



**INSTITUTO DOMINICANO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS Y FORESTALES**

**PRODUCCIÓN DE VEGETALES EN AMBIENTE CONTROLADO
EN LA REPÚBLICA DOMINICANA:
RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS Y SUSTRATOS**

Volumen 1



Editores:

Pedro Antonio Núñez Ramos, Isidro Almonte, Rolando Demanet

Financiado con fondos del proyecto FONDOCyT 2008-2-D3-027

**“Caracterización de sustratos y suelos en la producción de vegetales en
invernaderos del Cibao Central y San José de Ocoa”**

**LA VEGA, REPÚBLICA DOMINICANA
ENERO, 2026**

El material consignado en esta publicación puede ser reproducido por cualquier medio, siempre y cuando no se altere su contenido. Instituto Dominicano de investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF) agradece a los usuarios incluir el crédito correspondiente en los documentos y actividades en los que se utilice.

Cita correcta:

Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (Idiaf). 2026. Producción de vegetales en ambiente controlado en la República Dominicana: Resultados de investigación en suelos y sustratos. Santo Domingo, DO. Volumen 1, 172 p.

AGRIS: F01

Descriptor: Suelo, sustrato, ambiente protegido, vegetales, invernadero, Cibao Central, República Dominicana.

ISBN: 978-9945-448-46-7

Edición:

Pedro Antonio Núñez Ramos, Ingeniero Agrónomo, maestrías en manejo de Recursos Naturales, Dr. en Ciencias de Recursos Naturales, Investigador Titular Instituto Dominicano de investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), Encargado del Programa Suelo y Agua.

Isidro Almonte, Ingeniero Agrónomo, maestría en ciencias agropecuarias e Investigador Asociado, IDIAF.

Rolando Demanet Filippi: Ingeniero Agrónomo, Doctor en Recursos Naturales y Sostenibilidad, Investigador y Profesor Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de La Frontera.

Revisión: Comité Técnico Centro Norte (Julio Morrobel, Pedro Juan del Rosario)

Maquetación y diseño: Gonzalo Morales. **Diseño de portada:** Gonzalo Morales

Fotografías: Pedro Antonio Núñez Ramos

Fotografías de portada: Pedro Antonio Núñez Ramos



**INSTITUTO DOMINICANO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS Y FORESTALES**

**PRODUCCIÓN DE VEGETALES EN AMBIENTE CONTROLADO
EN LA REPÚBLICA DOMINICANA:
RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS Y SUSTRATOS**

Volumen 1

Editores:

Pedro Antonio Núñez Ramos, Isidro Almonte, Rolando Demanet

Financiado con fondos del proyecto FONDOCyT 2008-2-D3-027

**“Caracterización de sustratos y suelos en la producción de vegetales en invernaderos del Cibao Central y
San José de Ocoa”**

**LA VEGA, REPÚBLICA DOMINICANA
ENERO, 2026**

PRESENTACIÓN

El Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF) se complace al poner en mano de los productores de vegetales en ambiente protegido, casa malla y sistemas hidropónicos, y de profesionales agropecuarios, tomadores de decisiones y público en general, la presente publicación sobre “Producción de vegetales en ambiente controlado en la República dominicana”. Este documento es fruto de varios años de investigación en el marco del proyecto FONDOCYT 2008-2-D3-027 “Caracterización de sustratos y suelos en la producción de vegetales en invernaderos del Cibao Central y San José de Ocoa”, financiado por el Ministerio de Educación Superior Ciencia y tecnología (MESCyT). Dicho proyecto tuvo como objetivo general “Realizar una caracterización físico-química-biológica-económica de los suelos y sustratos utilizados en la producción de vegetales en invernaderos en el Cibao Central y San José de Ocoa de la República Dominicana”, y en este primer volumen se publica parte de los resultados.

En los invernaderos es posible obtener cosechas fuera de temporada, permitiéndole al productor obtener una mayor cantidad de ingresos, debido a un mejor aprovechamiento del espacio y de la temporada. Los inicios de la producción en ambiente protegido en la República Dominicana se remontan a la década de los 80 del siglo pasado con la producción de flores como rosas, claveles y pompones. En 2016, se publicó un estudio titulado “Análisis de la cadena de valor de vegetales de invernadero en la República Dominicana”, según Maradiaga (2016), donde se indica que desde hace 14 años (2002) en la República Dominicana se producen vegetales en invernadero con una tecnología moderna y sofisticada. En 2004, existían 268,800 m² y en 2009 2,946 millones de m² dedicados a la producción en ambiente protegido. Antes de 2012, la producción en invernaderos era prácticamente para el cultivo de flores. En 2012, se produce una expansión de estos sistemas. Luego, se presentó un crecimiento de 6.18 % en el período 2018 a 2019 (MARD, 2019), con crecimiento similar en 2020 (MARD, 2020), destacándose las provincias de San José de Ocoa, La Vega, Espaillat y San Juan de la Maguana, con un crecimiento casi constante en el período de 2021 a 2023.

Esta actividad es de importancia económica y social, pero podría tener efectos negativos en los suelos bajo cultivo. Razones por las cuales, el IDIAF pone al servicio de los sectores productivos de la nación y la región el presente documento. El documento presenta unos cinco capítulos: 1. Diagnóstico de la producción de vegetales en invernaderos del Cibao Central y San José de Ocoa; 2. Caracterización de suelos en invernaderos dedicados a la producción de vegetales del Cibao Central y Ocoa; 3. Caracterización física, química y biológica de los sustratos utilizados en la producción de vegetales en invernaderos del Cibao Central y San José de Ocoa; 4. Caracterización física, química y biológica de materiales alternativos para la elaboración de sustratos; y 5. Actividad microbiana en suelos y sustratos para la producción de vegetales en invernaderos. Esperamos que los productores de vegetales en ambiente protegido, así como a los profesionales agropecuarios y

tomadores de decisiones puedan usar el documento como consulta, y que este contribuya a mejorar los suelos y sustratos usados en la producción de vegetales en invernadero. el tema de sustratos y suelo, así como su manejo. Además, se espera que este sirva como documento base para promover una agricultura más sostenible y competitiva en toda la República Dominicana.

Eladio Arnaud Santana, Ph.D.
Director Ejecutivo, IDIAF

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	V
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. DIAGNÓSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE VEGETALES EN INVERNADEROS DEL CIBAO CENTRAL Y SAN JOSÉ DE OCOA	3
1.1. Resumen.....	3
1.2. Introducción	3
1.3. Materiales y métodos.....	5
1.4. Resultados y discusión	7
1.5. Conclusiones	11
1.6. Agradecimientos	11
1.7. Referencias.....	12
1.8. Anexos	13
2. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS EN INVERNADEROS DEDICADOS A LA PRODUCCIÓN DE VEGETALES DEL CIBAO CENTRAL Y OCOA	23
2.1. Resumen.....	23
2.2. Introducción	23
2.3. Materiales y métodos	26
2.3.1. Ubicación.....	26
2.3.2. Tipo de investigación.....	28
2.3.3. Tamaño de la muestra.....	28
2.3.4. Propiedades de suelo evaluadas.....	29
2.3.4.1. Propiedades químicas.....	29
2.3.4.2. Propiedades físicas	29
2.3.4.3. Propiedades biológicas.....	29
2.3.5. Manejo de las muestras de suelo.....	30
2.3.6. Análisis de los datos	31
2.4. Resultados y discusión	31
2.4.1. Propiedades químicas del suelo.....	31
2.4.2. Propiedades físicas del suelo	35
2.4.2.1. Textura.....	35
2.4.2.2. Densidad aparente	35
2.4.2.3. Porosidad (%), capacidad de campo (CCatm), punto de marchitez permanente (PMPatm) y porcentaje de saturación (% saturación)	36
2.4.3. Propiedades biológicas del suelo evaluadas.....	36
2.4.4. Descripción de perfiles de suelo	37

2.4.4.1. Perfiles de suelos de Espaillat	37
2.4.4.1.1. Perfil 1 de suelo de la localidad de Villa Trina	37
2.4.4.1.2. Perfil de suelo 2 de Villa Trina	40
2.4.4.1.3. Perfil de suelo de El Mogote, Moca	42
2.4.4.1.4. Perfil de suelo de la Salima, Moca	44
2.4.4.2. Perfiles de Constanza	47
2.4.4.2.1. Perfil de los Cerros Tireo en Constanza	47
2.4.4.2.2. Perfil de suelo de La Planta, Tireo, Constanza	49
2.4.4.3. Perfiles de suelos de Jarabacoa	51
2.4.4.3.1. Perfil de suelo de La Joya, Jarabacoa	51
2.4.4.3.2. Perfil de suelo de la Pita, Paso Bajito, Jarabacoa	53
2.4.4.4. Perfiles de suelo de San José de Ocoa	56
2.4.4.4.1. Perfil de suelo en Sabana Larga, San José de Ocoa	56
2.4.4.4.2. Perfil de suelo de la Estación Experimental Sabana Larga San José de Ocoa	58
2.5. Conclusiones y recomendaciones	61
2.5.1. Conclusiones	61
2.5.2 Recomendaciones	61
2.6. Agradecimientos	61
2.7. Referencias bibliográficas	62
2.8. Anexos	65
3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LOS SUSTRATOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE VEGETALES EN INVERNADEROS DEL CIBAO CENTRAL Y SAN JOSÉ DE OCOA	67
3.1. Resumen	67
3.2. Introducción	67
3.3. Materiales y métodos	69
3.3.1. Tipo de investigación	69
3.3.2. Localización de los sitios de muestreo	69
3.3.3. Cálculo y estratificación de muestras	69
3.3.3.1. Proceso de muestreo y manejo de las muestras	70
3.3.4. Parámetros evaluados	70
3.3.5. Análisis estadístico	71
3.4. Resultados y discusión	72
3.4.1. Frecuencia de uso de sustratos en las localidades de muestreo	72
3.4.2. Resultados de las características físicas de los sustratos en las localidades estudiadas	73
3.4.2.1. Características físicas de los sustratos de Villa Trina	73

3.4.2.2. Características físicas de los sustratos de Constanza	74
3.4.2.3. Características físicas de los sustratos de Jarabacoa	76
3.4.2.4. Características físicas de los sustratos de San José de Ocoa.....	78
3.4.3. Resultados de las características químicas de las localidades estudiadas.....	79
3.4.3.1. Características químicas de los sustratos de Villa Trina	79
3.4.3.2. Características químicas de los sustratos de Constanza	81
3.4.3.3. Características químicas de los sustratos de Jarabacoa.....	83
3.4.3.4. Características químicas de los sustratos de San José de Ocoa	86
3.4.4. Resultados de las características biológicas de las localidades estudiadas.....	88
3.4.4.1. Características biológicas de los sustratos de Constanza	89
3.4.4.2. Características biológicas de los sustratos de Jarabacoa	91
3.4.4.3. Características biológicas de los sustratos de San José de Ocoa	93
3.5. Conclusiones	94
3.6. Referencias	95
4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA LA ELABORACIÓN DE SUSTRATOS.....	97
4.1. Resumen.....	97
4.2. Introducción	97
4.3. Materiales y métodos.....	98
4.3.1. Área de muestreo.....	98
4.3.2. Tipo de investigación.....	98
4.3.3. Materiales evaluados	99
4.3.4. Parámetros evaluados.....	99
4.3.5. Selección y manejo de las muestras	100
4.3.6. Análisis de datos.....	100
4.4. Resultados y discusión	100
4.4.1. Propiedades químicas	100
4.4.1.1. Contenidos de macronutrientes.....	100
4.4.1.1.1. Nitrógeno total	100
4.4.1.1.2. Fósforo total.....	101
4.4.1.1.3. Potasio	102
4.4.1.1.4. Calcio.....	103
4.4.1.1.5. Magnesio.....	104
4.4.1.2. Contenidos de micronutrientes.....	105
4.4.1.2.1. Hierro	105
4.4.1.2.2. Manganeseo	106
4.4.1.2.3. Cobre.....	107
4.4.1.2.4. Zinc.....	108

4.4.1.3. Parámetros químicos.....	109
4.4.1.3.1. Potencial de hidrógeno (pH).....	109
4.4.1.3.2. Conductividad eléctrica (CE).....	110
4.4.2. Propiedades físicas.....	111
4.4.2.1. Densidad Aparente.....	111
4.4.2.2. Porosidad total.....	112
4.4.2.3. Saturación de agua.....	113
4.4.2.4. Humedad disponible.....	114
4.4.3. Variables biológicas.....	115
4.4.3.1 Poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos en los materiales alternativos.....	115
4.4.3.1.1. Población de hongos.....	115
4.4.3.1.2. Población de bacterias.....	116
4.4.3.1.3. Población de actinomicetos.....	117
4.4.3.1.4. Poblaciones de nematodos.....	118
4.5. Conclusiones y recomendaciones.....	119
4.5.1. Conclusiones.....	119
4.5.2. Recomendaciones.....	120
4.6. Agradecimientos.....	120
4.7. Referencias bibliográficas.....	120
4.8. Anexo.....	122
5. ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELOS Y SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE VEGETALES EN INVERNADEROS.....	127
5.1. Resumen.....	127
5.2. Introducción.....	127
5.3. Materiales y métodos.....	131
5.3.1. Ubicación.....	131
5.3.2. Tipo de investigación y diseño experimental.....	131
5.3.3. Determinaciones de biomasa microbiana carbono biomásico (CB) y nitrógeno biomásico (NB) y respiración basal (RB).....	131
5.3.4. Metodología por experimento.....	133
5.3.4.1. Determinación de la actividad microbiana en suelos de invernadero con diferentes modalidades de preparación con ají morrón como cultivo indicador...	133
5.3.4.2. Evaluación de actividad microbiana en materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos basados en componentes locales.....	134
5.3.4.2. Determinación de la actividad microbiana en sustratos alternativos para la producción de vegetales en invernaderos con pepino como cultivo indicador	134

5.3.4.3. Determinación de la actividad microbiana en sustratos alternativos para la producción de vegetales en invernaderos con ají morrón como cultivo indicador	136
5.3.4.4. Determinación de la actividad microbiana en diez sustratos de uso común para la producción de vegetales en invernaderos con ají morrón como cultivo indicador	136
5.3.5. Análisis estadístico de los datos	137
5.4. Resultados y discusión	138
5.4.1. Actividad microbiana en suelos para la producción de vegetales en invernaderos.	138
5.4.2. Evaluación de actividad microbiana en materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos basados en componentes locales	140
5.4.3. Determinación de la actividad microbiana en suelos de invernadero para la producción de vegetales, con ají morrón y berenjena como cultivos indicadores	141
5.4.4. Determinación de la actividad microbiana en sustratos alternativos para la producción de vegetales en invernaderos con pepino como cultivo indicador	142
5.4.5. Determinación de la actividad microbiana en sustratos alternativos para la producción de vegetales en invernaderos con ají morrón como cultivo indicador ...	144
5.4.6. Determinación de la actividad microbiana en diez sustratos de uso común para la producción de vegetales en invernaderos con ají morrón como cultivo indicador	146
5.5. Conclusiones	147
5.6. Referencias bibliográficas	148
6. CONCLUSIONES GENERALES.....	153
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS INTRODUCCIÓN GENERAL.....	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estratificación de las muestras por localidades y tipo de invernadero.	6
Tabla 2. Inversión en la estructura de invernaderos tipo artesanal en Moca y Villa Trina en RD\$. ...	7
Tabla 3. Inversión promedio en la estructura de invernaderos por tipo y localidad en RD\$.	7
Tabla 4. Costo de producción de vegetales en invernaderos según tipo de tecnología (RD\$).	9
Tabla 5. Área, mano de obra, fertilizantes, plaguicidas, materiales y otros gastos promedios por localidad (n=12).	9
Tabla 6. Área, mano de obra, fertilizantes, plaguicidas, materiales y otros gastos promedios por localidad (n=12).	10
Tabla 7. Área, margen neto, margen neto/m ² y rentabilidad por cultivo y tipo de invernadero.	10
Tabla 8. Inversión en la estructura de invernaderos tipo artesanal en Moca y Villa Trina en RD\$. .	15
Tabla 9. Inversión en la estructura de invernaderos tipo metal en y Villa Trina, Moca en RD\$.	15
Tabla 10. Inversión en la estructura de invernaderos tipo artesanal en Constanza en RD\$.	16
Tabla 11. Inversión en la estructura de invernaderos tipo metal en Constanza en RD\$.	16
Tabla 12. Inversión en la estructura de invernaderos tipo madera en Jarabacoa en RD\$.	17
Tabla 13. Inversión en la estructura de invernaderos tipo metal en Jarabacoa en RD\$.	17
Tabla 14. Inversión en la estructura de invernaderos tipo madera en San José de Ocoa en RD\$.	18
Tabla 15. Inversión en la estructura de invernaderos tipo metal artesanal en RD\$ en San José de Ocoa.	19
Tabla 16. Inversión en la estructura de invernaderos tipo metal en San José de Ocoa en RD\$.	19
Tabla 17. Área, mano de obra, fertilizantes, plaguicidas, materiales y otros gastos en RD\$.	20
Tabla 18. Área, mano de obra, fertilizantes, plaguicidas, materiales y otros gastos en RD\$.	21
Tabla 19. Contenido promedio del pH y la conductividad eléctrica (CE).	31
Tabla 20. Contenido promedio y error estándar de bases intercambiables, H+Al y CICE.	32
Tabla 21. Relación promedio Ca/Mg, Mg/K y Ca+Mg/K.	33
Tabla 22. Comparación de media del contenido promedio del PSAI y PSNa.	33
Tabla 23. Comparación de medias del contenido promedio de Fe, Mn, Cu y Zn y P.	34
Tabla 24. Comparación de medias del contenido promedio de MO.	34
Tabla 25. Porcentajes promedios de arena (R), limo (L) y arcilla (A) y clase de textura de suelo por localidad.	35
Tabla 26. Comparación de medias de la densidad aparente (Da).	35
Tabla 27. Comparación de media de la porosidad (%), capacidad de campo (atmosfera), punto de marchitez permanente (atmosfera) y saturación (%).	36
Tabla 28. Bacterias, hongos, actinomicetes y nematodos en muestras de suelo.	37
Tabla 29. Descripción del Perfil de Jamao, Villa Trina, Espaillat.	38
Tabla 30. Resultado de análisis químicos del perfil de Jamao, Villa Trina, Espaillat.	39
Tabla 31. Descripción del perfil de suelo de Villa Trina, Espaillat.	40
Tabla 32. Resultado de análisis químicos del perfil de suelo de Villa Trina, Espaillat.	42
Tabla 33. Descripción del perfil de suelo, El Mogote, Moca, Espaillat.	43
Tabla 34. Resultado de análisis químicos del suelo del perfil del Mogote Moca, Espaillat.	44
Tabla 35. Descripción de perfil de suelo, La Salina, Moca, Espaillat.	45
Tabla 36. Resultado de análisis químicos del suelo del perfil de Las Salinas, Moca.	46
Tabla 37. Descripción del perfil de suelo de Los Cerros, Tireo, Constanza, La Vega.	47
Tabla 38. Resultados del análisis químico del perfil de suelo de Tireo, Constanza, La Vega.	48
Tabla 39. Descripción del perfil de suelo en La Planta, Tireo, de Constanza, La Vega.	49
Tabla 40. Análisis químicos del perfil de suelo en La Planta, Tireo, Constanza, La Vega.	50
Tabla 41. Descripción del perfil de suelo en La Joya Jarabacoa, La Vega.	52

