriz de correlación muestra que el B presenta una relación indirecta con el contenido de la M.O. ( $r=0.50$ ),  $\text{Na}^+$  ( $r=0.56$ ) y la relación  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  ( $r=0.75$ ), Tisdale *et al.*, 2005 afirman que las plantas pueden tolerar altas concentraciones de B en el suelo cuando se presentan contenidos altos de Calcio debido a que este ultimo cumple un papel de protección contra el exceso de B en la planta. Características que coinciden con el suelo donde se montó el experimento.



**Figura 12. Evolución del contenido de B del suelo sembrado con ají Jalapeño**

### 5.3.1.8. Cobre

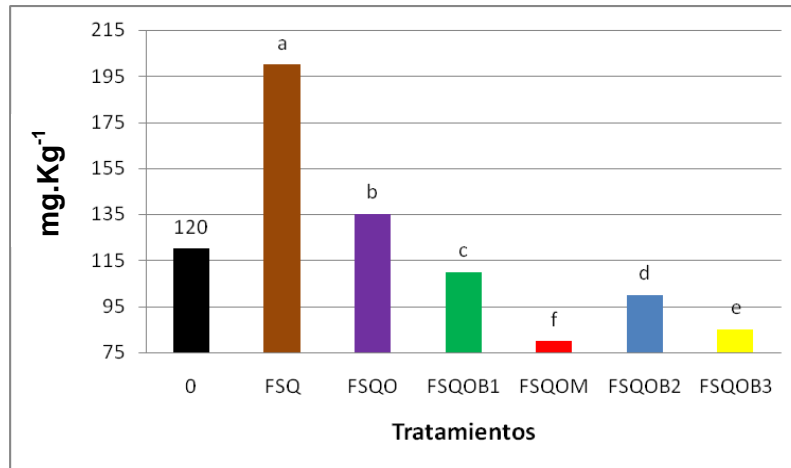
El ANDEVA (figura 13) muestra que el Cu<sup>++</sup> presenta diferencias significativas entre el muestreo inicial y final, el valor inicial del Cu<sup>++</sup> (10.83 mg.kg<sup>-1</sup>) considerado como alto y el valor final más alto (13.2 mg.kg<sup>-1</sup>) fue para el suelo que recibió el tratamiento T1 FSQC y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T4 FSQC + O + M presentó el menor valor (9.8 mg.kg<sup>-1</sup>), en términos generales las concentraciones de cobre en todos los suelos tratados fueron consideradas como muy altas, quizás esto pudo deberse a que en el cultivo se aplicaron productos para el control de plagas y enfermedades que tenían como ingrediente activo cobre.



**Figura 13. Evolución del contenido de Cu<sup>++</sup> del suelo sembrado con ají Jalapeño**

### 5.3.1.9. Hierro

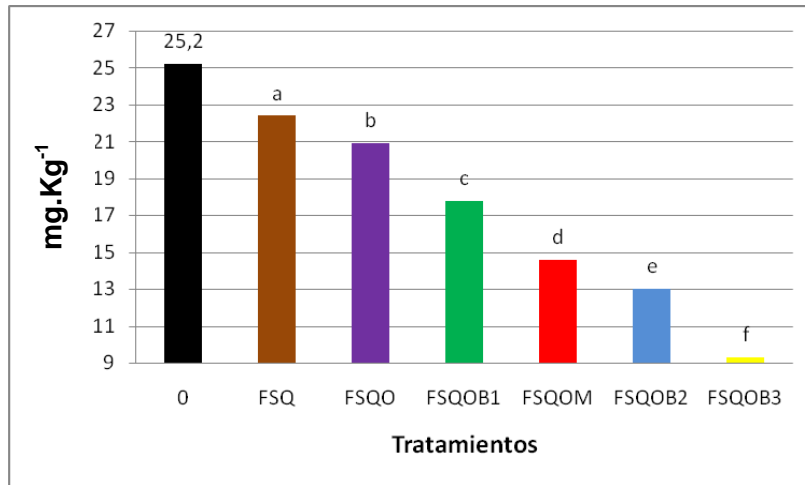
El análisis inicial (figura 14) de suelos muestra diferencias significativas con respecto al análisis final, el valor inicial de la  $Fe^{++}$  ( $120.0 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) es considerado como alto, el suelo que recibió el tratamiento T1 FSQC presentó el valor más alto ( $200.0 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y el suelo que recibió el tratamiento T4 FSQC + O + M presentó el menor valor ( $79.8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), los contenidos del elemento en todos los suelos tratados fueron consideradas como muy altos, lo cual supone que se presentó reducción en el suelo aumentando su disponibilidad, esto concuerda con lo expresado por García (1998) y López (1998) quien expone que la reducción del hierro favorece la solubilización de fosfatos si estos están presentes en forma de fosfatos de hierro (III).



**Figura 14. Evolución del contenido de  $Fe^{++}$  del suelo sembrado con ají Jalapeño**

### 5.3.1.10. Manganeseo

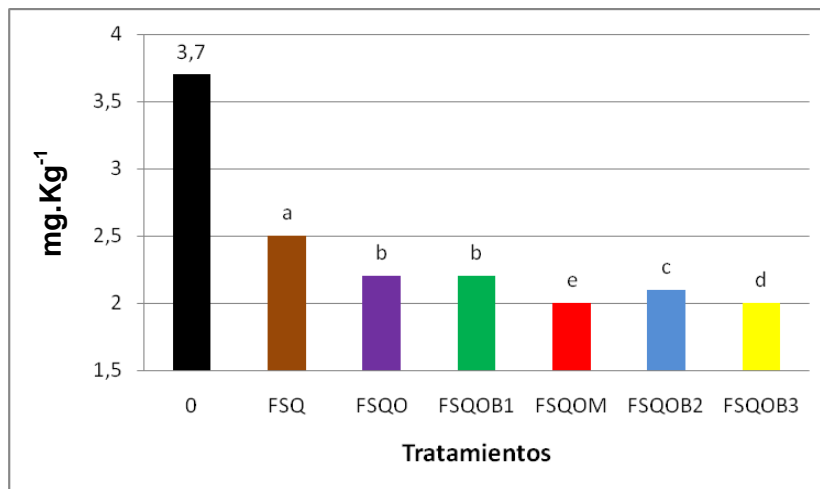
El muestreo inicial (figura 15) presentó  $25.2 \text{ mg.kg}^{-1}$  considerado como valor alto y el muestreo final presentó para el suelo que recibió el tratamiento T1 FSQC,  $22.4 \text{ mg.kg}^{-1}$  siendo el valor más alto y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T6 FSQC + O + B3 presentó el valor más bajo  $9.3 \text{ mg.kg}^{-1}$ , las concentraciones de manganeso en todos los suelos tratados fueron consideradas como muy altas, esto puede estar ocurriendo por los altos contenidos de  $Fe^{++}$  y  $Cu^{++}$  que pueden estar restringiendo toxicidad por  $Mn^{++}$  debido a que se reduce la absorción por parte de las plantas.



**Figura 15. Evolución del contenido de Mn<sup>2+</sup> del suelo sembrado con ají Jalapeño**

#### 5.3.1.11. Zinc

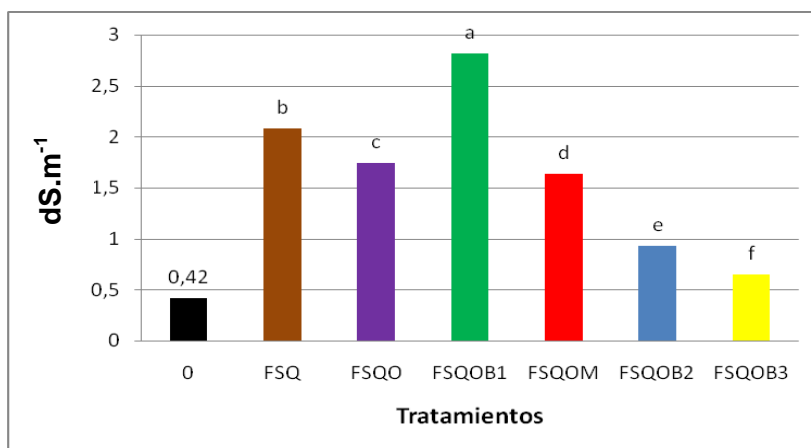
El ANDEVA (figura 16) muestra que el valor del contenido de Zn<sup>2+</sup> presenta diferencias significativas entre el muestreo inicial y final, el valor inicial del Zn<sup>2+</sup> (3.7 mg.kg<sup>-1</sup>) considerado como alto y el valor final más alto (2,5 mg.kg<sup>-1</sup>) se encontró en el suelo que recibió el tratamiento T1 FSQC y los suelos que se fertilizaron con el tratamiento T4 FSQC + O + M y T6 FSQC + O + B3 presentaron el menor valor (2.0 mg.kg<sup>-1</sup>), el contenido del elemento en el suelo que tenía el tratamiento T1 FSQC es considerado como muy alto mientras que para los demás suelos tratados es considerado adecuado, se puede evidenciar que a medida que aumenta el pH la solubilidad de Zn<sup>2+</sup> disminuye por precipitación de compuestos insolubles, presumiblemente Zn<sup>2+</sup> (OH)<sub>2</sub> y CaZn<sup>2+</sup>(OH)<sub>4</sub> (Lora, 1998).



**Figura 16. Evolución del contenido de Zn<sup>2+</sup> del suelo sembrado con ají Jalapeño**

### 5.3.1.12. Conductividad eléctrica

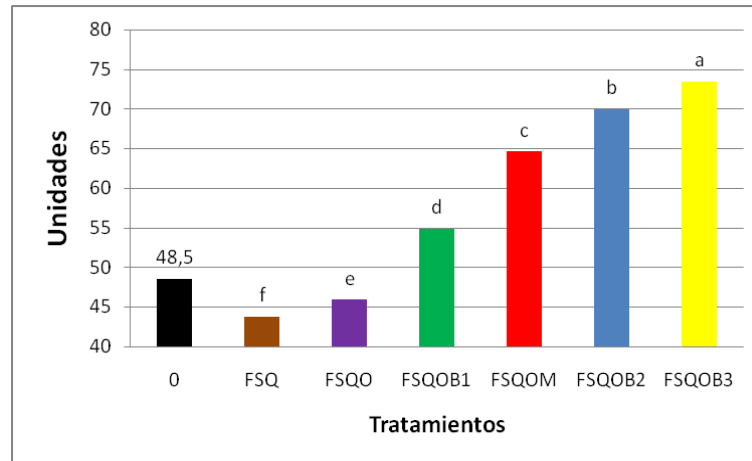
El análisis inicial (figura 17) de suelos muestra diferencias significativas con respecto al análisis final, el valor inicial de la C.E ( $0.42 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) es considerado como bajo, el suelo que recibió el tratamiento T1 FSQC presenta el valor más alto ( $2.08 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T6 FSQC + O + B3 presentó el menor valor ( $0.65 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), la Conductividad eléctrica en todos los suelos tratados es considerado como alta a excepción de los tratamientos T6 FSQC + O + B3 y T5 FSQC + O + B2 que es adecuado, la matriz de correlación muestra que la C.E presenta una relación indirecta sobre la disponibilidad del  $\text{Na}^+$  ( $r=0.51$ ) y una relación directa con la M.O ( $r=0.47$ )



**Figura 17. Evolución del valor de C.E del suelo sembrado con ají Jalapeño**

### 5.3.1.13. Relación $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}/\text{K}^+$

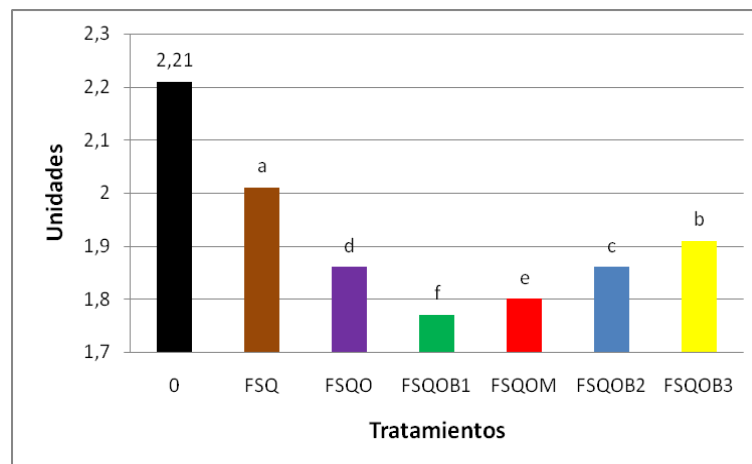
El muestreo inicial (figura 18) presentó 48.5 considerado como valor alto y el muestreo final presentó para el tratamiento T6 FSQC + O + B3 el valor más alto (73.4). El tratamiento T1 FSQC presentó el menor valor (43.8), los contenidos de la relación  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}/\text{K}^+$  en todos los suelos tratados es considerado como adecuados, el tratamiento de fertilización de síntesis química y síntesis química más orgánica disminuyó lo cual hizo presumir que se presentó  $\text{Mg}^{++}$  en menores cantidades y  $\text{K}^+$  en mayores cantidades, mientras que en los otros suelos que recibieron los cuatro tratamientos la relación fue inversa aumentando la relación  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}/\text{K}^+$ , pero en ambos casos se presenta deficiencia del potasio. La matriz de correlación muestra que la relación  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}/\text{K}^+$  presenta una relación indirecta sobre la disponibilidad de B ( $r=0.75$ ) y la CICe ( $r=0.81$ ).



**Figura 18. Evolución del valor de la relación  $Ca^{++} + Mg^{++} / K^{+}$  del suelo sembrado con ají Jalapeño**

#### 5.3.1.14. Relación $Ca^{++}/Mg^{++}$

El ANDEVA (figura 19) muestra que la relación  $Ca^{++}/Mg^{++}$  presenta diferencias significativas entre el muestreo inicial y final, el valor inicial de la relación  $Ca^{++}/Mg^{++}$  fue 2.21 considerado como bajo y el valor final (2,01) fue para el suelo del tratamiento T1 FSQC que a su vez presentó el valor más alto y el suelo que recibió el tratamiento T3 FSQC + O presentó el menor valor (1,77), la relación  $Ca^{++}/Mg^{++}$  en todos los suelos tratados es considerado como baja, según Lora (1998) quien expresa que a menor pH menor CIC, hecho que disminuye la probabilidad de que esta relación esté balanceada ya que el calcio está en mayor proporción en el suelo que el  $Mg^{++}$ .



**Figura 19. Evolución del valor de la relación  $Ca^{++}/Mg^{++}$  del suelo sembrado con ají Jalapeño**

### 5.3.2. Caracterización final de los suelos sembrados con ají Cayenne Durkee

Los análisis de varianza muestran que existieron diferencias significativas entre tratamientos en todas las variables evaluadas (Anexo 9 y 10) se observa que:

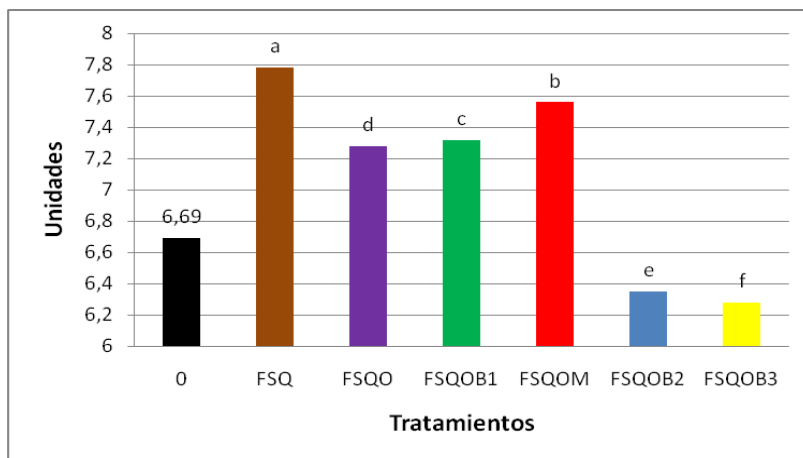
La interpretación de análisis de suelos se realizó teniendo en cuenta las tablas presentadas en la quinta aproximación del documento de fertilización en diversos cultivos editado por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA (1992) y se notó que las propiedades químicas  $Mg^{++}$  C.E y  $Ca^{++}/Mg^{++}$  se encuentran en concentraciones normales considerados como apropiados para el cultivo. Para el caso del pH, M.O, P, S,  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ , ClCe, B,  $Cu^{++}$ ,  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ,  $Zn^{++}$ , y la relación  $Ca^{++}+Mg^{++}/K^+$  resultaron con concentraciones por encima o por debajo del óptimo.

#### 5.3.2.1. pH

El análisis inicial (figura 20) de suelos muestra diferencias significativas con respecto al análisis final, el valor inicial de pH 6.69 es considerado como adecuado, los suelos que recibieron el tratamiento T1 FSQC presentaron el valor más alto (7.78) y los suelos que se fertilizaron con el tratamiento T6 FSQC + O + B3 presentó el menor valor (6.28), la matriz de correlación muestra que el pH presenta una relación indirecta sobre la disponibilidad de la S ( $r=0.51$ ), El pH aumenta notablemente quizás porque contrario a lo que sucede con las plantas de jalapeño la variedad Cayenne en su rizósfera requiere de pH más neutros para poder asimilar los nutrientes.

En los suelos sembrados con las plantas de ají que recibieron la biofertilización con base en fijadores de nitrógeno (tratamiento 5 fertilización de síntesis química más orgánica más biofertilización II FSQC + O + B2 y T6 fertilización de síntesis química más orgánica más biofertilización III FSQC + O + B3 disminuye el pH levemente posiblemente porque la actividad metabólica de los microorganismos produce  $CO_2$  que al reaccionar con el agua forma ácido carbónico que acidifica un poco el pH, paralelamente los compuestos orgánicos que contienen estos tratamientos pueden estar disociando grupos que tienen  $H^+$ , el cual se estaría liberando a la solución del suelo. Los resultados obtenidos determinan una importancia altamente significativa del pH sobre la disponibilidad del S,

Otro aspecto importante está relacionado con la reacción acida de la solución nutritiva que se va a inyectar por el sistema de riego y del suelo, para facilitar que las plantas tomen los nutrimentos esenciales para su desarrollo; se recomienda que el suelo tenga un valor de pH de 6.5 a 7.0, para que sean asimilables todos los nutrientes (Martínez, 2002).

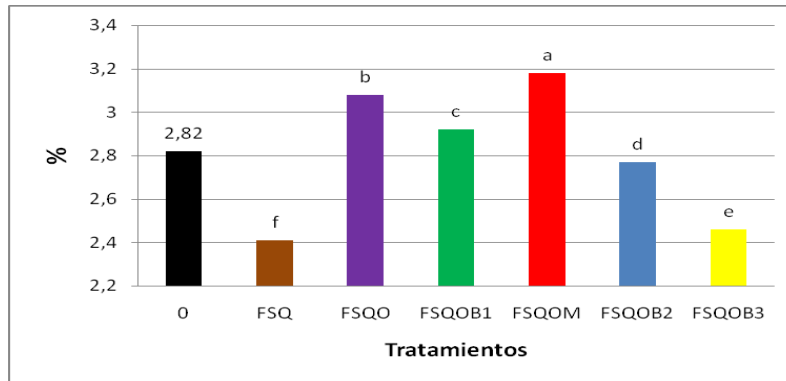


**Figura 20. Evolución del pH del suelo sembrado con ají Cayenne**

### 5.3.2.2. Materia Orgánica

El ANDEVA (figura 21) muestra que la M.O presenta diferencias significativas entre el muestreo inicial y final, el valor inicial fue 2.82 % de M.O. considerado como adecuado y el valor final más alto (3.18 %) fue para el suelo que recibió el tratamiento T4 FSQC + O + M y el suelos que se fertilizaron con el tratamiento T1 FSQC presenta el menor valor (2.41 %), la matriz de correlación muestra que la M.O presenta una relación indirecta sobre la disponibilidad del  $Mg^{++}$  ( $r=0.74$ ),  $Zn^{++}$  ( $r=0.84$ ) y una relación directa sobre P ( $r=0.85$ ) y S ( $r=0.64$ ), esto puede deberse a un estímulo de la vida del suelo al suministrar también C y energía. Esto concuerda con lo expresado por Barrera, 2003 quien manifiesta que la población de microorganismos es variable en el suelo dependiendo de las condiciones de manejo, además aportan grandes cantidades de energía al suelo.

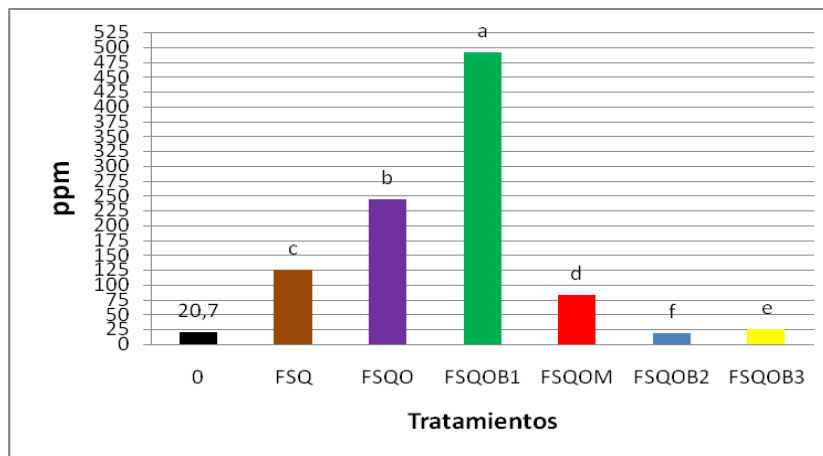




**Figura 21. Evolución del contenido de M.O del suelo sembrado con ají Cayenne**

### 5.3.2.3. Fósforo

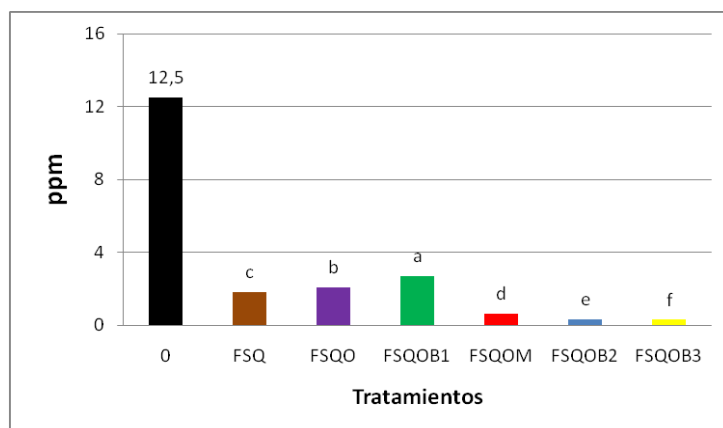
El muestreo inicial (figura 22) presentó 20.7 ppm de P considerado como valor pobre y el muestreo final presentó para el suelo que recibió el tratamiento T3 FSQC + O + B1 el valor más alto (491.2 ppm) y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T5 FSQC + O + B2 presentó el menor valor (19.3 ppm), el contenido del elemento en todos los suelos tratados fue catalogado como excesivo a excepción de los suelos que tenían los tratamientos T6 FSQC + O + B3 y T5 FSQC + O + B2 que son catalogados como concentraciones adecuadas y pobre respectivamente. La matriz de correlación muestra que P presenta una relación directa sobre la disponibilidad del M.O ( $r=0.85$ ), esto se debe quizás a la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilización del fósforo que en simbiosis con las plantas ayudan a que estas absorban el fósforo de la solución, esto está de acuerdo con lo expresado por Sánchez *et al.*, 2006., quienes manifiestan que 50 % de la población total de un suelo pueden ser bacterias solubilizadoras, mientras que solo 0.5 % corresponde a hongos solubilizadores.



**Figura 22. Evolución del contenido de P del suelo sembrado con ají Cayenne**

#### 5.3.2.4. Azufre

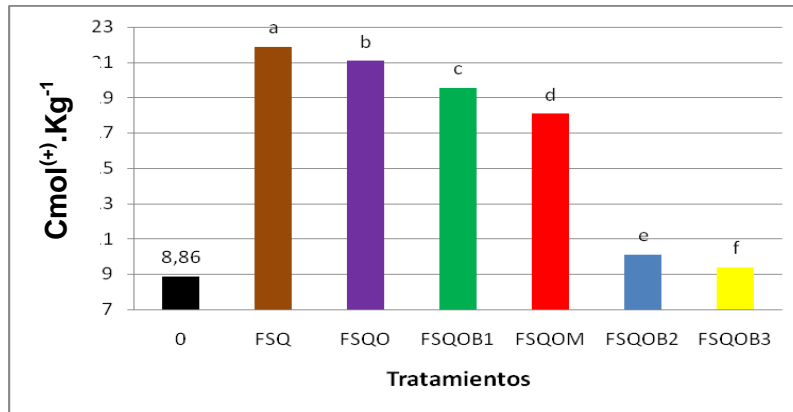
El análisis inicial (figura 23) de suelos muestra diferencias significativas con respecto al análisis final, el valor inicial de S fue 12.5 ppm considerado como alto, el suelo que recibió el tratamiento T3 FSQC + O + B1 presentó el valor más alto (50.2 ppm) y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T5 FSQC + O + B2 presentó el menor valor (13.3 ppm), el contenido del elemento en todos los suelos tratados son catalogados como muy altos. La matriz de correlación muestra que S presenta una relación directa entre pH ( $r=0.51$ ) y M.O ( $r=0.64$ ),  $Ca^{++}$  ( $r=0.50$ ), y la relación  $Ca^{++}/Mg^{++}$  ( $r=0.96$ ), lo cual indica que se encuentra disponible para ser tomado por las plantas, según Lora (1989) la elevación del pH aumenta la liberación del azufre de la materia orgánica por reacciones biológicas, similarmente a como ocurre con el N y el P.