Tabla 42. Resultados del análisis químico del perfil de suelo en La Joya Jarabacoa, La Vega.	53
Tabla 43. Descripción del perfil 8 de suelo de La Pita, Paso Bajito, Jarabacoa, La Vega.	54
Tabla 44. Resultados del análisis químico de las muestras de suelo de la Pita, Paso Bajito, Jarabacoa, La Vega.	55
Tabla 45. Descripción del perfil de suelo de Sabana Larga, San José de Ocoa.	57
Tabla 46. Resultados del análisis químico del perfil de suelo de Sabana Larga, San José de Ocoa. .	58
Tabla 47. Descripción del perfil de Sabana Estación Experimental Larga, San José de Ocoa.	59
Tabla 48. Resultado del análisis químico del perfil de suelo de San José de Ocoa.	60
Anexo 3. Tabla 49. Porcentajes de arena (R), limo (L) y arcilla (A) y clase de textura por muestra de suelo.	65
Tabla 50. Estratificación de las muestras por localidades y tipo de invernaderos.	69
Tabla 51. Métodos de análisis físicos-químicos utilizados por el laboratorio de referencia (ISFEIP, 1972; American Society of Agronomy, 1982).	71
Tabla 52. Material evaluado en invernaderos de Moca, Villa Trina, Constanza, Jarabacoa y San José de Ocoa.	72
Tabla 53. Características físicas de los sustratos cascarilla de arroz + grava [CA+GR (70-30)] y fibra de coco [FIB] utilizada en los invernaderos de Villa Trina.	74
Tabla 54. Características físicas de los sustratos de uso común en invernaderos de Constanza.	75
Tabla 55. Características físicas de los sustratos de uso común en invernaderos de Jarabacoa.	77
Tabla 56. Características físicas de los sustratos de uso común en invernaderos de San José de Ocoa.	79
Tabla 57. Propiedades químicas de los sustratos de uso común en invernaderos de Villa Trina.	80
Tabla 58. Características químicas de los sustratos utilizados en los invernaderos de Constanza. .	82
Tabla 59. Características químicas de la utilizada en los invernaderos de Jarabacoa.	84
Tabla 60. Características químicas de la utilizada en los invernaderos de San José de Ocoa.	87
Tabla 61. Características químicas promedios de los sustratos de San José de Ocoa.	88
Tabla 62. Características biológicas de los sustratos utilizados en los invernaderos de Villa Trina. .	89
Tabla 63. Características biológicas de los sustratos utilizados en los invernaderos de Constanza. .	90
Tabla 64. Características biológicas de la utilizada en los invernaderos de Jarabacoa.	91
Tabla 65. Características biológicas de los sustratos utilizados en los invernaderos de San José de Ocoa.	93
Tabla 66. Comparación de medias de contenido de nitrógeno total (%) en materiales alternativos.	101
Tabla 67. Comparación de medias de contenido de fósforo (%) en materiales alternativos.	102
Tabla 68. Comparación de medias de contenido de potasio (%) en materiales alternativos.	103
Tabla 69. Comparación de medias de contenido de calcio (Ca, %) en materiales alternativos.	104
Tabla 70. Comparación de medias de contenido de Magnesio (Mg, %) en materiales alternativos.	105
Tabla 71. Comparación de medias de contenido de hierro (ppm) en materiales alternativos.	106
Tabla 72. Comparación de medias de contenido de manganeso (ppm) en materiales alternativos.	107
Tabla 73. Comparación de medias de contenido de cobre (ppm) en materiales alternativos.	108
Tabla 74. Comparación de medias de contenido de zinc (ppm) en materiales alternativos.	109
Tabla 75. Comparación de medias de pH en los materiales alternativos.	110
Tabla 76. Comparación de medias de CE en los materiales alternativos.	111
Tabla 77. Comparación de medias de la densidad aparente (g/cm ³) en materiales alternativos. .	112
Tabla 78. Comparación de medias de la porosidad total (%) en materiales alternativos.	113
Tabla 79. Comparación de medias de saturación de agua (%) en materiales alternativos.	114

Tabla 80. Comparación de medias del porcentaje humedad disponible (%) en materiales alternativos.	115
Tabla 81. Comparación de medias de las unidades formadoras de colonia de hongo (log UFC) en materiales alternativos.....	116
Tabla 82. Comparación de medias de las unidades formadoras de colonia de bacteria (log UFC) en materiales alternativos.....	117
Tabla 83. Comparación de medias de las unidades formadoras de colonia de actinomiceto (log UFC) en materiales alternativos.....	118
Tabla 84. Medias de la población de los distintos géneros de nematodos en materiales alternativos.	119
Tabla 85. Comparación de medias de la capacidad de campo (%) en materiales alternativos.	124
Tabla 86. Comparación de medias del punto de marchitez (%) en materiales alternativos.	125
Tabla 87. Tratamientos evaluados en el ensayo de cultivo de ají morrón en suelos con diferentes modalidades de preparación.....	133
Tabla 88. Tratamientos evaluados en el ensayo de actividad microbiana en materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos.	134
Tabla 89. Sustratos elaborados a partir de materiales orgánicos mezclados con arena y grava utilizados en los ensayos.	135
Tabla 90. Tratamientos evaluados en el ensayo de actividad microbiana en sustratos cultivo de ají morrón con sustratos de uso común.	136
Tabla 91. Actividad microbiana (CB, NB y RB) en suelos de invernadero con diferentes modalidades de preparación con ají morrón como cultivo indicador.....	138
Tabla 92. Actividad microbiana en materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos.	140
Tabla 93. Pruebas de múltiples rangos para RB (CO_2 mg CO_2 g ⁻¹ ss) en ají morrón y berenjena. ...	142
Tabla 94. Pruebas de múltiples rangos para RB (mg kg ⁻¹ ss) en sustratos alternativos en pepino como cultivo indicador.....	143
Tabla 95. Pruebas de múltiples rangos para RB, CB y NB (mg kg ⁻¹ ss) en sustratos alternativos en ají morrón como cultivo indicador.....	144
Tabla 96. Pruebas de múltiples rangos para RB, CB y NB (mg kg ⁻¹ ss) en sustratos de uso común en ají morrón como cultivo indicador.....	146
Tabla 97. Pruebas de múltiples rangos para CB y NB (mg kg ⁻¹ ss) en sustratos de uso común en invernadero con ají morrón como cultivo indicador.....	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la superficie de invernaderos (m ²) en el período 2004-2018.	4
Figura 2. Evolución de la producción total de vegetales en invernaderos (millones de libras) en el período 2004-2018.	5
Figura 3. Ubicación de los invernaderos bajo estudio por provincias.	6
Figura 4. Zonas de ubicación de los invernaderos bajo estudio por provincias de un total de 40 invernaderos seleccionados. Elaborado por Amadeo Escarramán.	27
Figura 5. Sistema de riego en suelo en invernadero artesanal.	28
Figura 6. Perfil indicando horizontes donde se tomó muestra de suelo	30
Figura 7. Perfil de suelo de Jamao Villa Trina, Espaillat.	37
Figura 8. Perfil de suelo de Los Guayuyos, Villa Trina, Espaillat.	40
Figura 9. Perfil de suelo del Mogote, Espaillat.	42
Figura 10. Perfil de suelo de la Salina Moca.	45
Figura 11. Perfil del suelo de Tireo, Constanza.	47
Figura 12. Perfil de suelo de La Planta, Tireo, Constanza.	49
Figura 13. Perfil del suelo de La Joya, Jarabacoa.	51
Figura 14. Perfil de suelo de La Pita, Paso Bajito, Jarabacoa	54
Figura 15. Perfil de suelo de Sabana Larga, San José de Ocoa.	56
Figura 16. Perfil de suelo de Estación Experimental Sabana Larga, San José de Ocoa.	59
Figura 17. Sustrato de carbón de cascarilla de arroz (70 %) combinada con grava en un 30 %, que es el de mayor frecuencia en uso, en todas las localidades evaluadas.	73
Figura 18. Cultivo de pimiento morrón desarrollado en sustrato de cascarilla de arroz + grava [CA+GR (70-30)].	76
Figura 19. Sustrato de fibra de coco, con buenos parámetros físicos, químicos y biológicos, siendo el de menor frecuencia de uso en las diferentes zonas.	80
Figura 20. Unidades experimentales establecidas en el ensayo de suelo con diferentes modalidades de preparación de suelo cultivado con ají morrón en condiciones de invernadero.	133
Figura 21. Unidad experimental del ensayo de cultivo de pepino en sustratos alternativos.	135
Figura 22. Unidades experimentales del ensayo de sustratos de uso común con cultivo de ají morrón como cultivo indicador.	137
Figura 23. Tasas acumuladas de respiración basal en suelos de invernadero con diferentes modalidades de preparación.	139
Figura 24. Tasas acumuladas de respiración basal en materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos.	141

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.8.1. Resumen metodológico de la investigación.	13
Anexo 1.8.2. Resultados generales de estructuras de invernaderos.	15
Anexo 2.8.1. Tabla 49. Porcentajes de arena (R), limo (L) y arcilla (A) y clase de textura por muestra de suelo.	65
Anexo 4.8.1. Fotos de algunos de los materiales evaluados.	122
Anexo 4.8.2. Tabla 85. Comparación de medias de la capacidad de campo (%) en materiales alternativos.	124
Anexo 4.8.3. Tabla 86. Comparación de medias del punto de marchitez (%) en materiales alternativos.	125

INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de vegetales en ambiente protegido en la República Dominicana es una actividad económica desarrollada con un alto nivel tecnológico y rentabilidad (Maradiaga, 2016). La expansión de este tipo de agricultura en el país tuvo su origen a partir del 2002 y para el año 2004 existían en el país unos 268,800 m² dedicados a la producción. A finales del 2009 llegó hasta los 2,946 millones de metros cuadrados, con diferentes tipos de estructuras y tecnologías de manejo.

Esta actividad se ha caracterizado por ser uno de los principales renglones de la economía dominicana, más del 70 % del área de producción se localiza en el Cibao Central y en la provincia de San José de Ocoa (Promefrin, 2010).

En el año 2011, la superficie de producción contó con más de 540 ha (Estadísticas del Ministerio de Agricultura). Estas áreas son dedicadas a la producción de vegetales para consumo local y exportación, principalmente pimiento (*Capsicum annum* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.) y tomate (*Lycopersicum esculentum*). En ese sentido, la producción de estos vegetales para ese mismo año sobrepasó las 45 mil toneladas de vegetales (Estadísticas del Ministerio de Agricultura). En consecuencia, el país ha aumentado su participación en los mercados internacionales con estos productos y generando más de 60 millones de dólares por exportación hacia los mercados de Estados Unidos, Canadá y Europa (Estadísticas del Ministerio de Agricultura). El manejo del sistema productivo en invernaderos del país se realiza en dos modalidades de siembra: suelos y sustratos, pero el sistema comúnmente encontrado es la utilización de sustratos (orgánicos o inorgánicos o combinados) con circulación de formulaciones nutritivas.

La producción de vegetales en invernadero en República Dominicana para el año 2008 fue aproximadamente de 19,681.8 t, de las cuales 13,500 t se exportaron generando divisas por el orden de US\$ 25.1 millones de dólares. La producción restante 6,181.8 t se comercializó en el mercado local con un ingreso de RD\$ 358 millones de pesos (PROMEFRIN 2009). El área de producción de invernadero en República Dominicana ha tenido un crecimiento exponencial, ya que para el año 2004 se contaba con una superficie de 27 ha con infraestructura de invernadero, luego para el año 2008, el área se incrementó a 234 hectáreas (PROMEFRIN, 2009).

Antes de 2012, la producción en invernaderos era prácticamente para el cultivo de flores, plantas ornamentales y aromáticas. En 2012 en el país se expandieron los sistemas de producción de vegetales en ambientes controlados, con unos 6,014,000 m². En los invernaderos es posible obtener cosechas fuera de temporada, permitiéndole al productor obtener una mayor cantidad de ingresos, debido un mejor aprovechamiento del espacio y de la temporada.

El Ministerio de Agricultura de la República Dominicana (MARD, 2019) reportó que, durante el año 2019, la producción de vegetales registró un volumen de producción de 147.5 millones de libras, para un ligero crecimiento de 0.6 % con relación al año anterior, destacándose las

diversas variedades de ajíes (*Capsicum annuum* L.) con un incremento de 26 %, al pasar de 41.50 millones de libras en el 2018 a 52.49 millones de libras en 2019. Para el año 2020 la producción obtenida llegó a 148,111,419 libras de los diferentes cultivos, de las cuales unas 76,913,266 de libras fueron exportadas y otras 71,198,153 libras fueron vendidas en el mercado local, generando divisas por un valor de US\$ 103,306,235 y unos RD\$1,269,316,444 al país (MARD, 2020). Las infraestructuras de invernaderos y áreas sembradas han crecido en el país, presentando un crecimiento de 6.18 %, al pasar de 11,100,087 m² en 2018 a 11,785,561 m² en 2019 (MARD, 2019) y en septiembre de 2020 unos 11,854,591 m² (MARD, 2020), destacándose las provincias de San José de Ocoa, La Vega, Espaillat y San Juan de la Maguana, siendo esta actividad de importancia económica y social.

Los cultivos producidos en ambiente protegido en República Dominicana son principalmente: pimientos de colores, tomate de mesa, tomate cherry y otros tipos de tomate, pepino persa, hierbas aromáticas y otros de menor volumen; todos estos se han sembrado originalmente para la exportación. Pero actualmente hay una cantidad de invernaderos que producen solamente para el mercado local (sobre todo pimientos de colores y tomate) ya que se ha desarrollado un mercado importante para estos productos en el país (Maradiaga, 2016).

En relación al contexto expuesto, el Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF) ha realizado una serie de proyectos de investigación con la finalidad de contribuir a mejorar la productividad y sostenibilidad del sistema de producción en ambiente protegido. Así, en el período 2008 a 2012, el IDIAF ejecutó el proyecto *Caracterización de suelos y sustratos en la producción de vegetales en invernaderos del Cibao Central y San José de Ocoa* (FONDOCYT 2008-2-D3-027), con el financiamiento del Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología (MESCyT), a través del Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico–Tecnológico con propósito de realizar una caracterización de los suelos y sustratos usados en ambiente protegido en la República Dominicana, y diagnosticar la tecnología usada en ese momento en los invernaderos artesanales y tecnificados. En el proyecto se generaron 67 documentos (1 artículo científico en prensa, 9 publicaciones en extenso, 33 resúmenes, 2 ayuda memoria y 22 reportes técnicos). En el presente documento incluyen resultados no publicados por el IDIAF para ser puestos al servicio de la agricultura dominicana y sus actores.

Los resultados presentados en este volumen corresponden a los obtenidos en la ejecución de cinco investigaciones realizadas durante el referido proyecto: 1) Diagnóstico de la Producción de Vegetales en Invernaderos del Cibao Central y San José de Ocoa (Responsable César Martínez); 2) Caracterización de suelos en invernaderos dedicados a la producción de vegetales del Cibao Central y Ocoa (Responsable Isidro Almonte); 3) Caracterización física, química y biológica de los sustratos utilizados en la producción de vegetales en invernaderos del Cibao Central y San José de Ocoa (Responsable Aridio Pérez); 4) Caracterización física, química y biológica de materiales alternativos para la elaboración de sustratos (Responsable Elpidio Aviléz); y 5) Actividad microbiana en suelos y sustratos para la producción de vegetales en invernaderos (Responsable Glennis López).

1. DIAGNÓSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE VEGETALES EN INVERNADEROS DEL CIBAO CENTRAL Y SAN JOSÉ DE OCOA

César Martínez, Aridio Pérez, Isidro Almonte, Elpidio Avilés, Glenny López y Pedro Antonio Núñez Ramos

1.1. Resumen

En la República Dominicana, la producción de vegetales en invernaderos ha incrementado porque los rendimientos alcanzados superan los niveles obtenidos a campo abierto. En el año 2004, existían 268,800 m² en producción en invernadero y a finales del 2009 llegó a 2,946 millones de metros cuadrados, con diferentes tipos de estructuras y tecnologías de manejo. En general, los productores deciden seleccionar la inversión sobre criterios débiles por desconocimiento de las distintas opciones económicas existentes. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la producción de vegetales en ambiente protegido. El diagnóstico se realizó en Jarabacoa, Constanza, San José de Ocoa, Villa Trina y Moca, que representan 71 % del total de metros cuadrados bajo invernadero. Fueron encuestados 147 productores mediante entrevista estructurada, distribuidos proporcionalmente en las cinco localidades. Los resultados indican que existen invernaderos con estructura de metal (≥ 4800 m²) y de madera (850 a 2600 m²). En los cultivos dentro de estructura de metal predomina el uso de sustratos, y en los de madera el suelo. Se encontró que los productos de mayor oferta son ají, tomate y pepino, de distintas variedades. La inversión total/m² promedio en las infraestructuras de metal y madera fue RD\$639.48 (US\$18.0) y RD\$498.18 (US\$14.0), respectivamente. En general, el rendimiento promedio (libra/m²) resultó mayor en los invernaderos de madera que en los de metal; asimismo, el costo de producción promedio por libra fue menor en los de madera. Además, los invernaderos donde se siembra sobre suelo presentaron un menor costo de producción por libra que aquellos que utilizan sustratos.

1.2. Introducción

La búsqueda de mayores beneficios económicos para la satisfacción de las necesidades del agricultor y su familia resulta en la adopción de tecnologías e implementación de sistemas productivos que conllevan un mayor rendimiento de los cultivos con potencial de mercado. Un sistema productivo que constituye una opción en la República Dominicana es el cultivo de vegetales en invernadero. Los cultivos con mayor frecuencia en la producción de vegetales en invernaderos fueron: ají Cubanela, ají morrón (cultivares Gandál, Jumilla y otros), pepino (cultivar M-18, otros) y tomate (Tirano, J3, etc). Otros cultivos alternativos encontrados fueron papa y lechuga.

Una de las mejores opciones para saltar a una nueva fase e incorporarse a las nuevas tendencias tecnológicas y agro productivas, son los “cultivos bajo ambiente protegidos” (invernaderos). Este tipo de producción puede competir en los nuevos mercados

agroproduktivos que se abren a partir del inicio del “Tratado de Libre Comercio” (TLC) con Estados Unidos y Centro América (Alvarez *et al.*, 2006)

La producción de vegetales en invernaderos se ha incrementado en el país, motivada por los rendimientos alcanzados que superan los niveles obtenidos por el productor con la siembra a campo abierto. En 2004, existían 268,800 m² en producción y para el año 2009 se llegó a 2,946 millones de metros cuadrados (PROMEFRIN, 2010), con diferentes tipos de estructuras y tecnologías de manejo (Figura 1).

El incremento de la competencia a nivel mundial exige un aumento de la competitividad de la producción agrícola nacional, la cual es condición indispensable para que los productos puedan mantenerse en los mercados globalizados. Esto hace necesario la investigación y profundización sobre los aspectos tanto técnicos como económicos de los cultivos producidos en invernaderos.



Figura 1. Evolución de la superficie de invernaderos (m²) en el período 2004-2018.



Figura 2. Evolución de la producción total de vegetales en invernaderos (millones de libras) en el período 2004-2018.

1.3. Materiales y métodos

La investigación se realizó en tres lugares: 1. los municipios de Jarabacoa y Constanza, provincia La Vega, ubicada en 18° 54'36'' latitud norte y 70° 45'00'' longitud oeste; 2. Villa Trina, Moca, provincia Espaillat ubicada, en 19° 23'00'' latitud norte y 70° 31'00'' longitud oeste; y, 3. municipio San José de Ocoa, provincia Ocoa, ubicada en 18° 33' 00'' latitud norte y 70° 30'00'' longitud oeste.

Los puntos en el mapa (Figura 3) indican la ubicación de un conjunto de invernaderos distribuidos en las zonas de estudio. Estos invernaderos se encuentran en cada localidad evaluada a menos de un kilómetro uno de otro y, además, están cerca de las vías principales de acceso con las que conectan las comunidades de las diferentes áreas de estudio. Esto significa que las actividades de comercialización pueden ser más eficientes en cuanto a transporte, asociatividad para mantener volumen, calidad de los productos, entre otros. Otros detalles metodológicos en Anexo 1.8.1.

Para la selección de la muestra se utilizaron las informaciones obtenidas de las estadísticas del Programa de Mercado, Frigoríficos e Invernaderos (PROMEFRIN 2009). De un total de 237 estructuras registradas, se tomaron como muestra 147 invernaderos, estratificados según localidad y tipo de invernadero (Tabla 1).



Figura 3. Ubicación de los invernaderos bajo estudio por provincias.
Elaborado por Amadeo Escarramán.

Tabla 1. Estratificación de las muestras por localidades y tipo de invernadero.

Localidades	N° invernaderos	Tamaño muestral (n)/ tipo de invernadero		Total muestra
		Tecnificado	Artesanal	
Jarabacoa	96	48	11	59
Constanza	46	24	5	29
San José de Ocoa	65	33	7	40
Villa Trina	17	9	2	11
Moca	13	7	1	8
Total	237	120	27	147

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la muestra escogida, de un total de 147 entrevistados solo 80 productores suministraron información sobre los costos de producción, precio de venta y volumen para un 54.42 % de los entrevistados. El método de recolección de datos fue mediante entrevistas estructuradas a profundidad. Las informaciones sobre ingresos y costos fueron obtenidas de las entrevistas, dado que los productores no llevan registros contables en sus empresas, salvo muy raras excepciones. Las encuestas se aplicaron a productores de invernaderos con estructura de metal y madera de las distintas localidades.

1.4. Resultados y discusión

Según los datos obtenidos de la encuesta, la inversión total promedio en infraestructura de invernaderos en la provincia Espaillat (Moca y Villa Trina) es de RD\$864,166.67 en invernaderos de madera de 1,685 m² promedio (Anexo 1.8.2, Tabla 2, Tabla 8), diferenciándose entre las dos localidades. En los de metal, la inversión total promedio se estima en RD\$5,325,000 en invernaderos con un área promedio de 4,800 m², sin incluir los gastos financieros y de amortización. La inversión/m² promedio en los invernaderos de madera es de RD\$517.18, mientras que en los invernaderos de metal es de RD\$1,109.38 (Anexo 1.8.2, Tabla 3, Tabla 9).