**Figura 23. Evolución del contenido de S del suelo sembrado con ají Cayenne**

#### 5.3.2.5. Calcio

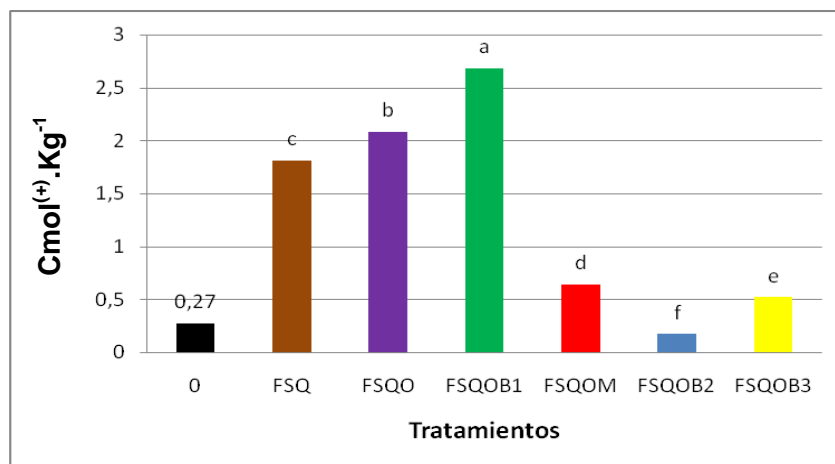
El ANDEVA (figura 24) muestra que el  $Ca^{++}$  presenta diferencias significativas entre el muestreo inicial y final, el valor inicial de la  $Ca^{++}$  fue  $8.86 \text{ Cmol}^{(+)}.\text{Kg}^{-1}$  considerado como alto y el valor final más alto ( $21.88 \text{ Cmol}^{(+)}.\text{Kg}^{-1}$ ) fue para el suelo que recibió el tratamiento T1 FSQC y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T6 FSQC + O + B3 presentó el menor valor ( $9.40 \text{ Cmol}^{(+)}.\text{Kg}^{-1}$ ), los contenidos del elemento en los suelos tratados son considerado como altos. La matriz de correlación muestra que  $Ca^{++}$  presenta una relación directa sobre la disponibilidad del S ( $r=0.50$ ), al relacionar el análisis de suelos con el análisis de tejidos vegetales se observa que este nutrimento fue tomado en gran parte por la planta de ají.



**Figura 24. Evolución del contenido de Ca<sup>++</sup> del suelo sembrado con ají Cayenne**

### 5.3.2.6. Potasio

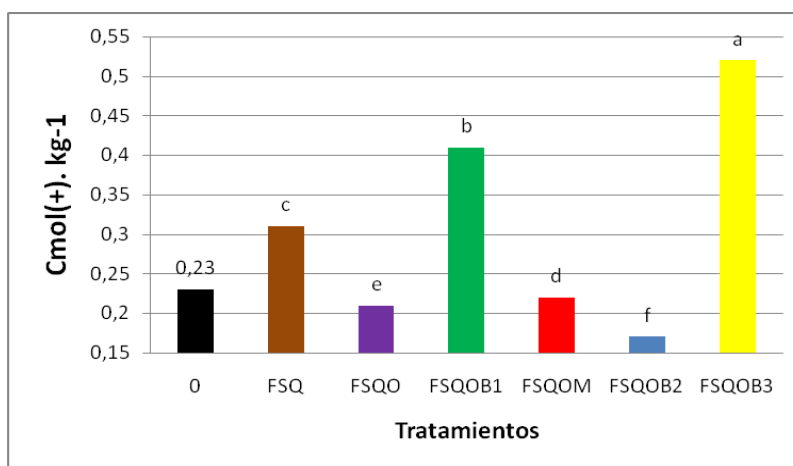
El análisis inicial (figura 25) de suelos muestra diferencias significativas con respecto al análisis final, el valor inicial de K<sup>+</sup> fue 0.27 Cmol<sup>(+)</sup>.Kg<sup>-1</sup> considerado como adecuado, el suelo que recibió el tratamiento T3 FSQC + O + B1 presentó el valor más alto (2.68 Cmol<sup>(+)</sup>.Kg<sup>-1</sup>) y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T6 FSQC + O + B3 presentó el menor valor (0.29 Cmol<sup>(+)</sup>.Kg<sup>-1</sup>), el K<sup>+</sup> se encuentra en concentraciones altas para los suelos tratados con T1 FSQC, T2 FSQC + O y T4 FSQC + O + M, para los suelos que recibieron los tratamientos T5 FSQC + O + B2 y T6 FSQC + O + B3 se encuentran en concentraciones adecuadas y el tratamiento T3 FSQC + O + B1 se encuentra en concentración muy alta, según Castro (2001), Brady and Weil (1999) y Marschner (2003) indican que el suministro de potasio por parte del suelo depende en mayor proporción del tipo de mineral arcilloso presente en el suelo.



**Figura 25. Evolución del contenido de K<sup>+</sup> del suelo sembrado con ají Cayenne**

### 5.3.2.7. Sodio

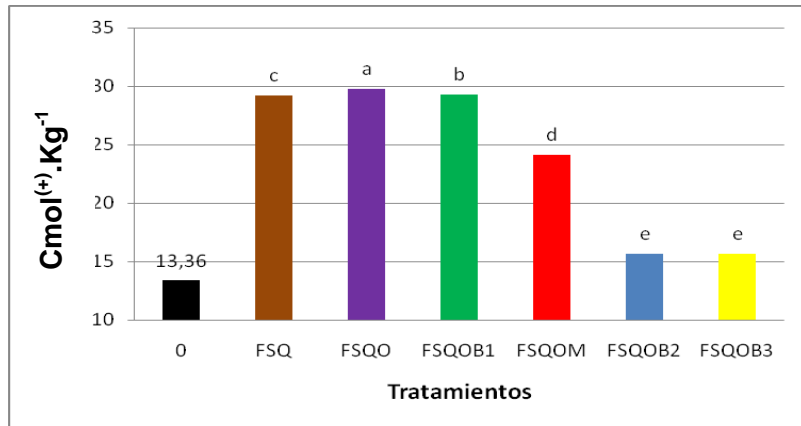
El ANDEVA (figura 26) muestra que el  $\text{Na}^+$  presenta diferencias significativas entre el muestreo inicial y final, el valor inicial del  $\text{Na}^+$  fue  $0.23 \text{ Cmol}^{(+)}.\text{Kg}^{-1}$  considerado como muy pobre y el valor final más alto ( $0.52 \text{ Cmol}^{(+)}.\text{Kg}^{-1}$ ) fue para el suelo que recibió el tratamiento T6 FSQC + O + B3. El suelo que se fertilizó con el tratamiento T5 FSQC + O + B2 presentó el menor valor ( $0.17 \text{ Cmol}^{(+)}.\text{Kg}^{-1}$ ), el contenido del elemento en todos los suelos tratados es considerado como muy pobre, se presume que con esos contenidos de sodio los suelos no presentan problemas de salinidad.



**Figura 26. Evolución del contenido de  $\text{Na}^+$  del suelo sembrado con ají Cayenne**

### 5.3.2.8. Capacidad de Intercambio Catiónico.

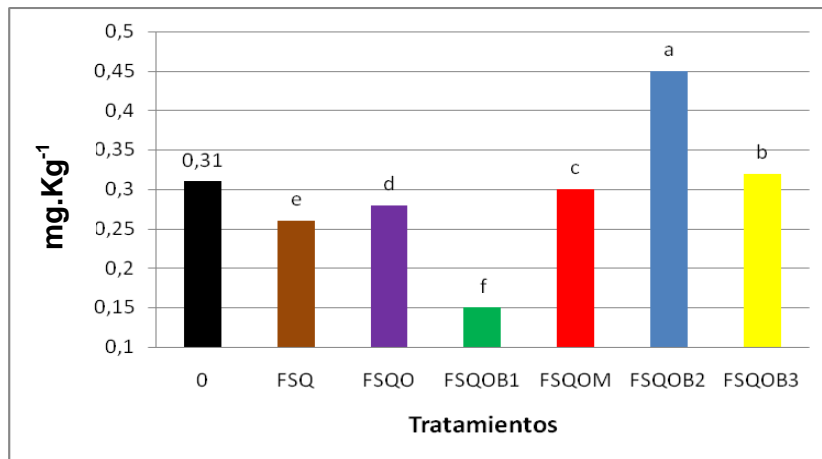
El muestreo inicial (figura 27) presentó  $13.36 \text{ Cmol}^{(+)}.\text{Kg}^{-1}$  considerado como valor adecuado y el muestreo final para el suelo que recibió el tratamiento T2 FSQC + O presentó el valor más alto ( $29.75 \text{ Cmol}^{(+)}.\text{Kg}^{-1}$ ). El suelo que recibió el tratamiento T6 FSQC + O + B3 presentó el menor valor ( $15.08 \text{ Cmol}^{(+)}.\text{Kg}^{-1}$ ), la C.I.C en todos los suelos tratados es considerada como alta a excepción del los tratamientos T5 FSQC + O + B2 y T6 FSQC + O + B3 que se encuentran en niveles adecuados, según Lora (2003) se puede alterar las condiciones reales del suelo y se obtendrá un CIC sobre estimado cuando el pH del suelo está por debajo de 7, además cuando el contenido de materia orgánica es bajo, su adición aumentara la CIC.



**Figura 27. Evolución del valor de la CIC del suelo sembrado con ají Cayenne**

#### 5.3.2.9. Boro

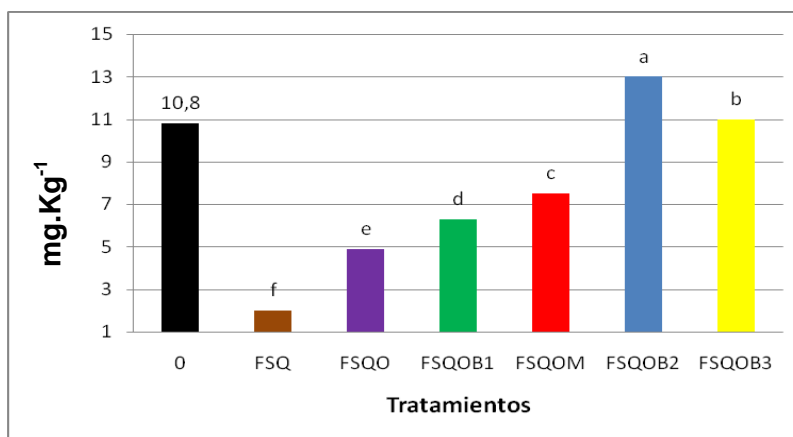
El análisis inicial (figura 28) de suelos muestra diferencias significativas con respecto al análisis final, el valor inicial de B es considerado como adecuado ( $0.31 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), el suelo que recibió el tratamiento T5 FSQC + O + B2 presentó el valor más alto ( $0.45 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y el suelos que se fertilizó con el tratamiento T3 FSQC + O + B1 presentó el menor valor ( $0.15 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), el contenido del elemento en todos los suelos tratados es considerado como adecuado, mientras que el suelo que recibió el tratamiento T3 FSQC + O + B1 es considerado como pobre, según Lora, 1998 la disponibilidad del boro decrece con incrementos en el pH.



**Figura 28. Evolución del contenido de B del suelo sembrado con ají Cayenne**

### 5.3.2.10. Cobre

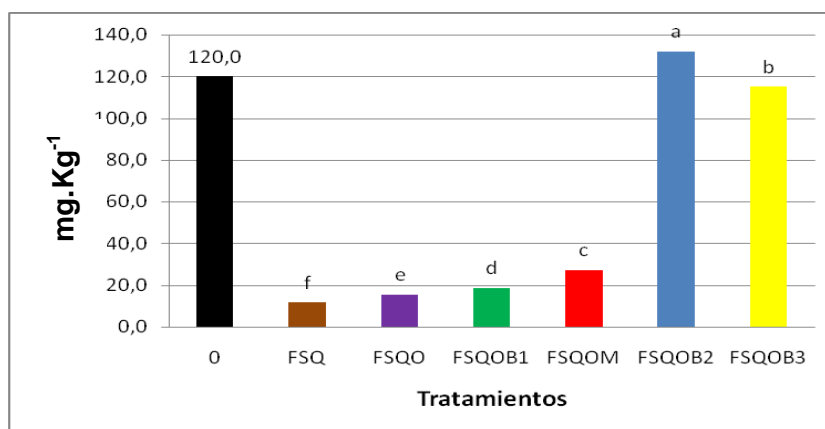
El ANDEVA (figura 29) muestra que el  $\text{Cu}^{++}$  presenta diferencias significativas entre el muestreo inicial y final, el valor inicial del  $\text{Cu}^{++}$  considerado como alto ( $10.8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y el valor final más alto ( $13.0 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) fue para el suelo que recibió el tratamiento T5 FSQC + O + B2 y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T1 FSQC presentó el menor valor ( $2.0 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), en términos generales las concentraciones de cobre en todos los suelos tratados es considerado como muy alto, a excepción del tratamiento T1 FSQC que se encuentra en concentración adecuada, quizás esto pudo deberse a que en el cultivo se aplicaron productos para el control de plagas y enfermedades que tenían como ingrediente activo cobre.



**Figura 29. Evolución del contenido de  $\text{Cu}^{++}$  del suelo sembrado con ají Cayenne**

### 5.3.2.11. Hierro

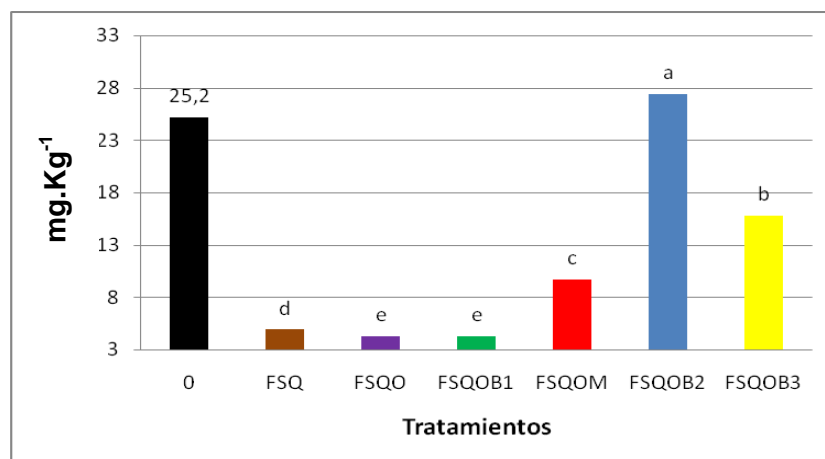
El muestreo inicial (figura 30) presentó  $120.0 \text{ mg.kg}^{-1}$  considerado como valor alto y el muestreo final presentó para el suelo que recibió el tratamiento T5 FSQC + O + B2 presentó el valor más alto ( $132.0 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T1 FSQC presentó el menor valor  $11.6 \text{ mg.kg}^{-1}$ , el contenido del elemento en los suelos tratados T1 FSQC, T2 FSQC + O y T3 FSQC + O + B1 es considerado como pobre, el suelo que se fertilizó con el tratamiento T4 FSQC + O + M es considerado como adecuado y el suelo que recibió el tratamiento T5 FSQC + O + B2 y T6 FSQC + O + B3 es muy alto, la deficiencia de este elemento posiblemente se debe a la función que tiene este en la síntesis y transporte de carbohidratos, algunos de los cuales pueden ser compuestos que complejen el hierro Lora, 1998. Y el contenido muy alto de  $\text{Fe}^{++}$  se pudo estar presentando por la solubilidad del ion  $\text{Fe}^{++}$  (García, 1998).



**Figura 30. Evolución del contenido de Fe<sup>2+</sup> del suelo sembrado con ají Cayenne**

### 5.3.2.12. Manganeso

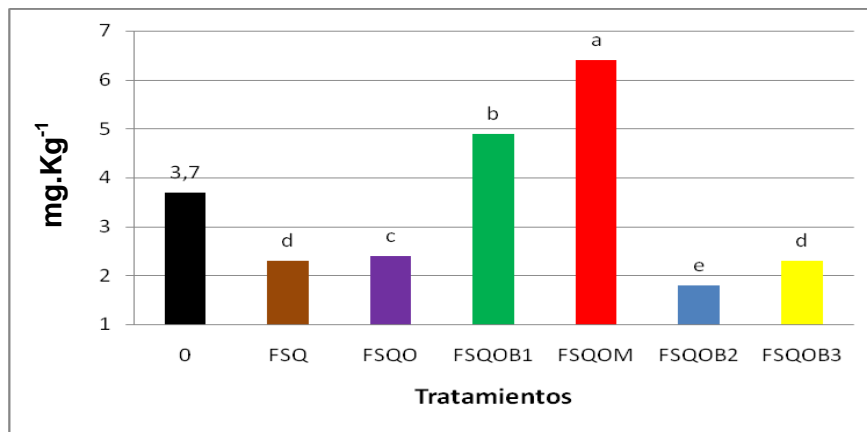
El análisis inicial (figura 31) de suelos muestra diferencias significativas con respecto al análisis final, el valor inicial de Mn<sup>2+</sup> es considerado como alto (25.2 mg.kg<sup>-1</sup>), el suelo que recibió el tratamiento T5 FSQC + O + B2 presentó el valor más alto (27.4 mg.kg<sup>-1</sup>) y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T2 FSQC + O y T3 FSQC + O + B1 presentó el menor valor (4.3 mg.kg<sup>-1</sup>), las concentraciones de manganeso en los suelos que recibieron los tres primeros tratamientos T1 FSQC, T2 FSQC + O y T3 FSQC + O + B1 es considerado como pobre, mientras que los suelos que recibieron los otros tres tratamientos T4 FSQC + O + M, T5 FSQC + O + B2, T6 FSQC + O + B3 es considerado como alto, debido quizás al cambio en el potencial redox del suelo por la unidad de pH que estuvo asociado con el comportamiento del Mn<sup>2+</sup> además de los efectos microbiológicos que se están llevando a cabo en el suelo.



**Figura 31. Evolución del contenido de Mn<sup>2+</sup> del suelo sembrado con ají Cayenne**

### 5.3.2.13. Zinc

El ANDEVA (figura 32) muestra que el  $Zn^{++}$  presenta diferencias significativas entre el muestreo inicial y final, el valor inicial de  $Zn^{++}$  considerado como alto ( $3.7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y el valor final más alto  $6.4 \text{ mg.kg}^{-1}$  fue para el suelo que recibió el tratamiento T4 FSQC + O + M y el suelos que se fertilizó con el tratamiento T5 FSQC + O + B2 presentó el menor valor ( $1.8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), los contenidos del elemento en todos los suelos tratados es considerado como adecuado mientras que para el suelo que recibió el tratamiento T2 FSQC + O y T3 FSQC + O + B1 es considerado alto, la matriz de correlación muestra que la  $Zn^{++}$  presenta una relación indirecta sobre la disponibilidad de la M.O ( $r=0.84$ ), según Gyaneshwar *et al.*, 2002, los hongos micorrícicos mejoran la capacidad de las plantas para tomar los nutrientes de movilidad limitada en el suelo como el  $Zn^{++}$  contribución que puede permitir la reducción del uso de abono fosfatado.



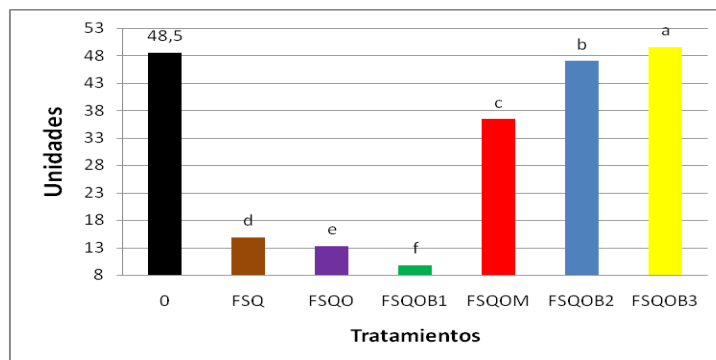
**Figura 32. Evolución del contenido de  $Zn^{++}$  del suelo sembrado con ají Cayenne**

### 5.3.2.14. Relación $Ca^{++}+Mg^{++}/K^{+}$

El análisis inicial (figura 33) de suelos muestra diferencias significativas con respecto al análisis final, el valor inicial de la relación  $Ca^{++}+Mn^{++}/K^{+}$  es considerado como alto (48.5), el suelo que recibió el tratamiento T6 FSQC + O + B3 presentó el valor más alto (49.5) y el suelo que se fertilizó con el tratamiento T3 FSQC + O + B1 presentó el menor valor (9.8), los contenidos de la relación  $Ca^{++}+Mg^{++}/K^{+}$  en todos los suelos tratados es considerada como adecuada a excepción de los suelos que recibieron el tratamiento T5 FSQC + O + B2 y T6 FSQC + O + B3, la matriz de correlación muestra que la relación  $Ca^{++}+Mg^{++}/K^{+}$  presenta una relación indirecta sobre la disponibilidad del S ( $r=0.96$ ), los valores por encima de 40



unidades indican que el  $K^+$  se encuentra en concentración deficiente comparándola con  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ .



**Figura 33. Evolución del valor de la relación  $Ca^{++} + Mg^{++}/K^+$  del suelo sembrado con ají Cayenne**

#### 5.4. ANÁLISIS DE TEJIDOS VEGETALES DEL CULTIVO DE AJÍ

Después de aplicados todos los tratamientos y obtener los resultados de rendimiento del cultivo, se tomó una muestra de tejidos vegetales. La determinación de la concentración se realizó teniendo en cuenta el Handbook of reference methods for plant analysis, (HRMPA) 1998. Y las concentraciones críticas y óptimas de nutrientes de ají obtenida por Nuez *et al.*, 1996. Los datos se analizaron con análisis de varianza (ANOVA), prueba de comparación de Duncan (Anexo 11) y Correlación (Anexo 12).

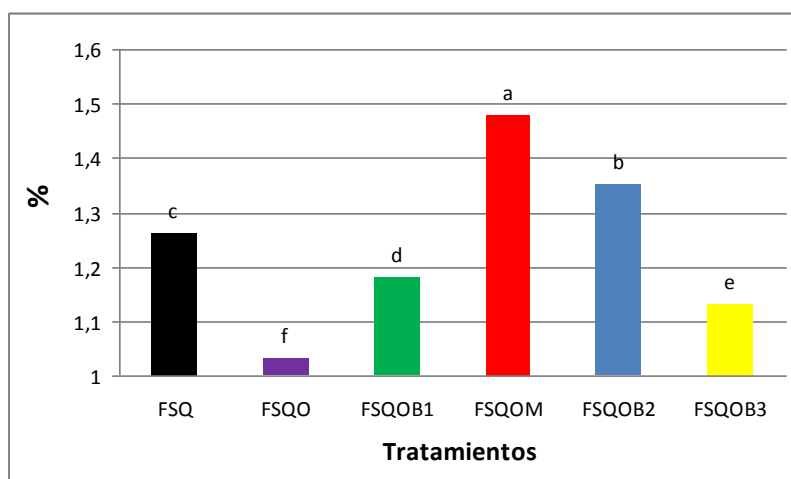
##### 5.4.1. Análisis de tejidos vegetales de ají variedad Cayenne Durkee

El análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas entre tratamientos, De acuerdo con la guía de interpretación de análisis foliares HRMPA, 1998 y Nuez *et al.*, 1996. Se puede notar que los elementos N, P,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ , S,  $Fe^{++}$ ,  $Cu^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ,  $Zn^{++}$  y B se encuentran en concentraciones normales considerados como apropiados para el cultivo. Para el caso del Magnesio y el sodio resultaron con concentraciones por encima y por debajo del óptimo respectivamente.

###### 5.4.1.1. Magnesio

El análisis de varianza (figura 34) muestra que existen diferencias significativas entre tratamientos, las plantas que recibieron el tratamiento T4 FSQC + O + M presentaron el

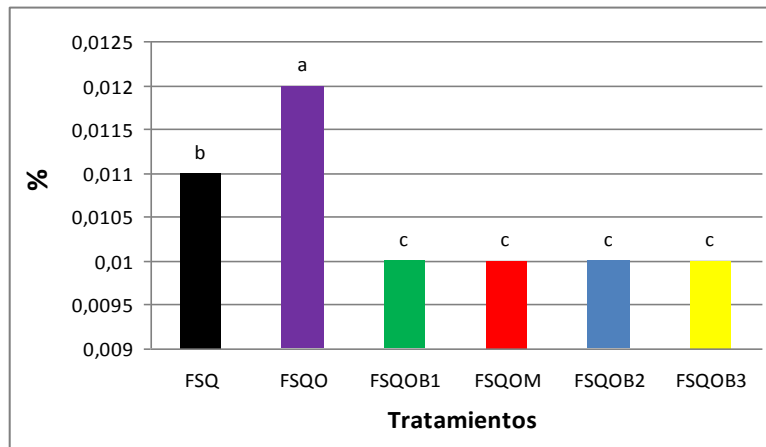
valor más alto (1.48 %) y las plantas que se fertilizaron con el tratamiento T2 FSQC + O presentaron el menor valor (1.03 %), todas las plantas tratadas se encuentran en una concentración alta con respecto a HRMPA, 1998 y Nuez *et al.*, 1996. La matriz de correlación muestra que el  $Mg^{++}$  presenta una relación directa sobre la disponibilidad del  $K^+$  ( $r=0.68$ ), La máxima concentración y absorción de  $Mg^{++}$  coinciden con el incremento de crecimiento de las plantas, porque la fijación de carbono y su participación entre los cloroplastos y el citoplasma, así como su utilización en el metabolismo del nitrógeno, depende en parte de la concentración de iones de  $Mg^{++}$  en los cloroplastos. La mayor tasa de absorción de  $Mg^{++}$  coincide con mayor disponibilidad de agua.



**Figura 34. Evolución de la concentración de  $Mg^{++}$  de tejido vegetal de ají Cayenne**

#### 5.4.1.2. Sodio

El ANDEVA (figura 35) muestra que existen diferencias significativas entre tratamientos, las plantas que recibieron el tratamiento T2 FSQC + O presentaron el valor más altos (0.12 %) y las plantas que se fertilizaron con el tratamiento T3 FSQC + O + B1, T4 FSQC + O + M, T5 FSQC + O + B2, T6 FSQC + O + B3 con 0.01 % presentaron el menor valor, todas las plantas tratadas se encuentran en una concentración baja con respecto a HRMPA, 1998 y Nuez *et al.*, 1996. La escogencia del riego es importante en este caso se utilizo riego por goteo pero si se hubiese utilizado riego por aspersión se aumentarían los contenidos de Cl y  $Na^{++}$  en las hojas ya que el contenido de  $K^+$  se disminuye por el lavado y el  $K^+$  puede ser reemplazado por el  $Na^+$  en el tejido foliar (Arjona, 2003).