Tabla 2. Inversión en la estructura de invernaderos tipo artesanal en Moca y Villa Trina en RD\$.

Número invernaderos	Tipo	Lugar	Área en m ²	Inversión de estructura	Inversión RD\$/m ²
07	Madera	Moca	1,968.4	906,428.6	446.50
05	Madera	Villa Trina	1,288.4	805,000.0	617.02
12	Madera	Moca, VT	1,685.1	864,166.7	517.60

VT=Villa Trina-Moca. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Inversión promedio en la estructura de invernaderos por tipo y localidad en RD\$.

Número invernaderos	Tipo	Lugar	Área (m ²)	Inversión de estructura	Inversión RD\$/m ²
12	Metal	VTM	4,800.00	5,325,000.00	1,109.37
8	Madera	Constanza	2,651.75	802,000.00	261.31
24	Metal	Constanza	4,858.33	4,092,916.67	845.23
11	Madera	Jarabacoa	1,241.70	745,454.55	662.78
48	Metal	Jarabacoa	4,800.00	2,470,858.33	514.76
3	Madera	SJO	1,633.33	720,000.00	448.68
7	MA	SJO	422.86	330,857.14	765.91
33	Metal	SJO	4,800.00	2,200,000.00	458.33

Fuente: Elaboración propia; SJO = San José de Ocoa; MA = metal artesanal; VTM = Villa Trina Moca.

En la localidad de Constanza, la inversión total promedio en invernaderos de madera con una superficie promedio de 2,651.75 m² es de RD\$802,000 (Anexo 1.8.2, Tablas 3 y 10). En los invernaderos de metal, la inversión total promedio se estima en RD\$4,092,916.67 con un área promedio de 4,858.33 m², sin incluir los gastos financieros y de amortización (Anexo 1.8.2, Tablas 3 y 11). La inversión/m² promedio en los invernaderos de madera es de RD\$261.31, mientras que en los invernaderos de metal es de RD\$845.23 (Anexo 1.8.2, Tablas 3, 10 y 11).

En Jarabacoa, la inversión total promedio en invernaderos de madera con una superficie promedio de 1,214.43 m² es de RD\$745,454.55 (Anexo 1.8.2, Tablas 3 y 12). En los invernaderos de metal, la inversión total promedio se estima en RD\$2,470,858.33 en un área de 4,800 m², sin incluir los gastos financieros y de amortización (Anexo 1.8.2, Tablas 7 y 13). La inversión/m² promedio en los de madera es de RD\$662.78, mientras que en los de metal es de RD\$514.76 (Anexo 1.8.2, Tablas 3, 12 y 13). La inversión total promedio en Jarabacoa resultó menor que en las demás localidades lo que llevó a un menor costo de inversión/m² en los invernaderos de metal. Sin embargo, los productores con estructuras de madera no indicaron haber tomado préstamos para construir estas estructuras; en el caso contrario, la mayoría de los propietarios de las de metal se encuentran envueltos en pagos a las entidades bancarias, que no fueron tomados en cuenta en el estudio por la gran variedad de casos que se registran por individuos.

En San José de Ocoa, la inversión total promedio en las estructuras de madera fue de RD\$720,000 en un área promedio de 1,633.33 m² (Anexo 1.8.2, Tablas 3 y 14). En los de metal, la inversión total promedio fue de RD\$ 2, 597,248.49 en un área promedio de 5,409.70 m² (Tablas 3 y 16). La inversión/m² promedio en los invernaderos de madera fue RD\$448.68, mientras que en los de metal fue de RD\$473.58 (Tabla 3). Al igual que los invernaderos de Jarabacoa, estos resultaron menos costosos que en las demás localidades y, ante un aumento del área de producción promedio, esto puede explicar el costo de inversión/m² menor en Ocoa.

En el caso de las estructuras de metal artesanal, la inversión total fue de RD\$330,857.14 en un área promedio de 422.86 m². La inversión/m² promedio en estos invernaderos fue de RD\$765.91 (Tablas 3 y 15).

De un total de 147 entrevistados solo 80 productores (54.42 %) suministraron información sobre los costos de producción y volumen. Estos datos se analizaron en pares ordenados del total de productores que dieron información sobre cada una de las variables. El costo de producción promedio por libra de vegetales cultivados en sustrato es mayor que en el suelo, con una diferencia en costo de RD\$2.59. Dado que existe una tendencia en invernaderos de metal de producir vegetales en sustrato, se puede deducir la correlación existente en los datos del costo de producción/m² de la estructura de metal y del sustrato; de igual manera se presenta en las estructuras de madera y suelo. La diferencia entre el costo de producción/libra de cultivar en metal y madera es de RD\$2.81 (Tablas 4, Anexo 1.8.2, Tabla 17). En dicha tabla se presentan los datos de costos de producción y rendimientos en los sistemas de madera, metal, suelo y sustrato, con los mayores rendimientos en invernaderos de madera.

Sin embargo, los costos de producción/m² en el cultivo de vegetales resultó mayor en los de madera y suelo que en los de metal y sustrato (Tabla 4). Esto puede deberse al ahorro de espacio físico dentro del invernadero de madera, donde no existen tantos pasillos y área sin producir como en los invernaderos de metal de 4,800 metros. La economía de escala indica que el costo de producción, en el sector decreciente, disminuye el costo de producción promedio por unidad al aumentar el tamaño del área del cultivo y esto puede explicar ese comportamiento.

Tabla 4. Costo de producción de vegetales en invernaderos según tipo de tecnología (RD\$).

Tipo de Tecnología	Costo producción/m²	Rendimiento (libra/m²)	Costo Producción/lb
Metal	222.03	28.21	8.81
Sustrato	223.15	28.76	8.79
Madera	311.93	53.65	6.00
Suelo	288.66	47.55	6.20

Fuente: Elaboración propia.

En la preparación de las camas para la siembra de los vegetales bajo invernadero se incurre en gastos de mano de obra, fertilizantes, plaguicidas, materiales y otros gastos. En los invernaderos donde se siembra en el suelo, los costos de preparación del medio hasta dejarlo listo para la siembra son menores que en los invernaderos que cultivan en sustrato. Los costos varían con las localidades y los tipos de invernaderos y modalidades de producción (Anexo 1.8.2, Tablas 5, 6, 17 y 18). En el sustrato se invierte en la compra de materiales y en la preparación y puesta del material en la cama, lo que aumenta el costo, además de un mayor uso de químicos (Tablas 5 y 6).

Tabla 5. Área, mano de obra, fertilizantes, plaguicidas, materiales y otros gastos promedios por localidad (n=12).

Localidades	Área	Mano de obra	Fertilizantes	Plaguicidas	Materiales	Otros	Total
VT-M	2,650.0	26,095.8	2,719.5	2,195.3	11,000.0	1,398.0	40,658.5
JA	1,392.0	7,966.7	1,487.7	2,358.3	1,050.0	2,878.7	15,041.4
SJO	757.5	11,375.0	1,050.0	3,787.5	1,500.0	100.0	17,062.5
CA	966.7	9,793.3	1,366.7	566.7	5,000.0	574.0	13,967.3
Promedio	1,441.5	13,807.7	1,656.0	2,226.9	4,637.5	1,237.7	21,682.4

VT-M=Villa Trina - Moca; JA= Jarabacoa; SJO= San José de Ocoa; CA= Constanza. Fuente: Elaboración propia.

De los datos presentes en la Tabla 6, se calcularon los costos promedios en materiales y mano de obra. La compra y puesta del sustrato en el invernadero supera los RD\$160,000 en promedio que unido al pago por ajuste de la mano de obra del arreglo, nivelación y llenado de las camas que tiene un costo promedio de RD\$43,779 superan los RD\$200,000. En general, estos costos varían con la localidad y el tipo de invernadero (Anexo 1.8.2, Tablas 6 y 18).

Tabla 6. Área, mano de obra, fertilizantes, plaguicidas, materiales y otros gastos promedios por localidad (n=12).

Localidades	Área	Mano de obra	Fertilizantes	Plaguicidas	Materiales	Otros	Total
VT-M	2,650.0	63,750.0	7,325.0	8,775.0	126,250.0	205.1	206,100.0
JA	1,392.0	49,333.3	5,666.7	4,000.0	114,600.0	137.7	173,600.0
SJO	757.5	21,175.0	4,500.0	5,150.0	213,000.0	215.0	243,825.0
CA	966.7	26,666.7	6,300.0	5,000.0	222,533.3	70.0	260,500.0
Promedio	1,441.5	40,231.3	5,947.9	5,731.3	169,095.8	156.9	221,006.3

VT-M=Villa Trina - Moca; JA= Jarabacoa; SJO= San José de Ocoa; CA= Constanza. Fuente: Elaboración propia.

Los invernaderos estudiados son rentables. Con respecto al costo de inversión inicial se puede deducir que el riesgo es mayor en los invernaderos de metal de 4,800 m², ya que los invernaderos de madera pueden amortizarse en menor tiempo y con un menor costo de financiamiento (Tabla 7).

Tabla 7. Área, margen neto, margen neto/m² y rentabilidad por cultivo y tipo de invernadero.

Cultivo/estructura				
Sistema	Área promedio en m²	Margen neto	Margen neto/m²	Rentabilidad (%)
Morrón				
Metal-Sustrato	4,926	2,086,940	430.26	66
Madera-Suelo	2,600	2,220,000	853.85	63
Metal-Suelo	1,276	486,600	264.52	63
Pepino				
Metal-Sustrato	4,840	1,003,000	201.55	58
Madera-Sustrato	2,514	1,395,000	554.89	65
Tomate				
Metal Sustrato	4,800	1,313,333	274.62	62
Madera Suelo	850	390,000	458.83	46
Cubanela				
Metal Sustrato	5,350	143,750	33.74	19
Madera Suelo	1,361	362,325	265.92	57
Metal Suelo	420	64,000	152.38	63

Fuente: Elaboración propia.

El cultivo de ají cubanela sembrado en sustrato y en estructura de metal de 4,800 m² presentó una rentabilidad menor. Esta reducción, expresada también en el volumen de producción y rendimiento, puede deberse a la falta de manejo del cultivo. Los invernaderos que sembraron este cultivo en sustrato no superaron en rendimiento a los cultivos sembrados en el suelo en ninguno de los casos.

1.5. Conclusiones

Los invernaderos son una opción importante como sistemas productivos en la República Dominicana. Sobre la base de incluir solo los costos operativos, estos sistemas de producción son rentables. La inversión inicial en la estructura de metal de 4,800 m² es mayor que en las de madera debido a que el metro cuadrado de invernadero en la estructura de metal tiene un mayor costo que el construido en madera.

En el invernadero de metal de 4,800 m² se obtiene mayor volumen de producción promedio que los construidos en madera, por lo tanto, puede que en el largo plazo este invernadero presente una mayor rentabilidad, debido a la reducción de los costos por unidad por economía de escala.

¹Los datos de rentabilidad obtenidos por cultivo no son representativos de las regiones bajo estudio, dado que son casos estudiados y no derivan de estudio probabilístico, dado que no todos los productores brindaron las informaciones sobre los costos de las actividades de producción, y, además, no se planificó un estudio de rentabilidad de estos cultivos por sistemas de producción.

Los invernaderos pueden ser alternativas de desarrollo, por el mayor rendimiento que se obtiene con relación a la siembra a campo abierto. La mayoría de nuestros agricultores disponen en promedio de dos hectáreas de terreno para producir, pero con un sistema de producción como el invernadero se podría producir igual o más, en diversas épocas y una menor área en comparación al sistema tradicional de campo abierto.

1.6. Agradecimientos

Al proyecto MESCYT-IDIAF 2008-2-D3-027, del Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología por el financiamiento de la investigación y a los propietarios de los invernaderos por permitirnos realizar las evaluaciones correspondientes.

¹ César Martínez, comunicación personal, República Dominicana. Marzo de 2010.

1.7. Referencias

- Álvarez, J., Ferrer, S., Melgar, M. 2006. Perfil del proyecto de fortalecimiento de cultivos bajo ambiente controlado de la colonia española en el municipio de Constanza. Enero, La Vega, Rep. Dom. 42p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. FAO Dirección de Producción y Protección Vegetal, Manual preparado por el Grupo de Cultivos Hortícolas, Dirección de Producción y Protección Vegetal. Roma. <http://www.fao.org/DOCREP/005/S8630S/S8630S00.HTM>.
- Martínez, M. 2003. Estructura de costos, para la producción de hortalizas en invernaderos de la cuenca del Río Reventazón, Turrialba, Costa Rica. 105p.
- Programa de Mercadeo de Frigoríficos e Invernaderos (PROMEFRIN). 2010. Estadísticas promefrin. Base de datos Promefrin. Santo Domingo. Consultado 24/05/2009. <http://promefrin.org/estadísticaspromefrin.pdf>.
- Programa de Mercadeo de Frigoríficos e Invernaderos (PROMEFRIN). 2009. Estadísticas. En línea, consultado 21/05/2009. <http://promefrin.org/estadísticaspromefrin.pdf>
- Shany, M. 2007. Tecnología de producción bajo cobertura. Ministerio de Relaciones Exteriores Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Centro de Cooperación Internacional para el Desarrollo Agrícola. Israel.
- Shany, M. 2003. Tecnología de producción bajo cobertura. Memorias curso internacional sobre: producción de hortalizas bajo condiciones protegidas. Israel.

1.8. Anexos

Anexo 1.8.1. Resumen metodológico de la investigación.

Ubicación del área de estudio

Los municipios de Jarabacoa y Constanza pertenecen a la provincia de La Vega, ubicada en 18º 54'36'' latitud norte y 70º 45'00'' longitud oeste. Villa Trina es un distrito del municipio de Moca y ambos pertenecen a la provincia Espaillat ubicada, en 19º 23'00'' latitud norte y 70º 31'00'' longitud oeste. Además del Cibao, se incluyó en el estudio el municipio de San José de Ocoa que pertenece a la Provincia Ocoa, ubicada en 18º 33' 00'' latitud norte y 70º 30'00'' longitud oeste.

El estudio se llevó a cabo en los municipios y comunidades de Jarabacoa (La Vega), Constanza (La Vega), Villa Trina (Espaillat), Moca (Espaillat) y San José de Ocoa (Ocoa). Estas localidades fueron escogidas por representar la mayor proporción de superficie de invernaderos en producción registrados por PROMEFRIN. Las comunidades seleccionadas para conformar la muestra fueron Los Aracenes, Jamao, La Encantada I, La encantada II, Higuiereta, Los Guayullos, El Salitre, El Mogote, Paso de la palma, La Cidra, Los González, Villa Trina, Moca, Constanza, Tireo, Palero, Las Auyamas (La Vega), La Descubierta, El Convento, La Secadora, El Río, El Café, La Sabina, Los Cerros, El Valle, Limonal, Piedra Blanca, Paso Bajito, Pedregal, La Joya, Los Hoyitos, Los Higos, Sabaneta, Hatillo, La Pita, El Capacito, Manabao, Buena Vista, El Balcón, La Ciénaga, Carrizal, Las Piñas, Higuito, Nizao, Mahoma, Rancho Arriba, Quemados, Banilejo, Sabana larga, Isleta, El Pinar, Las Auyamas (Ocoa), Naranja y Parra.

Los puntos en el mapa (Figura 3) indican la ubicación de un conjunto de invernaderos distribuidos dentro de cada una de las provincias a las que pertenecen las localidades donde se encuentran los invernaderos bajo estudio. Estos invernaderos se encuentran en cada localidad evaluada a menos de un kilómetro uno de otro y, además, están cerca de las vías principales de acceso con las que conectan las comunidades de las diferentes áreas de estudio (Figura 3). Esto significa que las actividades de comercialización pueden ser más eficientes en cuanto a transporte, asociatividad para mantener volumen, calidad de los productos, entre otros.

Población y muestra

El área de estudio y los productores de cultivos bajo invernadero seleccionados constituyeron el marco muestral de la investigación, incluyendo solo aquellos invernaderos que se encontraban en producción. Para la selección de la muestra se utilizaron las informaciones obtenidas de las estadísticas del Programa de Mercado, Frigoríficos e Invernaderos (PROMEFRIN 2009). De un total de 237 estructuras registradas se tomaron como muestra 147 invernaderos, estratificados según localidad y tipo de invernadero. A continuación, se presenta

la estratificación realizada para la toma de muestra a partir de los datos obtenidos de las estadísticas de PROMEFRIN (Tabla 1).

A partir de la muestra escogida, de un total de 147 entrevistados solo 80 productores suministraron información sobre los costos de producción, precio de venta y volumen para un 54.42 % de los entrevistados. El ingreso y los costos de las actividades productivas resultaron ser temas muy sensibles al productor; sin embargo, con la cooperación de la mayoría se logró obtener información relevante para el análisis de los invernaderos.

El método de recolección de datos fue mediante entrevistas estructuradas a profundidad. Las informaciones obtenidas sobre ingresos y costos fueron obtenidas de las entrevistas, dado que los productores no llevan registros contables en sus empresas, salvo muy raras excepciones. Las encuestas se aplicaron a productores de invernaderos con estructura de metal y madera de las distintas localidades.

Anexo 1.8.2. Resultados generales de estructuras de invernaderos.

Tabla 8. Inversión en la estructura de invernaderos tipo artesanal en Moca y Villa Trina en RD\$.

Código	Tipo	Lugar	Área en m ²	Inversión de estructura	Inversión RD\$/m ²
Inv-VM02	Madera	Moca	1,700	1,500,000	882.35
Inv-VM091	Madera	Villa Trina	2,176	1,500,000	689.34
Inv-VM092	Madera	Villa Trina	2,176	15,00,000	689.34
Inv-VM093	Madera	Villa Trina	640	125,000	195.31
Inv-VM12	Madera	Moca	1,570	600,000	382.17
Inv-VM12	Madera	Moca	943	350,000	371.16
Inv-VM12	Madera	Moca	628	180,000	286.62
Inv-VM07	Madera	Villa Trina	450	500,000	1,111.11
Inv-VM08	Madera	Villa Trina	1,000	400,000	400.00
Inv-VM16	Madera	Moca	850	315,000	370.59
Inv-VM17	Madera	Moca	5,628	24,00,000	426.44
Inv-VM11	Madera	Moca	2,460	1,000,000	406.50
Promedio			1,685.1	864,166.7	517.6

Inv= invernadero; VM=Villa Trina-Moca. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Inversión en la estructura de invernaderos tipo metal en y Villa Trina, Moca en RD\$.

Código	Tipo	Lugar	Área (m ²)	Inversión de estructura	Inversión RD\$/m ²
Inv-VM03	Metal	Villa Trina	4,800	4,500,000	937.50
Inv-VM19	Metal	Villa Trina	4,800	6,000,000	1,250.00
Inv-VM10	Metal	Villa Trina	4,800	4,500,000	937.50
Inv-VM08	Metal	Villa Trina	4,800	4,900,000	1,020.83
Inv-VM06	Metal	Villa Trina	4,800	6,000,000	1,250.00
Inv-VM05	Metal	Villa Trina	4,800	5,500,000	1,145.83
Inv-VM04	Metal	Villa Trina	4,800	4,500,000	937.50
Inv-VM01	Metal	Villa Trina	4,800	6,000,000	1,250.00
Inv-VM18	Metal	Villa Trina	4,800	5,500,000	1,145.83
Inv-VM14	Metal	Villa Trina	4,800	6,000,000	1,250.00
Inv-VM15	Metal	Villa Trina	4,800	4,500,000	937.50
Inv-VM13	Metal	Villa Trina	4,800	6,000,000	1,250.00
Promedio	Metal	Villa Trina	4,800	5,325,000	1,109.37417

Inv= invernadero; VM=Villa Trina-Moca. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Inversión en la estructura de invernaderos tipo artesanal en Constanza en RD\$.

Código	Tipo	Lugar	Área (m²)	Inversión de Estructura	Inversión RD\$/m²
Inv-CA11	Madera	Constanza	1,000	270,000	270.00
Inv-CA141	Madera	Constanza	1,800	276,000	153.33
Inv-CA142	Madera	Constanza	1,400	350,000	250.00
Inv-CA143	Madera	Constanza	2,500	600,000	240.00
Inv-CA17	Madera	Constanza	5,400	3,000,000	555.56
Inv-CA23	Madera	Constanza	2,514	400,000	159.11
Inv-CA28	Madera	Constanza	1,800	420,000	233.33
Inv-CA29	Madera	Constanza	4,800	1,100,000	229.17
Promedio	Madera	Constanza	2,651.75	802,000	261.3125

Inv= invernadero; CA=Constanza. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Inversión en la estructura de invernaderos tipo metal en Constanza en RD\$.

Código	Tipo	Lugar	Área (m²)	Inversión de Estructura	Inversión RD\$/m²
Inv-CA01	Metal	Constanza	4,800	6,000,000	1,250.00
Inv-CA02	Metal	Constanza	4,800	4,000,000	833.33
Inv-CA03	Metal	Constanza	4,800	4,000,000	833.33
Inv-CA04	Metal	Constanza	4,800	4,500,000	937.50
Inv-CA05	Metal	Constanza	5,200	3,000,000	576.92
Inv-CA06	Metal	Constanza	4,800	4,000,000	833.33
Inv-CA07	Metal	Constanza	7,200	5,000,000	694.44
Inv-CA08	Metal	Constanza	3,000	2,500,000	833.33
Inv-CA09	Metal	Constanza	4,800	6,000,000	1,250.00
Inv-CA10	Metal	Constanza	4,800	4,000,000	833.33
Inv-CA12	Metal	Constanza	4,800	4,500,000	937.50
Inv-CA13	Metal	Constanza	4,800	4,500,000	937.50
Inv-CA15	Metal	Constanza	4,800	3,000,000	625.00
Inv-CA16	Metal	Constanza	4,800	4,500,000	937.50
Inv-CA18	Metal	Constanza	4,800	4,000,000	833.33
Inv-CA19	Metal	Constanza	4,800	4,000,000	833.33
Inv-CA20	Metal	Constanza	4,800	2,030,000	422.92
Inv-CA21	Metal	Constanza	4,800	4,000,000	833.33
Inv-CA22	Metal	Constanza	4,800	4,000,000	833.33
Inv-CA23	Metal	Constanza	5,200	6,000,000	1,153.85
Inv-CA24	Metal	Constanza	4,800	4,000,000	833.33
Inv-CA25	Metal	Constanza	4,800	4,000,000	833.33
Inv-CA26	Metal	Constanza	4,800	45,00,000	937.50
Inv-CA27	Metal	Constanza	4,800	2,200,000	458.33
Promedio	Metal	Constanza	4,858.33	4,092,916.67	845.23

Inv= invernadero; CA=Constanza. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Inversión en la estructura de invernaderos tipo madera en Jarabacoa en RD\$.

Código	Tipo	Lugar	Área (m ²)	Inversión	Costo/m ²
Inv-JA01	Madera	Jarabacoa	786.25	600,000	763.12
Inv-JA04	Madera	Jarabacoa	800	700,000	875.00
Inv-JA23	Madera	Jarabacoa	1,000	500,000	500.00
Inv-JA31	Madera	Jarabacoa	2,100	1,000,000	476.19
Inv-JA32	Madera	Jarabacoa	2,600	1,300,000	500.00
Inv-JA45	Madera	Jarabacoa	786.25	600,000	763.12
Inv-JA46	Madera	Jarabacoa	600	500,000	833.33
Inv-JA47	Madera	Jarabacoa	786.25	600,000	763.12
Inv-JA48	Madera	Jarabacoa	800	700,000	875.00
Inv-JA58	Madera	Jarabacoa	1,000	400,000	400.00
Inv-JA59	Madera	Jarabacoa	2,400	1,300,000	541.67
Promedio	Madera	Jarabacoa	1,241.70	745454.55	662.78

Inv= invernadero; JA=Jarabacoa. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Inversión en la estructura de invernaderos tipo metal en Jarabacoa en RD\$.

Código	Tipo	Lugar	Área (m ²)	Inversión	Costo/m ²
Inv-JA02	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA03	Metal	Jarabacoa	4,800	5,000,000	1041.67
Inv-JA05	Metal	Jarabacoa	4,800	2,400,000	500.00
Inv-JA06	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA07	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA08	Metal	Jarabacoa	4,800	2,100,000	437.50
Inv-JA09	Metal	Jarabacoa	4,800	2,500,000	520.83
Inv-JA10	Metal	Jarabacoa	4,800	2,500,000	520.83
Inv-JA11	Metal	Jarabacoa	4,800	2,200,000	458.33
Inv-JA12	Metal	Jarabacoa	4,800	2,200,000	458.33
Inv-JA13	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA14	Metal	Jarabacoa	4,800	3,000,000	625.00
Inv-JA15	Metal	Jarabacoa	4,800	4,000,000	833.33
Inv-JA16	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA17	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA18	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA19	Metal	Jarabacoa	4,800	2,500,000	520.83
Inv-JA20	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA21	Metal	Jarabacoa	4,800	2,200,000	458.33
Inv-JA22	Metal	Jarabacoa	4,800	4,000,000	833.33
Inv-JA54	Metal	Jarabacoa	4,800	2,400,000	500.00
Inv-JA24	Metal	Jarabacoa	4,800	4,000,000	833.33

Inv-JA25	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA26	Metal	Jarabacoa	4,800	3,500,000	729.17
Inv-JA27	Metal	Jarabacoa	4,800	3,000,000	625.00
Inv-JA28	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA29	Metal	Jarabacoa	4,800	2200,000	458.33
Inv-JA30	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA33	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA34	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA35	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,600	416.79
Inv-JA36	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA37	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA38	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,600	416.79
Inv-JA39	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA40	Metal	Jarabacoa	4,800	2,400,000	500.00
Inv-JA41	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA42	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA43	Metal	Jarabacoa	4,800	5,000,000	1,041.67
Inv-JA44	Metal	Jarabacoa	4,800	2,500,000	520.83
Inv-JA49	Metal	Jarabacoa	4,800	2,500,000	520.83
Inv-JA50	Metal	Jarabacoa	4,800	2,500,000	520.83
Inv-JA51	Metal	Jarabacoa	4,800	2,500,000	520.83
Inv-JA52	Metal	Jarabacoa	4,800	2,500,000	520.83
Inv-JA53	Metal	Jarabacoa	4,800	3,000,000	625.00
Inv-JA55	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA56	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-JA57	Metal	Jarabacoa	4,800	2,000,000	416.67
Promedio			4,800	2,470,858.33	514.76

Inv= invernadero; JA=Jarabacoa, Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Inversión en la estructura de invernaderos tipo madera en San José de Ocoa en RD\$.

Código	Tipo	Lugar	Área (m ²)	Inversión	Costo/m ²
Inv-OCA41	Madera	San José de Ocoa	1,800	700,000	388.89
Inv-OCA42	Madera	San José de Ocoa	2,100	960,000	457.14
Inv-OCA43	Madera	San José de Ocoa	1,000	500,000	500.00
Promedio	Madera	San José de Ocoa	1,633.33	720,000.00	448.68

Inv= invernadero; OCA= San José de Ocoa. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Inversión en la estructura de invernaderos tipo metal artesanal en RD\$ en San José de Ocoa.

Código	Tipo	Lugar	Área (m ²)	Inversión	Costo/m ²
Inv-OCA34	Metal artesanal	San José de Ocoa	420	336,000	800.00
Inv-OCA35	Metal artesanal	San José de Ocoa	420	335,000	797.62
Inv-OCA36	Metal artesanal	San José de Ocoa	420	330,000	785.71
Inv-OCA37	Metal artesanal	San José de Ocoa	420	330,000	785.71
Inv-OCA38	Metal artesanal	San José de Ocoa	320	150,000	468.75
Inv-OCA39	Metal artesanal	San José de Ocoa	420	335,000	797.62
Inv-OCA13	Metal artesanal	San José de Ocoa	540	500,000	925.93
Promedio			422.86	330,857.14	765.91

Inv= invernadero; OCA= San José de Ocoa. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Inversión en la estructura de invernaderos tipo metal en San José de Ocoa en RD\$.

Código	Tipo	Lugar	Área (m ²)	Inversión	Costo/m ²
Inv-OCA40	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,200,000	458.33
Inv-OCA01	Metal	San José de Ocoa	9,500	8,200,000	863.16
Inv-OCA02	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,200,000	458.33
Inv-OCA03	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,200,000	458.33
Inv-OCA04	Metal	San José de Ocoa	5,800	2,200,000	379.31
Inv-OCA05	Metal	San José de Ocoa	6,720	2,200,000	327.38
Inv-OCA06	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-OCA07	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,200,000	458.33
Inv-OCA08	Metal	San José de Ocoa	12,000	7,459,200	621.60
Inv-OCA09	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,200,000	458.33
Inv-OCA10	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,200,000	458.33
Inv-OCA11	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-OCA12	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-OCA14	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,500,000	520.83
Inv-OCA15	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,700,000	562.50
Inv-OCA16	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,400,000	500.00
Inv-OCA17	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,600,000	541.67
Inv-OCA18	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,600,000	541.67
Inv-OCA19	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,350,000	489.58
Inv-OCA20	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,600,000	541.67
Inv-OCA21	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,500,000	520.83

Inv-OCA22	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,500,000	520.83
Inv-OCA23	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-OCA24	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,500,000	520.83
Inv-OCA25	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,400,000	500.00
Inv-OCA26	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,300,000	479.17
Inv-OCA27	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-OCA28	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-OCA29	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-OCA30	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,000,000	416.67
Inv-OCA31	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,100,000	437.50
Inv-OCA32	Metal	San José de Ocoa	4,800	2,200,000	458.33
Inv-OCA33	Metal	San José de Ocoa	10,100	2,200,000	217.82
Promedio	Metal	San José de Ocoa	5,409.70	2,597,248.48	473.58

Inv= invernadero; OCA= San José de Ocoa. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Área, mano de obra, fertilizantes, plaguicidas, materiales y otros gastos en RD\$.

Localidades	Área	Mano de obra	Fertilizantes	Plaguicidas	Materiales	Otros	Total
Inv-VM01	4,800	52,233	4,960	2,281	18,000	4,801.96	82,275.96
Inv-VM02	2,100	11,500	2,188	3,000	-	240	16,928
Inv-VM03	1,300	19,650	1,250	1,500	8,000	300	30,700
Inv-VM04	2,400	21,000	2,480	2,000	7,000	250	32,730
Promedio	2,650	26,095.75	2,719.5	2,195.25	11,000	1397.99	40,658.49
Inv-JA05	2,000	7,350	1,510	1,450	-	7500	17,810
Inv-JA06	1,600	13,800	1,653	875	-	136.2	16,464.2
Inv-JA07	576	2,750	1,300	4,750	1,050	1000	10,850
Promedio	1,392.0	7,966.7	1,487.7	2,358.3	1,050	2878.7	15,041.4
Inv-OCA08	255	3,900	600	3,200	-	100	7,800
Inv-OCA09	1,260	18,850	1,500	4,375	1,500	100	26,325
Promedio	757.5	11,375.0	1,050.0	3,787.5	1,500	100.0	17,062.5
Inv-CA10	1,200	11,280	1,600	600	-	260	13,740
Inv-CA11	1,200	15,100	1,300	600	5,000	1362	23,362
Inv-CA12	500	3,000	1,200	500	-	100	4,800
Promedio	966.7	9,793.3	1,366.7	566.7	5,000	574.0	13,967.3

Inv= invernadero; VM=Villa Trina- Moca; JA= Jarabacoa; OCA= San José de Ocoa; CA= Constanza. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Área, mano de obra, fertilizantes, plaguicidas, materiales y otros gastos en RD\$.

Código	Área	Mano de obra	Fertilizantes	Plaguicidas	Materiales	Otros	Total
Inv-V04	4,800	50,000	10,000	17,000	213,000	300	290,000
Inv-SM27	2,100	65,000	6,000	10,400	68,000	248	149,400
Inv-VM23	1,300	70,000	6,300	5,200	114,000	136.2	195,500
Inv-VM29	2,400	70,000	7,000	2,500	110,000	136.2	189,500
Promedio	2,650	63,750	7,325	8,775	126,250	205.1	206,100
Inv-JA03	2,000	50,000	6,500	2,000	114,500	273	173,000
Inv-JA01	1,600	60,000	6,300	5,000	115,000	70	186,300
Inv-JA08	576	38,000	4,200	5,000	114,300	70	161,500
Promedio	1,392	49,333.3	5,666.7	4,000.0	114,600.0	137.7	173,600.0
Inv-JOCA	255	20,150	2,500	5,000	203,000	70	230,650
Inv-JOCA	1,260	22,200	6,500	5,300	223,000	360	257,000
Promedio	757.5	21,175	4,500	5,150	213,000	215	243,825
Inv-CA01	1,200	25,000	7,500	6,000	223,000	70	261,500
Inv-CA02	1,200	20,000	5,000	5,000	252,000	70	282,000
Inv-CA03	500	35,000	6,400	4,000	192,600	70	238,000
Promedio	966.7	26,666.7	6,300.0	5,000.0	222,533.3	70.0	260,500.0

Inv= invernadero; VM=Villa Trina- Moca; JA= Jarabacoa; OCA= San José de Ocoa; CA = Constanza. Fuente: Elaboración propia.

2. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS EN INVERNADEROS DEDICADOS A LA PRODUCCIÓN DE VEGETALES DEL CIBAO CENTRAL Y OCOA

Isidro Almonte, Aridio Pérez, Glenny López, Elpidio Avilés Quezada, César Martínez y Pedro Antonio Núñez Ramos

2.1. Resumen

En República Dominicana la producción de vegetales en invernaderos se realiza en las modalidades de suelo y sustratos. Sin embargo, estos suelos no han sido caracterizados como es el caso de los suelos de los invernaderos de Villa Trina, Moca, Constanza, Jarabacoa y Sabana Larga y San José de Ocoa. Por lo tanto, la fertilización en estos sistemas se fundamenta en experiencia extrapolada o en base a recomendaciones de empresas comerciales y profesionales experimentados. El objetivo fue determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de los invernaderos seleccionados en la zona de estudio. El tamaño de la muestra fue igual a 40 invernaderos, distribuidos 15 en la provincia Espaillat (7 en Moca y 8 en Villa Trina); 18 en La Vega (15 Jarabacoa, 3 en Constanza) y 7 en San José de Ocoa (4 en Ocoa y 3 en Sabana Larga). Para la descripción de perfiles se seleccionaron dos invernaderos por localidad (Calicatas o perfiles de suelo). Cada uno de los invernaderos fue georreferenciado. Se tomaron 8 submuestra/muestra representativas y se determinaron las propiedades físicas, químicas y biológicas. Los datos fueron analizados mediante estadísticas descriptivas. Se concluyó que los suelos de Villa Trina presentan el mayor pH y CICE y los de Jarabacoa la menor. La materia orgánica está adecuada en San José de Ocoa y Moca (3.5-4.10%) y baja en las otras localidades estudiadas. El 53 % mostró niveles bajos de materia orgánica (<3.5 %). Los mayores niveles de micronutrientes los presentan los suelos de Jarabacoa: Fe (108.18 ppm), Mn (24.62 ppm), Cu (11.16 ppm) y Zn con (7.93 ppm), además de P con 494.81 ppm. Los mayores niveles promedios de bacterias, hongos en Ocoa, actinomicetes y número total de nematodos lo presentan los suelos de Constanza. El género de nematodo más común en todas las localidades fue el *Rhabditida*. Estos suelos no presentan limitaciones de fertilidad para la producción de vegetales.

2.2. Introducción

En el año 2009 en República Dominicana se expandieron los sistemas de producción de vegetales en ambientes controlados. En el país la producción de vegetales en invernaderos se realiza sobre suelo limpio o sustratos, variando los porcentajes con el avance de los años (Núñez *et al.*, 2012). La información de suelo, en especial la biológica, es de suma importancia para mejorar los sistemas productivos en invernaderos (Cantú *et al.*, 2007).

A pesar de la preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún no hay criterios

universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo (Arshad y Coen, 1992). Para hacer operativo este concepto, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, pues representan una condición y conlleva información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (Dumanski *et al.*, 1998). Según Adriaanse (1993), los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Tales indicadores se aplican en muchos campos del conocimiento (económico, salud, recursos naturales, etc.). Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él (SQI, 1996). Para Dumanski *et al.* (1998), dichos indicadores no podrían ser un grupo seleccionado *ad hoc* para cada situación particular, sino que deben ser los mismos en todos los casos. En ese sentido, hay tres elementos implícitos en el concepto sostenibilidad: la dimensión económica, la social y la ecológica (Goodland y Daly, 1996; Hünemeyer *et al.*, 1997).

Los indicadores que se empleen deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con las funciones principales que se evalúan, como los sugeridos por Astier *et al.* (2002). Hunnemeyer *et al.* (1997) establecieron que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

Las características físicas del suelo son una parte necesaria e importante en la evaluación de la calidad de este porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000). Las propiedades físicas que pueden ser analizadas y utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas. Además, se incluyen las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que, además, estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. Dentro de estas se encuentran la estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica (Bautista *et al.*, 2004).

Las propiedades químicas se relacionan con la calidad y disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, entre ellas, cabe resaltar: pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y P, N y K extractables; de la misma forma, las características físicas reflejan la manera cómo el suelo almacena y provee agua a las plantas y, permite el desarrollo radical, entre ellas se encuentran propiedades como: estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad, conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento (Bautista *et al.*, 2004). Los indicadores químicos propuestos se refieren a condiciones que afectan las relaciones suelo - planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos (SQI, 1996). Otros indicadores son la disponibilidad de nutrientes, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de

fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable, y potasio.

La importancia de la evaluación de las propiedades biológicas del suelo se relacionan estrechamente con la descomposición de la materia orgánica derivada de los residuos vegetales y animales, así como del reciclaje de la misma, ya que los subproductos de su acción influyen de forma directa en las propiedades físicas y químicas de los suelos; generalmente se refieren a la abundancia y subproductos de los organismos, incluidos bacterias, hongos, nematodos, lombrices, anélidos y artrópodos (Astier-Calderon *et al.*, 2002).

Los indicadores biológicos propuestos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de macro y microorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices. Incluyen funciones como la tasa de respiración, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana de acuerdo al Soil Quality Institute (SQI, 1996) y Karlen *et al.* (1997). Como la biomasa microbiana es mucho más sensible al cambio que el C total se ha propuesto la relación Carbono microbiano: Carbono orgánico del suelo para detectar cambios tempranos en la dinámica de la materia orgánica (Sparling, 1997). Estos indicadores no son usados por los productores al momento de fertilizar, por lo tanto, la fertilización se fundamenta en experiencias extrapoladas.

NOVAGRIC (2015) indica que al evitar que los cultivos se encuentren en situaciones de estrés debido a temperaturas extremas y humedades relativas perjudiciales se consigue la mejora de las producciones, ya que la planta no gasta energía de su metabolismo para desencadenar las protecciones fisiológicas, empleando dicha energía en su crecimiento y producción, lo que contribuye a mejorar la cantidad y calidad de la cosecha.

En los invernaderos de República Dominicana se cultivan las plantas utilizando camas donde son colocados los sustratos y, en otros casos, se construyen muros o surcos en suelo limpio. Se estima que el 80 % de los productores que cultivan vegetales en invernaderos usan camas con sustratos y el 20 % restante utiliza el suelo. En 2014, se plantea un escenario diferente, donde los porcentajes de suelos aumentaron sobre el 30 % (Arias y Núñez, 2014). En ese sentido, Martínez (2018), reportó un incremento en 2019 y 2020, donde planteó la misma tendencia, extrapolándose un 50 % para suelo versus un 50 % en sustratos.

El laboreo del suelo es cualquier acción mecánica sobre el suelo realizada para que este ofrezca las condiciones ideales para el desarrollo de la vida vegetal. En este sentido, deberá considerarse que estas condiciones deben ser óptimas, primero, para la germinación de las semillas y, después, para el desarrollo de la actividad radical. El laboreo actúa directamente sobre diversas propiedades físicas del suelo, como la aireación, humedad, estructura y temperatura y, como consecuencia de estas acciones, influye indirectamente sobre las propiedades químicas y biológicas (Brea, 2015).

El laboreo de los suelos y el desarrollo de cultivos agrícolas, sin la incorporación de prácticas de manejo, producen agotamiento de nutrientes y, en otros casos, pérdidas de materia orgánica (MO) y en consecuencia se produce una baja en la producción (Canovas, 1991; Abad,

1993; Ansorena, 1994; Urrestarazu, 2004). Gallardo (2008), comparando las propiedades físicas de un suelo con las de un sustrato, reportó que el sustrato posee un 35 % más de porosidad que el suelo y que por el contrario el suelo posee un 35 % más de material sólido. Sugiere que el suelo es un material poco apropiado para ser utilizado como sustrato, sumado al inconveniente de ser un recurso no renovable. Se reportó una menor densidad del sustrato y mayor capacidad de retención de agua entre 55 y 70 % versus un 30 y 35 % en el suelo.

El uso del suelo para la producción de vegetales en invernaderos no ha sido debidamente evaluado en República Dominicana, aunque siempre se hacen comparaciones entre el uso directo de éste y el uso de sustratos. Una ventaja de la utilización de los sustratos en los invernaderos con respecto al cultivo en suelo es que los sustratos tienen una alta porosidad; mientras que en un suelo la porosidad total en algunas ocasiones puede alcanzar apenas un 50 % en suelos bien drenados (Díaz, 2004).