**Figura 35. Evolución de la concentración de Na<sup>+</sup> de tejido vegetal de ají Cayenne**

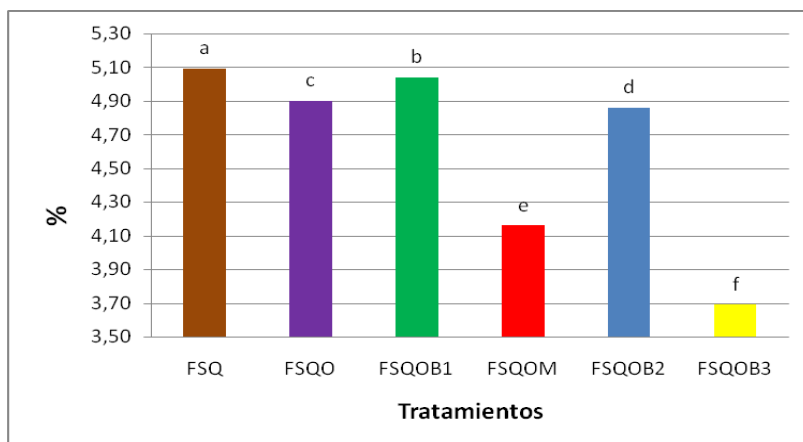
#### 5.4.2. Análisis de tejidos vegetales de ají Jalapeño Híbrido Ixtapa

El análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas entre tratamientos, De acuerdo con la guía de interpretación de análisis foliares HRMPA, 1998 y Nuez *et al.*, 1996. Se puede notar que los elementos P, Ca<sup>++</sup>, S, Fe<sup>++</sup>, Cu<sup>++</sup>, Mn<sup>++</sup>, Zn<sup>++</sup> y B se encuentran en concentraciones normales considerados como apropiados para el cultivo. Para el caso del Nitrógeno, Potasio, Magnesio y el sodio resultaron con concentraciones por encima y por debajo del óptimo respectivamente. En la tabla 18 se presenta la prueba de comparación de medias Duncan al 5% (Anexo 13) de los análisis foliares para el ají Jalapeño híbrido Ixtapa según las condiciones de este experimento y correlaciones (Anexo 14)

##### 5.4.2.1. Nitrógeno

El ANDEVA (figura 36) muestra que existen diferencias significativas entre tratamientos, las plantas que se fertilizaron con el tratamiento T1 FSQC presentaron el valor más alto (5.10%) y las plantas que recibieron el tratamiento T6 FSQC + O + B3 presentaron el menor valor (3.71%), todas las plantas tratadas se encuentran en una concentración normal con respecto a HRMPA, 1998 y Nuez *et al.*, 1996. A excepción de las plantas que recibieron los tratamientos T1 FSQC y T3 FSQC + O + B1 que se encuentra en una concentración alta, es posible que los microorganismos (micorrizas y *Azotobacter chroococcum* fijador de nitrógeno) que se aplicaron en estos tratamientos de fertilización estuvieron cumpliendo con su función y además jugaron un papel importante en la absorción del N por la planta, esto

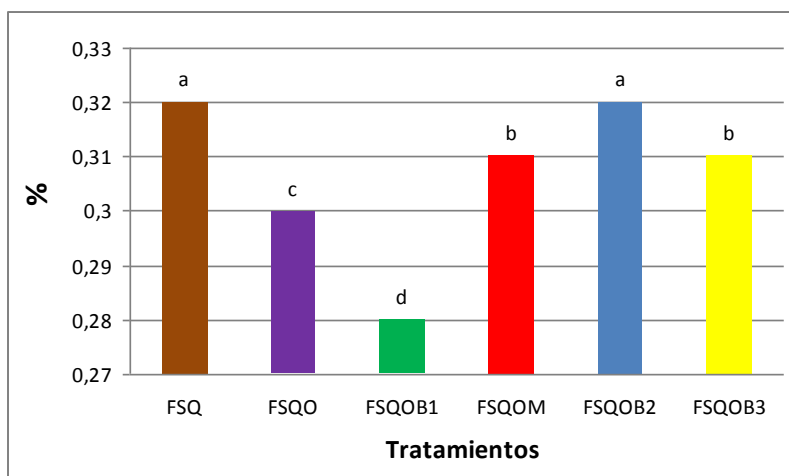
concuerta con lo expresado por Sánchez *et al.*, 2006; Steenhoudt Vanderleyden (2000) quienes manifiestan que la inoculación de plantas con micorrizas y *Azotobacter chroococcum* provoca cambios significativos en varios parámetros de crecimiento, entre los cuales se ha observado alteración en la morfología de las raíces con aumento del número de pelos radicales laterales, aumento de la longitud y peso seco de la raíz.



**Figura 36. Evolución de la concentración de N de tejido vegetal de ají Jalapeño**

#### 5.4.2.2. Potasio

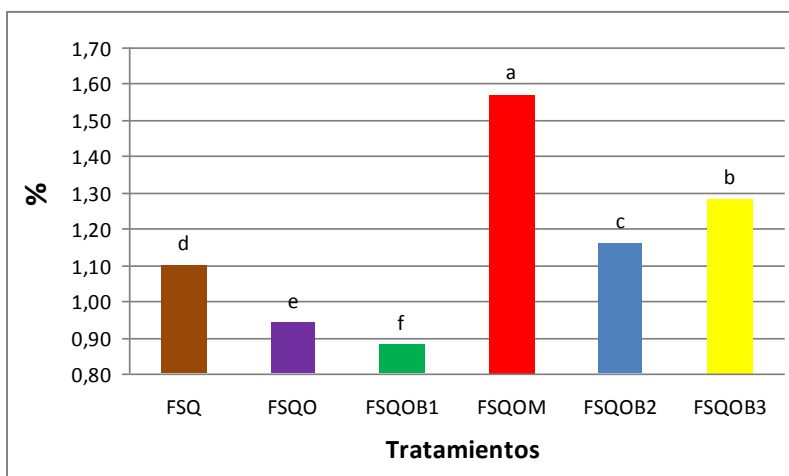
El análisis de varianza (figura 37) muestra diferencias significativas entre tratamientos, las plantas que se fertilizaron con los tratamientos T1 FSQC y T5 FSQC + O + B21 presentaron el valor más alto (0.32%) y las plantas que recibieron el tratamiento T3 FSQC + O + B1 presentaron el menor valor (0.28%), este elemento se encuentra en una concentración normal con respecto a HRMPA, 1998 y Nuez *et al.*, 1996. La matriz de correlación muestra que el  $K^+$  presenta una relación directa sobre la disponibilidad del S ( $r=0.84$ ) y  $Mn^{++}$  ( $r=0.77$ ) según Marschner, 2003 subraya la importancia de absorción de  $K^+$  como un catión para la osmoregulación, mecanismo de adaptación a condiciones estrés hídrico en la planta, así como activador enzimático en el metabolismo proteico.



**Figura 37. Evolución de la concentración de K<sup>+</sup> de tejido vegetal de ají Jalapeño**

#### 5.4.2.3. Magnesio

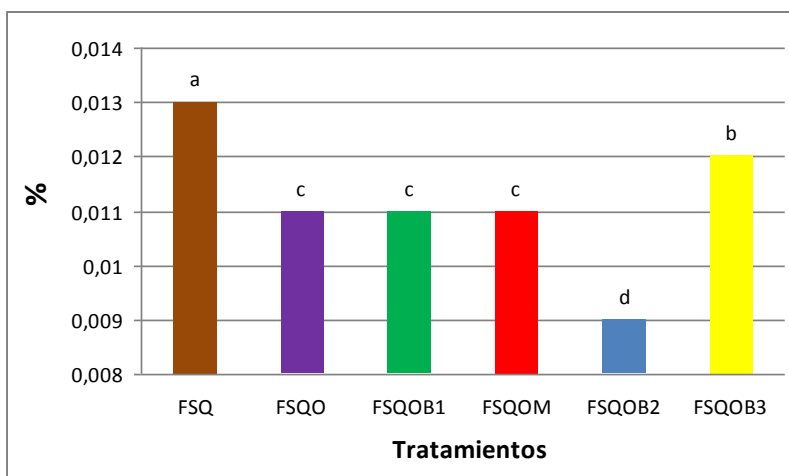
El ANDEVA (figura 38) muestra que existen diferencias significativas entre tratamientos, las plantas que se fertilizaron con el tratamiento T4 FSQC + O + M presentaron el valor más alto (1.57%) y las plantas que recibieron el tratamiento T3 FSQC + O + B1 presentaron el menor valor (0.89%), todas las plantas tratadas se encuentran en una concentración alta con respecto a HRMPA, 1998 y Nuez *et al.*, 1996. Los resultados obtenidos determinan una importancia altamente significativa del Mg<sup>++</sup> sobre la disponibilidad del K<sup>+</sup>, El magnesio, mejora la absorción del calcio y potasio en la planta. Lo que está en desacuerdo con lo planteado por (Estrada, 1990). Quien dice que los estudios de alteración muestran que el magnesio se elimina más fácilmente que el calcio en los carbonatos.



**Figura 38. Evolución de la concentración de Mg<sup>++</sup> de tejido vegetal de ají Jalapeño**

#### 5.4.2.4. Sodio

El análisis de varianza (figura 39) muestra diferencias significativas entre tratamientos, las plantas que se fertilizaron con el tratamiento T1 FSQC presentaron el valor más alto (0.013%) y las plantas que recibieron el tratamiento T5 FSQC + O + B2, presentaron los menores valores (0.009%), todas las plantas tratadas se encuentran en una concentración baja con respecto a HRMPA, 1998 y Nuez *et al.*, 1996. Los resultados obtenidos determinan una importancia altamente significativa del Na<sup>+</sup> sobre la disponibilidad del S, se presume que este elemento es absorbido por la planta.



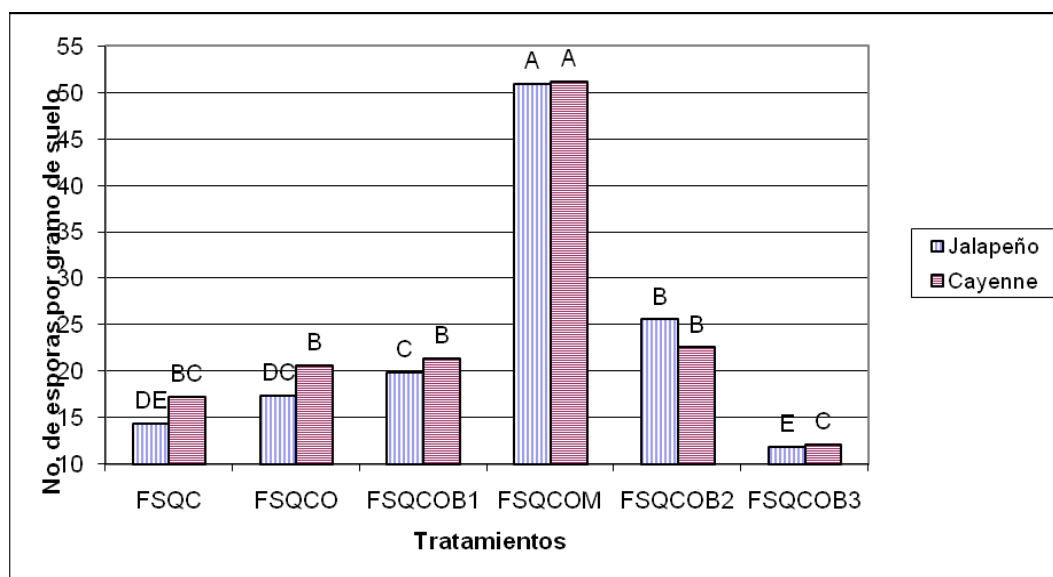
**Figura 39. Evolución de la concentración de Na<sup>+</sup> de tejido vegetal de ají Jalapeño**

#### 5.5. DENSIDAD DE ESPORAS DE MICORRIZAS POR GRAMO DE SUELO

De acuerdo con el análisis de varianza (Anexo 15) hay diferencia en la densidad de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares por gramo de suelo (figura 40). El suelo que presentó el mayor número de esporas de HMA por gramo de suelo fue el que recibió la inoculación con HMA (4 FSQC + O + M) con 51 esporas, mientras que las plantas que recibieron el tratamiento T6 FSQC + O + B3 registraron 12 esporas por gramo de suelo mostrando el menor número de esporas por gramo de suelos para los dos ajíes evaluados en esta investigación. El tratamiento T4 FSQC + O + M presenta diferencias altamente significativas con respecto a los demás tratamientos.

La matriz de correlación determinó para Jalapeño una relación directa entre las variables densidad de esporas de HMA presente en el suelo CICE ( $r=0.53$ ) y C.E ( $r=0.90$ ) y de forma

indirecta sobre  $\text{Ca}^{++}$  ( $r=0.97$ ),  $\text{Na}^+$  ( $r=0.68$ ), de igual forma para Cayenne la matriz de correlación determinó una relación directa entre las variables densidad de esporas presente en el suelo M.O ( $r=0.81$ ), B ( $r=0.81$ ) y CICE ( $r=0.53$ ) y de forma indirecta sobre P ( $r=0.58$ ),  $\text{Mg}^{++}$  ( $r=0.64$ )  $\text{Cu}^{++}$  ( $r=0.99$ ) y  $\text{Mn}^{++}$  ( $r=0.76$ )



**Figura 40. Número de esporas de HMA por gramo de suelo en experimentos sembrados con ají Jalapeño y Cayenne.**

Era de esperar que el tratamiento T4 FSQC + O + M el cual fue inoculado con hongos formadores de micorrizas arbusculares presenta el mejor valor, lo cual se puede explicar dada la presencia de microorganismos como (micorrizas y *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum* sp. como fijadores de nitrógeno y *Penicillium janthinellum* como solubilizador de fósforo), por el contrario la aplicación de insumos químicos inhibió drásticamente; Mientras que las plantas a las cuales no se les inoculó micorrizas presentan contenidos bajos de número de esporas por gramo de suelo, esto concuerda con lo expresado por Marx *et al.*, 2002 quienes manifiestan que las prácticas modernas de agricultura tales como rotación de cultivos, aplicación de plaguicidas, arado y fertilización química, afectan la calidad de los propágulos de HMA infectivos, así como el número de especies fúngicas que sobreviven a este tipo de prácticas en el suelo.

Estos resultados muestran que las plantas que recibieron los tratamientos T1 FSQC y T6 FSQC + O + B3 disminuyeron el número de esporas, posiblemente por la presencia de

raíces más lignificadas; sin embargo, las tendencias se mantuvieron y los químicos muestran efectos negativos sobre la densidad de esporas. La presencia de cobertura vegetal y lo que ello implica en la actividad de la HMA, sus mayores contenidos de Materia orgánica (ácidos húmicos y fúlvicos) pudieron haber favorecido el número de esporas de HMA, ya que los ácidos húmicos y fúlvicos a estimula la formación de estructuras micorrícicas.

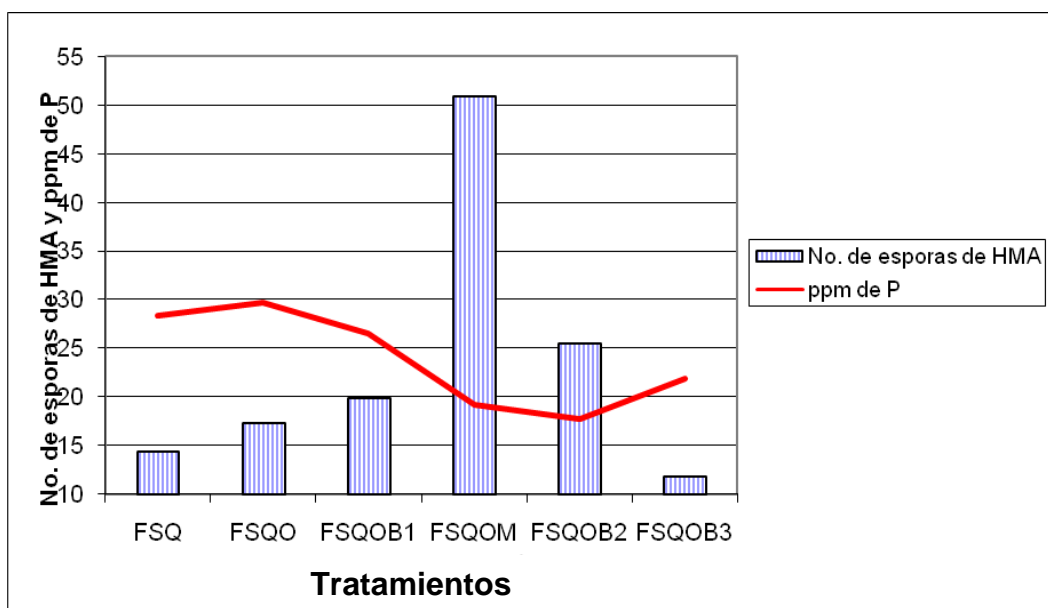
Es importante señalar que en el contexto del estado actual de la investigación básica y aplicada en HMA, la optimización de la calidad de los inoculantes basados en HMA está determinada principalmente por un estricto control de las condiciones productivas (independiente de método de producción escogido) y por la selección de las cepas con mayor desempeño, mejor adaptadas a la planta o cultivo hospederos y a las diferentes condiciones que puede encontrar en el suelo definitivo de crecimiento. Algunos investigadores como Dalpe y Monreal, 2003 piensan que las investigaciones en este campo deben orientarse hacia el monitoreo y aseguramiento el contacto inicial entre las plantas y el inóculo.

En las plantas micorrizadas, además de la zona de rizósfera, existe la micorrizosfera, término que fue presentado en 1968 por Oswald y Frechau, citados por Andrade *et al.* (1997), en Sánchez (2007). En la micorrizosfera ocurre alta actividad microbiana, causando beneficios para el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos.

En *Capsicum annum* L., Tofiño *et al.* (2007), encontraron mayores rendimientos en plantas micorrizadas. Estos resultados coinciden con los encontrados en esta investigación ya que tanto la producción como el rendimiento de ají fueron mayores en plantas micorrizadas.

En la figura 41, se puede observar que el suelo que recibió el tratamiento T4 FSQC + O + M presentó concentraciones bajas de P con respecto a los demás tratamientos, pero de igual forma presentó alto número de esporas por gramo de suelo. Las plantas que recibieron este tratamiento en comparación con los tratamientos que no fueron micorrizadas presentaron alta capacidad de absorción.

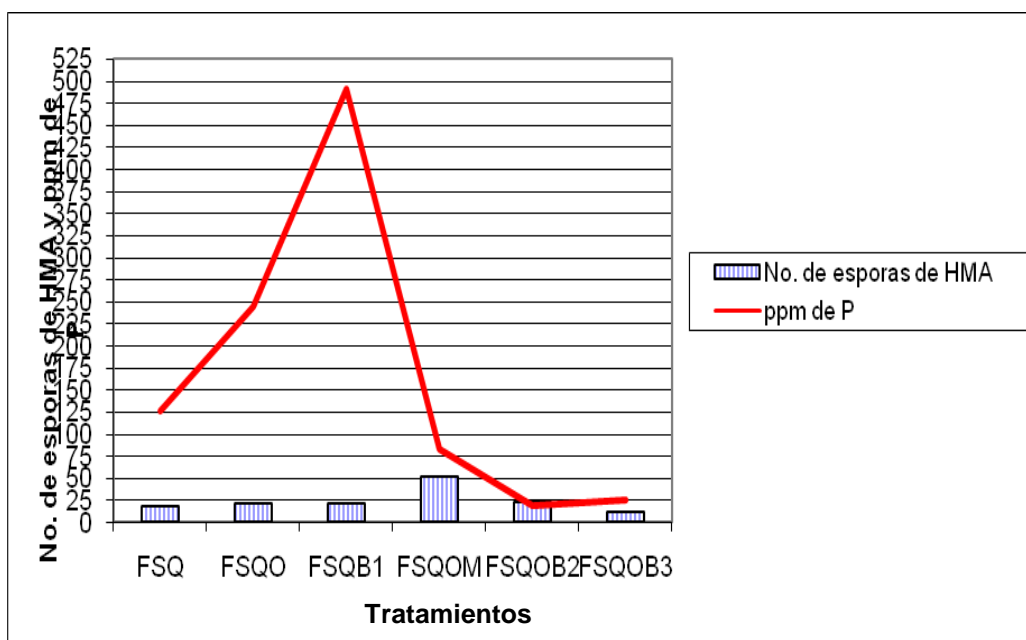




**Figura 41. Relación entre el número de esporas por gramo de suelo y contenido de P en el suelo sembrado con ají Jalapeño híbrido Ixtapa.**

Según Mosse, Hayman y Arnold, 1973; Powell, 1975; Gianinazzi – Pearson y Gianinazzi, 1983; Cress *et al.*, 1979, citado por Jakobsen, 1995; Sánchez de P. (1999, 2001); los incrementos en la velocidad de flujo de entrada del nutrimento y, al parecer una ruta de captación con mayor afinidad por el ión que se manifiesta en menores valores de la constante de Michaelis ( $K_m$ ), interpretados como la capacidad de la micorriza de captar fosfato en suelos en donde sus bajas concentraciones lo hacen inaccesible para plantas no micorrizadas. Sánchez de P. 2001, afirma que no significa que las micorrizas solubilicen fósforo, se ha demostrado en varios ensayos que las micorrizas absorben este elemento de la misma fracción lábil de donde lo captan las plantas no micorrizadas

En la figura 42, se observó que las plantas que recibieron el tratamiento T4 FSQC + O + M presentaron concentraciones bajas de P con respecto a los demás tratamientos pero de igual forma presentó más número de esporas por gramo de suelo, mientras que el tratamiento T3 FSQC + O + B1 al cual se le aplicó *Penicillium janthinellum* como solubilizador de fósforo presentó valores extremadamente altos de fósforo en el suelo.



**Figura 42. Relación entre el número de esporas de HMA por g de suelo y contenido de P en el suelo cultivado con ají Cayenne Durkee.**

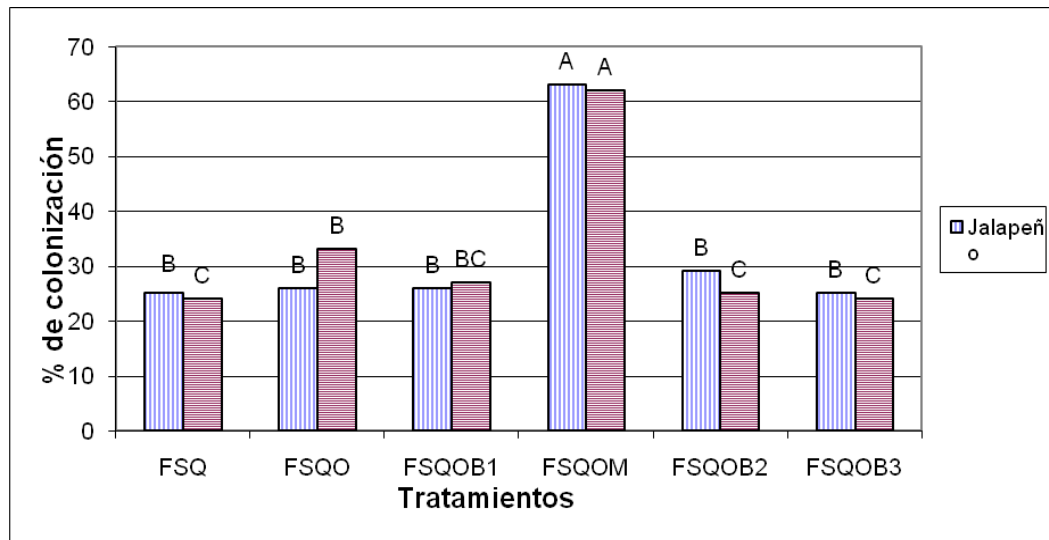
Lo presentado coincide con lo expresado por (Gyaneshwar *et al.*, 2002); quienes manifiestan que en general, los estudios donde se involucran plantas inoculadas con microorganismos solubilizadores de fósforo MSF han mostrado un aumento en el crecimiento de las plantas y en el contenido de P en los tejidos vegetales, pero con una amplia variación en la efectividad de los solubilizadores, es importante considerar que los resultados de las inoculaciones pueden ser concluyentes con respecto al papel directo de los MSF para suplementar los fosfatos del suelo a las plantas, en especial porque en la mayoría de los experimentos realizados en campo reportados, el incremento en la producción no es comparable con la producción obtenida por la adición de superfosfatos químicos y porque otras actividades de promoción de crecimiento aparte de la solubilización, no se han definido completamente.

Sánchez *et al.*, 2006, manifiestan que aunque en muchos casos las inoculaciones conjuntas con MSF han mostrado resultados discretos, las inoculaciones conjuntas con otros microorganismos como hongos formadores de micorrizas arbusculares HMA y bacterias fijadoras de nitrógeno han sido más exitosas. De hecho, se han observado efectos sinérgicos sobre el crecimiento de las plantas con inoculaciones con *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Azotobacter* y microorganismos solubilizadores de fósforo.

## 5.6. PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EN RAÍCES DE AJÍ.

De acuerdo con el análisis de varianza (Anexo 16) hubo diferencias significativas entre los valores de los diferentes tratamientos en la colonización de raíces de ají por hongos formadores de micorrizas arbusculares, la figura 43, presenta los siguientes resultados: el mejor tratamiento T4 FSQC + O + M con 63 y 62 % de colonización para ají Jalapeño y Cayenne, y los que presentaron los más bajos resultados fueron los tratamientos T6 FSQC + O + B3 y T1 FSQC con 25 y 24 % de colonización respectivamente, para los dos ají evaluados en este experimento.

La matriz de correlación determinó para Jalapeño una relación directa entre las variables porcentaje de colonización de HMA en raíces de ají  $\text{Na}^{++}$  ( $r=0.76$ ) y de forma indirecta sobre C.E ( $r=0.87$ ).