Se requiere determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos utilizados en la producción de vegetales para mejorarlos, debido a que una de las limitaciones más importantes es el manejo inadecuado de los sustratos y del suelo que afecta la calidad y el volumen de producción; y, por tanto, reduce la competitividad en los mercados internacionales de vegetales y los ingresos de los productores. El objetivo de esta investigación fue determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos utilizados en la producción de vegetales en invernaderos.

2.3. Materiales y métodos

2.3.1. Ubicación

Los suelos muestreados pertenecen a invernaderos ubicados en las localidades de Villa Trina y Moca (provincia Espaillat) coordenadas 19° 23' latitud norte y 70° 31' longitud oeste. Constanza y Jarabacoa (provincia La Vega) entre 19° 14' latitud norte y 70° 31 longitud oeste y Sabana Larga y San José de Ocoa (provincia San José de Ocoa) 18° 33' latitud norte y 70° 30' longitud oeste. El muestreo se realizó durante el período agosto 2009 a febrero 2010. En la Figura 4, se presenta la distribución de los invernaderos evaluados en sistema de producción de vegetales en suelo, bajo irrigación (Figura 5).



Figura 4. Zonas de ubicación de los invernaderos bajo estudio por provincias de un total de 40 invernaderos seleccionados. Elaborado por Amadeo Escarramán.



Figura 5. Sistema de riego en suelo en invernadero artesanal.

2.3.2. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo descriptiva y consistió en una caracterización de los suelos de utilizados en la producción de vegetales en invernaderos en tres provincias (Espaillat, La Vega y San José de Ocoa) y seis localidades (Villa Trina, Moca, Jarabacoa, Constanza, Sabana Larga y Ocoa) de República Dominicana.

2.3.3. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra fue de 40 invernaderos, igual a la cantidad de invernaderos que producen en suelos en las tres provincias. La distribución fue: 18 en La Vega (15 en Jarabacoa, 3 en Constanza), 15 en Espaillat (7 en Moca, 8 en Villa Trina) y 7 en San José de Ocoa (4 en Ocoa y 3 en Sabana Larga). Se seleccionaron 10 invernaderos para el estudio de calicatas, 2 por localidad (Jarabacoa, Constanza, Moca, Villa Trina y San José de Ocoa). En el estudio completo, cada uno de los invernaderos fue georreferenciado.

2.3.4. Propiedades de suelo evaluadas

A cada muestra se le determinaron las características químicas, físicas y biológicas siguientes:

2.3.4.1. Propiedades químicas

El análisis químico se realizó según la metodología descrita en Page *et al.* (1982). Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente para los análisis químicos. El pH se determinó en una relación 1:2 por potenciometría. La materia orgánica (MO) se cuantificó por medio del método de Walkey y Black por oxidación con dicromato de potasio. La conductividad eléctrica se determinó en una relación 1:2 por conductimetría. El fósforo disponible se determinó por Mehlich III y las bases intercambiables se cuantificaron por medio de una extracción con NH_4OAC , seguido por cuantificación por absorción atómica. La acidez intercambiable se extrajo con 1M KCl, seguido por la cuantificación de Al^{3+} y H^+ por titulación. Los micronutrientes hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) se determinaron por el método de digestión con ácido nítrico-perclórico seguido por cuantificación por absorción atómica.

Los cationes intercambiables (Ca, Mg, K, y Na) en meq/100 g s, Ca y Mg por complexometría y absorción atómica y K y Na por absorción atómica. Se calculó la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) basado en la suma de las bases y la acidez intercambiable. Se calcularon las relaciones de Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K, porcentajes de saturación de calcio (PSCa), magnesio (PSMg), potasio (PSK), sodio (PSNa), y aluminio e hidrógeno (PSAl + H). Los análisis de suelo fueron realizados en el laboratorio del Centro de Tecnologías Agrícolas (CENTA), del Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), de acuerdo con las metodologías mencionadas en este estudio.

2.3.4.2. Propiedades físicas

La textura a las muestras se cuantificó en el laboratorio utilizando un hidrómetro de Bouyucos (Page *et al.*, 1982). Textura (%) método del Bouyucos (determinada en el CENTA), color mediante Tabla Munsell, estructura por observación de agregados. En el laboratorio de Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) fueron determinados los indicadores densidad aparente por método del anillo en g/cm^3 , porosidad (%) por relación densidad aparente y densidad real, capacidad de campo por el método del plato poroso a un 1/3 de ATM y punto de marchitez permanente por el método de la membrana de presión a 15 ATM y saturación (%) por pasta saturada.

2.3.4.3. Propiedades biológicas

Poblaciones totales de bacterias, hongos y actinomicetes (metodología: recuento directo por dilución en Plato Petri (Clark, 1965). Además, se determinó la población de nematodos. Fueron realizados en el laboratorio del IDIAF ubicado en Mata Larga, San Francisco de Macorís.

A cada horizonte de las calicatas se le determinó en campo el color (uso de Tabla de Colores Munsell), espesor (con cinta métrica), textura al tacto y laboratorio, estructura por observación de agregados, contenidos de materia orgánica (alta, moderada y baja), humedad (%), actividad biológica (alta, moderada y baja), presencia de raíces (abundantes, media y baja), rocosidad (abundantes, moderadas, pocas), pedregosidad (alta, moderada y baja), concreciones y cutanes (presentes, ausentes), carbonatos (alta, media, baja) e informaciones generales sobre cada sitio (identificación del perfil, codificación, localización, georreferenciación, fecha, relieve, material geológico, erosión, usos del suelo, vegetación natural, hidrología).

2.3.5. Manejo de las muestras de suelo

Las 40 muestras de suelos tomadas (en 40 invernaderos) de 2 kilos y de 0 a 20 cm de profundidad se dividieron en tres porciones para los análisis físicos, químicos y biológicos. Las muestras fueron tomadas en la superficie del suelo y en perfiles a diversas profundidades. En la Figura 6, se muestra un perfil de suelo, indicando los horizontes donde se tomaron las muestras de suelo en superficie. De cada muestra se separó 0.5 kg para el análisis microbiológico. Las muestras para el análisis microbiológico fueron debidamente identificadas en una funda y puesta en una hielera y luego en nevera a 4°C hasta su envío al laboratorio. La porción restante, 1.5 kg, se dividió en 2 porciones de 0.75 kg cada una y se utilizaron para el análisis físico y químico. Cada muestra fue empacada, identificada y analizada en laboratorio.



Figura 6. Perfil indicando horizontes donde se tomó muestra de suelo.

2.3.6. Análisis de los datos

Las informaciones obtenidas fueron tabuladas con el software Excel y se presentan en tablas y figuras, según los resultados de laboratorio para las variables en estudio. Para los resultados de análisis químico se usó estadística descriptiva, se incluyeron promedios, desviación estándar, etc. Los datos fueron analizados sometidos a análisis de varianza, separación de media y error estándar.

2.4. Resultados y discusión

2.4.1. Propiedades químicas del suelo

El mayor valor promedio de pH para los suelos utilizados en invernaderos en la producción de vegetales lo presentan los suelos de Villa Trina, con un promedio de 7.72 ± 0.5 (Tabla 19), los de Moca presentan un valor promedio de pH de 7.5 ± 0.2 . El menor valor promedio de pH se aprecia en los suelos de los invernaderos ubicados en Jarabacoa (6.18 ± 0.22) y Constanza (6.90 ± 0.12 mmhos/cm), aunque solo se observa diferencia estadística significativa entre el pH de los suelos de Jarabacoa y los de Villa Trina. Puede afirmarse que solo los suelos de Jarabacoa presentan un pH promedio dentro de los límites deseables (5.8 a 6.8). Aunque los de San José de Ocoa y los de Constanza están relativamente cerca del límite superior deseable. Mientras que los suelos de Moca y Villa Trina presentan un pH por encima de los 7.5, lo que podría inducir a problemas en la disponibilidad de micronutrientes.

La conductividad eléctrica (CE), se presenta más alta en San José de Ocoa (1.20 ± 0.12 mmhos/cm) y Moca (1.01 ± 0.06 mmhos/cm). Se observa diferencia estadística entre el contenido de sales de Constanza (0.30 ± 0.12 mmhos/cm) que es más bajo y el de San José de Ocoa (1.20 ± 0.12 mmhos/cm) que es el más elevado (Tabla 19). El Soil Quality Institute (1996) reporta que algunos indicadores de la calidad del suelo son la disponibilidad de nutrimentos, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica. Debe destacarse que en algunos suelos de San José de Ocoa y Moca se aprecian niveles de sales por encima de 1 mmho/cm (nivel de sal mínimo deseable); sin embargo, estos altos niveles de sales se deben a que algunos productores tienden a mezclar el suelo con gallinaza.

Tabla 19. Contenido promedio del pH y la conductividad eléctrica (CE).

Localidad	Media de pH	Media de CE (mmhos/cm)
Jarabacoa	6.18 ± 0.22 A	0.48 ± 0.06 AB
San José de Ocoa	6.87 ± 0.54 AB	1.20 ± 0.12 B
Constanza	6.90 ± 0.12 AB	0.30 ± 0.12 A
Moca	7.50 ± 0.20 AB	1.01 ± 0.06 AB
Villa Trina	7.72 ± 0.50 B	0.74 ± 0.15 AB

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

En la Tabla 20, se presentan los contenidos promedios de calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), acidez cambiante (H+Al) y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) en meq/100 gramos de suelo (meq/100 g s).

El contenido de Ca no presenta diferencias estadísticas entre Moca y Villa Trina (34.75 ± 1.20 y 37.72 ± 0.36 meq/100 g, respectivamente), pero sí resultan superiores estadísticamente a los de las demás localidades. Sin embargo, este se presenta en todas las comunidades por encima del nivel mínimo deseable (5 meq/100 g). El Mg se presenta estadísticamente igual en Villa Trina (2.57 ± 0.27 meq/100 g) y Jarabacoa (3.26 ± 0.55 meq/100 g), aunque el contenido de Villa Trina es superior estadísticamente al de las demás localidades y Jarabacoa es igual estadísticamente al de las demás localidades. También este elemento se presenta con niveles superiores al nivel mínimo deseable en todas las localidades evaluadas. El K es más alto en los suelos de Moca (3.16 ± 0.18 meq/100 g), pero estadísticamente igual al contenido de los suelos de San José de Ocoa (1.88 ± 0.37 meq/100 g), y Ocoa resulta igual estadísticamente al de las demás localidades. Al igual que el Ca y el Mg, el K se presenta también elevado en todas las localidades.

El Na se presenta más elevado en Moca (0.91 ± 0.58 meq/100 g) y estadísticamente igual al de Jarabacoa (0.50 ± 0.08) y a Ocoa (0.56 ± 0.08) en meq/100 g, aunque en todas está por debajo de 1.25 meq/100 g. Con relación a la capacidad de intercambio de cationes extraíbles (CICE) Los suelos de Moca (47.15 ± 1.48 meq/100 g) y los de Villa Trina (39.34 ± 1.38 meq/100 g) son estadísticamente iguales entre sí, aunque en Villa Trina el contenido es igual estadísticamente al de Constanza (32.88 ± 4.4 meq/100 g) y al de Ocoa (32.72 ± 2.47 meq/100 g). La menor CICE y estadísticamente inferior a las demás, la presenta Jarabacoa (13.59 ± 1.48 meq/100 g). Sin embargo, esta se presenta en todas las localidades por encima de 10 meq/100 g, nivel mínimo deseable.

Tabla 20. Contenido promedio y error estándar de bases intercambiables, H+Al y CICE.

Localidad	Meq/100 g de suelo					
	Ca	Mg	K	Na	H+Al	CICE
Jarabacoa	8.99 ± 0.88 A	3.26 ± 0.55 AB	1.02 ± 0.28 A	0.50 ± 0.08 AB	1.87	13.59 ± 1.48 A
Ocoa	23.23 ± 1.84 B	5.85 ± 0.54 B	1.88 ± 0.3 AB	0.56 ± 0.08 AB		32.72 ± 2.47 B
Constanza	26.05 ± 3.76 B	5.90 ± 0.73 B	0.68 ± 0.25 A	0.24 ± 0.01 A	Ns	32.88 ± 4.4 B
Villa Trina	34.75 ± 1.20 C	2.57 ± 0.27 A	1.32 ± 0.26 A	0.39 ± 0.04 A	Ns	39.34 ± 1.38 BBC
Moca	37.72 ± 0.36 C	5.38 ± 0.29 B	3.16 ± 0.18 B	0.91 ± 0.58 B	Ns	47.15 ± 0.32 C

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

En lo referente a las relaciones Ca/Mg, Mg/K y Ca+Mg/K (Tabla 21) se puede observar que hay diferencia estadística significativa entre las relaciones de estos elementos. En Villa Trina la relación Ca/Mg (14.99 ± 0.45) presenta niveles por encima de los deseados (2- 10) y es superior estadísticamente a las demás localidades, aunque igual a los de Moca. La relación Mg/K en Constanza (11.60 ± 4.73) es diferente y superior estadísticamente al de las demás localidades,

aunque también se presenta alta en todas. La Ca+Mg/K en Constanza (62.43 ± 26.03) se superior estadísticamente a las demás, aunque igual a Villa Trina (42.24 ± 7.27). La única localidad que presenta un nivel promedio dentro de los límites deseables es Moca con 13.65 (menor de 15).

Tabla 21. Relación promedio Ca/Mg, Mg/K y Ca+Mg/K.

Localidades	Relaciones		
	Ca/Mg	Mg/K	Ca+ Mg/K
Jarabacoa	3.44 ± 0.51 A	4.83 ± 1.16 A	18.30 ± 3.52 A
Ocoa	3.84 ± 9.43 A	3.59 ± 0.68 A	19.99 ± 4.55 A
Constanza	4.40 ± 0.21 A	11.60 ± 4.73 B	62.43 ± 26.03 B
Moca	7.05 ± 0.45 AB	1.70 ± 0.20 A	13.65 ± 0.75 A
Villa Trina	14.99 ± 2.32 B	2.93 ± 0.52 A	42.24 ± 7.27 AB

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

En la Tabla 22, se presentan los datos de la comparación de media del porcentaje de saturación con aluminio (PSAl) el que en los casos de Villa Trina, Moca y Constanza no fue necesario determinar pues las concentraciones son bajas y despreciables para este cálculo; mientras que en San José de Ocoa y Jarabacoa no se observa diferencia estadística entre ambas localidades (6.65 ± 4.95 y 9.07 ± 19.72 %, respectivamente). Con relación al porcentaje de saturación con sodio no se observan diferencias estadísticas significativas entre localidades, aunque Moca (1.90 ± 1.20 %) posee contenidos promedios más elevados que Villa Trina (0.98 ± 0.10 %), aunque en ningún caso se presenta por encima de 5% nivel máximo crítico.

Tabla 22. Comparación de media del contenido promedio del PSAl y PSNa.

Localidades	Porcentaje de saturación	
	PSAl	PSNa
Villa Trina	-	0.98 ± 0.10 A
Moca	-	1.90 ± 1.20 A
Constanza	-	0.77 ± 0.09 A
San José de Ocoa	6.65 ± 4.95 A	1.69 ± 0.21 A
Jarabacoa	9.07 ± 19.72 A	3.93 ± 0.41 B

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). - = concentraciones de aluminio muy bajas para realizar cálculo de PSAl.

De acuerdo con los datos de la Tabla 23, con relación al contenido de micronutrientes, el hierro (Fe) con 108.18 ppm en Jarabacoa se presenta estadísticamente superior al de las demás localidades. El contenido de Fe en Jarabacoa está por encima del nivel máximo deseable (100 ppm) y en Villa Trina, con 7.32 ppm se encuentra en un nivel inferior al mínimo deseable (10 ppm).

El contenido de manganeso (Mn) no presenta diferencia estadística entre localidades. Con excepción de Jarabacoa, que presenta un contenido de Mn (24.62 ppm) dentro de los límites deseables, las localidades presentan contenido de Mn por debajo de 10 ppm que es el límite mínimo deseable. El contenido de cobre (Cu) en Jarabacoa (11.16 ppm) se presenta estadísticamente superior al contenido de Villa Trina (2.89 ppm) y Constanza (2.93 ppm), aunque el contenido en estas últimas localidades es igual al de las demás. El zinc (Zn) no presenta diferencia estadística entre las localidades y en todas se encuentra dentro de los niveles deseables (3 a 15 ppm). El fósforo (P) también presentó diferencias estadísticas en su contenido, resultando Jarabacoa superior a Constanza. En todas las localidades se aprecian niveles muy altos de P, superior a los 100 ppm.

Tabla 23. Comparación de medias del contenido promedio de Fe, Mn, Cu y Zn y P.

Localidades	PPM				
	Fe	Mn	Cu	Zn	P
Villa Trina	7.32±1.28 A	1.93±0.42 A	2.89±0.45 A	3.48±0.35 A	199.77±55.41 AB
Moca	11.8±3.50 A	1.45±0.05 A	5.35±0.55 AB	3.10±0.90 A	157.50±24.50 AB
Constanza	17.97±7.22 A	3.39±0.46 A	2.93±0.72 A	4.63±0.99 A	103.00±3.00 A
Ocoa	27.97±10.66 A	9.86±2.74 A	7.74±0.41 AB	3.31±0.57 A	368.86±65.67 AB
Jarabacoa	108.18±8.05 B	24.62±7.45 A	11.16±0.41 B	7.93±1.56 A	494.81±68.47 B

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

En la Tabla 24 se presentan los contenidos de materia orgánica (MO). En esta se aprecia que los mayores contenidos (4.10±0.40%) se presentan en Moca, siendo estadísticamente superior al contenido de Constanza (1.99%), aunque es igual estadísticamente al contenido de los suelos de San José de Ocoa, Villa Trina y Jarabacoa. Los suelos de los invernaderos de Constanza, Jarabacoa y Villa Trina presentan niveles de materia orgánica muy por debajo del nivel mínimo deseable (3.5%). De estos, los de Constanza son los que presentan el menor el nivel promedio de materia orgánica (1.99%), aunque es igual estadísticamente a los de Jarabacoa, Villa Trina y San José de Ocoa. Esos bajos contenidos pueden incidir de forma negativa en la capacidad de retención de humedad, lo que se traduce en una mayor demanda de riego y, lógicamente, en aumento de los costos.

Tabla 24. Comparación de medias del contenido promedio de MO.

Localidades	% MO
Constanza	1.99±0.40 A
Jarabacoa	2.67±0.31 AB
Villa Trina	2.84±0.40 AB
San José de Ocoa	3.50±0.44 AB
Moca	4.10±0.10 B

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

2.4.2. Propiedades físicas del suelo

2.4.2.1. Textura

En la Tabla 25 y Anexo 2.8.1 (Tabla 49) se encuentran los porcentajes de arena (R), limo (L) y arcilla (A), así como los grupos texturales que presentan las muestras de los suelos de los invernaderos en las localidades evaluadas. Se aprecia que la clase de textura más abundante en Moca y Villa Trina es la arcillo-limosa (AL). En cambio, en Jarabacoa predomina la textura franca (F), como la franca limosa (FL), franco arcilloso (FA) y franco arcillo-arenosa (FAR). En Constanza también predomina la franco y franco arcillosa. En San José de Ocoa, la franco arcillosa y arenosa. Como se sabe, este tipo de textura es de las más deseables debido a que reúne condiciones como buena capacidad de almacenamiento de agua y elementos nutritivos, así como un buen drenaje del suelo. Singer y Ewing (2000), indican que dentro de las características físicas relacionadas con la calidad del suelo se encuentran la estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica.

Tabla 25. Porcentajes promedios de arena (R), limo (L) y arcilla (A) y clase de textura de suelo por localidad.

Número de invernaderos	Localidades	Porcentajes			Textura
		R	L	A	
8	Los Guayos, Villa Trina, Espaillat	15.5	63.75	20.75	AL, A
7	El Mogote, Salitre, Moca Espaillat	18.1	55.4	26.7	AL, A, FA
15	Jarabacoa	41.7	32.4	26.2	FA, A, F, FAR, FL,
3	Constanza	31.7	37.3	31.0	FA, F
7	San José de Ocoa	43.3	32.6	24.1	FR, FA

arcillo-limosa (AL), arcilla (A), franco arcilloso (FA), franca (F), arcillo-arenosa (FAR), franca limosa (FL).

2.4.2.2. Densidad aparente

En relación a la densidad aparente (Da), se encontró diferencias estadísticas en Constanza ($1.60 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$) en comparación con las demás localidades (Tabla 26), siendo las demás localidades estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

Tabla 26. Comparación de medias de la densidad aparente (Da).