**Figura 43. Porcentaje de colonización de HMA en experimentos cultivados con ají Jalapeño híbrido Ixtapa y Cayenne Durkee.**

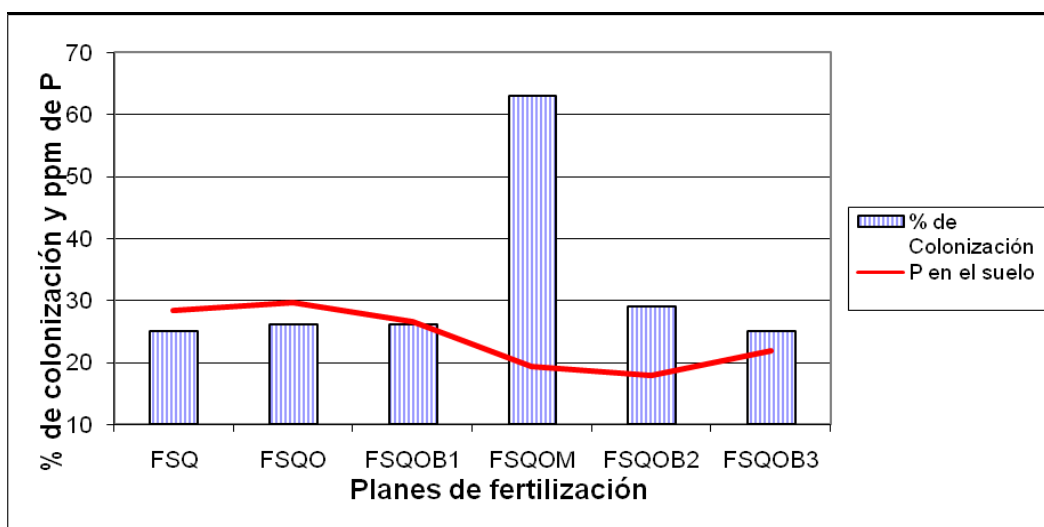
Estos resultados muestran que en los tratamientos T1 FSQC y T3 FSQC + O + B3 se disminuyó la colonización por HMA. Según Dalpe y Monreal, (2003) los niveles de macro y micronutrientes también pueden afectar el desarrollo del inóculo, especialmente si se utilizan

sustratos inertes con fertilización artificial, también el exceso de fósforo puede inhibir su propagación.

El tratamiento T4 FSQC + O + M presentó los mejores resultados, debido a que fueron inoculados con hongos micorrícicos arbusculares. Los microorganismos (Solubilizador de fósforo: *Penicillium janthinellum*  $1 \times 10^7$  conidias/ml, Fijadores de Nitrógeno: *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum* sp  $1 \times 10^8$  UFC/ml), estimulan notoriamente la colonización de los HMA. Al respecto Correa, 2004 y otros autores citados por Sánchez de P., 1999, anotan que existen HMA que pueden tener una gran habilidad para colonizar (infectividad) y beneficiar a su hospedero (efectividad), pero que también los hay muy infectivos pero poco efectivos.

Los porcentajes de colonización de los HMA en las raíces de ají, tanto Jalapeño como Cayenne, son muy superiores a los encontrados en las raíces de plantas de ají que no fueron inoculadas con estos simbioses, pueden explicar los resultados obtenidos el rendimiento del cultivo debido a los efectos de la micorrización. Al respecto, varios autores citados por Sánchez (2007) coinciden en afirmar que esta simbiosis además de mejorar la absorción de agua y nutrientes, también incrementa la tasa fotosintética y por ende incrementa la fitomasa, presenta efectos hormonales, confiere a las plantas resistencia a condiciones adversas en el suelo, participa en el reciclaje de nutrientes, favorece las interacciones con otros microorganismos e incrementa la rizósfera.

En la figura 44, se pudo confirmar que el tratamiento T4 FSQC + O + M con concentraciones bajas de P con respecto a los demás tratamientos presentaron mayores porcentajes de colonización, en términos generales los tratamientos con menores contenidos de fósforo presentaron mayor porcentaje de colonización. La colonización en los tratamientos T1 FSQC, T3 FSQC + O + B1, T4 FSQC + O + B2 y T5 FSQC + O + B3 fue inferior al promedio.



**Figura 44. Relación entre el número de esporas de HMA por gramo de suelo y contenido de P en el suelo cultivado con ají Jalapeño híbrido Ixtapa.**

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con Tofiño *et al.*, 2007 que manifiesta que la inoculación de pimentón con cepas efectivas de micorrizas, en suelos con niveles bajos de P, mejora el crecimiento de las plantas, la absorción de P, Zn<sup>++</sup>, Mn<sup>++</sup>, Cu<sup>++</sup>, la floración reduce el tiempo de antesis, incrementa la producción de materia seca total, el rendimiento y el nivel de ácido ascórbico de la hortaliza.

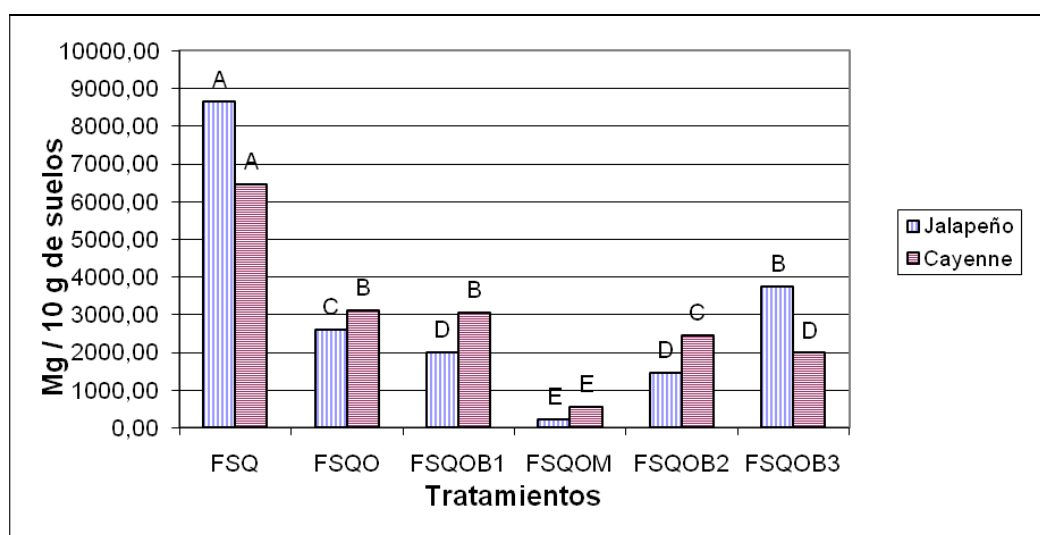
El bajo número de esporas encontradas en los suelos comparado con los contenidos de materia orgánica (ácidos húmicos y fúlvicos) del suelo relacionando el número de esporas y el porcentaje de colonización con las características químicas de los suelos estudiados, se encontró que, con respecto al P, Cooke (1977), Deal *et al.* (1972) citados por castaño y Molinares (1992), afirman que niveles bajos y/o altos de P inhiben el desarrollo de hongos formadores de micorriza arbusculares.

### 5.7. ACTIVIDAD MICROBIANA MEDIDA COMO RESPIRACIÓN (C – CO<sub>2</sub>)

De acuerdo con el análisis de varianza (Anexo 17) hubo diferencias significativas en esta variable, la producción de CO<sub>2</sub> realizada por los microorganismos en rizósfera del cultivo de ají (figura 45) presenta los siguientes resultados: el mejor tratamiento fue el T1 FSQC con 8631,29 y 6440, 00 mg.10g<sup>-1</sup> de suelos, y el que presentó el menor resultado fue el

tratamiento T4 FSQC + O + M con 219,17 y 537,50 mg.10g<sup>-1</sup> de suelos, en suelos sembrados con los dos ají (Jalapeño y Cayenne respectivamente). El suelo que recibió el tratamiento T1 FSQC presenta diferencias altamente significativas con respecto a los demás tratamientos.

La matriz de correlación determinó para Jalapeño una relación directa entre las variables actividad microbiana medida como respiración presente en el suelo Ca<sup>++</sup> (r=0.87) y S(r=0.87), de igual forma para Cayenne la matriz de correlación determinó una relación directa entre las variables actividad microbiana medida como respiración presente en el suelo S (r=0.53).



**Figura 45. Producción de CO<sub>2</sub> realizada por microorganismos en rizosfera de Ají Jalapeño híbrido Ixtapa y Cayenne Durkee bajo diferentes tratamientos**

El tratamiento T1 FSQC al cual no se le aplicó materia orgánica presentó el mejor resultado esto se debió quizás a que la aplicación de productos químicos en dosis altas sobre los tratamientos influye sobre la respiración de los microorganismos (producción de CO<sub>2</sub>) o también puede estar relacionado con el pH de los tratamientos, y la disponibilidad del fósforo, como lo reporta Burbano (2006), quien afirma que el nivel del fósforo disponible en los suelos restringe la utilización del carbono del suelo por los microorganismos, además también podría estar relacionado con que después de un ciclo de alta actividad respiratoria, en el muestreo siguiente se presentaba un descenso, concordante con lo hallado por Silva

(2005), afirmando que esto puede deberse a una estabilización de las poblaciones después de un ciclo intenso por efecto de la aplicación de los fertilizantes y finalmente a que los microorganismos al disminuir su actividad respiratoria en el suelo habrían podido entrar en un estado de dormancia probablemente evitando una toxicidad (López, 1998).

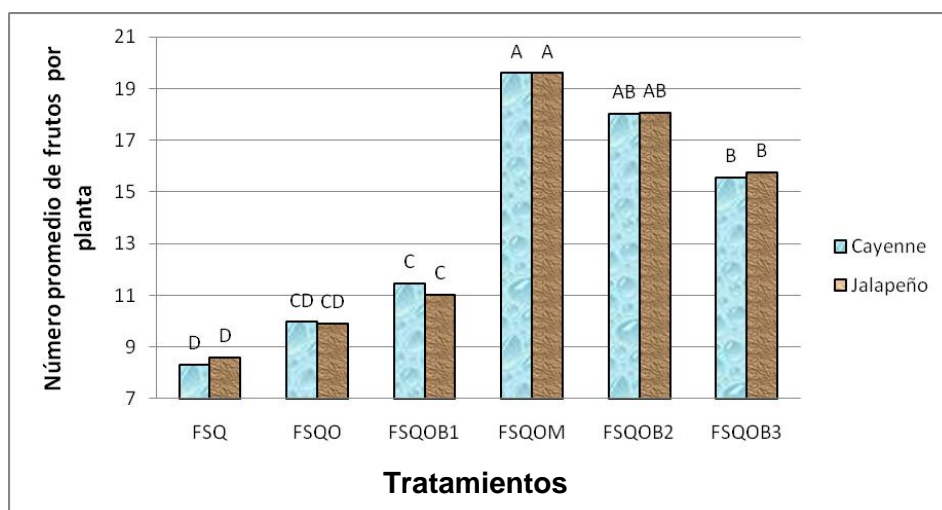
Según (Nannipieri *et al.*, 1990); citados por Hernández & García (2003), todos los microorganismos heterótrofos, tienen la propiedad de degradar la materia orgánica, obteniendo la energía que necesitan para su desarrollo a través de compuestos orgánicos tales como la celulosa, proteínas, nucleótidos y compuestos humificados. En estas reacciones de oxidación de la materia orgánica por los microorganismos (respiración microbiana), el oxígeno funciona como aceptor final de electrones obteniéndose como producto final del proceso  $\text{CO}_2$  y agua.

Posiblemente debido a que las poblaciones bacterianas son mayores y estas producen mayores cantidades de  $\text{CO}_2$ , según Blasco (1963) el calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) en cantidades altas aumenta la actividad de los microorganismos del suelo, especialmente las bacterias nitrificantes. Se puede decir las altas dosificaciones de fertilizantes de síntesis química ocasionan incrementos en la respiración ( $\text{C} - \text{CO}_2$ ) del suelo.

## **5.8. PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE AJI VARIEDAD CAYENNE DURKEE Y JALAPEÑO HÍBRIDO IXTAPA**

### **5.8.1. Número de frutos por planta**

De acuerdo con el análisis de varianza (Anexo 18) hubo diferencias significativas entre los diferentes tratamientos (Figura 46), el mejor tratamiento fue T4 FSQC + O + M con 19.60 frutos por planta para los dos ajíes evaluados, mientras que el tratamiento T1 FSQC con 8.33 y 8.58 frutos respectivamente, presentó el menor número de frutos por planta.



**Figura 46. Efecto de la fertilización e inoculación con HMA sobre el número de frutos por plantas de ají Cayenne Darkee y Jalapeño híbrido Ixtapa.**

La fertilización de síntesis química más materia orgánica más micorrizas expresó de mejor forma el número de frutos por planta que los otros tratamientos, Las micorrizas ayudan a la absorción del fósforo, nitrógeno, potasio, magnesio, azufre, cobre, boro, zinc y molibdeno. La adsorción de nutrientes por parte de las plantas ayudan a la raíz colonizada por el hongo a explorar mayor volumen de suelo, debido a que el hongo extiende su micelio por fuera de la raíz y llega hasta sitios del suelo donde la raíz no puede llegar la cual permite tomar del suelo los nutrientes y absorberlos, además crea sinergismos con otros organismos del suelo, absorbiendo mayor cantidad de nutrimentos, como el fósforo, el cual se requiere como energía para otras relaciones que se establecen entre las plantas y los microorganismos, suministrando fósforo que se requiere para la fijación simbiótica del nitrógeno (Sánchez, 2006).

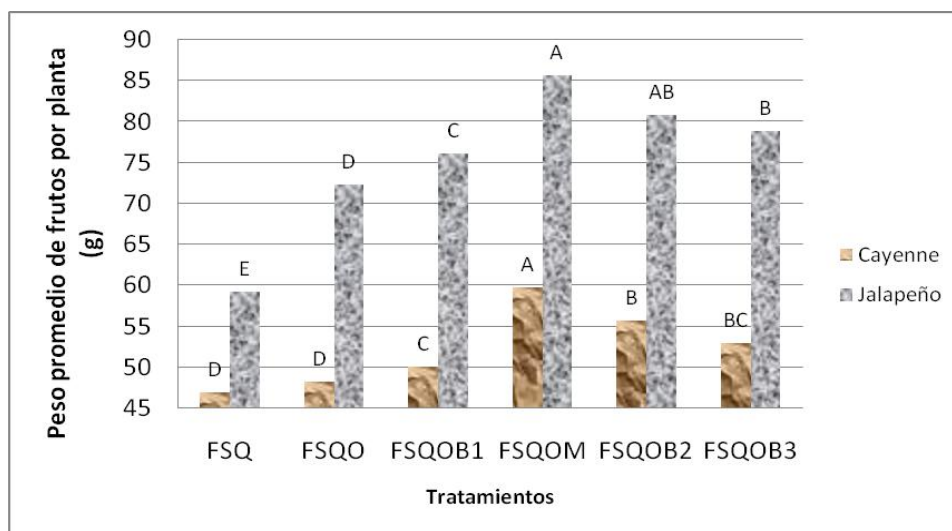
En el análisis de ajíes evaluados se observó que el ají Jalapeño híbrido Ixtapa presentó mejores promedios en el número de frutos/planta que el ají de la variedad Cayenne Durkee, para cada uno de los tratamientos evaluados esto se debió a la morfología de la planta de Jalapeño la cual es más robusta y presenta mucho más entrenudos que el ají Cayenne, los entrenudos son los sitios donde aparecen los botones florales y posteriormente los frutos.



El potasio y el calcio ayudaron a disminuir la caída de flores, aumentó el número total de ramas por planta observación que se hizo en el campo, e incrementó la producción de materia seca total del fruto.

### 5.8.2. Peso promedio de frutos

De acuerdo con el análisis de varianza (Anexo 19) hubo diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 47), el mejor tratamiento fue el T4 FSQC + O + M con 59.80 y 85.65 frutos, para ají Cayenne y Jalapeño, mientras que el tratamiento T1 FSQC con 47.28 y 59.25 g frutos respectivamente, presentó el menor número de frutos por planta.



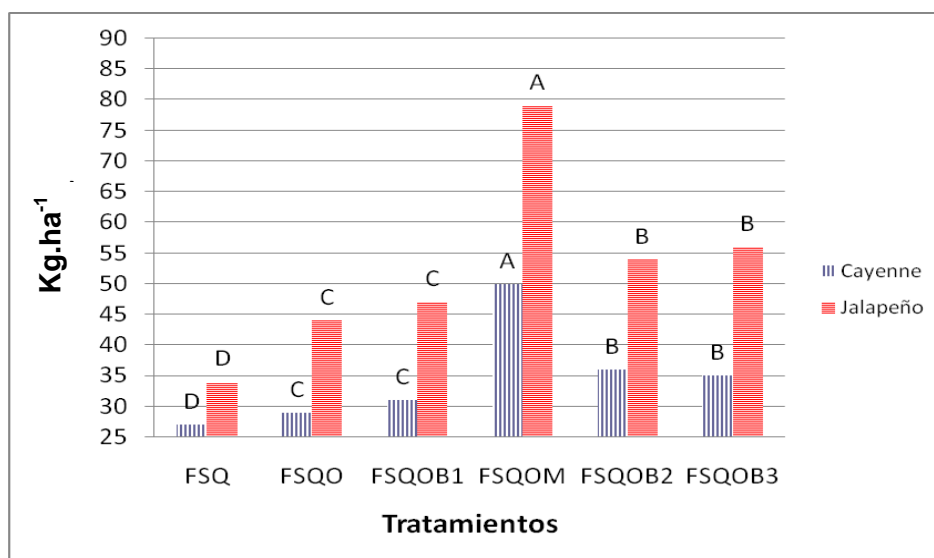
**Figura 47. Efecto de la fertilización e inoculación con HMA sobre el peso promedio de frutos por plantas de ají**

El tratamiento T4 FSQC + O + M por medio de la micorriza ayudó a absorber los nutrientes que la planta necesitó para su desarrollo, como es el caso del  $K^+$ . El  $K^+$  es un elemento importante para el llenado de los frutos, Según Adams, 1994. En estudios realizados con hortalizas se presentó una tendencia negativa entre el  $K^+$  y el peso promedio de fruto debido a que las plantas produjeron menor cantidad de frutos a valores bajos de  $K^+$ . También puede ser por la estructura de los frutos de que genéticamente son más grandes.

Es común encontrar reportes que indican que el ají, al igual que muchos otros cultivos hortofrutícolas, requieren grandes cantidades de  $K^+$  acumulado en los frutos para lograr incrementar su calidad (Adams, 1994).

### 5.8.3. Rendimiento por hectárea

De acuerdo con el análisis de varianza (Anexo 20) hubo diferencias significativas entre todos los tratamientos (Figura 48), el mejor tratamiento fue el T4 FSQC + O + M con 50.926 y 79.718  $kg \cdot ha^{-1}$  de ají, para ají Cayenne y Jalapeño respectivamente, mientras que el tratamiento T1 FSQC con 27.102 y 34.411  $kg \cdot ha^{-1}$  respectivamente, presentó el menor número de frutos por planta.



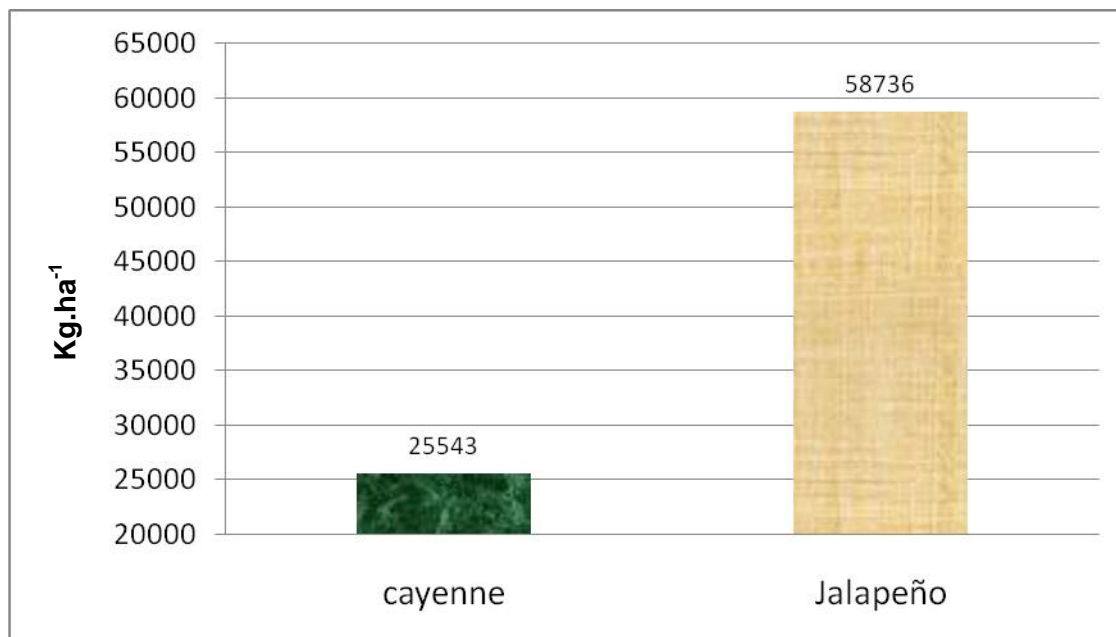
**Figura 48. Rendimientos de ají variedad Cayenne Durkee y Jalapeño híbrido Ixtapa**

El tratamiento T4 FSQC + O + M el cual tenía la fertilización de síntesis completa más orgánica más micorrizas presentó los mayores rendimientos, lo cual coinciden con lo que manifiestan autores como Siqueira y Franco (1988), Bolan, (1991), Chacón y Cuenca, (1998), Corbera (1998) manifiestan que los HMA incrementan la capacidad de absorción y exploración en suelo conjuntamente con el aprovechamiento de elementos que ellas solubilizan, incrementando las variables de crecimiento y rendimiento.

Los valores obtenidos por el tratamiento T4 FSQC + O + M coinciden con los expresado por Marx *et al.*, 2002 quienes manifiestan que se producen incrementos en la producción luego de inoculaciones con hongos micorrícicos arbusculares, con respecto al tratamiento T5 FSQC + O + B2 y T6 FSQC + O + B3 del presente experimento, Sarmiento, 2006 dice que *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum* sp. reduce el tiempo de germinación de semillas y produce hormonas de crecimiento vegetal, aumentando el 16 % en la productividad, y ahorro por uso de fertilizantes químicos y con respecto al tratamiento T3 FSQC + O + B1 lo manifestado por Barona y Castilla, 2006, quienes comenta que las bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos solubilizadores de fósforo incrementan la producción de los cultivos al ser aplicados como complemento a la fertilización química.

El efecto sobre el rendimiento en el tratamiento T4 FSQC + O + M puede ser debido al aumento del contenido de macro elementos como N, Mg<sup>++</sup>, S, P, Ca<sup>++</sup> y a micro elementos como Zn<sup>++</sup> y Mn<sup>++</sup>, y su disponibilidad en el suelo para posterior absorción de las plantas.

En la figura 49, se aprecian los valores totales en kilogramos por hectárea que se registraron en la realización del presente proyecto de investigación, los cuales son reportados por primera vez en cultivos de ají cosechados en el Valle del Cauca, municipio de Vijes.



**Figura 49. Rendimiento total del ají por variedad**

## 5.9. COMPARACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN ENTRE EL AJÍ VARIEDAD CAYENNE DURKEE Y JALAPEÑO HÍBRIDO IXTAPA.

En la Tabla 15 se presenta el resumen de los costos (Anexos 21 y 22), además muestra el comparativo de los costos de ají con el sistema tecnificado a nivel de agricultor VS los costos del proyecto con el mismo sistema adicionado de la biofertilización con micorrizas, solubilizadores de fósforo y fijadores de nitrógeno.

También se observó la disminución de los costos ambientales por el menor uso de productos de síntesis química y de los costos económicos del 40.8 %. Para el caso de la fertilización edáfica la disminución fue del 35.7 % por la utilización de los biofertilizantes. En el caso de la fertilización foliar la disminución fue del 33.33 % a favor de los bioestimulantes aplicados. El uso de biofertilizantes ayuda a disminuir notablemente el costo de producción del cultivo, ya que reduce la cantidad de fertilizantes de síntesis química a aplicar al cultivo.

**Tabla 15. Resumen de costos de producción de ají en el Valle del Cauca Vs costos del proyecto**

PLAN 1 (Costos ají reales)		PLAN 2 (Costos proyecto)		DIFERENCIA % (costo/beneficio)
LABORES (MO)	\$ 9.480.000	LABORES (MO)	\$ 8.569.985	9.60 %
INSUMOS	\$15.038.190	INSUMOS	\$ 8.902.900	<b>40.80 %</b>
Insecticidas	\$ 1.500.000	Insecticidas	\$ 574.000	61.73 %
Funguicidas	\$ 1.950.000	Funguicidas	\$ 525.000	73.08 %
Bactericidas	\$ 688.000	Bactericidas	\$ 368.000	46.51 %
Fertilizantes edáficos.	\$ 2.400.000	Fertilizantes edáficos	\$ 1.543.200	<b>35.70 %</b>
Fertilizantes foliares	\$ 432.000	Fertilizantes foliares	\$ 288.000	<b>33.33 %</b>
Otros costos	\$ 2.430.000	Otros costos	\$ 1.862.230	23.36 %
Costo total	\$26.948.190	Costo total	\$19.335.115	28.25 %
Valor producción 40 t/800.000	\$32.000.000	Valor producción 42,139 t/800.000	\$33.715.200	5.36 %
Utilidad neta	\$ 5.051.810	Utilidad neta	\$14.376.085	184.57 %

Fuente: Colonia, 2009.

## 6. CONCLUSIONES

Las concentraciones de nutrientes de los cultivos evaluados se ven favorecida por el acompañamiento de micorrizas y biofertilizantes por vía fertirriego ya sea en la fase de invernadero para producción de plantas de calidad así como los rendimientos obtenidos en campo.

En los experimentos el tratamiento que recibió las micorrizas fue el mejor. Esto abre la posibilidad de explorar alternativas más sostenibles que la fertilización química. La biofertilización es un complemento eficaz de la fertilización química.

Es posible lograr disminución en el uso de fertilizantes de síntesis química haciendo uso de bacterias fijadoras de nitrógeno, micorrizas y solubilizadores de fósforo, esto se traduce en disminución de 40.80 % en insumos, 35.70 % en fertilizantes edáficos y 33.33 % en fertilizantes foliares, bajando los costos de producción y aumentando el margen de ganancia para los productores, tal como ocurrió en esta investigación.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, L. A. 1994. Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia* 36: 11 – 21.
- AGROSAGI, 2007. Tablas de fertilidad para la interpretación de análisis de suelos sp.
- ALEF, K. and NANNIPIERI, P. 1995. *Methods in applied soil microbiology and Biochemistry*. Academy Press Limited. London, UK. 576 p.
- AMEZQUITA, C., E. 1994. Fertirrigación: algunos comentarios sobre su utilización. En: *Fertilidad de los suelos. Diagnóstico y control*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 283 – 292.
- ANÓNIMO, 1988. *Manual de fertilidad de suelos*. Potash & Phosphate Institute. Georgia. USA, 85 p.
- ASUNUMA, S., H. TANAKA, M. YATAZAWA. 1980. Effect of microorganisms on the growth of roots in rice seedlings. *Soil Sci. Plant Nutrition*. 26: 63 – 70.
- AYALA, S. J. R. 2000 *Respuesta del chile (Capsicum chinense) a la aplicación de diferentes niveles de NPK<sup>+</sup> en fertirrigación*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación y Graduados Agropecuarios del Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2 de Conkal, Yucatán, México. Pág. 125.
- AZCON – BIETO, J.; M. TALÓN, 2000. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Primera edición, McGraw – Hill, Madrid, 514 p.
- AZOFEIFA A., MOREIRA M. 2000. Análisis del crecimiento del chile dulce (*Capsicum annum* L.) cultivar UCR 589 en Alajuela, Costa Rica. *Boletín Técnico Estación experimental*. Fabio Baudrit M. 31(1): 1 – 12.
- AZOFEIFA A., MOREIRA M. 2004. Análisis del crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annum* L. cv. Hot), en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1):57-67.