Localidades	Da g/cm ³
Jarabacoa	1.03 ± 0.01 A
Moca	1.05 ± 0.04 A
Ocoa	1.05 ± 0.01 A
Villa Trina	1.06 ± 0.03 A
Constanza	1.60 ± 0.02 B

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

2.4.2.3. Porosidad (%), capacidad de campo (CC_{atm}), punto de marchitez permanente (PMP_{atm}) y porcentaje de saturación (% saturación)

Los suelos de los invernaderos de Jarabacoa ($76.33\% \pm 0.88$) son los que presentan la mayor porosidad total (%P), aunque resultan estadísticamente iguales a los de Moca ($65.00\% \pm 2.9$) y este último igual estadísticamente a los de Villa Trina ($60.12\% \pm 1.00$) y San José de Ocoa ($54.40\% \pm 0.40$), mientras que los suelos de Constanza ($30.58\% \pm 0.88$) resultaron estadísticamente inferior a los demás y con la menor porosidad total (Tabla 27). Esta característica está íntimamente relacionada con la capacidad de retención de humedad de suelo. Esto se traduce en que los productores tengan que realizar una menor cantidad de riego debido a una mayor disponibilidad de agua en los invernaderos localizados en esta localidad.

Con relación a la capacidad de campo (CC), los suelos de Moca ($38.11 \text{ atm} \pm 0.93$) resultaron estadísticamente iguales a los de Villa Trina ($60.12 \text{ atm} \pm 1.00$) y a los de San José de Ocoa ($54.40 \text{ atm} \pm 0.4$) y Villa Trina y los de Ocoa igual a los de Constanza ($29.83 \text{ atm} \pm 8.43$) y a los de Jarabacoa ($28.23 \text{ atm} \pm 1.72$). Mientras que con relación al punto de marchitez permanente (PMP) Jarabacoa ($24.44 \text{ atm} \pm 3.02$), Constanza ($17.11 \text{ atm} \pm 5.30$) y Ocoa ($14.01 \text{ atm} \pm 0.59$) resultaron iguales entre sí, aunque Jarabacoa y Constanza resultaron también estadísticamente iguales a Moca ($31.64 \text{ atm} \pm 0.13$). Para el porcentaje de saturación (PS), los suelos de Constanza ($43.33\% \pm 3.33$), los de Ocoa ($40.38\% \pm 2.63$) y los de Jarabacoa ($48.73\% \pm 2.90$) son estadísticamente iguales, aunque los de Jarabacoa son iguales a los de Moca ($59\% \pm 3.00$) y a los de Villa Trina ($58.38\% \pm 1.26$). Esta mayor capacidad de campo de los suelos de Moca guarda relación con la mayor porosidad que estos presentan (Tabla 27).

Tabla 27. Comparación de media de la porosidad (%), capacidad de campo (atmosfera), punto de marchitez permanente (atmosfera) y saturación (%).

Localidades	% Porosidad	CC (atm)	PMP (atm)	% Saturación
Constanza	30.58 ± 0.88 A	29.83 ± 8.43 A	17.11 ± 5.30 AB	43.33 ± 3.33 A
Ocoa	54.40 ± 0.4 B	24.90 ± 0.93 AB	14.01 ± 0.59 A	40.38 ± 2.63 A
Villa Trina	60.12 ± 1.00 B	37.95 ± 1.77 AB	22.22 ± 1.11 B	58.38 ± 1.26 B
Moca	65.00 ± 2.9 BC	38.11 ± 0.93 B	21.64 ± 0.13 B	59.00 ± 3.00 B
Jarabacoa	76.33 ± 3.32 C	28.23 ± 1.72 A	24.44 ± 3.02 AB	48.73 ± 2.90 AB

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

2.4.3. Propiedades biológicas del suelo evaluadas

En la Tabla 28 aparecen los datos de la comparación de medias para las características biológicas de los suelos de las localidades evaluadas. De acuerdo con el análisis de varianza, no hay diferencia estadística entre las poblaciones de nematodos totales. En cambio, si hay diferencias significativas entre las localidades para los demás microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetes). Ocoa, Jarabacoa y Constanza resultan estadísticamente iguales con relación a estos microorganismos, con mayores valores que las demás localidades.

En relación con la población total de nematodos, en Moca los géneros de nematodos más comunes fueron *Rhabditida* con una población promedio de 65 ± 11 Log UFC/g y el *Meloidogyne* con 9.5 ± 9.5 Log UFC/g; en Villa Trina *Rhabditida* 52.15 ± 7.96 Log UFC/g, *Helycotylenchus* y con 19.23 ± 6.1 Log UFC/g y en Constanza los más frecuentes fueron *Rhabditida* con 65 Log UFC/g y *Helycotylenchus* 12 Log UFC/g. En San José de Ocoa *Rhabditida* 32 Log UFC/g y *Helicotylenchus* 28 Log UFC/g. En Jarabacoa los más frecuentes fueron *Helycotylenchus* 64 y *Meloidogyne* 10 Log UFC/g. Como se puede apreciar *Rhabditida* es el más común en todos los invernaderos de todas las localidades.

Tabla 28. Bacterias, hongos, actinomicetes y nematodos en muestras de suelo.

Localidades	Bacterias	Hongos (Log UFC/g)	Actinomicetes	Nematodos totales
Moca	1.49 ± 0.01 A	1.77 ± 0.02 A	1.34 ± 0.01 A	201.00 ± 39.00 A
Villa Trina	1.50 ± 0.02 A	1.77 ± 0.01 A	1.35 ± 0.02 A	170.69 ± 51.72 A
SJO	6.12 ± 0.02 B	4.26 B	5.56 ± 0.02 B	205.57 ± 46.61 A
Jarabacoa	6.15 ± 0.12 B	3.92 ± 0.11 B	5.70 ± 0.11 B	$128.5 \pm 24,18$ A
Constanza	6.17 ± 0.06 B	3.98 ± 0.29 B	5.70 ± 0.08 B	352.67 ± 147.65 A

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). Leyenda: Log UFC/g = Logaritmo de la Unidad Formadora de Colonia/gramo. SJO = San José de Ocoa.

2.4.4. Descripción de perfiles de suelo

2.4.4.1. Perfiles de suelos de Espaillat

2.4.4.1.1. Perfil 1 de suelo de la localidad de Villa Trina

El perfil de suelo 1 (Figura 7 y Tabla 29) se encuentra ubicado en Jamao de Villa Trina, provincia Espaillat en las coordenadas $19^{\circ}16'58.98''$ latitud norte (LN) y $70^{\circ}15'9.036''$ longitud oeste (LO) a una altitud de 436.8 m. s.n.m. En términos físicos, presenta un epipedón de 16 cm (0 a 16) de profundidad, de color amarillo pardo (10YR6/8); textura franco-arcillo limosa, estructura en bloques, moderados y débiles.



Figura 7. Perfil de suelo de Jamao Villa Trina, Espaillat.

Presenta concreciones de color blanco y abundantes raíces, límite claro y plano. Este horizonte descansa sobre un horizonte de 14 cm (16 a 34) de espesor de color marrón amarillento (10YR5/6), con textura arcillo limosa, estructura en bloques y concreciones de color oscuro, límite claro y plano. A continuación, presenta un horizonte de 17 cm (34 a 47) de profundidad de color marrón amarillento (10YR5/8) de textura arcillo limosa y estructura en bloques. Luego

le sigue un horizonte de 13 cm (47 a 60) de profundidad de color amarillo (10YR7/8), textura franco-limosa, estructura en bloques. Concreciones de color blanco, límite claro y plano. Finalmente, presenta un horizonte sobre los 60 cm de color amarillo pardo (10YR6/8) de textura franco-limosa, sin estructura.

Tabla 29. Descripción del Perfil de Jamao, Villa Trina, Espaillat.

No.	1
Dueño	Santiago González
Localización	Jamao, Villa Trina
Coordenadas	19°16' 58.98" LN; 70°15' 9.036" LO
Altitud	436.8 msnm
Fisiografía	Semi plano
Relieve	Ligeramente plano
Pendiente	8%
Material Parental	Caliza
Vegetación natural	Plantas de gramíneas y bosque latifoliada
Uso de la tierra	Producción de cultivo de tomate
Erosión	Leve
Pedregosidad y/o	Pocas
Rocosisidad	
Drenaje natural	Lento
Profundidad de los horizontes:	
0-16 cm	Color pardo amarillento (10YR6/8) en húmedo, textura-franco arcillo limosa, estructura bloques grandes y fuertes, raíces abundantes finas y medias, buena actividad biológica, límite claro y plano, no reacción al HCl, pH 7.8.
16-30 cm	Color marrón amarillento (10YR5/6), textura arcillosa limosa, estructura en bloques y presenta raíces escasas y finas. Baja actividad biológica. Presenta concreciones. Límite claro y plano. No reacción al HCl y pH de 8.2.
30- 47 cm	Color marrón amarillento (10YR5/8), textura arcillo limosa, estructura en bloques medios y fuertes, raíces escasas y finas, baja actividad biológica, concreciones, limite claro y plano. No reacción al HCl y pH de 8.2.
47- 60 cm	Color amarillo (10 YR7/8), textura franco-limosa, estructura en bloques, raíces ausentes, actividad biológica nula, con concreciones. Límite claro y plano. No reacción a HCl y pH de 8.3.

60+cm	Color pardo amarillento (10YR6/8), textura franco-limosa, sin estructura, raíces ausentes. No reacción a HCl y pH de 8.3
-------	--

En términos químicos (Tabla 30), presenta una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 40.90 meq/100 gramos de suelo y una alta saturación de base (PSB) influenciada básicamente por la presencia del ion calcio (Ca) en un 95 %. Igualmente, el magnesio presenta niveles altos (1.80 > 1.50 meq/100 g); mientras que potasio (K) y sodio (Na) se presentan bajos (0.30 y 0.20 < de 0.45 y 1.25 meq/100 g, respectivamente). La relación Ca/Mg se presenta alta (22.80 > de 10), la Mg/K está normal (6.80 entre 2- 12), mientras que Ca+Mg/K se presenta extremadamente elevada (161.6 > de 15- 60).

En relación a los micronutrientes, todos se presentan por debajo de los niveles deseables, el hierro 9.19 <10, manganeso 1.70 < 10, cobre 1.30 < 3 y zinc 1.00 < 3. El fósforo (P) presenta contenido muy bajo (5.00 < de 28 ppm), y la materia orgánica tiene niveles bajos, menores 1.10 < 3.5%. El pH se presenta por encima de 7 en todo el perfil, lo que influye de forma negativa en la disponibilidad de los micronutrientes. No presenta problemas de sales, ni de carbonato libre en el perfil.

Tabla 30. Resultado de análisis químicos del perfil de Jamo, Villa Trina, Espaillat.

Características de suelo evaluadas	Profundidad de los horizontes					Niveles deseables
	0-16 cm	16-30 cm	30-47 cm	47-60 cm	+60 cm	
pH en agua (1:2)	7.8	8.2	8.2	8.3	8.3	5.8-6.8
CE (mmhos/cm)	0.07	0.13	0.13	0.12	0.10	<1.00
Ca (meq/100 g)	40.90	38.30	35.20	30.70	28.50	>5.00
Mg (meq/100 g)	1.80	1.70	1.00	0.60	0.60	>1.5
K (meq/100 g)	0.30	0.30	0.20	0.20	0.1	>0.45
Na (meq/100 g)	0.20	0.20	0.24	0.18	0.16	<1.25
CICE (meq/100 g)	40.90	40.40	35.59	31.59	29.35	10-40
Ca/Mg	22.80	22.90	34.50	52.40	52.30	2-10
Mg/k	6.80	6.80	5.40	3.90	4.80	2-12
Ca+Mg/K	161.6	162.9	190.6	207.9	153.3	15-60
PS-Na (%)	0.40	0.50	0.60	0.60	0.50	<5
Fe (ppm)	9.10	8.10	6.30	4.00	3.50	10-100
Mn (ppm)	1.70	1.00	1.40	0.30	0.90	10-50
Cu (ppm)	1.30	1.20	0.70	0.40	0.20	3-15
Zinc (ppm)	1.00	0.80	0.40	0.20	0.30	3-15
P (ppm)	5.00	3.00	3.00	5.00	3.00	>28
MO (%)	1.10	1.00	0.90	0.70	0.70	3.5-6.5

2.4.4.1.2. Perfil de suelo 2 de Villa Trina

En términos físicos, el perfil de suelo 2 (Figura 8 y Tabla 31) se encuentra en los Guayuyos Villa Trina, Espaillat en 19°16' 48.576" latitud norte (LN) y 70°15' 48.167" longitud oeste (LO) y altitud de 612.87 msnm. Presenta un epipedón de 10 cm (0 a 10) de color marrón (10YR5/3); de textura franco-limosa, estructura en bloques pequeños y débiles, presenta concreciones y ligera reacción a HCl, gruesa y abundante raíces, con piedras y fragmentos de rocas, límite claro y ondulado.



Figura 8. Perfil de suelo de Los Guayuyos, Villa Trina, Espaillat.

Este horizonte descansa sobre un horizonte de 30 cm (10 a 40) de espesor de color amarillo pardo claro (10YR6/4), con textura franco-limosa, estructura en bloques pequeños y débiles, con concreciones, con presencia de rocas y piedras, escasas raíces gruesa y finas, moderada actividad biológica. Límite claro y ondulado. Después de los 40 cm de profundidad presenta un horizonte de color marrón (10YR4/3) de textura franco-limosa y estructura en bloques débiles, raíces escasas, baja actividad biológica, concreciones y presencia de piedras, límite claro y ondulado.

Tabla 31. Descripción del perfil de suelo de Villa Trina, Espaillat.

No	2
Dueño	José Corniel
Localización	Los Guayuyos, Villa Trina, Espaillat
Coordenadas	19°16' 48.576" LN; 70°15' 48.167" LO
Altitud	612.87 msnm
Fisiografía	Vertiente de colinas bajas
Relieve	Moderadamente inclinado
Pendiente	10%
Material Parental	Caliza
Vegetación natural	Bosque secundario

Uso de la tierra	Producción de vegetales
Erosión	Leve
Pedregosidad	Pocas
Rocosidad	Ninguna
Drenaje natural	Bueno
Profundidad de los horizontes:	
0-10 cm	Color marrón (10YR5/3) en húmedo, textura franco-limosa, estructura bloques pequeños y débiles, raíces abundantes y gruesas, buena actividad biológica, límite claro y ondulado, con concreciones, moderada reacción al HCl, pH de 8.2.
10-40 cm	Color pardo amarillento claro (10YR6/4), textura franco-limosa, estructura en bloques pequeños y débiles, raíces moderadas gruesas y finas. Moderada actividad biológica. Presenta concreciones. Límite claro y ondulado. Alta reacción al HCl y pH de 8.1.
40+ cm	Color marrón (10YR4/3), textura franco-limosa, estructura en bloques pequeños y débiles, raíces escasas y finas, baja actividad biológica, presencia de concreciones. Moderada reacción al HCl y pH de 8.1.

Al punto de vista químico (Tabla 32), tiene una adecuada CIC de 32.67 meq/100 gramos de suelo; además, una alta saturación de base. El Ca se presenta alto, siendo responsable del 81 % de la saturación de base, mientras superior a 23 en todo el perfil (<10 límite deseable superior). La relación Mg/K se encuentra mayormente dentro de los límites deseables (2- 12) y la relación Ca+Mg/K es baja (5.6) y muy alta en los horizontes de profundidad (138.8 y 161.1 respectivamente). De los micronutrientes, el Fe presenta un nivel dentro de los límites deseables (10-100 ppm) con 18.4 ppm, el Mn se presenta muy bajo (2.3 ppm), nivel que es muy inferior al nivel mínimo deseable (10-50 ppm).

El Cu se presenta bajo 1.3 ppm (menos de 3 ppm), mientras que el Zn con 5.7 ppm está dentro de los límites deseables (3-15 ppm). El P con 5 ppm se presenta muy por debajo del nivel deseable (>28 ppm). La materia orgánica presenta un nivel deseable de 5.7 % (3.5- 6.5%). El pH es moderadamente alcalino (8.2), no tiene problemas de sales ni carbonatos.

Tabla 32. Resultado de análisis químicos del perfil de suelo de Villa Trina, Espaillat.

Características de suelo evaluadas	Profundidad de los horizontes			Niveles deseables
	0-16 cm	16-40 cm	+60 cm	
pH en agua (1:2)	8.2	8.1	8.1	5.8- 6.8
CE (mmhos/cm)	0.44	0.15	0.15	<1.00
Ca (meq/100 g)	26.5	28.9	31,5	>5.00
Mg (meq/100 g)	1.10	0.70	0.40	>1.50
K (meq/100 g)	4.90	0.20	0.20	>0.45
Na (meq/100 g)	0.13	0.11	0.12	<1.25
CICE (meq/100 g)	32.67	29.88	32.27	10-40
Ca/Mg	23.90	42.50	77.10	2-10
Mg/k	0.20	3.20	2.10	2-12
Ca+Mg/K	5.60	138.8	161.2	15-60
PS-Na	0.40	0.40	0.40	<5
Fe (ppm)	18.40	9.70	18.20	10.100
Mn (ppm0	2.30	0.40	1.20	10-50
Cu (ppm)	1.30	0.50	1.00	3-15
Zinc (ppm)	5.70	0.40	0.40	3-15
P (ppm)	5.00	10.00	2.00	>28
MO (%)	5.70	2.10	5.00	3.5-6.5

2.4.4.1.3. Perfil de suelo de El Mogote, Moca

Los datos correspondientes al perfil 3 (Figura 9 y Tabla 33) ubicado en el Mogote de Moca, Espaillat en 19°17' 0.204" latitud norte (LN) y 70°1' 42.376" longitud oeste (LO) a una altitud de 682.5 msnm. En términos físicos este presenta un epipedón de 7 cm (0 a 7 cm) de profundidad de color amarillo pardo (10YR6/6), con textura franco-limosa, estructura en bloques, presenta piedras y alta reacción a HCl, raíces finas y abundantes, límite claro y plano. El horizonte 1 descansa sobre un horizonte de 27 cm (7 a 34 cm) de espesor de color negro (10YR6/1), con textura franco-limosa, estructura en bloques medianos y fuertes, escasas raíces, baja actividad biológica y límite claro y ondulado.



Figura 9. Perfil de suelo del Mogote, Espaillat.

A continuación, presenta un horizonte de 31 cm (34 a 65 cm) de profundidad de color negro (10YR6/1), textura franco-limosa, estructura en bloques medianos y fuertes, límite claro y plano, no reacción a HCl. Después de los 65 cm presenta un horizonte de color marrón olivo (2.5Y4/3), textura franco-limosa, estructura en bloques medianos y fuertes, raíces muy escasas y actividad biológica muy baja, límite claro y plano y no reacción a HCl, y pH de 7.9.

Tabla 33. Descripción del perfil de suelo, El Mogote, Moca, Espaillat.

No.	3
Dueño	Ángel Reso
Localización	Los Naranjos, El Mogote, Moca
Coordenadas	19°17' 0.204" LN; 70°1' 42.376" LO
Altitud	682.5 msnm
Fisiografía	Vertiente de colinas bajas
Relieve	ligeramente inclinado
Pendiente	5%
Material Parental	Caliza
Vegetación natural	Pasto y bosque
Uso de la tierra	Producción de ajíes
Erosión	Leve
Pedregosidad	Pocas
Rocosidad	Ninguna
Drenaje natural	Bueno
Profundidad de los horizontes:	
0-7 cm	Color pardo amarillento (10YR6/6) en húmedo, textura franco-limosa, estructura bloques moderados y débiles, raíces abundantes y finas, buena actividad biológica, límite claro y plano, alta reacción al HCl, pH de 8.1.
7-34 cm	Color negro (10YR6/1), textura franco-limosa, estructura en bloques moderados y fuertes, raíces abundantes y finas. Moderada actividad biológica. Presenta concreciones. Límite claro y ondulado. Baja reacción al HCl y pH de 7.6.
34- 65cm	Color negro (10YR6/1), textura franco-limosa, estructura en bloques moderados y fuertes, raíces escasas y finas, baja actividad biológica. No reacción al HCl y pH de 7.6.
65+ cm	Color marrón olivo (2.5Y4/3), textura franco-limosa, estructura en bloques moderados y fuertes, ausencia de raíces, no reacción al HCl. pH de 7.9.

Al punto de vista químico (Tabla 34), presenta una adecuada CICE de 36.9 meq/100 gramos de suelo. Además, presentan una alta saturación de base influenciada mayormente por el ion Ca de 36 meq/100 gramos de suelo. La relación Ca/Mg es de 61.4, resultando muy alta (superior a 10 límite superior deseable; la Mg/K es de 3.4, deseable ya que se encuentra entre 2-12 límites deseables; y la Ca+ Mg/K es de 212.5, muy elevada, superior a 60 límite máximo deseable. Mientras que los micronutrientes Fe, Mn, Cu y Zn se presentan bajo (6,2, 1.6, 1.3 y 0.2, respectivamente). El P se presenta a un nivel de 6 ppm (bajo, menos de 28 ppm) y la materia orgánica con nivel de 2.4 % se presenta baja, menos de 3.5% (Tabla 34).