BAANATE, C. A.; BUMB, B. L.; y THOMPSON, T. P. 1989. The benefits of fertilizer use in Developing Countries. Muscie Shoals; Alabama, USA. International fertilizer development center 10 p.

BARONA, T., G. Y CASTILLA, L., L. 2006. Análisis exploratorio del uso de biofertilizantes con base en bacterias fijadoras de nitrógeno y un hongo solubilizador de fósforo en caña de azúcar Riopaila industria S.A. En Biofertilización: alternativa viable para la nutrición vegetal. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. Capítulo Tolima. p. 189 – 195.

BARRERA, L. L. 1994. La fertilidad de suelos de clima frio y la fertilización de cultivos. En: fertilidad de suelos diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá, D. C., Colombia. pp. 419 – 469.

BASHAN, Y. 1999. Interactions of Azospirillum spp. in soils: a review. Biol. Fertil Soils. 29: 246 – 256.

BLASCO, M. 1963. Curso de suelos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía – Palmira. 136 p.

BOHN, H., B. MCNEAL, G.A. O´CONNOR. 1993. Quimica del suelo. México. 335 p.

BOLAN, N. S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants, Plant Soil 134: 189 – 207.

BOLAÑOS, B. M. 1996. Identificación de hongos micorrizicos arbusculares y su relación con características físicas y químicas de los suelos en la zona cafetera de Colombia. Tesis Ms. C. Universidad Nacional de Colombia. Santa fe de Bogota. 138 p.

BOLAÑOS, M.M.; LUNA, L.A, 2007. Las micorrizas: una opción sostenible de manejo de suelos y nutrición de plantas. Proyecto: "Transferencia de tecnología en BPA, para la producción, uso y manejo de insumos orgánicos y biológicos con productores de los OIC de

mora de los municipios El Cerrito y Ginebra en el Valle del Cauca". Boletín Técnico Palmira. 16 p.

BURBANO, H. 2006. La acción de los microorganismos del suelo a favor de las plantas: conceptos básicos y posibilidades. En Biofertilización Alternativa viable de para la nutrición vegetal. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Capítulo Tolima. Págs. 17 – 36.

CASALI, V. COUTO, F., 1984. Origen e botánica de Capsicum. Informe Agropecuario (Belo Horizonte). 10 (103): Pág. 9.

CASTILLA, L. L. A. 2006. La biofertilización en el manejo integrado de nutrimentos para la nutrición vegetal. En: Biofertilización: Alternativa viable para la nutrición vegetal. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Capítulo Tolima. Págs. 7 – 16.

CASTRO, H. 2001. Planes de fertilización aplicables a cultivos Hortícolas del altiplano Cundiboyacense En: Los elementos secundarios ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , S) y el Silicio en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional Cundinamarca y Boyacá. Bogotá D. C. pp. 53 – 64.

CASTRO, H. 1998. Producción y fertilización de hortalizas en Colombia En: fertilización de cultivos de clima frío. Monómeros colombo venezolano S.A Pág 195 – 217. bogota

COLONIA CARLOS. Comunicación Personal. Asesor independiente del cultivo de ají. 2008.

CONSEJO DEPARTAMENTAL DE ESTADÍSTICAS (CODE). 2006. Anuario estadístico del Valle del Cauca. Cali, Departamento del Valle. 369p.

CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL (CONPES) 2009. Política nacional para la racionalización del componente de costos de producción asociados a los fertilizantes en el sector agropecuario. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Documento Conpes número 3577. Bogotá. 34p.



COOKE 1977 citados por Castaño, J. y Molinares, A. 1992. Estudio de la micorriza nativa en plantaciones de Uva Isabella en Santa Helena (Valle). Tesis Ingeniero agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 95p.

CORBERA, J. 1998. Coinoculación *Bradyrhizobium japonicum*-micorriza vesículo arbuscular como fuente alternativa de fertilización para el cultivo de la soya. *Cultivos Tropicales*, 19(1): 117-120.

CORPORACIÓN COLOMBIANA INTERNACIONAL. 1996. Diseño de un centro de servicios para el sector hortícola en la costa atlántica: Informe de avance, segunda versión. Corporación Colombiana Internacional, Bogotá. Pág. 145.

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. CORPOICA, 2007. Proyecto “Desarrollo de la producción y calidad de ají en el Valle del Cauca a partir del manejo integrado de la fertilización (edáfica y fertirriego)”, financiado por el fondo de innovación de la RUIV (Red Universitaria para la innovación en el Valle del Cauca) y la CUEEV (Comité Universidad Empresa Estado) creado con aportes de COLCIENCIAS y La Gobernación del Valle del Cauca – Secretaría de Planeación Departamental. Como entidad del sector empresarial participó activamente ASALGODÓN. Palmira. 35 p.

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. CORPOICA, 2009. Informe final del Proyecto “Desarrollo de la producción y calidad de ají en el Valle del Cauca a partir del manejo integrado de la fertilización (edáfica y fertirriego)”, financiado por el fondo de innovación de la RUIV (Red Universitaria para la innovación en el Valle del Cauca) y la CUEEV (Comité Universidad Empresa Estado) creado con aportes de COLCIENCIAS y La Gobernación del Valle del Cauca – Secretaría de Planeación Departamental. Como entidad del sector empresarial participó activamente ASALGODÓN. Palmira. 85 p.

CORRALES, N. 1961. “El cultivo del Ají en el Perú” Estación Experimental de Agricultura. La Molina. Pag. 158.

CORREA M., D. L.; BARRIOS, E.; AMÉZQUITA, E.; SÁNCHEZ DE P., M. 2004. Valoración biológica de la capa arable en formación en suelos de la altillanura Colombiana. Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. 20p. En edición. Presentado en el XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la ciencia del suelo, Cartagena Sep. 26 – Octubre 1/04, 175p.

CHACÓN, A.M.; CUENCA, G. 1998. Efecto de las micorrizas arbusculares y de la fertilización con fósforo sobre el crecimiento de la guayaba en condiciones de vivero, *Agronomía Tropical*, 48, 4, pp. 425-440.

CHIAPPE, L. 1960. “Estudio comparativo de diversas variedades de ají” Tesis de Grado. La Molina. Pag. 185.

DALPE, Y.; MONREAL, M. 2003. Arbuscular mycorrhiza inoculum to support sustainable cropping systems. *Crop management* 10:1094 – 1104.

DEAL *et al.*, 1972 citados por Castaño, J. y Molinares, A. 1992. Estudio de la micorriza nativa en plantaciones de Uva Isabella en Santa Helena (Valle). Tesis Ingeniero agrónomo. Universidad *Nacional* de Colombia, Palmira. 95p.

DEBOUCK, D. Y LIBREROS, D., 1993. Salsa picante o una breve historia del ají *Capsicum* en Colombia. In V seminario sobre recursos vegetales promisorios (Memorias). Vol. 1. Palmira, Universidad Nacional. 155 – 174pp.

DELGADO, D. F. 1988. “Cultivos Hortícolas datos básicos” Edi – Agraria Universidad. 235 p.

DUPONNOISA, R.; A. COLOMBETA, V. HIEN, J. THIOULOUSEC. 2005. The mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*. *Soil Biology and Biochemistry*. 37: 1460 – 1468.

ESTRADA, E.G. 1990. Elementos secundarios: calcio, magnesio, azufre, fundamento e interpretación del análisis químico. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de

suelos, plantas y aguas para riego Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá. p. 72 – 78.

ESHBAUGH, W. H. 1980. The taxonomy of the genus *Capsicum* (solanaceae). *Phytopalogia*, 47 (3): 153 – 166.

FAO, 2005. Producción mundial de Capsicum. Acceso marzo/2008. www. Fao. Org.

FAOSTAT, 2005. FAOSTAT-Agriculture database 2006. Sitio web, última actualización febrero 2008. <http://faostat.fao.org/faostat/collections?subset=agriculture>.

FASSBENDER, H W.; BORNEMISZA, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Servicio editorial IICA. 2 edición revisada. Colección de Libros y Materiales Educativos IICA No. 81. San José de Costa Rica. 208 p.

FINCK, A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Editorial Reverte. Costa Rica. Pág. 432.

GARCÍA, C.; GIL-SOTRES, F.; HERNÁNDEZ, T.; TRASAR-CEPEDA, C. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Mundi-Prensa, Madrid. 371 p.

GARCÍA, O., A. 1998. La salinidad en el suelo: como evaluarla. En: Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité regional del Valle del Cauca. p. 247 – 256.

GARCÍA, A., ROJAS, C. 2006. Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos. Nota Técnica Técnicaña. pp 1-8.

GIANINAZZI, S.; VOSÁTKA, M. 2004. Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meets business. *Can. J. Bot.* 82: 1264 – 1271.

GIRONZA, M. Y MAMIAN, R. 1988. Influencia de la inoculación con MVA sobre el crecimiento de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*), lulo (*Solanum quitoense*), curuba

(*Passiflora molissima*) y granadilla (*Passiflora edulis*) en etapa de vivero. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Pasto. 140 p.

GÓMEZ, S. M. I. 2006. Manual técnico de fertilización de cultivos editorial. Produmedios Santafé de Bogotá 116 p.

GONZÁLEZ, J. Y LLUCH, CARMEN. 1992. Biología del Nitrógeno. Interacción Planta-Microorganismo. Ed. Rueda. Madrid. España. 95 p.

GRAETZ, H. A., 1997. Suelos y Fertilización. Traducido por: F. Luna Orozco. Trillas. México. 80 p.

GUERRERO, R., 1994. Fertilidad de los suelos Diagnóstico y control. Fundamentos técnicos para la fertilidad de cultivos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá. pp. 247 – 281.

GUERRERO, E. 1996. Micorriza: Fundamentos biológicos y estado del arte. En: Micorrizas, Recurso Biológico del Suelo. Bogotá. Fondo FEN Colombia. 3 – 46 p.

GUERRERO, M., R. 1990. La acidez del suelo – su naturaleza, sus aplicaciones y su manejo. En: Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité regional del Valle del Cauca. p.141 – 163.

GYANESHWAR, P.; NARESH, G.; PAREKH, L.; POOLE, P.; 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. Plant and Soil 245: 8393.

HOLDRIDGE. L. R., W. G. Grenke, W. H. Haheway, T. Liang and J. Tosi, J. A. 1975. Forest Environments in Tropical Life Zones. New York: Pergamon Press. 279 p.

HUNZIKER, A. T. 1979. South American solanaceae: A Sinoptic survey. (Reprinted from the biology and taxonomy of the solanaceae. Hawkes, J. G. Lester, R. N. & Skelding, A. D. Eds Linnean Society Symposim, Universidad Nacional de Córdoba – trabajos del museo Británico. Tomo III, No. 8 Córdoba; Argentina. Series No. 7 pp 49 – 86. 1979).

IBAR JUSCAFRESSA 1987. Tomates, pimientos, berenjenas: Cultivo y comercialización. Barcelona, Aedos. 149p.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Bogotá. 64p.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. 2003. Resolución No. 00150. Por el cual se adopta el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos para Colombia. En: Actualización en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá. 217 – 236 p.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, IGAC. 1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Santa Fe de Bogotá, Colombia Pág. 125 – 137p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. IGAC. – CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA CVC 2004. Estudio de suelos levantamiento detallado y semi detallado de suelos, clasificación, zonificación y uso de las tierras del Valle del Cauca Bogotá D.C. pp. 364 – 412.

JARAMILLO, J. 2002. Plan de modernización de la horticultura Colombiana Corpoica, Bogotá. 80p.

KENNEDY, I.R., A.T. CHOUDHURY, M.L. KECSKE. 2004. Non – symbiotic bacterial diazotrophs in crop – farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited. Soil Biology and Biochemistry. 36: 1229 – 1244.

KLOEPPER, JOSEPH W. 1993. Plant growth promoting Rhizobacteria as biological control agents In Metting, F. Blaine, Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management. Marcel Dekker Inc, New York. p. 28 – 45.

LAVELLE, P. 2001. Soil Ecology. Editorial Kluwer Academic Publishers. 238 p.

LEÓN, L. A. 1994. Los elementos mayores nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá. p. 186 – 196.

LEÓN, L. A. 1998. Dinámica de los elementos esenciales: Fósforo en Munevar F. (ed:) ciclo de cursos de actualización de conocimientos sobre suelos con aplicación en el cultivo de la palma de aceite. Modulo dos. Principales características químicas del suelo CENIPALMA. Santafé de Bogotá, Colombiana p. 81 – 92.

LEÓN, L. A. 1994. Evaluación de la fertilidad del suelo En: fertilidad de suelos diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá, D. C., Colombia. pp. 155 – 186.

LÓPEZ, Y. 1998. Funciones e interacciones de los elementos menores en plantas y suelos. En: actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité regional del Valle del Cauca. pp. 1 – 12.

MALAVOLTA, E. 1998. Aspectos de la aplicación foliar con micronutrientes. En: Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. pp. 67 – 87.

MALAVOLTA, E. 1994. Fertilización foliar. En Fertilidad de suelos – diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá, Colombia. p. 305 – 341.

MARSCHNER, HORST. 1998. Mineral Nutrition of Higher plants. 2a. Edition Academy Press. New York. 674 p.

MARTÍNEZ G, M. A. 2002. El cultivo de chile guajillo con ferti – irrigación en el altiplano de San Luis Potosi. Secretaria de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales Agrícolas y pecuaria. Campo experimental de Palma de la Cruz. San Luis, Potosi, SLP., México (Folletos para Agricultores No. 33). p. 6.

MARTÍNEZ – VIERA, R. 1986. Ciclo biológico del nitrógeno. Cap. I y II. Ed. Científico técnica. La Habana. 73p.

MARX, D.; MARRS, L.; CORDELL, C. 2002. Practical use of the mycorrhizal fungal technology in forestry, reclamation, arboriculture, agriculture and horticulture. Dendrobiology, Vol. 47: 27 – 40.

MAYEA, S.; CARONE, MARGARITA; NOVO, R.; BOADO, ISABEL; SILVEIRA, E.; SORIA, MIGUELINA; MORALES, YOLANDA Y VALIÑO, A. 1998. Microbiología Agropecuaria. Tomo II. Ed. Félix Varela. La Habana. Pp. 156-178.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL DE COLOMBIA. 2006. Apuesta Exportadora Agropecuaria. Pág. 98.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL DE COLOMBIA. 2006. Dirección de política Sectorial Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2002 – 2005 y sus calendarios de siembra y cosecha editado por tecnigraphicos impresos y maquinaria E. A. T. 75 p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL DE COLOMBIA. 2006. Resolución sobre producción Ecológica. (Abril 4 de 2006) 23 Pág.

MORTENSEN, E Y E. BULLARD. 1971. Horticultura tropical y subtropical. Galve, México. 182 p.

NANNIPIERI, P. 1990. Microbial biomass and activity measurements in soil: ecological significance. Curr.Persp. Microb. Ecol., Washington, DC. 515-521 pp.

NUEZ. V., FERNANDO; GIL. O., RAMIRO Y COSTA .G., JOAQUÍN. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Barcelona, España. Ediciones Mundi – prensa. Madrid. ISBN: 84 – 7114 – 609 – 6. 607 págs.

ORBEGOSO, A. 1954. "Reseña del Cultivo, identificación botánica y comparativo de rendimiento en fresco de variedades de ají Escuela Nacional de Agricultura. La Molina. Pag. 253.

OSORIO, W. 2004. El rol de la materia orgánica en el manejo de suelos ácidos del trópico. En Valenzuela, I. (ed.) 2004. Programa y Memorias del XVI Congreso Latinoamericano y XII Colombiano de la Ciencia del Suelo, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 132 - 147.

PEÑA, W. 2004. Los suelos desarrollados sobre serpentinitas y su relación con la flora endémica. *Índice bioquímico y metales*. Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela y CSIC, España. 404 p.

PRASAD, y POWER, 1997. Soil fertility and management for sustainable agriculture. RC press, Lewis publisher, New York. 164 p.

RIVERO, C., SENESI, N., D'ORAZIO V. 2004. Los ácidos húmicos de leonardita sobre características espectroscópicas de la materia orgánica de un suelo de la cuenca del lago de Valencia Venezuela *Agronomía Trop.* 54(2): 133-144.

RODELAS, MARÍA BELÉN. 2001. Interacción Rhizobium-Azospirillum y Rhizobium-Azotobacter. Efecto sobre la nodulación y fijación simbiótica del dinitrógeno en Vicia faba. En:(<http://193.146.205.198/sefin/Ecologia/Rodelas.html>).  
(<http://193.146.205.198/sefin/Ecologia/Rodelas2.html>).

SALAMANCA, C. R.; CANO, C. A. 2003. La micorriza arbuscular: características, producción y aplicaciones cartilla ilustrada No. 2. Villavicencio, Meta. 24 p.

SALISBURY, F.; ROSS, C. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. México. 386 p.

SÁNCHEZ J., SOSA T., Y VANEGAS J. 2006. Producción de hongos formadores de micorrizas arbusculares y su aplicación como biofertilizantes. En Biofertilización Alternativa



viable de para la nutrición vegetal. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Capitulo Tolima. Págs. 137 – 150.

SÁNCHEZ DE P. M. 2007. Las micorrizas: estrategia compartida para colonizar el suelo En: Endomicorrizas: expresión bioedáfica de importancia en el trópico 115 – 175 p.

SÁNCHEZ DE P. M. 2001. Actividad biológica en la rizósfera del maracayá (*Pasiflora edulis* var. *Flavicarpa*) en diferentes sistemas de manejo estados de desarrollo y condiciones fitosanitarias. Universidad Politécnica de Madrid – Madrid. Tesis Doctoral. 261p.

SÁNCHEZ DE P. M. 1999. Endomicorrizas en algunos agroecosistemas de Colombia. Universidad Nacional de Colombia – sede Palmira. Editorial Feriva, Cali. 227 p.

SÁNCHEZ DE P. M. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. IICA, Turrialba, Costa Rica. En: Galiano S. F. 1990. Capacidad de intercambio cationico y anionico bases de cambio y saturaciones. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá. Págs. 122 – 145.

SARMIENTO, G. 2006. Producción y formulación de prototipos de un biofertilizante a partir de bacterias nativas asociadas al cultivo del arroz. Biocultivos S.A. En: Biofertilizantes en Iberoamérica una visión técnica, científica y empresarial Capítulo 5. Biofertilizantes para la Agricultura en Colombia Editores: M.L. Izaguirre-Mayoral, C. Labandera y J. Sanjuán. P. 39 – 45.

SCCS, 2001 Fertilidad de suelos diagnostico y control. Publicación de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. 2 Ed. Bogotá p 524

SCCS, 1990 fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Publicación de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. 3 Ed. Bogotá p 323.

SILVA, C. J. 2005. Emissions of CO<sub>2</sub> from some soils. *Chemosphere* 30, 1875-1889.

SIQUEIRA, J. O; FRANCO, A. A. 1988. Rizósfera. En Biotecnología do solo fundamentos e perspectivas. Págs. 87 – 105.

Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo

STEENHOUDT, O., J. VANDERLEYDEN, 2000. Azospirillum, a free – living nitrogen – fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. FEMS microbiology Reviews 24: 487 – 506.

STOTZKY, G. 1997. Soil as environment for microbiol life. In: Bashan, Y. 1999. Interactions of Azospirillum spp. in soils: a review. Biol fertility soils. 29: 246 – 256.

SYLVIA, D. 1998. Applications and technologies for AM fungi. P. 21 – 26. En Rodríguez, R.; Escalona, M.; Trejo, D. (eds). 1998. Avances de la investigación micorrizica en Mexico. Dirección editorial Universidad Veracruzana. Mexico. ISBN 968 – 834 – 455 – 9. 283 p.

TISDALE, S; HAVLIN, J; Nelson Werner. (2005) Fertility and fertilizer An Introduction to nutrient Management Prentice Hall seventh edition, New Jersey.

TOFIÑO, R. SÁNCHEZ, P.A. MUÑOZ, F. J. interacción micorriza arbuscular – rizobacterias diatróficas en pimentón (*Capsicum annuum* L.) En: Endomicorrizas en algunos agroecosistemas de Colombia. Universidad Nacional de Colombia – sede Palmira. Editorial Feriva, Cali. p.194 – 200.

TRINIDAD, S. A., AGUILAR, M. D. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. Terra. Volumen 17. Número 3. Guadalajara. México. Págs. 247 – 255.

UNIVERSIDAD EAFIT 2002. Estudio de inteligencia de mercados ají jalapeño, citado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos de México. Pág. 233.

URPA-Gobernación del Valle del Cauca, 2008.

VERA, D. 1999. Aislamiento y caracterización de hongos solubilizadores de fosfatos de la rizósfera de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh, Myrtaceae) en dos unidades fisiográficas del departamento del Guaviare. 118 pp.

WALTER, T.S., H.P. BAIS, E. GROTEWOLD, J. VIVANCO. 2003. Root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiology*. 132: 44 – 51.

WHITELOW, M. 1999. Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi. *Advances in Agronomy*. 69: 15 – 26.

ZAPATA, M., BAÑÓN, S. Y CABRERA, P. 1992. El pimiento para pimentón. Madrid, Mundiprensa. 240 p.

[www.raaa.org](http://www.raaa.org). 2006. Manejo ecológico de los suelos. Red de acción en alternativas al uso de agroquímicos.

**ANEXOS**

## ANEXO 1. NIVELES EDÁFICOS DE NUTRIENTES ÓPTIMOS PARA AJÍ

pH	Prof. efectiva (cm)	Textura	Tolerancia a la salinidad	% C. O	Bases de Cambio (Cmol <sup>(+)</sup> . Kg <sup>-1</sup> )			P	S
					K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
5.5 – 7.5	20 – 40	F	Media	2.9 – 5.8	0.3 – 0.6	3 – 6	1.2 – 1.8	20 – 30	10 – 15
Elementos Menores					% de Saturación				
B	Cu <sup>++</sup>	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Zn <sup>++</sup>	K <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Al	
0.3 – 0.6	2 – 4	20 – 50	10 – 70	3 – 6	2 – 3	50 – 60	15 – 20	< 25	

Fuente: Castro, 2001.

## ANEXO 2. NIVELES DE EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES EN PLÁNTULAS AJÍ

Kg . ha <sup>-1</sup>						g . ha <sup>-1</sup>					Rendimiento t . ha <sup>-1</sup>
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	S	B	Cu <sup>++</sup>	Zn <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Fe <sup>++</sup>	
60	8	80	32	7	8	275	350	108	423	1110	7.9

Azofeifa, 2000.

## ANEXO 3. RESPIRACIÓN MICROBIANA ESTIMADA COMO C – CO<sub>2</sub>

1. Se toman 10 g de suelos
2. Se introducen 10 gramos de suelo en un tarro de boca ancha
3. Posteriormente se echan 10 ml de NaOH al 1N en un frasco pequeño este se introducen en el tarro de boca ancha que contiene los 10 gramos de suelo (el cual permite la captura de dióxido de carbono liberado por el suelo en el proceso de respiración)
4. Se colocan los tarros en un lugar oscuro por cuatro días
5. Luego se prepara una solución de HCl 0.5N.
6. Se abre el frasco con cuidado y se adicionan 10 ml de una solución de BaCl<sub>2</sub>, al 10 % para precipitar todo el CO<sub>2</sub> en la solución de NaOH.
7. Se adicionan 2 gotas de fenolftaleína como solución alcohólica indicadora (viraje de color de rosa a blanco).
8. Por último se titula con HCl 0.5N.

## **ANEXO 4. TECNICA PARA EL AISLAMIENTO DE ESPORAS DEL SUELO**

Técnica de tamizado en húmedo, ajustada por CIAT 1994.

1. Se pesan 25 gr de suelo seco y homogenizado, los cuales se colocan en tubos plásticos de centrifugación de 50 ó 100 ml, rotulados
2. Se vacía el suelo en el tamiz de 500 mm, que esta colocado encima de otro de 38 mm.
3. Se leva con agua a presión, se colecta el material del tamiz de 38 mm en un tubo de centrifugación, con la menor cantidad de agua posible, con la ayuda de un embudo y de un frasco lavador.
4. Se agregan 25 ml de solución de azúcar a cada tubo.
5. Se centrifuga por 3 minutos a 3.800 rpm.
6. Debido a la centrifugación hay una sedimentación de las partículas pesadas en el fondo del tubo. Las esporas se encuentran formando una capa intermedia, se extrae esta usando una jeringa que lleva adaptada una manguera (5 mm de diámetro interno) a la parte donde se coloca la aguja.
7. Las esporas se esparcen sobre un tamiz 38 mm, se lavan con agua destilada y se vierten a una caja de petri con la menor cantidad de agua posible.
8. Para el aislamiento de esporas a través del estereoscopio, se recomienda utilizar pinzas especiales para este propósito.
9. Para la identificación de las esporas mediante el microscopio se montan las placas permanentes en PVL.
10. El conteo de esporas se realiza una vez estas se hayan identificado. Se debe realizar en un disco petri especialmente diseñado para este propósito.