Tabla 34. Resultado de análisis químicos del suelo del perfil del Mogote Moca, Espailat.

Propiedades del suelo	Profundidad de los horizontes				Niveles deseables
	0-7 cm	7-34 cm	34-65 cm	+65 cm	
pH en agua (1:2)	8.10	7.60	7.60	7.90	5.8-6.8
CE (mmhos/cm)	0.17	0.42	0.41	0.17	<1.00
Ca (meq/100 g)	36.00	43.50	43.70	43.20	>5.00
Mg (meq/100 g)	0.60	1.30	1.30	1.10	>1.5
K (meq/100 g)	0.20	0.40	0.30	0.20	>0.45
Na (meq/100 g)	0.20	0.20	0.20	0.20	<1.25
CICE (meq/100 g)	36.90	45.40	45.40	44.70	10-40
Ca/Mg	61.40	33.50	34.40	40.40	2-10
Mg/k	3.40	3.70	4.00	4.40	2-12
Ca+Mg/K	212.50	129.40	141.60	181.60	15-60
PSNa	0.40	0.40	0.30	0.30	<5
Fe (ppm)	6.20	76.50	89.10	20.30	10-100
Mn (ppm)	1.60	9.40	12.80	1.30	10-50
Cu (ppm)	1.30	6.20	7.20	3.00	3-15
Zinc (ppm)	0.20	0.60	0.70	0.30	3-15
P (ppm)	6.00	4.00	5.00	3.00	>28
MO (%)	2.40	5.60	5.80	4.10	3.5-6.5

2.4.4.1.4. Perfil de suelo de la Salina, Moca

El perfil de suelo 4 (Figura 10 y Tabla 35) está ubicado en la Salina de Moca, Espailat en 19°15' 52.308" latitud norte (LN) y 70°17' 29.796" longitud oeste (LO) y una altitud de 315.3 m.s.n.m. En términos físicos (Tabla 35 y Figura 10) presenta un epipedón de 13 cm (0 a 13) de profundidad presenta un color marrón oscuro (10YR3/3), textura franco-limosa, estructura mediana y fuertes, no presenta concreciones, ni piedras, raíces abundantes, alta actividad biológica, límite claro y plano, no reacción a HCl. A continuación, se presenta un horizonte de 27 cm (13 a 40) de profundidad (10YR5/4), textura franco-limosa, estructura en bloques medianos y fuertes, con piedras y fragmentos rocosos, raíces escasas, actividad biológica baja, límite claro y plano, y no reacción al HCl. Finalmente presenta un horizonte después de los 40 cm de profundidad de color marrón amarillento (10YR5/8), textura franco-limosa, sin estructura, no presencia de raíces, con presencia de fragmentos y rocas, no reacción a HCl.



Figura 10. Perfil de suelo de la Salina Moca.

Tabla 35. Descripción de perfil de suelo, La Salina, Moca, Espaillat.

No.	4
Dueño	Chino Cabreja
Localización	El Salado Moca
Coordenadas	19°15' 52.308" LN; 70°17' 29.796"
Altitud	315.3 msnm
Fisiografía	Vertiente de colinas bajas
Relieve	ligeramente inclinado
Pendiente	3%
Material Parental	Caliza
Vegetación natural	Caoba y bosque secundario
Uso de la tierra	Producción de ajíes
Erosión	Muy Leve
Pedregosidad	Pocas
Rocosidad	Ninguna
Drenaje natural	Lento
Profundidad de los horizontes:	
0-13 cm	Color marrón oscuro (10YR3/3) en húmedo, textura franco-limosa, estructura bloques medianos y fuertes, raíces escasas y gruesas, baja actividad biológica, límite claro y plano, no reacción al HCl, pH de 8.1.
13-40 cm	Color marrón amarillento (10YR5/4), textura franco-limosa, estructura en bloques moderados y fuertes, raíces escasas y finas. Moderada actividad biológica.

	Con concreciones. Límite claro y plano. No reacción al HCl y pH de 7.9.
40+ cm	Color marrón amarillento (10YR5/6), textura franco-limosa, sin estructura, raíces ausentes, con concreciones. pH de 7.7.

Al punto de vista químico (Tabla 36), presenta una CICE deseable con un valor de 36.1 meq/100 gramos de suelo. El porcentaje de saturación de base (PSB) es alto, presentando el Ca la mayor influencia. El Ca se presenta en niveles alto, con 33.7 meq/100 gramos de suelo, siendo el elemento más importante en el proceso de intercambio catiónico. La relación Ca/Mg en el epipedón es alta de 19.5, superior a 10. La Mg/K es normal de 4.6, entre 2-12; mientras que la relación Ca+Mg/K es de 93.6, presentándose por encima de 60. Los micronutrientes Fe, Mn, Cu y Zn presentan niveles bajo de 3.3, 0.4, 0.6 y 0.6 ppm, respectivamente. En este horizonte superficial el P presenta un nivel de 13 ppm, nivel bajo (menos de 28 ppm). La materia orgánica también se presenta baja con un nivel de 0.9 %, presentando, paradójicamente, menor concentración que los horizontes de profundidad. No hay problemas de sales y el pH es alto, superior a 6.5.

Tabla 36. Resultado de análisis químicos del suelo del perfil de Las Salinas, Moca.

Propiedades del suelo	Profundidad de los horizontes			Niveles deseables
	0-13 cm	13-40 cm	+40 cm	
pH en agua (1:2)	8.10	7.90	7.70	5.8-6.8
CE (mmhos/cm)	0.22	0.27	0.33	<1.00
Ca (meq/100 g)	33.70	34.20	34.60	>5.00
Mg (meq/100 g)	1.70	2.50	3.70	>1.5
K (meq/100 g)	0.40	1.30	2.60	>0.45
Na (meq/100 g)	0.30	0.30	0.40	<1.25
CICE (meq/100 g)	36.10	38.30	41.30	10-40
Ca/Mg	19.50	13.50	9.40	2-10
Mg/k	4.60	2.00	1.40	2-12
Ca+Mg/K	93.60	28.80	14.90	15-60
PS-Na	0.80	0.80	0.80	<5
Fe (ppm)	3.30	8.00	7.80	10-100
Mn (ppm)	0.40	1.00	1.80	10-50
Cu (ppm)	0.60	0.90	5.00	3-15
Zinc (ppm)	0.60	0.90	5.00	3-15
P (ppm)	13.00	68.00	108.00	>28
MO (%)	0.90	1.90	3.60	3.5-6.5

2.4.4.2. Perfiles de Constanza

2.4.4.2.1. Perfil de los Cerros Tireo en Constanza

El perfil 5 (Figura 11 y Tabla 37) está ubicado en Los Cerros, Tireo, Constanza, La Vega en los 18°31' 56.136" LN y 70°2' 35.818" LO y una altitud de 1,226 msnm. Este presenta un epipedón de 29 cm (0 a 29) de profundidad de color marrón intenso (10YR4/6) en húmedo, textura franco-arcillosa, estructura en bloques medianos y débiles, con escasas raíces y baja actividad biológica. Presenta límite claro y ondulado y no reacción al HCl. Luego presenta un horizonte sobre los 29 cm de profundidad, de color marrón intenso (10YR5/6), textura franco-arcillosa, sin estructura, raíces muy escasas, baja actividad biológica. Presencia de fragmentos rocosos y concreciones. Límite claro y ondulado, no reacción al HCl y pH de 6.8.



Figura 11. Perfil del suelo de Tireo, Constanza.

Tabla 37. Descripción del perfil de suelo de Los Cerros, Tireo, Constanza, La Vega.

No.	5
Dueño	Feliciano Cepeda
Localización	Los Cerros Tireo, Constanza
Coordenadas	18°31' 56.136" LN y 70°2' 35.818" LO
Altitud	1,226 msnm
Fisiografía	Valle intramontano
Relieve	ligeramente inclinado
Pendiente	3-5%
Material Parental	Ígnea
Vegetación natural	Bosque de pino
Uso de la tierra	Producción de ajíes
Erosión	Muy Leve
Pedregosidad	Pocas
Rocosidad	Ninguna
Drenaje natural	Lento

Profundidad de los horizontes:	
0-29 cm	Color marrón intenso (10YR4/6) en húmedo, textura franco-arcillosa, estructura bloques medianos y débiles, raíces escasas y finas, baja actividad biológica, límite claro y ondulado, no reacción al HCl, pH de 6.8.
29+ cm	Color marrón intenso (10YR5/6), textura franco-arcillosa, sin estructura, raíces muy escasas. Actividad biológica muy baja. Presencia de pequeños fragmentos de rocas y concreciones. Límite claro y ondulado. No reacción al HCl y pH de 6.8.

Al punto de vista químico, el epipedón (Tabla 38) presenta una buena capacidad de intercambio de cationes efectiva de 36.80 meq/100 g de suelo, valor que se encuentra dentro de los límites aceptables (10 a 40 meq/100 g). No presenta problemas de sales (0.13 mmhos/cm). Los elementos Ca y Mg se presentan elevados, mientras que el K (0.25 meq/100 g) se encuentra por debajo del límite mínimo aceptable (>0.045 meq/100 g). Con relación al Na (0.27 meq/100 g), se encuentra por debajo por debajo del límite máximo aceptable para el elemento (1.25 meq/100 g). De las relaciones, las de Mg/k (27.90) y Ca+Mg/K (144.4) se presentan elevadas, pudiendo presentarse problemas con Mg en el primer caso y con Ca y Mg en el segundo caso. Todos los micronutrientes se presentan por debajo de los niveles deseados, lo que podría producir deficiencia de estos elementos nutritivos en el cultivo. En cambio, el P (99 ppm) se presenta por encima del nivel deseado (>28 ppm). La materia orgánica (1.5%) se presenta baja (<3.5%).

Tabla 38. Resultados del análisis químico del perfil de suelo de Tireo, Constanza, La Vega.

Propiedades del suelo	Profundidad de los horizontes		Niveles deseados
	0-29 cm	+29 cm	
pH en agua (1:2)	6.8	6.8	5.8-6.8
CE (mmhos/cm)	0.13	0.06	<1.00
Ca (meq/100 g)	29.27	31.16	>5.00
Mg (meq/100 g)	7.01	11.84	>1.5
K (meq/100 g)	0.25	0.09	>0.45
Na (meq/100 g)	0.27	0.32	<1.25
CICE (meq/100 g)	36.80	43.41	10-40
Ca/Mg	4.20	2.60	2-10
Mg/k	27.90	132.80	2-12
Ca+Mg/K	144.4	482.30	15-60
PS-Na	0.70	0.70	<5
Fe (ppm)	7.70	1.70	10-100
Mn (ppm)	1.70	2.00	10-50
Cu (ppm)	1.90	0.50	3-15
Zinc (ppm)	2.50	0.10	3-15
P (ppm)	99.00	9.00	>28
MO (%)	1.50	0.80	3.5-6.5

2.4.4.2.2. Perfil de suelo de La Planta, Tireo, Constanza

El perfil 6 (Figura 12 y Tabla 39) se encuentra ubicado en La Planta, Tireo de Constanza, La Vega en los en los 18°31' 48.9" LN y 70°26' 24.611" y altitud de 1,231 msnm. Al punto de vista físico presenta un epipedón de 26 cm (0 a 26) de profundidad, marrón amarillento oscuro (10YR3/6) en húmedo, textura franco-arcillosa, estructura en bloques medianos y débiles, con buena actividad biológica, de límite claro y plano. No reacción al HCl y pH de 6.6. A este le sigue un horizonte de 8 cm (26 a 34) de profundidad de color marrón amarillento oscuro (10YR3/6), textura franco-arcillosa, estructura en bloques medios y débiles. Moderada presencia de raíces finas, de moderada actividad biológica, presencia de pequeños fragmentos rocosos. Límite claro y plano, sin reacción al HCl y pH de 6.7. Finalmente presenta un horizonte sobre los 34 cm de profundidad de color marrón amarillento (10YR5/4) de textura arcillosa, sin estructura, con pocas raíces y finas, baja actividad biológica. No reacción al HCl y pH de 7.0.



Figura 12. Perfil de suelo de La Planta, Tireo, Constanza.

Tabla 39. Descripción del perfil de suelo en La Planta, Tireo, de Constanza, La Vega.

No.	6
Dueño	Vinicio Victoriano
Localización	La Planta, Tireo Constanza
Coordenadas	18°31' 48.9" LN y 70°26' 24.611"
Altitud	1,231 msnm
Fisiografía	Valle intramontano
Relieve	Plano
Pendiente	1%
Material Parental	Ígnea
Vegetación natural	Bosque de pino
Uso de la tierra	Agrícola
Erosión	No
Pedregosidad	Pocas
Rocosidad	Ninguna
Drenaje natural	Lento

Profundidad de los horizontes:	
0-26 cm	Color marrón amarillento oscuro (10YR3/6) en húmedo, textura franco-arcillosa, estructura bloques medianos y débiles, raíces abundantes y finas, buena actividad biológica. Presencia de pequeños fragmentos de roca, límite claro y plano, no reacción al HCl, pH de 6.6.
26-34 cm	Color marrón amarillento oscuro (10YR3/6), textura franco-arcillosa, estructura en bloques medios y débiles, raíces moderadas y finas. Moderada actividad biológica. Presencia de pequeños fragmentos de rocas. Límite claro y plano. No reacción al HCl y pH de 6.7.
+34 cm	Color marrón amarillento (10YR5/4), textura arcillosa, sin estructura. Pocas raíces y finas, actividad biológica muy baja. Presencia alta de fragmentos rocosos medianos y pequeños. Límite claro y plano. No reacción a HCl. pH de 7.0.

Al punto de vista químico (Tabla 40), el epipedón presenta una CICE (24.52 meq/100 g) dentro de los límites deseables (10 a 40 meq/100 g), en pH (6.6) también se encuentra dentro del rango deseable (5.8 a 6.8). No presenta problemas de sales $0.07 < 1.00$ mmhos/cm). Los elementos Ca, Mg, K y Na se encuentran dentro de los límites deseables (>5 , >1.5 , >0.45 y >1.25 meq/100 g, respectivamente). La relación entre los elementos Ca/Mg (4.40, Mg/K (8.70) y Ca+Mg/K se presenta adecuada dentro de los niveles deseables. El Na se presenta inferior al nivel máximo aceptable (1.25 meq/100 g). De los micronutrientes, el Fe (26.9 ppm) y el Cu (3.7) se presentan adecuados (>10 y 3 , respectivamente), mientras zinc (2.10 ppm) y manganeso (0.70 ppm) se encuentran por debajo del límite inferior adecuado (3 y 50, respectivamente). El P (103 ppm) se presenta alto (>28 ppm) y la MO (1.50%) se presenta baja ($<3.5\%$).

Tabla 40. Análisis químicos del perfil de suelo en La Planta, Tireo, Constanza, La Vega.

Propiedades del suelo	Profundidad de los horizontes			Niveles deseables
	0- 26 cm	26-34 cm	+34 cm	
pH en agua (1:2)	6.60	6.70	7.00	5.8-6.8
CE (mmhos/cm)	0.07	0.06	0.11	<1.00
Ca (meq/100 g)	19.37	27.91	30.51	>5.00
Mg (meq/100 g)	4.36	7.01	9.79	>1.5
K (meq/100 g)	0.50	0.48	0.29	>0.45
Na (meq/100 g)	0.29	0.38	0.22	<1.25
CICE (meq/100 g)	24.52	35.78	40.82	10-40
Ca/Mg	4.40	4.00	3.10	2-10
Mg/k	8.70	14.60	33.50	2-12
Ca+Mg/K	47.30	72.50	137.90	15-60
PS-Na	1.20	1.10	0.0	<5

Fe (ppm)	26.90	16.40	1.60	10-100
Mn (ppm)	0.70	0.60	0.70	10-50
Cu (ppm)	3.70	2.90	1.80	3-15
Zinc (ppm)	2.10	1.20	0.50	3-15
P (ppm)	103.00	102.00	6.00	>28
MO (%)	1.50	1.40	0.90	3.5-6.5

2.4.4.3. Perfiles de suelos de Jarabacoa

2.4.4.3.1. Perfil de suelo de La Joya, Jarabacoa

El perfil 7 (Figura 13 y Tabla 41) está ubicado en La Joya de Jarabacoa, La Vega en los 19°4' 22.8" LN y 70°2' 24.136" LO y una altitud de 500 msnm. Desde el punto de vista físico, el mismo presenta un epipedon de 30 cm (0 a 30) de profundidad de color marrón amarillento (10YR5/4) en húmedo, textura franca, estructura en bloques medianos y fuertes. Presenta abundantes raíces y finas y una alta actividad biológica. No presenta ni concreciones ni fragmentos rocosos. Límite claro y plano. No reacción al HCl y pH de 6.9.



Figura 13. Perfil del suelo de La Joya, Jarabacoa.

Le sigue un horizonte de 60 cm (30 a 90) de profundidad, de color marrón amarillento (10YR5/4) de textura franco y estructura en bloques medianos y fuertes. Raíces pocas y finas y una baja actividad biológica. Sin concreciones ni fragmentos rocosos. Límite claro y plano. No reacción al HCl y pH de 6.9. A seguida presenta un horizonte de 30 cm (90 a 120) de profundidad de color amarillo rojizo (5YR6/8), textura franco-arcillosa, estructura en bloques finos y débiles. Con pocas raíces y finas, baja actividad biológica. Presencia de algunas piedras pequeñas. Límite claro y plano. No reacción al HCl y pH de 6.9. Finalmente, se aprecia un horizonte sobre los 120 m de color de amarillento rojizo (5YR6/8), textura franca arcillo arenosa, sin estructura, algunas piedras pequeñas. Algunas raíces y finas. Baja actividad biológica y pH de 6.9.

Al punto de vista químico (Tabla 42), el epipedón presenta una CICE (9.17 meq/100 g) por debajo de los niveles deseables (<10 meq/100 g), lo que indica que estos suelos presentan una fertilidad natural baja. El pH (6.9) aunque está por encima del nivel máximo deseable (6.8). No presenta problemas de sales. El Ca (7 meq/100 g); aunque se encuentra por encima del mínimo deseable (5 meq/100 g) se encuentra muy cercano a este nivel. El ion Mg se encuentra también cercano al nivel mínimo deseable, aunque por encima (>1.5 meq/100 g). El K (0.21 meq/100 g) está bajo (<0.45 meq/100 g). El ion Na se encuentra por debajo de 1.25 meq/100 g que es lo deseable en todo suelo para evitar que este produzca trastorno e influya negativamente sobre la estructura y, consecuentemente, sobre la infiltración del suelo.

Tabla 41. Descripción del perfil de suelo en La Joya Jarabacoa, La Vega.

No.	7
Dueño	Salvador Ricourt
Localización	La Joya, Jarabacoa
Coordenadas	19°4' 22.8" LN y 70°2' 24.136" LO
Altitud	500 msnm
Fisiografía	Vertiente de colinas bajas
Relieve	Plano
Pendiente	0-3%
Material Parental	Ígnea
Vegetación natural	Pasto
Uso de la tierra	Producción de ajíes
Erosión	Muy Leve
Pedregosidad	Ninguna
Rocosidad	Ninguna
Drenaje natural	Lento
Profundidad de los horizontes:	
0-30 cm	Color marrón amarillento (10YR5/4) en húmedo, textura franca, estructura en bloques medianos y fuertes, raíces abundantes y finas, alta actividad biológica. No presenta ni concreciones ni fragmentos rocosos, límite claro y plano, no reacción al HCl, pH de 6.9.
30-90 cm	Color rojo amarillento (5YR5/8), textura arcillosa, estructura en bloques medios y fuertes, raíces pocas y finas. Baja actividad biológica. Sin concreciones ni fragmentos rocosos. Límite claro y plano. No reacción al HCl y pH de 6.7.
90-120 cm	Color amarillento rojizo (5YR6/8), textura franco-arcillosa, estructura en bloques finos y débiles. Raíces muy pocas y finas, actividad biológica muy baja. Algunas

	piedras pequeñas. Límite claro y plano. No reacción a HCl. pH de 6.9.
+120 cm	Color amarillo rojizo (5YR6/8), textura franco-arcillo-arenosa, sin estructura. Algunas raíces y finas. Actividad biológica baja. Abundantes y pequeñas piedras. pH de 6.9.

Las relaciones Ca/Mg (4.10), Mg/K (8.00) y Ca+Mg/K (40.60) se presentan adecuada (entre 1-10, 2-12 y 15-60, respectivamente). De los micronutrientes, el Fe (56.6 ppm) y el cobre (3ppm) se presentan adecuados (>10 y 3 ppm, respectivamente), mientras que Mn (3.50 ppm) y zinc (1.20 ppm) se presentan por debajo del nivel mínimo deseable (10 y 3 ppm, respectivamente). El P (15 ppm) se presenta bajo (<28 ppm) y la MO (2%) también se presenta baja (<3.5%).