## **ANEXO 5. METODOLOGÍA PARA LA TINCIÓN DE RAÍCES**

1. Separar las raíces del suelo
2. Tomar una muestra representativa del sistema radical de la planta
3. Lavar bien las raíces con agua, para desprender toda partícula de suelo adherida, pesarlas y colocarlas en tubos de ensayo rotulados. Es recomendable hacer tres repeticiones.
4. Aplicar KOH al 2.5 % hasta que todas las raíces queden inundadas; llevarlas al baño maría a 90°C, durante 1 hora. Decantar el KOH, no lavar las raíces.
5. Repetir el procedimiento anterior si es necesario (por mucho desprendimiento de fenoles y taninos), máximo dos veces más (dependiendo de la edad de la raíz).
6. Aplicar HCL al 2.0 % por 1 hora a temperatura ambiente para que haya una buena saturación del KOH.
7. Decantar el HCL, lavar las raíces con agua
8. Aplicar azul de tripano al 0.05 % y llevar al baño maría a 90°C, durante 1 hora
9. Decantar el azul de tripano y vaciar las muestras en cajas de petri con lactoglicerol, para quitar el exceso de colorante. El azul de tripano se puede reutilizar 3 veces mas
10. Cuando las raíces no son evaluadas en corto tiempo, se deben dejar en la nevera en cajas de petri con lactoglicerol

**ANEXO 6. ANOVA de evaluación de los diferentes tipos de fertilización para producción de plántulas.**

**PARA AJÍ CAYENNE**

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coefficiente de Variación
Modelo	21	15.3481291	0.73086329	12.43	<.0001	0.839191	3.356769
Error	50	2.94106944	0.05882139				
Total							
correcto	71	18.2891986					
Bloque	5	0.51679028	0.10335806	1.76	0.1389		
Sustratos	1	1.67750139	1.67750139	28.52	<.0001		
Tratamiento	5	8.57319028	1.71463806	29.15	<.0001		
Bloque*Sustr	5	0.10649028	0.02129806	0.36	0.8720		
Sustra*Trat	5	4.47415694	0.89483139	15.21	<.0001		

**PARA AJÍ JALAPEÑO**

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coefficiente de Variación
Modelo	21	43.0016291	2.04769663	79.43	<.0001	0.97089	2.283754
Error	50	1.28903611	0.02578072				
Total							
correcto	71	44.2906652					
Bloque	5	0.04674028	0.00934806	0.36	0.87		
Sustratos	1	39.7089013	39.708901	1540.26	<.0001		
Tratamiento	5	1.23059028	0.24611806	9.55	<.0001		
Bloque*Sustr	5	0.16724028	0.03344806	1.30	0.2801		
Sustra*Trat	5	1.84815694	0.36963139	14.34	<.0001		

**ANEXO 7. Prueba comparación de medias según TUKEY (5%) para las variables evaluadas**

Trat.	Peso Fresco					Peso Seco			Materia Seca (g)
	Total (g)	Radical (g)	Aéreo (g)	No, de Hojas	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Radical (g)	Aéreo (g)	
1	3,94 a	5,60 c	0,70 bc	3,25 ab	8,30 ab	<b>27,46 a</b>	2,49 d	4,94 c	7,43 d
2	4,07 a	5,88 b	<b>0,98 a</b>	3,00 b	7,93 b	21,56 b	2,65 d	5,25 bc	7,90 c
3	3,54 b	5,82 b	0,59 c	2,92 b	<b>8,70 a</b>	27,22 a	<b>3,05 a</b>	5,25 bc	8,30 b
4	3,89 b	5,90 b	0,88 a	2,96 b	7,86 b	19,22 c	2,75 bc	5,36 ab	8,11 bc
5	<b>4,61 a</b>	<b>6,16 a</b>	0,86 ab	<b>3,70 a</b>	8,06 ab	21,47 b	3,02 ab	<b>5,47 a</b>	<b>8,49 a</b>

**ANEXO 8. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) realizado para las propiedades químicas en el muestreo final para suelos sembrados con ají Jalapeño.**

<b>JALAPEÑO HIBRIDO IXTAPA</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>Muestreo Final</b>					
	<b>Tratamientos</b>					
	<b>FSQC</b>	<b>FSQC + O</b>	<b>FSQC + O + B1</b>	<b>FSQC + O + M</b>	<b>FSQC + O + B2</b>	<b>FSQC + O + B3</b>
<b>pH (1:2,5)</b>	5,48f	6,10d	6,00e	6,20b	6,17c	6,49a
<b>M.O (%)</b>	3,08a	2,26e	2,20f	2,72b	2,36c	2,31d
<b>P (ppm)</b>	28,4b	29,7a	26,5c	19,3e	17,8f	21,9d
<b>S (ppm)</b>	63,7c	78,1b	96,9a	57,4d	35,9f	46,6e
<b>Ca<sup>++</sup> Cmol<sup>(+)</sup>.Kg<sup>-1</sup></b>	9,54c	9,27e	9,20f	9,95b	9,47d	10,78a
<b>Mg<sup>++</sup> Cmol<sup>(+)</sup>.Kg<sup>-1</sup></b>	4,75f	4,98e	5,20c	5,54b	5,09d	5,65a
<b>K<sup>+</sup> Cmol<sup>(+)</sup>.Kg<sup>-1</sup></b>	0,33a	0,31b	0,26c	0,24d	0,21f	0,22e
<b>Na<sup>+</sup> Cmol<sup>(+)</sup>/Kg<sup>-1</sup></b>	0,45e	0,53d	0,66b	0,60c	0,44f	0,77a
<b>ClCe Cmol<sup>(+)</sup>.Kg<sup>-1</sup></b>	15,06f	15,08e	15,32c	16,34b	15,21d	17,42a
<b>B mg.Kg<sup>-1</sup></b>	0,43b	0,41c	0,54a	0,23f	0,28d	0,26e
<b>Cu<sup>++</sup> mg.Kg<sup>-1</sup></b>	13,2a	11,8b	10,8d	9,8f	11,2c	10,3e
<b>Fe<sup>++</sup> mg.Kg<sup>-1</sup></b>	200,0a	135,0b	110,0c	79,8f	100,0d	84,9e
<b>Mn<sup>++</sup> mg.Kg<sup>-1</sup></b>	22,4a	20,9b	17,8c	14,6d	13,0e	9,3f
<b>Zn<sup>++</sup> mg.Kg<sup>-1</sup></b>	2,5a	2,2b	2,2b	2,0d	2,1c	2,0d
<b>C.E. (dS.m<sup>-1</sup>)</b>	2,08a	1,74c	2,82b	1,64d	0,93e	0,65f
<b>Ca<sup>++</sup> + Mg<sup>++</sup>/K</b>	43,8f	45,9e	54,9d	64,6c	70,0b	73,4a
<b>Ca<sup>++</sup>/Mg<sup>++</sup></b>	2,01a	1,86c	1,77e	1,80d	1,86c	1,91b



## ANEXO 9. Correlación Pearson para ají Jalapeño híbrido Ixtapa (Suelos)

Coefficientes de correlación Pearson, N = 36

Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	pH	MO	fosforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio	Boro
pH	1.00000	-0.68769	-0.56914	-0.78943	0.58825	0.84549	0.64710	-0.59106
		<.0001	0.0003	<.0001	0.0002	<.0001	<.0001	0.0001
MO	-0.68769	1.00000	0.07792	0.46585	0.04203	-0.34815	-0.45570	-0.11544
		<.0001	0.6515	0.0042	0.8077	0.0375	0.0052	0.5026
Fósforo	-0.56914	0.07792	1.00000	0.89464	-0.43862	-0.60255	-0.08956	0.78687
		0.0003	0.6515	<.0001	0.0075	0.0001	0.6035	<.0001
Potasio	-0.78943	0.46585	0.89464	1.00000	-0.48243	-0.74390	-0.40265	0.61136
		0.0042	<.0001	<.0001	0.0029	<.0001	0.0149	<.0001
Calcio	0.58825	0.04203	-0.43862	-0.48243	1.00000	0.75819	0.64851	-0.68598
		0.8077	0.0075	0.0029	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Magnesio	0.84549	-0.34815	-0.60255	-0.74390	0.75819	1.00000	0.81325	-0.59630
		0.0375	0.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0001
Sodio	0.64710	-0.45570	-0.08956	-0.40265	0.64851	0.81325	1.00000	-0.09897
		0.0052	0.6035	0.0149	<.0001	<.0001	<.0001	0.5658
Boro	-0.59106	-0.11544	0.78687	0.61136	-0.68598	-0.59630	-0.09897	1.00000
		0.5026	<.0001	<.0001	<.0001	0.0001	0.5658	
Cobre	-0.84049	0.48230	0.65737	0.79569	-0.47702	-0.92949	-0.67561	0.50674
		0.0029	<.0001	<.0001	0.0033	<.0001	<.0001	0.0016
Hierro	-0.91284	0.60558	0.72152	0.88034	-0.43729	-0.87493	-0.58449	0.55124
		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0002	0.0005
Zinc	-0.95359	0.56312	0.71177	0.84463	-0.52893	-0.88751	-0.57125	0.66340
		0.0003	<.0001	<.0001	0.0009	<.0001	0.0003	<.0001
Mangan	-0.85121	0.39991	0.81145	0.93786	-0.74547	-0.84112	-0.56800	0.70341
		0.0157	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0003	<.0001
Asufre	-0.34535	-0.20465	0.73927	0.54649	-0.56200	-0.26551	0.17339	0.86180
		0.2312	<.0001	0.0006	0.0004	0.1176	0.3119	<.0001
Cice	0.71788	-0.13668	-0.45994	-0.57397	0.95631	0.90498	0.80969	-0.62482
		0.4267	0.0048	0.0003	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Ce	-0.63060	0.12263	0.61331	0.57949	-0.69471	-0.43909	-0.11240	0.85158
		0.4761	<.0001	0.0002	<.0001	0.0074	0.5140	<.0001
	Cobre	Hierro	Zinc	Mangan	Asufre	Cice	Ce	camg
pH	-0.84049	-0.91284	-0.95359	-0.85121	-0.34535	0.71788	-0.63060	-0.48648
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0391	<.0001	<.0001	0.0026
MO	0.48230	0.60558	0.56312	0.39991	-0.20465	-0.13668	0.12263	0.62945
	0.0029	<.0001	0.0003	0.0157	0.2312	0.4267	0.4761	<.0001
fosforo	0.65737	0.72152	0.71177	0.81145	0.73927	-0.45994	0.61331	0.29126
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0048	<.0001	0.0848
Potasio	0.79569	0.88034	0.84463	0.93786	0.54649	-0.57397	0.57949	0.46313
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0006	0.0003	0.0002	0.0044
Calcio	-0.47702	-0.43729	-0.52893	-0.74547	-0.56200	0.95631	-0.69471	0.23831
	0.0033	0.0077	0.0009	<.0001	0.0004	<.0001	<.0001	0.1616
Magnesio	-0.92949	-0.87493	-0.88751	-0.84112	-0.26551	0.90498	-0.43909	-0.45098
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.1176	<.0001	0.0074	0.0058
Sodio	-0.67561	-0.58449	-0.57125	-0.56800	0.17339	0.80969	-0.11240	-0.33326
	<.0001	0.0002	0.0003	0.0003	0.3119	<.0001	0.5140	0.0470
Boro	0.50674	0.55124	0.66340	0.70341	0.86180	-0.62482	0.85158	-0.05470
	0.0016	0.0005	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.7514
Cobre	1.00000	0.96782	0.94012	0.76840	0.14714	-0.68515	0.28690	0.73085
		<.0001	<.0001	<.0001	0.3918	<.0001	0.0898	<.0001
Hierro	0.96782	1.00000	0.98017	0.83222	0.26268	-0.62390	0.42192	0.71783
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.1217	<.0001	0.0104	<.0001
Zinc	0.94012	0.98017	1.00000	0.84473	0.35895	-0.68481	0.54972	0.61367
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0316	<.0001	0.0005	<.0001
Mangan	0.76840	0.83222	0.84473	1.00000	0.62008	-0.79639	0.72768	0.25064
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.1404
Asufre	0.14714	0.26268	0.35895	0.62008	1.00000	-0.39405	0.89669	-0.36716
	0.3918	0.1217	0.0316	<.0001		0.0174	<.0001	0.0276
Cice	-0.68515	-0.62390	-0.68481	-0.79639	-0.39405	1.00000	-0.57447	-0.03972
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0174		0.0002	0.8181
Ce	0.28690	0.42192	0.54972	0.72768	0.89669	-0.57447	1.00000	-0.26882
	0.0898	0.0104	0.0005	<.0001	<.0001	0.0002		0.1129

	camg	DensEspo	ClareT	AMSCO2
pH	-0.48648	0.17492	0.18840	-0.69624
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0917
MO	0.62945	0.20414	0.29122	0.61322
	<.0001	0.2324	0.0849	<.0001
fosforo	0.29126	-0.54574	-0.48019	0.55510
	0.0848	0.0006	0.0030	0.0004
Potasio	0.46313	-0.31138	-0.24870	0.65471
	0.0044	0.0645	0.1436	<.0001
Calcio	0.23831	-0.00622	0.17052	0.02643
	0.1616	0.9713	0.3201	0.8784
Magnesio	-0.45098	0.36749	0.44853	-0.56690
	0.0058	0.0275	0.0061	0.0003
Sodio	-0.33326	-0.07895	0.05153	-0.25531
	0.0470	0.6472	0.7654	0.1329
Boro	-0.05470	-0.46303	-0.51008	0.33472
	0.7514	0.0045	0.0015	0.0460
Cobre	0.73085	-0.53910	-0.53676	0.81239
	<.0001	0.0007	0.0007	<.0001
Hierro	0.71783	-0.45875	-0.42120	0.85848
	<.0001	0.0049	0.0105	<.0001
Zinc	0.61367	-0.44300	-0.43213	0.81705
	<.0001	0.0068	0.0085	<.0001
Mangan	0.25064	-0.16566	-0.18523	0.48059
	0.1404	0.3343	0.2795	0.0030
Asufre	-0.36716	-0.14685	-0.15765	0.02808
	0.0276	0.3928	0.3585	0.8709
Cice	-0.03972	0.10712	0.26614	-0.19280
	0.8181	0.5341	0.1167	0.2599
Ce	-0.26882	0.01986	-0.02695	0.13814
	0.1129	0.9085	0.8760	0.4217

	pH	MO	fosforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio	Boro
camg	-0.48648	0.62945	0.29126	0.46313	0.23831	-0.45098	-0.33326	-0.05470
	0.0026	<.0001	0.0848	0.0044	0.1616	0.0058	0.0470	0.7514
camg	-0.48648	0.62945	0.29126	0.46313	0.23831	-0.45098	-0.33326	-0.05470
	0.0026	<.0001	0.0848	0.0044	0.1616	0.0058	0.0470	0.7514
DensEspo	0.17492	0.20414	-0.54574	-0.31138	-0.00622	0.36749	-0.07895	-0.46303
	0.3076	0.2324	0.0006	0.0645	0.9713	0.0275	0.6472	0.0045
ClareT	0.18840	0.29122	-0.48019	-0.24870	0.17052	0.44853	0.05153	-0.51008
	0.2712	0.0849	0.0030	0.1436	0.3201	0.0061	0.7654	0.0015
AMSCO2	-0.69624	0.61322	0.55510	0.65471	0.02643	-0.56690	-0.25531	0.33472
	<.0001	<.0001	0.0004	<.0001	0.8784	0.0003	0.1329	0.0460

	Cobre	Hierro	Zinc	Mangan	Asufre	Cice	Ce	camg
camg	0.73085	0.71783	0.61367	0.25064	-0.36716	-0.03972	-0.26882	1.00000
	<.0001	<.0001	<.0001	0.1404	0.0276	0.8181	0.1129	
camg	0.73085	0.71783	0.61367	0.25064	-0.36716	-0.03972	-0.26882	1.00000
	<.0001	<.0001	<.0001	0.1404	0.0276	0.8181	0.1129	
DensEspo	-0.53910	-0.45875	-0.44300	-0.16566	-0.14685	0.10712	0.01986	-0.51468
	0.0007	0.0049	0.0068	0.3343	0.3928	0.5341	0.9085	0.0013
ClareT	-0.53676	-0.42120	-0.43213	-0.18523	-0.15765	0.26614	-0.02695	-0.38999
	0.0007	0.0105	0.0085	0.2795	0.3585	0.1167	0.8760	0.0187
AMSCO2	0.81239	0.85848	0.81705	0.48059	0.02808	-0.19280	0.13814	0.89038
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0030	0.8709	0.2599	0.4217	<.0001

	camg	DensEspo	ClareT	AMSCO2
camg	1.00000	-0.51468	-0.38999	0.89038
		0.0013	0.0187	<.0001
camg	1.00000	-0.51468	-0.38999	0.89038
		0.0013	0.0187	<.0001
DensEspo	-0.51468	1.00000	0.89758	-0.60064
	0.0013		<.0001	0.0001
ClareT	-0.38999	0.89758	1.00000	-0.47827
	0.0187	<.0001		0.0032
AMSCO2	0.89038	-0.60064	-0.47827	1.00000
	<.0001	0.0001	0.0032	

**ANEXO 10. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) realizado para las propiedades químicas en el muestreo final para suelos sembrados con ají Cayenne**

Parámetro	VARIEDAD CAYENNE DURKEE					
	Muestreo Final					
	Tratamientos					
	FSQC	FSQC + O	FSQC + O + B1	FSQC + O + M	FSQC + O + B2	FSQC + O + B3
<b>pH</b> (1:2,5)	7,78a	7,28d	7,32c	7,56b	6,35e	6,28f
<b>M.O</b> (%)	2,41f	3,08b	2,92c	3,18a	2,77d	2,46e
<b>P</b> (ppm)	126,2c	244,4b	491,2a	82,9d	19,3f	25,7e
<b>S</b> (ppm)	30,5c	18,7e	50,2a	24,4d	13,3f	39,5b
<b>Ca<sup>++</sup></b> Cmol <sup>(+)</sup> .Kg <sup>-1</sup>	21,88a	21,08b	19,54c	18,08d	10,09e	9,40f
<b>Mg<sup>++</sup></b> Cmol <sup>(+)</sup> .Kg <sup>-1</sup>	5,18c	6,37b	6,69a	5,18c	5,09d	4,86e
<b>K<sup>+</sup></b> Cmol <sup>(+)</sup> .Kg <sup>-1</sup>	1,81c	2,08b	2,68a	0,64d	0,32e	0,29f
<b>Na<sup>+</sup></b> Cmol <sup>(+)</sup> .Kg <sup>-1</sup>	0,31c	0,21e	0,41b	0,22d	0,17f	0,52a
<b>ClCe</b> Cmol <sup>(+)</sup> .Kg <sup>-1</sup>	29,19c	29,75a	29,32b	24,12d	15,67e	15,08f
<b>B</b> mg.Kg <sup>-1</sup>	0,26e	0,28d	0,15f	0,30c	0,45a	0,32b
<b>Cu<sup>++</sup></b> mg.Kg <sup>-1</sup>	2,0f	4,9e	6,3d	7,5c	13,0a	11,0b
<b>Fe<sup>++</sup></b> mg.Kg <sup>-1</sup>	11,6f	15,4e	18,6d	27,3c	132,0a	115,0b
<b>Mn<sup>++</sup></b> mg.Kg <sup>-1</sup>	4,9d	4,3e	4,3e	9,7c	27,4a	15,8b
<b>Zn<sup>++</sup></b> mg.Kg <sup>-1</sup>	2,3d	2,4c	4,9b	6,4a	1,8e	2,3d
<b>C.E.</b> (dS.m <sup>-1</sup> )	1,44c	1,57b	1,99a	1,07e	0,48f	1,40d
<b>Ca<sup>++</sup> + Mg<sup>++</sup>/K<sup>+</sup></b>	14,9d	13,2e	9,8f	36,4c	47,0b	49,5a
<b>Ca<sup>++</sup>/Mg<sup>++</sup></b>	4,22a	3,31c	2,92d	3,49b	1,98e	1,93f

## ANEXO 11. Correlación Pearson para ají Variedad Cayenne Durkee (Suelos)

Coefficientes de correlación Pearson, N = 36

Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	pH	MO	fosforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio	Boro
pH	1.00000	0.78082	0.43281	0.63818	0.94658	0.36752	0.62043	-0.62993
		<.0001	0.0084	<.0001	<.0001	0.0274	<.0001	<.0001
MO	0.78082	1.00000	0.03230	0.38508	0.70665	-0.05628	0.35910	-0.26266
		<.0001	0.8517	0.0204	<.0001	0.7444	0.0315	0.1217
fósforo	0.43281	0.03230	1.00000	0.90639	0.59132	0.93674	0.90374	-0.84345
		0.0084	0.8517	<.0001	0.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Potasio	0.63818	0.38508	0.90639	1.00000	0.81346	0.87562	0.99281	-0.82918
		0.0204	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Calcio	0.94658	0.70665	0.59132	0.81346	1.00000	0.58928	0.79659	-0.69240
		<.0001	0.0001	<.0001	0.0002	<.0001	<.0001	<.0001
Magnesio	0.36752	-0.05628	0.93674	0.87562	0.58928	1.00000	0.86045	-0.86569
		0.0274	0.7444	<.0001	0.0002	<.0001	<.0001	<.0001
Sodio	0.62043	0.35910	0.90374	0.99281	0.79659	0.86045	1.00000	-0.87248
		<.0001	0.0315	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Boro	-0.62993	-0.26266	-0.84345	-0.82918	-0.69240	-0.68569	-0.87248	1.00000
		<.0001	0.1217	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Cobre	-0.90378	-0.81090	-0.46273	-0.75211	-0.94545	-0.41583	-0.76001	0.68864
		<.0001	0.0045	<.0001	<.0001	0.0117	<.0001	<.0001
Hierro	-0.94983	-0.62354	-0.62114	-0.79067	-0.97988	-0.59184	-0.78954	0.77595
		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Zinc	0.49254	-0.03330	0.35531	0.15120	0.32975	0.23722	0.15166	-0.47181
		0.0023	0.8471	0.0335	0.3787	0.1636	0.3772	0.0037
Mangan	-0.81785	-0.49409	-0.65888	-0.80579	-0.88779	-0.60515	-0.84283	0.88522
		<.0001	0.0022	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Asufre	0.11345	-0.07926	0.58932	0.42787	0.11558	0.32120	0.50056	-0.77772
		0.5100	0.0002	0.0092	0.5021	0.0561	0.0019	<.0001
Cice	0.89071	0.61370	0.71675	0.89997	0.98447	0.71333	0.88573	-0.76401
		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Ce	0.44884	0.13953	0.79654	0.79925	0.57829	0.68145	0.86324	-0.95079
		0.0060	0.4170	<.0001	0.0002	<.0001	<.0001	<.0001
	Cobre	Hierro	Zinc	Mangan	Asufre	Cice	Ce	camg
pH	-0.90378	-0.94983	0.49254	-0.81785	0.11345	0.89071	0.44884	0.96793
	<.0001	<.0001	0.0023	<.0001	0.5100	<.0001	0.0060	<.0001
MO	-0.81090	-0.62354	-0.03330	-0.49409	-0.07926	0.61370	0.13953	0.88635
	<.0001	<.0001	0.8471	0.0022	0.6459	<.0001	0.4170	<.0001
fósforo	-0.46273	-0.62114	0.35531	-0.65888	0.58932	0.71675	0.79654	0.25907
	0.0045	<.0001	0.0335	<.0001	0.0002	<.0001	<.0001	0.1271
Potasio	-0.75211	-0.79067	0.15120	-0.80579	0.42787	0.89997	0.79925	0.55030
	<.0001	<.0001	0.3787	<.0001	0.0092	<.0001	<.0001	0.0005
Calcio	-0.94545	-0.97988	0.32975	-0.88779	0.11558	0.98447	0.57829	0.91530
	<.0001	<.0001	0.0495	<.0001	0.5021	<.0001	0.0002	<.0001
Magnesio	-0.41583	-0.59184	0.23722	-0.60515	0.32120	0.71333	0.68145	0.21559
	0.0117	0.0001	0.1636	<.0001	0.0561	<.0001	<.0001	0.2067
Sodio	-0.76001	-0.78954	0.15166	-0.84283	0.50056	0.88573	0.86324	0.53535
	<.0001	<.0001	0.3772	<.0001	0.0019	<.0001	<.0001	0.0008
Boro	0.68864	0.77595	-0.47181	0.88522	-0.77772	-0.76401	-0.95079	-0.50220
	<.0001	<.0001	0.0037	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0018
Cobre	1.00000	0.92250	-0.15579	0.89982	-0.20500	-0.91640	-0.62492	-0.93128
		<.0001	0.3643	<.0001	0.2304	<.0001	<.0001	<.0001
Hierro	0.92250	1.00000	-0.47154	0.93833	-0.23353	-0.96742	-0.65582	-0.89051
	<.0001		0.0037	<.0001	0.1704	<.0001	<.0001	<.0001
Zinc	-0.15579	-0.47154	1.00000	-0.37651	0.31812	0.31267	0.24631	0.30074
	0.3643	0.0037		0.0236	0.0587	0.0634	0.1476	0.0747
Mangan	0.89982	0.93833	-0.37651	1.00000	-0.45208	-0.90347	-0.84960	-0.76609
	<.0001	<.0001	0.0236		0.0056	<.0001	<.0001	<.0001
Asufre	-0.20500	-0.23353	0.31812	-0.45208	1.00000	0.20879	0.78730	-0.00766
	0.2304	0.1704	0.0587	0.0056		0.2217	<.0001	0.9646
Cice	-0.91640	-0.96742	0.31267	-0.90347	0.20879	1.00000	0.67026	0.83530
	<.0001	<.0001	0.0634	<.0001	0.2217		<.0001	<.0001
Ce	-0.62492	-0.65582	0.24631	-0.84960	0.78730	0.67026	1.00000	0.35642
	<.0001	<.0001	0.1476	<.0001	<.0001	<.0001		0.0329

	camg	DensEspo	ClareT	AMSCO2
pH	0.96793	0.38451	0.38287	0.39770
	<.0001	0.0206	0.0212	0.0163
MO	0.88635	0.03935	0.01090	0.77044
	<.0001	0.8198	0.9497	<.0001
fosforo	0.25907	-0.09373	-0.12262	0.17670
	0.1271	0.5866	0.4762	0.3026
Potasio	0.55030	-0.19258	-0.19570	0.50446
	0.0005	0.2605	0.2527	0.0017
Calcio	0.91530	0.19114	0.21071	0.47637
	<.0001	0.2641	0.2174	0.0033
Magnesio	0.21559	-0.08045	-0.08610	0.09815
	0.2067	0.6409	0.6176	0.5690
Sodio	0.53535	-0.22914	-0.20813	0.49471
	0.0008	0.1789	0.2232	0.0022
Boro	-0.50220	0.04013	-0.00905	-0.26293
	0.0018	0.8162	0.9582	0.1213
Cobre	-0.93128	-0.00114	-0.05756	-0.64858
	<.0001	0.9947	0.7388	<.0001
Hierro	-0.89051	-0.26484	-0.30433	-0.35264
	<.0001	0.1185	0.0711	0.0349
Zinc	0.30074	0.77346	0.74290	-0.49925
	0.0747	<.0001	<.0001	0.0019
Mangan	-0.76609	-0.05192	-0.15222	-0.36053
	<.0001	0.7636	0.3755	0.0308
Asufre	-0.00766	-0.26049	-0.22693	0.10669
	0.9646	0.1249	0.1832	0.5357
Cice	0.83530	0.10628	0.12309	0.46965
	<.0001	0.5373	0.4745	0.0039
Ce	0.35642	-0.26812	-0.16775	0.29143
	0.0329	0.1139	0.3281	0.0846

	pH	MO	fosforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio	Boro
camg	0.96793	0.88635	0.25907	0.55030	0.91530	0.21559	0.53535	-0.50220
	<.0001	<.0001	0.1271	0.0005	<.0001	0.2067	0.0008	0.0018
camg	0.96793	0.88635	0.25907	0.55030	0.91530	0.21559	0.53535	-0.50220
	<.0001	<.0001	0.1271	0.0005	<.0001	0.2067	0.0008	0.0018
DensEspo	0.38451	0.03935	-0.09373	-0.19258	0.19114	-0.08045	-0.22914	0.04013
	0.0206	0.8198	0.5866	0.2605	0.2641	0.6409	0.1789	0.8162
ClareT	0.38287	0.01090	-0.12262	-0.19570	0.21071	-0.08610	-0.20813	-0.00905
	0.0212	0.9497	0.4762	0.2527	0.2174	0.6176	0.2232	0.9582
AMSCO2	0.39770	0.77044	0.17670	0.50446	0.47637	0.09815	0.49471	-0.26293
	0.0163	<.0001	0.3026	0.0017	0.0033	0.5690	0.0022	0.1213
	Cobre	Hierro	Zinc	Mangan	Asufre	Cice	Ce	camg
camg	-0.93128	-0.89051	0.30074	-0.76609	-0.00766	0.83530	0.35642	1.00000
	<.0001	<.0001	0.0747	<.0001	0.9646	<.0001	0.0329	
camg	-0.93128	-0.89051	0.30074	-0.76609	-0.00766	0.83530	0.35642	1.00000
	<.0001	<.0001	0.0747	<.0001	0.9646	<.0001	0.0329	
DensEspo	-0.00114	-0.26484	0.77346	-0.05192	-0.26049	0.10628	-0.26812	0.28442
	0.9947	0.1185	<.0001	0.7636	0.1249	0.5373	0.1139	0.0927
ClareT	-0.05756	-0.30433	0.74290	-0.15222	-0.22693	0.12309	-0.16775	0.30248
	0.7388	0.0711	<.0001	0.3755	0.1832	0.4745	0.3281	0.0730
AMSCO2	-0.64858	-0.35264	-0.49925	-0.36053	0.10669	0.46965	0.29143	0.52515
	<.0001	0.0349	0.0019	0.0308	0.5357	0.0039	0.0846	0.0010

	camg	DensEspo	ClareT	AMSCO2
camg	1.00000	0.28442	0.30248	0.52515
		0.0927	0.0730	0.0010
camg	1.00000	0.28442	0.30248	0.52515
		0.0927	0.0730	0.0010
DensEspo	0.28442	1.00000	0.89518	-0.54030
	0.0927		<.0001	0.0007
ClareT	0.30248	0.89518	1.00000	-0.55926
	0.0730	<.0001		0.0004
AMSCO2	0.52515	-0.54030	-0.55926	1.00000
	0.0010	0.0007	0.0004	

**ANEXO 12. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) realizado para nutrientes en tejidos foliares de plantas en ají Jalapeño híbrido Ixtapa**

<b>MUESTREO FINAL</b>						
<b>JALAPEÑO HIBRIDO IXTAPA</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>FSQC</b>	<b>FSQC + O</b>	<b>FSQC + O + B1</b>	<b>FSQC + O + M</b>	<b>FSQC + O + B2</b>	<b>FSQC + O + B3</b>
<b>N (%)</b>	5,09a	4,90c	5,04b	4,16e	4,86d	3,69f
<b>P (%)</b>	0,32a	0,30c	0,28d	0,31b	0,32a	0,31b
<b>K<sup>+</sup> (%)</b>	3,10a	1,84e	1,79f	2,09d	2,14c	2,63b
<b>Ca<sup>++</sup> (%)</b>	3,52b	2,89f	3,00e	3,50c	3,46d	3,57a
<b>Mg<sup>++</sup> (%)</b>	1,10d	0,94e	0,88f	1,57a	1,16c	1,28b
<b>Na<sup>+</sup> (%)</b>	0,013a	0,011c	0,011c	0,011c	0,009d	0,012b
<b>S (%)</b>	0,39d	0,36e	0,40c	0,46b	0,46b	0,48a
<b>Fe<sup>++</sup> (mg.kg)</b>	180,1b	194,1a	179,4c	164,1d	125,4e	113f
<b>Cu<sup>++</sup> (mg.kg)</b>	18,7a	14,7d	16,7b	14,7d	16,0c	12,0e
<b>Mn<sup>++</sup> (mg.kg)</b>	136,7f	198,1d	218,8c	242,1b	169,4e	286,8a
<b>Zn<sup>++</sup> (mg.kg)</b>	28,0e	30,0b	32,0a	29,3c	28,7d	32,0a
<b>B (mg.kg)</b>	56,9d	58,0c	60,7a	50,5f	59,2b	54,8e

### ANEXO 13. Correlación Pearson para ají Jalapeño híbrido Ixtapa (Foliar)

Coeficientes de correlación Pearson, N = 36  
 Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	N	K	Mg	Na	S
N	1.00000	-0.19276 0.2600	-0.14961 0.3838	-0.71525 <.0001	-0.12552 0.4657
K	-0.19276 0.2600	1.00000	0.67136 <.0001	0.52584 0.0010	0.03331 0.8470
Mg	-0.14961 0.3838	0.67136 <.0001	1.00000	0.23436 0.1689	0.67876 <.0001
Na	-0.71525 <.0001	0.52584 0.0010	0.23436 0.1689	1.00000	0.00301 0.9861
S	-0.12552 0.4657	0.03331 0.8470	0.67876 <.0001	0.00301 0.9861	1.00000
Fe	-0.76272 <.0001	0.38695 0.0197	0.16307 0.3420	0.73791 <.0001	-0.26611 0.1167
Cu	0.65300 <.0001	-0.43845 0.0075	-0.24678 0.1468	-0.44238 0.0069	0.28966 0.0866
Mn	0.86356 <.0001	0.04906 0.7763	0.21734 0.2029	-0.39023 0.0186	0.12894 0.4536
ZN	-0.86108 <.0001	-0.32728 0.0514	-0.24366 0.1521	0.40408 0.0145	0.03605 0.8346
B	-0.40815 0.0135	-0.73361 <.0001	-0.37630 0.0237	-0.23126 0.1748	0.05361 0.7562
	Fe	Cu	Mn	ZN	B
N	-0.76272 <.0001	0.65300 <.0001	0.86356 <.0001	-0.86108 <.0001	-0.40815 0.0135
K	0.38695 0.0197	-0.43845 0.0075	0.04906 0.7763	-0.32728 0.0514	-0.73361 <.0001
Mg	0.16307 0.3420	-0.24678 0.1468	0.21734 0.2029	-0.24366 0.1521	-0.37630 0.0237
Na	0.73791 <.0001	-0.44238 0.0069	-0.39023 0.0186	0.40408 0.0145	-0.23126 0.1748
S	-0.26611 0.1167	0.28966 0.0866	0.12894 0.4536	0.03605 0.8346	0.05361 0.7562
Fe	1.00000	-0.89667 <.0001	-0.54039 0.0007	0.55096 0.0005	0.14826 0.3882
Cu	-0.89667 <.0001	1.00000	0.55241 0.0005	-0.43456 0.0081	-0.19323 0.2588
Mn	-0.54039 0.0007	0.55241 0.0005	1.00000	-0.88210 <.0001	-0.58374 0.0002
ZN	0.55096 0.0005	-0.43456 0.0081	-0.88210 <.0001	1.00000	0.77692 <.0001
B	0.14826 0.3882	-0.19323 0.2588	-0.58374 0.0002	0.77692 <.0001	1.00000

**ANEXO 14. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) realizado para nutrientes en tejidos foliares de plantas en ají de la variedad Cayenne Durkee**

<b>MUESTREO FINAL</b>						
<b>VARIEDAD CAYENNE DURKEE</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>FSQC</b>	<b>FSQC + O</b>	<b>FSQC + O + B1</b>	<b>FSQC + O + M</b>	<b>FSQC + O + B2</b>	<b>FSQC + O + B3</b>
<b>N (%)</b>	3,92d	2,48e	4,06c	5,00a	4,20b	5,00a
<b>P (%)</b>	0,29e	0,32d	0,26f	0,39a	0,35c	0,36b
<b>K<sup>+</sup> (%)</b>	2,13e	2,91c	4,09a	3,97b	2,91c	2,85d
<b>Ca<sup>++</sup> (%)</b>	4,28a	2,62f	3,88b	3,24e	3,73c	3,25d
<b>Mg<sup>++</sup> (%)</b>	1,26c	1,03f	1,18d	1,48a	1,35b	1,13e
<b>Na<sup>+</sup> (%)</b>	0,011b	0,12a	0,01c	0,01c	0,01c	0,01c
<b>S (%)</b>	0,38a	0,33d	0,34c	0,37b	0,38a	0,38a
<b>Fe<sup>++</sup> (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	357,5a	350b	159,4f	230,8c	194,8d	189,4e
<b>Cu<sup>++</sup> (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	11,3c	10,7d	10,7d	18,7a	18,7a	12,0b
<b>Mn<sup>++</sup> (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	500,3a	290,8c	393,5b	140,7e	192, 8d	129,4f
<b>Zn<sup>++</sup> (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	62,7a	46,0c	54,7b	34,0e	37,4d	31,3f
<b>B (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	74,8b	71,5c	80,1a	54,9e	59,5d	43,8f



## ANEXO 15. Correlación Pearson para ají Variedad Cayenne Durkee (Foliar)

Coefficientes de correlación Pearson, N = 36  
 Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	N	K	Mg	Na	S
N	1.00000	0.49257 0.0023	0.28253 0.0950	0.62592 <.0001	-0.89057 <.0001
K	0.49257 0.0023	1.00000	0.07099 0.6807	0.48636 0.0026	-0.27434 0.1054
Mg	0.28253 0.0950	0.07099 0.6807	1.00000	0.29333 0.0825	-0.47266 0.0036
Na	0.62592 <.0001	0.48636 0.0026	0.29333 0.0825	1.00000	-0.58585 0.0002
S	-0.89057 <.0001	-0.27434 0.1054	-0.47266 0.0036	-0.58585 0.0002	1.00000
Fe	0.71577 <.0001	0.46969 0.0039	-0.40914 0.0132	0.56966 0.0003	-0.53099 0.0009
Cu	-0.64167 <.0001	-0.14896 0.3859	-0.63305 <.0001	-0.25253 0.1373	0.88206 <.0001
Mn	0.48999 0.0024	0.72996 <.0001	0.25642 0.1312	0.85536 <.0001	-0.50980 0.0015
ZN	-0.47969 0.0031	-0.88322 <.0001	-0.30291 0.0725	-0.25966 0.1262	0.41409 0.0120
B	-0.48909 0.0025	-0.88197 <.0001	-0.26418 0.1195	-0.24098 0.1568	0.41642 0.0115
	Fe	Cu	Mn	ZN	B
N	0.71577 <.0001	-0.64167 <.0001	0.48999 0.0024	-0.47969 0.0031	-0.48909 0.0025
K	0.46969 0.0039	-0.14896 0.3859	0.72996 <.0001	-0.88322 <.0001	-0.88197 <.0001
Mg	-0.40914 0.0132	-0.63305 <.0001	0.25642 0.1312	-0.30291 0.0725	-0.26418 0.1195
Na	0.56966 0.0003	-0.25253 0.1373	0.85536 <.0001	-0.25966 0.1262	-0.24098 0.1568
S	-0.53099 0.0009	0.88206 <.0001	-0.50980 0.0015	0.41409 0.0120	0.41642 0.0115
Fe	1.00000	-0.15387 0.3702	0.49548 0.0021	-0.25212 0.1380	-0.28097 0.0969
Cu	-0.15387 0.3702	1.00000	-0.33075 0.0488	0.48489 0.0027	0.48267 0.0029
Mn	0.49548 0.0021	-0.33075 0.0488	1.00000	-0.60966 <.0001	-0.59332 0.0001
ZN	-0.25212 0.1380	0.48489 0.0027	-0.60966 <.0001	1.00000	0.99866 <.0001
B	-0.28097 0.0969	0.48267 0.0029	-0.59332 0.0001	0.99866 <.0001	1.00000

**ANEXO 16. ANOVA de la evaluación de densidad de esporas por gramo de suelo**

**PARA AJÍ CAYENNE**

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coefficiente de Variación
Modelo	10	5706.11111	570.611111	23.25	<.0001	0.902929	20.54473
Error	25	613.444444	24.537778				
Total							
correcto	35	6319.55555					
Bloque	5	4.555556	0.911111	0.04	0.9992		
Tratamiento	5	5701.55555	1140.31111	46.47	<.0001		

**PARA AJÍ JALAPEÑO**

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coefficiente de Variación
Modelo	10	6242.77777	624.277778	41.02	<.0001	0.942559	16.75846
Error	25	380.444444	15.217778				
Total							
correcto	35	6623.22222					
Bloque	5	108.222222	21.644444	1.42	0.2506		
Tratamiento	5	6134.55555	1226.91111	80.62	<.0001		

**ANEXO 17. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) de la evaluación de densidad de esporas por gramo de suelo**

**MUESTREO FINAL**

**VARIEDAD CAYENNE DURKEE**

Parámetro	FSQC	FSQC + O	FSQC + O + B1	FSQC + O + M	FSQC + O + B2	FSQC + O + B3
Densidad de esporas por g de suelos	24,500 a	24,500 a	24,167 a	24,167 a	23,833 a	23,500 a

**MUESTREO FINAL**

**JALAPEÑO HIBRIDO IXTAPA**

Parámetro	FSQC	FSQC + O	FSQC + O + B1	FSQC + O + M	FSQC + O + B2	FSQC + O + B3
Densidad de esporas por g de suelos	25,500 a	25,333 a	23,500 a	22,667 a	22,000 a	20,667 a

**ANEXO 18. ANOVA de la evaluación del porcentaje de colonización de hongos Micorrícicos arbusculares sobre raíces de ají.**

**PARA AJÍ CAYENNE**

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coeficiente de Variación
Modelo	10	6925.611111	692.5611111	21.45	<.0001	0.895595	17.47067
Error	25	807.3611111	32.294444				
Total correcto	35	7732.97222					
Bloque	5	224.805556	44.9611111	1.39	0.2611		
Tratamiento	5	6700.80555	1340.16111	41.50	<.0001		

**PARA AJÍ JALAPEÑO**

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coeficiente de Variación
Modelo	10	6794.111111	679.4111111	20.59	<.0001	0.891707	17.79847
Error	25	825.1111111	33.004444				
Total correcto	35	7619.22222					
Bloque	5	97.555556	19.5111111	0.59	0.7068		
Tratamiento	5	6696.55555	1339.31111	40.58	<.0001		

**ANEXO 19. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) de la evaluación del porcentaje de colonización de HMA en raíces de ají**

<b>MUESTREO FINAL</b>						
<b>VARIEDAD CAYENNE DURKEE</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>FSQC</b>	<b>FSQC + O</b>	<b>FSQC + O + B1</b>	<b>FSQC + O + M</b>	<b>FSQC + O + B2</b>	<b>FSQC + O + B3</b>
% de Colonización de HMA	35,333 a	35,167 a	33,667 a	32,333 a	30,000 a	28,667 a

<b>MUESTREO FINAL</b>						
<b>JALAPEÑO HIBRIDO IXTAPA</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>FSQC</b>	<b>FSQC + O</b>	<b>FSQC + O + B1</b>	<b>FSQC + O + M</b>	<b>FSQC + O + B2</b>	<b>FSQC + O + B3</b>
% de Colonización de HMA	35,167 a	33,667 a	31,833 a	31,667 a	31,000 a	30,333 a

**ANEXO 20. ANOVA de la actividad microbiana medida como respiración (C – CO<sub>2</sub>).**

**PARA AJÍ CAYENNE**

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coeficiente de Variación
Modelo	10	11618198.7	11618198.7	115.8	<.0001	0.978875	10.83161
Error	25	2507305.1	100292.2			0.895595	17.47067
Total							
correcto	35	11868929.8					
Bloque	5	722875.0	144575.0	1.44	0.2442		
Tratamiento	5	11545911.7	23091822.3	230.2	<.0001		

**PARA AJÍ JALAPEÑO**

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coeficiente de Variación
Modelo	10	26249517.3	26249517.3	108.8	<.0001	0.977544	15.84669
Error	25	6029996.2	241199.8				
Total							
correcto	35	26852516.5					
Bloque	5	1145327.2	229065.4	0.95	0.4668		
Tratamiento	5	26134984.1	52269969.2	216.7	<.0001		

**ANEXO 21. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) de la actividad microbiana medida como respiración (C – CO<sub>2</sub>).**

<b>MUESTREO FINAL</b>						
<b>VARIEDAD CAYENNE DURKEE</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>FSQC</b>	<b>FSQC + O</b>	<b>FSQC + O + B1</b>	<b>FSQC + O + M</b>	<b>FSQC + O + B2</b>	<b>FSQC + O + B3</b>
(C – CO <sub>2</sub> )	3167,0 a	2978,1 ab	2961,1 ab	2909,2 ab	2815,6 ab	2711,5 b

<b>MUESTREO FINAL</b>						
<b>JALAPEÑO HIBRIDO IXTAPA</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>FSQC</b>	<b>FSQC + O</b>	<b>FSQC + O + B1</b>	<b>FSQC + O + M</b>	<b>FSQC + O + B2</b>	<b>FSQC + O + B3</b>
(C – CO <sub>2</sub> )	3330,9 a	3311,1 a	3154,4 a	2982,8 a	2944,1 a	2872,0 a

**ANEXO 22. ANOVA de la evaluación del número de frutos por planta**

**PARA AJÍ CAYENNE**

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coefficiente de Variación
Modelo	7	229.785416	32.8264881	922.5	<.0001	0.998454	0.682843
Error	10	0.3558333	0.0355833				
Total							
correcto	17	230.141250					
Bloque	2	0.6175000	0.3087500	8.68	0.0065		
Tratamiento	5	229.167916	45.8335833	128.0	<.0001		

**PARA AJÍ JALAPEÑO**

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coefficiente de Variación
Modelo	7	418.304855	59.7578365	910.4	<.0001	0.998433	0.888216
Error	10	0.6563889	0.0656389				
Total							
correcto	17	418.961244					
Bloque	2	0.0037444	0.0018722	0.03	0.9720		
Tratamiento	5	418.301111	83.6602222	127.5	<.0001		

**ANEXO 23. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) de la evaluación del número de frutos por planta.**

<b>MUESTREO FINAL</b>						
<b>VARIEDAD CAYENNE DURKEE</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>FSQC</b>	<b>FSQC + O</b>	<b>FSQC + O + B1</b>	<b>FSQC + O + M</b>	<b>FSQC + O + B2</b>	<b>FSQC + O + B3</b>
No. de frutos por planta	35,333 a	35,167 a	33,667 a	32,333 a	30,000 a	28,667 a

<b>MUESTREO FINAL</b>						
<b>JALAPEÑO HIBRIDO IXTAPA</b>						
<b>Parámetro</b>	<b>FSQC</b>	<b>FSQC + O</b>	<b>FSQC + O + B1</b>	<b>FSQC + O + M</b>	<b>FSQC + O + B2</b>	<b>FSQC + O + B3</b>
No. de frutos por planta	35,167 a	33,667 a	31,833 a	31,667 a	31,000 a	30,333 a

## ANEXO 24. ANOVA de la evaluación del peso promedio de frutos

### PARA AJÍ CAYENNE

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coeficiente de Variación
Modelo	7	347.892083	49.6988690	112.2	<.0001	0.987429	1.271087
Error	10	4.4291667	0.4429167				
Total							
Correcto	17	352.321250					
Bloque	2	0.3958333	0.1979167	0.45	0.6518		
Tratamiento	5	347.496250	69.4992500	156.9	<.0001		

### PARA AJÍ JALAPEÑO

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coeficiente de Variación
Modelo	7	1252.63965	178.948522	266.3	<.0001	0.999464	0.343174
Error	10	0.671389	0.067139				
Total							
correcto	17	1253.31104					
Bloque	2	0.295878	0.147939	2.20	0.1611		
Tratamiento	5	1252.34377	250.468756	373.6	<.0001		

## ANEXO 25. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) de la evaluación del peso promedio de frutos.

MUESTREO FINAL						
VARIEDAD CAYENNE DURKEE						
Parámetro	FSQC	FSQC + O	FSQC + O + B1	FSQC + O + M	FSQC + O + B2	FSQC + O + B3
Peso promedio de frutos	35,333 a	35,167 a	33,667 a	32,333 a	30,000 a	28,667 a

MUESTREO FINAL						
JALAPEÑO HIBRIDO IXTAPA						
Parámetro	FSQC	FSQC + O	FSQC + O + B1	FSQC + O + M	FSQC + O + B2	FSQC + O + B3
Peso promedio de frutos	35,167 a	33,667 a	31,833 a	31,667 a	31,000 a	30,333 a

## ANEXO 26. ANOVA de evaluación de la producción por planta

### PARA AJÍ CAYENNE

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coefficiente de Variación
Modelo	7	30017912.6	4288273.23	625.7	<.0001	0.997722	1.416159
Error	10	68530.33	6853.03				
Total							
Correcto	17	30086442.9					
Bloque	2	234.70	117.35	0.02	0.9831		
Tratamiento	5	30017677.9	6003535.59	876.0	<.0001		

### PARA AJÍ JALAPEÑO

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr > F	R <sup>2</sup>	Coefficiente de Variación
Modelo	7	97928503.9	13989786.2	917.2	<.0001	0.999844	0.442326
Error	10	15249.02	1524.90				
Total							
correcto	17	97943752.9					
Bloque	2	4371.90	2185.95	1.43	0.2835		
Tratamiento	5	97924132.0	19584826.4	128.3	<.0001		

## ANEXO 27. Prueba de comparación de medias según Duncan (5%) evaluación de la producción por planta.

### MUESTREO FINAL

#### VARIEDAD CAYENNE DURKEE

Parámetro	FSQC	FSQC + O	FSQC + O + B1	FSQC + O + M	FSQC + O + B2	FSQC + O + B3
Producción por planta	35,333 a	35,167 a	33,667 a	32,333 a	30,000 a	28,667 a

### MUESTREO FINAL

#### JALAPEÑO HIBRIDO IXTAPA

Parámetro	FSQC	FSQC + O	FSQC + O + B1	FSQC + O + M	FSQC + O + B2	FSQC + O + B3
Producción por planta	35,167 a	33,667 a	31,833 a	31,667 a	31,000 a	30,333 a

**ANEXO 28. Costos de producción por hectárea de ají Cayenne y Jalapeño**

Actividad	Patrón		Participación Mano de obra		Precio Unidad	Valor Total	Observación
	Uni.	Cant.	Hom.	Muj.			
Preparación de terreno	h – m	2	100		100.000	200.000	Arada emparejada
Elaboración de camas	h – m	5	100		45.000	225.000	Maquinaria contrato
Emplastificada	Jornal	30			16.500	495.000	Manual con quemadores
Ahoyada Cobertura plástica	Jornal	7			16.000	112.000	
Trasplante - Resiembra	Jornal	42	50	50	16.000	672.000	
Enlatada o tutorado	Jornal	15			16.000	240.000	
Control Manual de Malezas	Jornal	35	50	50	16.000	560.000	3.00
Amarre	Jornal	10	100		16.000	160.000	4.00
Aplicación herbicidas	Jornal	20	50	50	16.000	320.000	6.00
Control de Plagas y Enfermedades	Jornal	34	100		16.000	544.000	17.00
Fertilización	Jornal	16	100		16.000	256.000	
Aplicación Riego	Jornal	31	100		16.000	496.000	
Transporte y pesada	Kilos	40			30	1.200.000	
Recolección	Kilos	40	50	50	100	4.000.000	
<b>Labores – Subtotal</b>						<b>9.480.000</b>	
Semilla	Plántulas	50.000			35	1.750.000	Variedad
Insecticidas	Litros	30			50.000	1.500.000	Varios
Fungicidas	l.kg <sup>-1</sup>	30			65.000	1.950.000	Varios
Bactericidas	Litros	8			86.000	688.000	Varios
Fertilizante (Fertirriego)	Kilos	3.000			800	2.400.000	Varios
Fertilizantes (Foliares)	Kg . l <sup>-1</sup>	18			24.000	432.000	Varios
Herbicidas	Litros	25			28.000	700.000	Varios
Estaca	Unidad	4.500			120	540.000	Costos diferidos a 2 cosechas
Hilo	Unidad	40			7.800	312.000	4 amarres de 10 rollos
Plástico	Metros	6.666			325	2.166.450	
Riego goteo	Metros	6.666			390	2.599.740	
<b>Insumo – Subtotal</b>						<b>15.038.190</b>	
Intereses	Mes	12					
Arrendamiento	Mes	10			180.000	1.800.000	
Administración	Mes	10					
Asistencia Técnica	Mes	10					
Energía	Mes	10			50.000	500.000	
Tubería enterrada						130.000	Diferida a 10 años
<b>Otros costos Subtotal</b>						<b>2.430.000</b>	
<b>Total Costos Ají Cayenne–Jalapeño</b>			89	22		<b>26.948.190</b>	
Producción	Tonelada	40			800.000	<b>32.000.000</b>	
Ingreso Neto/pérdida						<b>5.051.810</b>	



**ANEXO 29. Costos producción por hectárea de ají Cayenne y Jalapeño a diez meses**

Actividad	Patrón		Participación Mano de obra		Precio Unidad	Valor Total	Observación
	Uni.	Cant.	Hom.	Muj.			
Preparación de terreno	h – m	6	100		64.000	384.000	Descompactada a cincel 2 pases Rastroarado 2 pases Pulida 4 pases
Elaboración de camas	h – m	4	100		75.000	300.000	Acamado a 1.5 m manual
Emplasticada Ahoyada Cobertura plástica	Jornal	18			16.000	288.000	Manual Con quemadores
	Jornal	7			16.000	112.000	
Trasplante - Resiembra	Jornal	28	50	50	16.000	448.000	
Enlatada o tutorado	Jornal	15			16.000	240.000	
Control Manual de Malezas	Jornal	25	50	50	16.000	400.000	3.00
Amarre	Jornal	10	100		16.000	160.000	4.00
Aplicación herbicidas	Jornal	20	50	50	16.000	320.000	6.00
Control de Plagas y Enfermedades	Jornal	25	100		16.000	400.000	17.00
Fertilización	Jornal	16	100		16.000	256.000	
Aplicación Riego	Jornal	26	100		16.000	416.000	
Transporte y pesada	Kilos	42.139			30	1.264.000	
Recolección	Kilos	42.139	50	50	85	3.581.815	
<b>Labores – Subtotal</b>						<b>8.569.985</b>	
Semilla	Plántulas	50.000			27	1.350.000	Variedad
Insecticidas	Litros	14			41.000	574.000	Varios
Fungicidas	l.kg <sup>-1</sup>	21			25.000	525.000	Varios
Bactericidas	Litros	8			46.000	368.000	Varios
Fertilizante (Fertirriego)	Kilos	1.929			800	1.543.200	Varios
Fertilizantes (Foliares)	Kg.l <sup>-1</sup>	12			24.000	288.000	Varios
Herbicidas	Litros	25			28.000	700.000	Varios
Estaca	Unidad	4.500			80	360.000	Costos diferidos a 2 cosechas
Hilo	Unidad	25			7.800	195.000	
Plástico	Metros	6.666			215	1.433.190	
Riego goteo	Metros	6.666			235	1.566.510	
<b>Insumo – Subtotal</b>						<b>8.902.900</b>	
Intereses	Mes	12					
Arrendamiento	Mes	10					
Administración	Mes	10				1.432.230	
Asistencia Técnica	Mes	10					
Energía	Mes	10			30.000	300.000	
Tubería enterrada						130.000	Diferida a 10 años
<b>Otros costos Subtotal</b>						<b>1.862.230</b>	
<b>Total Costos Ají Cayenne–Jalapeño</b>			89	22		<b>19.335.115</b>	
Producción	Tonelada	42.139			800.000	<b>33.711.200</b>	
Ingreso Neto/pérdida						<b>14.376.085</b>	

## ANEXO 30. Dase de datos de experimento de Suelo

Obs	Varied	Tratto	Bloque	pH	MO	fosforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio	Boro	Cobre
1	Cayenne	1	1	7.78	4.41	126.2	1.81	21.88	5.18	1.81	0.26	2.0
2	Cayenne	1	2	7.78	4.41	126.2	1.81	21.88	5.18	1.81	0.26	2.0
3	Cayenne	1	3	7.78	4.41	126.2	1.81	21.88	5.18	1.81	0.26	2.0
4	Cayenne	1	4	7.78	4.41	126.2	1.81	21.88	5.18	1.81	0.26	2.0
5	Cayenne	1	5	7.78	4.41	126.2	1.81	21.88	5.18	1.81	0.26	2.0
6	Cayenne	1	6	7.78	4.41	126.2	1.81	21.88	5.18	1.81	0.26	2.0
7	Cayenne	2	1	7.28	3.08	244.4	2.08	21.08	6.37	2.08	0.28	4.9
8	Cayenne	2	2	7.28	3.08	244.4	2.08	21.08	6.37	2.08	0.28	4.9
9	Cayenne	2	3	7.28	3.08	244.4	2.08	21.08	6.37	2.08	0.28	4.9
10	Cayenne	2	4	7.28	3.08	244.4	2.08	21.08	6.37	2.08	0.28	4.9
11	Cayenne	2	5	7.28	3.08	244.4	2.08	21.08	6.37	2.08	0.28	4.9
12	Cayenne	2	6	7.28	3.08	244.4	2.08	21.08	6.37	2.08	0.28	4.9
13	Cayenne	3	1	7.32	2.92	491.2	2.68	19.54	6.69	2.68	0.15	6.3
14	Cayenne	3	2	7.32	2.92	491.2	2.68	19.54	6.69	2.68	0.15	6.3
15	Cayenne	3	3	7.32	2.92	491.2	2.68	19.54	6.69	2.68	0.15	6.3
16	Cayenne	3	4	7.32	2.92	491.2	2.68	19.54	6.69	2.68	0.15	6.3
17	Cayenne	3	5	7.32	2.92	491.2	2.68	19.54	6.69	2.68	0.15	6.3
18	Cayenne	3	6	7.32	2.92	491.2	2.68	19.54	6.69	2.68	0.15	6.3
19	Cayenne	4	1	7.56	3.18	82.9	0.64	18.08	5.18	0.64	0.30	7.5
20	Cayenne	4	2	7.56	3.18	82.9	0.64	18.08	5.18	0.64	0.30	7.5
21	Cayenne	4	3	7.56	3.18	82.9	0.64	18.08	5.18	0.64	0.30	7.5
22	Cayenne	4	4	7.56	3.18	82.9	0.64	18.08	5.18	0.64	0.30	7.5
23	Cayenne	4	5	7.56	3.18	82.9	0.64	18.08	5.18	0.64	0.30	7.5
24	Cayenne	4	6	7.56	3.18	82.9	0.64	18.08	5.18	0.64	0.30	7.5
25	Cayenne	5	1	6.35	2.77	19.3	0.32	10.09	5.09	0.17	0.45	13.0
26	Cayenne	5	2	6.35	2.77	19.3	0.32	10.09	5.09	0.17	0.45	13.0
27	Cayenne	5	3	6.35	2.77	19.3	0.32	10.09	5.09	0.17	0.45	13.0
28	Cayenne	5	4	6.35	2.77	19.3	0.32	10.09	5.09	0.17	0.45	13.0
29	Cayenne	5	5	6.35	2.77	19.3	0.32	10.09	5.09	0.17	0.45	13.0
30	Cayenne	5	6	6.35	2.77	19.3	0.32	10.09	5.09	0.17	0.45	13.0
31	Cayenne	6	1	6.28	2.46	25.7	0.29	9.40	4.86	0.52	0.32	11.0
32	Cayenne	6	2	6.28	2.46	25.7	0.29	9.40	4.86	0.52	0.32	11.0
33	Cayenne	6	3	6.28	2.46	25.7	0.29	9.40	4.86	0.52	0.32	11.0
34	Cayenne	6	4	6.28	2.46	25.7	0.29	9.40	4.86	0.52	0.32	11.0
35	Cayenne	6	5	6.28	2.46	25.7	0.29	9.40	4.86	0.52	0.32	11.0
36	Cayenne	6	6	6.28	2.46	25.7	0.29	9.40	4.86	0.52	0.32	11.0
37	Jalap	1	1	5.48	3.08	28.4	0.33	9.54	4.75	0.45	0.43	13.2
38	Jalap	1	2	5.48	3.08	28.4	0.33	9.54	4.75	0.45	0.43	13.2
39	Jalap	1	3	5.48	3.08	28.4	0.33	9.54	4.75	0.45	0.43	13.2
40	Jalap	1	4	5.48	3.08	28.4	0.33	9.54	4.75	0.45	0.43	13.2
41	Jalap	1	5	5.48	3.08	28.4	0.33	9.54	4.75	0.45	0.43	13.2
42	Jalap	1	6	5.48	3.08	28.4	0.33	9.54	4.75	0.45	0.43	13.2
43	Jalap	2	1	6.10	2.26	29.7	0.31	9.27	4.98	0.53	0.41	11.8
44	Jalap	2	2	6.10	2.26	29.7	0.31	9.27	4.98	0.53	0.41	11.8
45	Jalap	2	3	6.10	2.26	29.7	0.31	9.27	4.98	0.53	0.41	11.8
46	Jalap	2	4	6.10	2.26	29.7	0.31	9.27	4.98	0.53	0.41	11.8
47	Jalap	2	5	6.10	2.26	29.7	0.31	9.27	4.98	0.53	0.41	11.8
48	Jalap	2	6	6.10	2.26	29.7	0.31	9.27	4.98	0.53	0.41	11.8
49	Jalap	3	1	6.00	2.20	26.5	0.26	9.20	5.20	0.66	0.54	10.8
50	Jalap	3	2	6.00	2.20	26.5	0.26	9.20	5.20	0.66	0.54	10.8
51	Jalap	3	3	6.00	2.20	26.5	0.26	9.20	5.20	0.66	0.54	10.8
52	Jalap	3	4	6.00	2.20	26.5	0.26	9.20	5.20	0.66	0.54	10.8
53	Jalap	3	5	6.00	2.20	26.5	0.26	9.20	5.20	0.66	0.54	10.8
54	Jalap	3	6	6.00	2.20	26.5	0.26	9.20	5.20	0.66	0.54	10.8
55	Jalap	4	1	6.20	2.72	19.3	0.24	9.95	5.54	0.60	0.23	9.8
56	Jalap	4	2	6.20	2.72	19.3	0.24	9.95	5.54	0.60	0.23	9.8
57	Jalap	4	3	6.20	2.72	19.3	0.24	9.95	5.54	0.60	0.23	9.8
58	Jalap	4	4	6.20	2.72	19.3	0.24	9.95	5.54	0.60	0.23	9.8
59	Jalap	4	5	6.20	2.72	19.3	0.24	9.95	5.54	0.60	0.23	9.8
60	Jalap	4	6	6.20	2.72	19.3	0.24	9.95	5.54	0.60	0.23	9.8
61	Jalap	5	1	6.17	2.36	17.8	0.21	9.47	5.09	0.44	0.28	11.2
62	Jalap	5	2	6.17	2.36	17.8	0.21	9.47	5.09	0.44	0.28	11.2

63	Jalap	5	3	6.17	2.36	17.8	0.21	9.47	5.09	0.44	0.28	11.2
64	Jalap	5	4	6.17	2.36	17.8	0.21	9.47	5.09	0.44	0.28	11.2
65	Jalap	5	5	6.17	2.36	17.8	0.21	9.47	5.09	0.44	0.28	11.2
66	Jalap	5	6	6.17	2.36	17.8	0.21	9.47	5.09	0.44	0.28	11.2
67	Jalap	6	1	6.49	2.31	21.9	0.22	10.78	5.65	0.77	0.26	10.3
68	Jalap	6	2	6.49	2.31	21.9	0.22	10.78	5.65	0.77	0.26	10.3
69	Jalap	6	3	6.49	2.31	21.9	0.22	10.78	5.65	0.77	0.26	10.3
70	Jalap	6	4	6.49	2.31	21.9	0.22	10.78	5.65	0.77	0.26	10.3
71	Jalap	6	5	6.49	2.31	21.9	0.22	10.78	5.65	0.77	0.26	10.3
72	Jalap	6	6	6.49	2.31	21.9	0.22	10.78	5.65	0.77	0.26	10.3

Obs	Dens										AMSCO2
	Hierro	Zinc	Mangan	Asufre	Cice	Ce	camg	Espos	Clare	T	
1	11.6	2.3	4.9	30.5	29.19	1.44	4.22	21	12	6520.00	
2	11.6	2.3	4.9	30.5	29.19	1.44	4.22	12	14	6520.00	
3	11.6	2.3	4.9	30.5	29.19	1.44	4.22	14	21	6760.00	
4	11.6	2.3	4.9	30.5	29.19	1.44	4.22	16	29	6520.00	
5	11.6	2.3	4.9	30.5	29.19	1.44	4.22	17	32	6400.00	
6	11.6	2.3	4.9	30.5	29.19	1.44	4.22	23	38	5920.00	
7	15.4	2.4	4.3	18.7	29.75	1.54	3.31	22	24	3086.96	
8	15.4	2.4	4.3	18.7	29.75	1.54	3.31	18	32	2760.87	
9	15.4	2.4	4.3	18.7	29.75	1.54	3.31	19	32	2891.30	
10	15.4	2.4	4.3	18.7	29.75	1.54	3.31	20	40	3673.91	
11	15.4	2.4	4.3	18.7	29.75	1.54	3.31	21	32	2760.87	
12	15.4	2.4	4.3	18.7	29.75	1.54	3.31	23	36	3478.26	
13	18.6	4.9	4.3	50.2	29.32	1.99	2.92	14	28	3510.10	
14	18.6	4.9	4.3	50.2	29.32	1.99	2.92	22	24	3207.07	
15	18.6	4.9	4.3	50.2	29.32	1.99	2.92	23	26	2752.53	
16	18.6	4.9	4.3	50.2	29.32	1.99	2.92	27	34	3434.34	
17	18.6	4.9	4.3	50.2	29.32	1.99	2.92	31	26	3131.31	
18	18.6	4.9	4.3	50.2	29.32	1.99	2.92	11	22	2222.22	
19	27.3	6.4	9.7	24.4	24.12	1.07	3.49	51	62	175.00	
20	27.3	6.4	9.7	24.4	24.12	1.07	3.49	57	64	550.00	
21	27.3	6.4	9.7	24.4	24.12	1.07	3.49	56	62	250.00	
22	27.3	6.4	9.7	24.4	24.12	1.07	3.49	45	60	1075.00	
23	27.3	6.4	9.7	24.4	24.12	1.07	3.49	47	64	625.00	
24	27.3	6.4	9.7	24.4	24.12	1.07	3.49	51	62	550.00	
25	132.0	1.8	27.4	13.3	15.67	0.48	1.98	18	16	2645.63	
26	132.0	1.8	27.4	13.3	15.67	0.48	1.98	26	22	2572.82	
27	132.0	1.8	27.4	13.3	15.67	0.48	1.98	24	31	2135.92	
28	132.0	1.8	27.4	13.3	15.67	0.48	1.98	25	28	2281.55	
29	132.0	1.8	27.4	13.3	15.67	0.48	1.98	16	22	2572.82	
30	132.0	1.8	27.4	13.3	15.67	0.48	1.98	26	32	2427.18	
31	115.0	2.3	15.8	39.5	15.08	1.40	1.93	15	30	1930.84	
32	115.0	2.3	15.8	39.5	15.08	1.40	1.93	12	24	1844.38	
33	115.0	2.3	15.8	39.5	15.08	1.40	1.93	11	22	2103.75	
34	115.0	2.3	15.8	39.5	15.08	1.40	1.93	10	20	2017.29	
35	115.0	2.3	15.8	39.5	15.08	1.40	1.93	13	26	2276.66	
36	115.0	2.3	15.8	39.5	15.08	1.40	1.93	11	22	1671.47	
37	200.0	2.5	22.4	63.7	15.06	2.08	2.01	10	22	8938.55	
38	200.0	2.5	22.4	63.7	15.06	2.08	2.01	18	31	8603.35	
39	200.0	2.5	22.4	63.7	15.06	2.08	2.01	12	14	8435.75	
40	200.0	2.5	22.4	63.7	15.06	2.08	2.01	11	26	8938.55	
41	200.0	2.5	22.4	63.7	15.06	2.08	2.01	14	28	8268.16	
42	200.0	2.5	22.4	63.7	15.06	2.08	2.01	21	31	8603.35	
43	135.0	2.2	20.9	78.1	15.08	1.74	1.86	21	26	2767.30	
44	135.0	2.2	20.9	78.1	15.08	1.74	1.86	18	30	2672.96	
45	135.0	2.2	20.9	78.1	15.08	1.74	1.86	21	24	2484.28	
46	135.0	2.2	20.9	78.1	15.08	1.74	1.86	11	22	2295.60	
47	135.0	2.2	20.9	78.1	15.08	1.74	1.86	16	35	2861.64	
48	135.0	2.2	20.9	78.1	15.08	1.74	1.86	17	17	2484.28	
49	110.0	2.2	17.8	96.9	15.32	2.82	1.77	19	24	2577.90	
50	110.0	2.2	17.8	96.9	15.32	2.82	1.77	21	21	1643.06	
51	110.0	2.2	17.8	96.9	15.32	2.82	1.77	20	32	1473.09	
52	110.0	2.2	17.8	96.9	15.32	2.82	1.77	20	19	2067.99	
53	110.0	2.2	17.8	96.9	15.32	2.82	1.77	16	28	2747.88	
54	110.0	2.2	17.8	96.9	15.32	2.82	1.77	23	32	1388.10	
55	79.8	2.0	14.6	57.4	16.34	1.64	1.80	52	60	273.97	

56	79.8	2.0	14.6	57.4	16.34	1.64	1.80	57	64	109.59
57	79.8	2.0	14.6	57.4	16.34	1.64	1.80	42	64	273.97
58	79.8	2.0	14.6	57.4	16.34	1.64	1.80	43	66	191.78
59	79.8	2.0	14.6	57.4	16.34	1.64	1.80	56	62	191.78
60	79.8	2.0	14.6	57.4	16.34	1.64	1.80	55	60	273.97
61	100.0	2.1	13.0	35.9	15.21	0.93	1.86	19	18	1250.00
62	100.0	2.1	13.0	35.9	15.21	0.93	1.86	24	28	687.50
63	100.0	2.1	13.0	35.9	15.21	0.93	1.86	28	26	1156.25
64	100.0	2.1	13.0	35.9	15.21	0.93	1.86	27	34	1437.50
65	100.0	2.1	13.0	35.9	15.21	0.93	1.86	29	38	1906.25
66	100.0	2.1	13.0	35.9	15.21	0.93	1.86	26	28	2187.50
67	84.9	2.0	9.3	46.6	17.42	0.65	1.91	11	32	3118.97
68	84.9	2.0	9.3	46.6	17.42	0.65	1.91	14	28	4180.06
69	84.9	2.0	9.3	46.6	17.42	0.65	1.91	13	26	3408.36
70	84.9	2.0	9.3	46.6	17.42	0.65	1.91	12	24	2733.12
71	84.9	2.0	9.3	46.6	17.42	0.65	1.91	10	20	3890.68
72	84.9	2.0	9.3	46.6	17.42	0.65	1.91	11	22	5048.23

### ANEXO 31. Dase de datos de experimento de tejidos Vegetales

Obs	Varied	Tratto	Bloque	N	K	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	ZN	B
1	Cayenne	1	1	3.92	0.29	2.13	1.26	0.011	0.38	357.5	11.3	500.3	62.7
2	Cayenne	1	2	3.92	0.29	2.13	1.26	0.011	0.38	357.5	11.3	500.3	62.7
3	Cayenne	1	3	3.92	0.29	2.13	1.26	0.011	0.38	357.5	11.3	500.3	62.7
4	Cayenne	1	4	3.92	0.29	2.13	1.26	0.011	0.38	357.5	11.3	500.3	62.7
5	Cayenne	1	5	3.92	0.29	2.13	1.26	0.011	0.38	357.5	11.3	500.3	62.7
6	Cayenne	1	6	3.92	0.29	2.13	1.26	0.011	0.38	357.5	11.3	500.3	62.7
7	Cayenne	2	1	2.48	0.32	2.91	1.03	0.012	0.33	350.0	10.7	290.8	46.0
8	Cayenne	2	2	2.48	0.32	2.91	1.03	0.012	0.33	350.0	10.7	290.8	46.0
9	Cayenne	2	3	2.48	0.32	2.91	1.03	0.012	0.33	350.0	10.7	290.8	46.0
10	Cayenne	2	4	2.48	0.32	2.91	1.03	0.012	0.33	350.0	10.7	290.8	46.0
11	Cayenne	2	5	2.48	0.32	2.91	1.03	0.012	0.33	350.0	10.7	290.8	46.0
12	Cayenne	2	6	2.48	0.32	2.91	1.03	0.012	0.33	350.0	10.7	290.8	46.0
13	Cayenne	3	1	4.06	0.26	4.09	1.18	0.010	0.34	159.4	10.7	393.5	54.7
14	Cayenne	3	2	4.06	0.26	4.09	1.18	0.010	0.34	159.4	10.7	393.5	54.7
15	Cayenne	3	3	4.06	0.26	4.09	1.18	0.010	0.34	159.4	10.7	393.5	54.7
16	Cayenne	3	4	4.06	0.26	4.09	1.18	0.010	0.34	159.4	10.7	393.5	54.7
17	Cayenne	3	5	4.06	0.26	4.09	1.18	0.010	0.34	159.4	10.7	393.5	54.7
18	Cayenne	3	6	4.06	0.26	4.09	1.18	0.010	0.34	159.4	10.7	393.5	54.7
19	Cayenne	4	1	5.00	0.39	3.97	1.48	0.010	0.37	230.8	18.7	140.7	34.0
20	Cayenne	4	2	5.00	0.39	3.97	1.48	0.010	0.37	230.8	18.7	140.7	34.0
21	Cayenne	4	3	5.00	0.39	3.97	1.48	0.010	0.37	230.8	18.7	140.7	34.0
22	Cayenne	4	4	5.00	0.39	3.97	1.48	0.010	0.37	230.8	18.7	140.7	34.0
23	Cayenne	4	5	5.00	0.39	3.97	1.48	0.010	0.37	230.8	18.7	140.7	34.0
24	Cayenne	4	6	5.00	0.39	3.97	1.48	0.010	0.37	230.8	18.7	140.7	34.0
25	Cayenne	5	1	4.20	0.35	2.91	1.35	0.010	0.38	194.8	18.7	192.8	37.4
26	Cayenne	5	2	4.20	0.35	2.91	1.35	0.010	0.38	194.8	18.7	192.8	37.4
27	Cayenne	5	3	4.20	0.35	2.91	1.35	0.010	0.38	194.8	18.7	192.8	37.4
28	Cayenne	5	4	4.20	0.35	2.91	1.35	0.010	0.38	194.8	18.7	192.8	37.4
29	Cayenne	5	5	4.20	0.35	2.91	1.35	0.010	0.38	194.8	18.7	192.8	37.4
30	Cayenne	5	6	4.20	0.35	2.91	1.35	0.010	0.38	194.8	18.7	192.8	37.4
31	Cayenne	6	1	5.00	0.36	2.85	1.13	0.010	0.38	189.4	12.0	129.4	31.3
32	Cayenne	6	2	5.00	0.36	2.85	1.13	0.010	0.38	189.4	12.0	129.4	31.3
33	Cayenne	6	3	5.00	0.36	2.85	1.13	0.010	0.38	189.4	12.0	129.4	31.3
34	Cayenne	6	4	5.00	0.36	2.85	1.13	0.010	0.38	189.4	12.0	129.4	31.3
35	Cayenne	6	5	5.00	0.36	2.85	1.13	0.010	0.38	189.4	12.0	129.4	31.3
36	Cayenne	6	6	5.00	0.36	2.85	1.13	0.010	0.38	189.4	12.0	129.4	31.3
37	Jalapeño	1	1	5.09	0.32	3.10	1.10	0.013	0.39	180.1	18.7	136.7	28.0
38	Jalapeño	1	2	5.09	0.32	3.10	1.10	0.013	0.39	180.1	18.7	136.7	28.0
39	Jalapeño	1	3	5.09	0.32	3.10	1.10	0.013	0.39	180.1	18.7	136.7	28.0
40	Jalapeño	1	4	5.09	0.32	3.10	1.10	0.013	0.39	180.1	18.7	136.7	28.0
41	Jalapeño	1	5	5.09	0.32	3.10	1.10	0.013	0.39	180.1	18.7	136.7	28.0
42	Jalapeño	1	6	5.09	0.32	3.10	1.10	0.013	0.39	180.1	18.7	136.7	28.0
43	Jalapeño	2	1	4.90	0.30	1.84	0.94	0.011	0.36	194.1	14.7	198.1	30.0

44	Jalapeño	2	2	4.90	0.30	1.84	0.94	0.011	0.36	194.1	14.7	198.1	30.0
45	Jalapeño	2	3	4.90	0.30	1.84	0.94	0.011	0.36	194.1	14.7	198.1	30.0
46	Jalapeño	2	4	4.90	0.30	1.84	0.94	0.011	0.36	194.1	14.7	198.1	30.0
47	Jalapeño	2	5	4.90	0.30	1.84	0.94	0.011	0.36	194.1	14.7	198.1	30.0
48	Jalapeño	2	6	4.90	0.30	1.84	0.94	0.011	0.36	194.1	14.7	198.1	30.0
49	Jalapeño	3	1	5.04	0.28	1.79	0.88	0.011	0.40	179.4	16.7	218.8	32.0
50	Jalapeño	3	2	5.04	0.28	1.79	0.88	0.011	0.40	179.4	16.7	218.8	32.0
51	Jalapeño	3	3	5.04	0.28	1.79	0.88	0.011	0.40	179.4	16.7	218.8	32.0
52	Jalapeño	3	4	5.04	0.28	1.79	0.88	0.011	0.40	179.4	16.7	218.8	32.0
53	Jalapeño	3	5	5.04	0.28	1.79	0.88	0.011	0.40	179.4	16.7	218.8	32.0
54	Jalapeño	3	6	5.04	0.28	1.79	0.88	0.011	0.40	179.4	16.7	218.8	32.0
55	Jalapeño	4	1	4.16	0.31	2.09	1.57	0.011	0.46	164.1	14.7	242.1	29.3
56	Jalapeño	4	2	4.16	0.31	2.09	1.57	0.011	0.46	164.1	14.7	242.1	29.3
57	Jalapeño	4	3	4.16	0.31	2.09	1.57	0.011	0.46	164.1	14.7	242.1	29.3
58	Jalapeño	4	4	4.16	0.31	2.09	1.57	0.011	0.46	164.1	14.7	242.1	29.3
59	Jalapeño	4	5	4.16	0.31	2.09	1.57	0.011	0.46	164.1	14.7	242.1	29.3
60	Jalapeño	4	6	4.16	0.31	2.09	1.57	0.011	0.46	164.1	14.7	242.1	29.3
61	Jalapeño	5	1	4.86	0.32	2.14	1.16	0.009	0.46	125.4	16.0	169.4	28.7
62	Jalapeño	5	2	4.86	0.32	2.14	1.16	0.009	0.46	125.4	16.0	169.4	28.7
63	Jalapeño	5	3	4.86	0.32	2.14	1.16	0.009	0.46	125.4	16.0	169.4	28.7
64	Jalapeño	5	4	4.86	0.32	2.14	1.16	0.009	0.46	125.4	16.0	169.4	28.7
65	Jalapeño	5	5	4.86	0.32	2.14	1.16	0.009	0.46	125.4	16.0	169.4	28.7
66	Jalapeño	5	6	4.86	0.32	2.14	1.16	0.009	0.46	125.4	16.0	169.4	28.7
67	Jalapeño	6	1	3.69	0.31	2.63	1.28	0.012	0.48	113.0	12.0	286.8	32.0
68	Jalapeño	6	2	3.69	0.31	2.63	1.28	0.012	0.48	113.0	12.0	286.8	32.0
69	Jalapeño	6	3	3.69	0.31	2.63	1.28	0.012	0.48	113.0	12.0	286.8	32.0
70	Jalapeño	6	4	3.69	0.31	2.63	1.28	0.012	0.48	113.0	12.0	286.8	32.0
71	Jalapeño	6	5	3.69	0.31	2.63	1.28	0.012	0.48	113.0	12.0	286.8	32.0
72	Jalapeño	6	6	3.69	0.31	2.63	1.28	0.012	0.48	113.0	12.0	286.8	32.0