Tabla 42. Resultados del análisis químico del perfil de suelo en La Joya Jarabacoa, La Vega.

Propiedades del suelo	Profundidad de los horizontes				Niveles deseables
	0-30 cm	30-90 cm	90-120 cm	+120 cm	
pH en agua (1:2)	6.90	6.70	6.90	6.90	5.8-6.8
CE (mmhos/cm)	0.06	0.06	0.04	0.05	<1.00
Ca (meq/100 g)	7.00	7.78	5.79	4.17	>5.00
Mg (meq/100 g)	1.73	4.90	5.13	3.41	>1.5
K (meq/100 g)	0.21	0.08	0.07	0.04	>0.45
Na (meq/100 g)	0.23	0.21	0.27	0.17	<1.25
CICE (meq/100 g)	9.17	12.97	11.26	7.78	10-40
Ca/Mg	4.10	1.60	1.10	1.20	2-10
Mg/K	8.00	9.90	77.20	95.10	2-12
Ca+Mg/K	40.60	155.00	164.30	211.60	15-60
PS-Na	2.50	1.60	2.40	2.20	<5
Fe (ppm)	56.60	15.60	7.20	7.30	10-100
Mn (ppm)	3.50	0.50	0.50	0.60	10-50
Cu (ppm)	3.00	0.90	0.60	0.00	3-15
Zinc (ppm)	1.20	0.30	1.10	0.70	3-15
P (ppm)	15.00	3.00	7.00	17	>28
MO (%)	2.00	0.50	0.20	0.30	3.5-6.5

2.4.4.3.2. Perfil de suelo de la Pita, Paso Bajito, Jarabacoa

El perfil 8 está ubicado en La Pita, Paso Bajito de Jarabacoa a una altitud de 1,124 msnm en los 19°0' 43.272" LN y 70°2' 12.407" LO. Al punto de vista físico (Tabla 43), este presenta un epipedón 35 cm (0 a 35) de profundidad de color negro bronceado (10YR3/3) en húmedo, textura franca y estructura en bloques grandes y débiles. Presenta abundancia de raíces finas y una alta actividad biológica. Presenta piedras pequeñas y concreciones. Límite claro y plano,

no reacción al HCl y pH de 5.2. Luego presenta un horizonte de 75 cm (35 a 110) de profundidad de color marrón amarillento (10YR4/4) de textura franco arenoso, estructura en bloques, raíces pocas y finas, baja actividad biológica. Con piedras pequeñas y abundantes. Límite claro y plano y no reacción al HCl con pH de 6.1. Finalmente presenta un horizonte después de los 110 cm de color marrón rojizo (5YR5/3) con textura franco-arenosa y sin estructura. No reacción al HCl y pH de 6.0.



Figura 14. Perfil de suelo de La Pita, Paso Bajito, Jarabacoa.

Tabla 43. Descripción del perfil 8 de suelo de La Pita, Paso Bajito, Jarabacoa, La Vega.

No.	8
Dueño	Salvador Ricourt
Localización	La Pita Paso Bajito, Jarabacoa
Coordenadas	19°0' 43.272" LN y 70°2' 12.407" LO
Altitud	1,124
Relieve	Plano
Pendiente	3%
Material Parental	Ígnea
Vegetación natural	Pino y guama
Uso de la tierra	Producción de vegetales
Erosión	Muy Leve
Pedregosidad	Algunas pequeñas
Rocosidad	Ninguna
Drenaje natural	Lento

Profundidad de los horizontes:	
0-35 cm	Color negro bronceado (10YR3/3) en húmedo, textura franca, estructura en bloques grandes y débiles, raíces abundantes y finas, alta actividad biológica. Presenta piedras pequeñas y concreciones, límite claro y plano, no reacción al HCl, pH de 5.2.
35-110 cm	Color marrón amarillento (10YR4/4), textura franco-arenosa, estructura en bloques, raíces pocas y finas. Baja actividad biológica. Con piedras pequeñas y fragmentos rocosos. Límite claro y plano. No reacción al HCl y pH de 6.1.
+110 cm	Color marrón rojo (5YR5/3), textura franco-arenosa, sin estructura. Raíces muy ausentes. Con algunas piedras pequeñas y sin concreciones. Límite claro y plano. No reacción a HCl. pH de 6.0.

Al punto de vista químico, el epipedón (Tabla 44) presenta una CICE (8.84 meq/100 g) baja (<10 meq/100 g). El pH (5.2) se encuentra por debajo del nivel mínimo deseable (5.8), esto aumenta la disponibilidad de algunos microelementos y disminuye las de los elementos Ca y Mg. No presenta problemas de sales. El Ca (1.67 meq/100 g), el Mg (0.64 meq/100 g), el K (0.13 meq/100 g), se presentan por debajo de los niveles deseables (<5, >1.5 y >0.45 meq/100 g, respectivamente). Las relaciones Ca/Mg (2.60), Mg/K (4.80) y Ca+Mg/K (7.40) se presentan dentro de los límites deseables (2-10, 2-12 y de 15-60, respectivamente). De los micronutrientes, el Fe con 133.7 ppm se presenta muy elevado (> 10 ppm), mientras que Mn (4.5 ppm), Cobre (1.7 ppm) y zinc (1.9 ppm) se presentan bajo (<10, 3 y 3ppm). El P (126 ppm) se presenta muy elevado (>128 ppm) y la MO (1.5%) se presenta baja (<3.5%).

Tabla 44. Resultados del análisis químico de las muestras de suelo de la Pita, Paso Bajito, Jarabacoa, La Vega.

Propiedades del suelo	Profundidad de los horizontes			Niveles deseables
	0-35 cm	35-110 cm	+110 cm	
pH en agua (1:2)	5.2	6.1	6.0	5.8- 6.8
CE (mmhos/cm)	0.03	0.02	0.02	<1.00
Ca (meq/100 g)	1.67	2.07	2.60	>5.00
Mg (meq/100 g)	0.64	0.79	0.81	>1.50
K (meq/100 g)	0.13	0.32	0.19	>0.45
Na (meq/100 g)	0.20	0.14	0.16	<1.25
H+Al	1.20	0.00	0.00	<1.00
CICE (meq/100 g)	8.84	3.32	3.75	10-40
Ca/Mg	2.60	2.60	3.20	2-10
Mg/k	4.80	2.50	4.30	2-12

Ca+Mg/K	17.40	8.90	18.0	15-60
PSAI (%)	31.20	0.00	0.00	<15
PS-Na	5.20	4.20	4.20	<5
Fe (ppm)	133.70	57.70	36.10	10-100
Mn (ppm)	4.50	2.70	1.30	10-50
Cu (ppm)	1.70	0.50	0.40	3-15
Zinc (ppm)	1.90	0.50	0.50	3-15
P (ppm)	126.00	16.00	17.00	>28
MO (%)	1.50	0.70	0.20	3.5-6.5

2.4.4.4. Perfiles de suelo de San José de Ocoa

2.4.4.4.1. Perfil de suelo en Sabana Larga, San José de Ocoa

El perfil 9 (Figura 15 y Tabla 45) está ubicado en Sabana Larga de San José de Ocoa en los 18°20' 55.536" LN y 70°17' 53.555" LO y altitud de 554 msnm. Al punto de vista físico, presenta un epipedón de 40 cm de profundidad (0- 40 cm) de color marrón oscuro (7.5 YR3/3) en húmedo, tiene una textura franco-arenosa, estructura granular, raíces abundantes medias y finas con alta actividad biológica. Sin piedras ni concreciones en todo el perfil. Límite claro y plano, no reacción al HCl y pH de 7.8. Luego presenta un horizonte de 30 cm de profundidad (30- 70 cm) de color marrón oscuro (7.5 YR3/3) en húmedo, textura franco-arenosa, estructura granular, raíces abundantes medias y finas. Baja actividad biológica. Presenta piedras pequeñas y fragmentos rocosos. Límite claro y plano, no reacción al HCl y pH de 8.0. Finalmente, presenta un horizonte sobre los 70 cm de color marrón (7.5YR4/4), textura franco-arenosa y sin estructura, con abundantes piedras, límite claro y plano; además, presenta un pH de 8.5.



Figura 15. Perfil de suelo de Sabana Larga, San José de Ocoa.

Al punto de vista químico (Tabla 46), el epipedón presenta una CICE de 36.94 meq/100 g que se encuentra dentro de los límites deseables (10- 40 meq/100 g). El pH (7.8) se presenta por encima del nivel máximo deseable (6.8). No presenta problemas de sales. Los elementos Ca (31.16 meq/100 g), Mg (4.43 meq/100 g) y K (0.92 meq/100 g) están por encima de los niveles mínimos deseable (>5, 1.50 y 0.45 meq/100 g, respectivamente, mientras que el ion Na (0.44 meq/100 g) se encuentra dentro del límite deseable para este elemento (<1.25 meq/100 g), de ahí que el PSNa (1.20%) es menor de 1.25. Todas las relaciones Ca/Mg (7.10), Mg/K (4.80) y Ca+Mg/K (36.94) se encuentran dentro de los límites deseables (2-10, 2-12 y 15-60, respectivamente). Los micronutrientes Fe (9.9 ppm), Mn (3.40 ppm), Cu (2.6 ppm) y el Zn (0.10 ppm) están por debajo de los niveles mínimos deseables (10, 10,3 y 3, respectivamente). El P (41 ppm) se presenta elevado (>28 ppm) y la MO (2%) se presenta baja (<3.5%).

Tabla 45. Descripción del perfil de suelo de Sabana Larga, San José de Ocoa.

No.	9
Dueño	Nery Soto
Localización	Sabana Larga, San José de Ocoa
Coordenadas	18°20' 55.536" LN y 70°17' 53.555" LO
Altitud	554 msnm
Relieve	Plano
Pendiente	3%
Material Parental	Ígnea
Vegetación natural	Bosque secundario
Uso de la tierra	Producción de tomates
Erosión	No visible
Pedregosidad	Muchas pequeñas
Rocosidad	Ninguna
Drenaje natural	Rápido
Profundidad de los horizontes:	
0-40 cm	Color marrón oscuro (7.5YR3/3) en húmedo, textura arenoso franco, estructura granular, raíces abundantes medias y finas, alta actividad biológica. No presenta ni piedras pequeñas ni concreciones, límite claro y plano, no reacción al HCl, pH de 7.8.
40-70 cm	Color marrón (7.5YR4/4), textura franco-limosa, estructura en bloques medios y débiles, raíces pocas y finas. Baja actividad biológica. Con piedras pequeñas y fragmentos rocosos. Límite claro y plano. No reacción al HCl y pH de 8.0.

+70 cm	Color marrón (7.5YR4/4), textura franco-arenosa, sin estructura. Raíces ausentes. Con abundantes piedras. Límite claro y plano. No reacción a HCl. pH de 8.5.
--------	---

Tabla 46. Resultados del análisis químico del perfil de suelo de Sabana Larga, San José de Ocoa.

Propiedades del suelo	Profundidad			Niveles deseables
	0-40 cm	40-70 cm	+70 cm	
pH en agua (1:2)	7.80	8.00	8.50	5.8- 6.8
CE (mmhos/cm)	0.43	0.22	0.11	<1.00
Ca (meq/100 g)	31.16	31.86	29.04	>5.00
Mg (meq/100 g)	4.43	7.34	4.75	>1.50
K (meq/100 g)	0.92	0.08	0.09	>0.45
Na (meq/100 g)	0.44	0.43	0.34	<1.25
CICE (meq/100 g)	36.94	39.71	34.23	10-40
Ca/Mg	7.10	4.30	6.10	2-10
Mg/k	4.80	89.60	51.60	2-12
Ca+Mg/K	36.94	39.71	34.23	15-60
PS-Na	1.20	1.10	1.00	<5
Fe (ppm)	9.90	0.00	2.80	10-100
Mn (ppm)	3.40	1.30	1.30	10-50
Cu (ppm)	2.60	2.70	1.50	3-15
Zinc (ppm)	0.10	0.00	0.40	3-15
P (ppm)	41.00	4.00	4.00	>28
MO (%)	2.00	1.10	0.40	3.5-6.5

2.4.4.4.2. Perfil de suelo de la Estación Experimental Sabana Larga San José de Ocoa

El perfil de suelo 10 (Figura 16 y Tabla 47) está ubicado en la Estación Experimental de Sabana Larga del IDIAF en San José de Ocoa en los en los 18°20' 45.672" LN y 70°1' 49.372" LO y a una altitud de 540 msnm. Este presenta un epipedón de 33 cm de profundidad (0-33 cm) de color marrón claro (7.5 YR6/3) en húmedo, textura franco-arenosa, estructura en bloques pequeños y débiles, raíces abundantes y finas con alta actividad biológica. Presencia de algunas piedras pequeñas. Límite claro y plano, no reacción al HCl y pH de 7.6. Luego presenta un horizonte de 18 cm de profundidad (33-49 cm) de color marrón negro (7.5YR3/2) de textura franco-limosa, estructura granular. Raíces escasas y finas. Baja actividad biológica. Con abundantes piedras pequeñas. Límite claro y plano.

No reacción al HCl y pH de 8.3. Finalmente, sobre los 49 cm presenta un horizonte de color marrón negro (7.5YR3/2) de textura franco-arenosa y estructura en bloques grandes y débiles. Límite claro y plano, sin reacción al HCl y pH de 8.4.



Figura 16. Perfil de suelo de Estación Experimental Sabana Larga, San José de Ocoa.

Tabla 47. Descripción del perfil de Sabana Estación Experimental Larga, San José de Ocoa.

No.	10
Dueño	Estación Experimental de Sabana Larga
Localización	Sabana Larga, San José de Ocoa
Coordenadas	18°20' 45.672" LN y 70°1' 49.372" LO
Altitud	540
Relieve	Casi Plano
Pendiente	2%
Material Parental	Ígnea
Vegetación natural	Caoba
Uso de la tierra	Producción de mango y aguacate
Erosión	No visible
Pedregosidad	Abundantes y pequeñas
Rocosidad	Ninguna
Drenaje natural	Rápido
Profundidad de los horizontes:	
0-33 cm	Color marrón claro (7.5YR6/3) en húmedo, textura arenoso franco, estructura en bloques débiles y pequeños, raíces abundantes y finas, alta actividad biológica. Presencia de algunas piedras pequeñas. Límite claro y plano, no reacción al HCl, pH de 7.6.
33-49 cm	Color marrón negro (7.5YR3/2), textura franco-limosa, estructura granular, raíces escasas y finas. Baja

	actividad biológica. Con abundantes piedras pequeñas. Límite claro y plano. No reacción al HCl y pH de 8.3.
+49 cm	Presenta un horizonte de color marrón negro (7.5YR3/2) de textura franco-arenosa y estructura en bloques grandes y débiles. Límite claro y plano, sin reacción al HCl y pH de 8.4.

La Tabla 48 presenta los datos del análisis químico del perfil de suelo de la Estación Experimental Sabana Larga, San José de Ocoa. Al punto de vista químico, este presenta una CICE de 32.28 meq/100 g, encontrándose dentro de los límites deseables. El pH (7.6) está por encima del límite máximo deseable en esta característica (6.8). No hay problema de sales. El Ca (26.95 meq/100 g) y el Mg (4.72 meq/100 g) están dentro de los niveles deseables, mientras que el K (0.42 meq/100 g) se presenta por debajo del límite deseable (>0.45 meq/100 g). El Na se presenta dentro de lo deseable, siendo inferior a 1.25 meq/100 g. La relación Ca/Mg (5.7 meq/100 g) se presenta adecuada, así como la relación Mg/K (11.30 meq/100 g), mientras que la relación Ca+Mg/K se presenta elevada (75.54). Todos los micronutrientes analizados se encuentran por debajo de los niveles mínimos deseables. También el P (11 ppm) y la MO (1.90%) se encuentran por debajo de los niveles mínimos deseables.

Tabla 48. Resultado del análisis químico del perfil de suelo de San José de Ocoa.

Propiedades del suelo	Profundidad de los horizontes			Niveles deseables
	0-33 cm	40-70 cm	+70 cm	
pH en agua (1:2)	7.60	8.30	8.40	5.8- 6.8
CE (mmhos/cm)	0.15	0.11	0.10	<1.00
Ca (meq/100 g)	26.95	30.18	34.06	>5.00
Mg (meq/100 g)	4.72	3.17	2.70	>1.50
K (meq/100 g)	0.42	0.23	0.16	>0.45
Na (meq/100 g)	0.29	0.29	0.22	<1.25
CICE (meq/100 g)	32.28	33.87	37.14	10-40
Ca/Mg	5.70	9.50	12.60	2-10
Mg/k	11.30	14.10	16.50	2-12
Ca+Mg/K	75.54	148.20	224.60	15-60
PS-Na	0.90	0.80	0.60	<5
Fe (ppm)	6.20	6.50	4.10	10-100
Mn (ppm)	2.00	2.10	1.10	10-50
Cu (ppm)	2.60	1.50	1.10	3-15
Zinc (ppm)	0.50	0.50	0.40	3-15
P (ppm)	11.00	5.00	4.00	>28
MO (%)	1.90	0.90	0.70	3.5-6.5

2.5. Conclusiones y recomendaciones

2.5.1. Conclusiones

En general los invernaderos de la República Dominicana en su periodo inicial fueron establecidos en la modalidad de sustrato con eliminación de la capa superior de suelo y, con esto, eliminando la fertilidad natural de los mismos. Sin embargo, los resultados de la investigación han demostrado que los invernaderos establecidos sobre suelo no presentan limitaciones para la producción. Ya que no presentan limitaciones de fertilidad para la producción de vegetales. Esto se concluye en base a los resultados de suelo tanto en superficie como en los perfiles realizados en las cinco localidades.

Se concluyó que los suelos de Villa Trina presentan el mayor pH y CICE y los de Jarabacoa la menor. La materia orgánica está adecuada en San José de Ocoa y Moca (3.5- 4.10%) y baja en las otras localidades estudiadas. El 53 % mostró niveles bajos de materia orgánica (<3.5 %). Los mayores niveles de micronutrientes los presentan los suelos de Jarabacoa Fe (108.18 ppm), Mn (24. 62 ppm), Cu (11.16 ppm) y Zn con (7.93 ppm), además, de P con (494.81 ppm). Los mayores niveles promedios de bacterias, hongos en Ocoa, actinomicetes y número total de nematodos lo presentan los suelos de Constanza. El género de nematodos más común en todas las localidades fue el *Rhabditida*. Estos suelos no presentan limitaciones de fertilidad para la producción de vegetales.

2.5.2 Recomendaciones

De acuerdo con los resultados de los análisis realizados en los invernaderos que utilizan los suelos para la producción de vegetales, se recomienda a los productores a desinfectar sus suelos y establecer la producción en invernadero sin eliminación de los mismos y con esto bajar costos de producción al eliminar o reducir el uso de los sustratos, para evitar el ataque de plagas por no desinfectar los suelos.

2.6. Agradecimientos

Se agradece a los 40 productores de vegetales presentes en las cinco localidades de estudio por permitir el muestreo de los suelos en los invernaderos y construcción de los perfiles, además de ofrecer informaciones de manejo de los sistemas productivos.

2.7. Referencias bibliográficas

- Abad, B. M. 1993. Sustratos, características y propiedades. Curso superior de especialización. FIAPA-IEA. Almería, ES.
- Adriaanse, A. 1993. Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.
- Ansorena, M. J. 1994. Sustratos, propiedades y características. Ed. Mundi prensa. España.
- Arias, J.P., Núñez, P.A. 2014. Manejo de suelo y agua. pp. 33-42. Cita del libro: Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (Coniaf). Invernaderos Tropicales. CONIAF, Santo Domingo, DO. 184 p.
- Arshad, M.A. y Coen, G.M. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. American J. of Alternative Agriculture 7: 25-31.
- Astier, C.M., Mass-Moreno, M. y Etchevers, B.J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. Agrociencia 36: 605-620.
- Bautista C., A. Etchevers, B. J, Del Castillo, R. F., Gutiérrez, C. 2004. Calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistema, mayo- agosto, anno/vol. XIII, número 002, Asociación española de Ecología Terrestre, Alicante ES.
- Brea, P. J. C. 2015. La fertilidad del suelo y el laboreo. Seminario o manexo do solo e a fertilidade en agricultura ecoloxica. Rua Benigno Lode, Brasil.
- Canovas, M. F. 1991. Cultivos sin suelos. Curso Internacional sobre Aerotécnica del cultivo en invernaderos. FIAPA-IFA. Almería, ES.
- Cantú MP, Becker A, Bedano JC, Schiavo HF. Evaluación de la Calidad de Suelos mediante el uso de Indicadores e Índices. Ciencia del Suelo. 2007;25(2):173-178.
- Clark, F. J. 1965. Agar-Plate Method for total microbial count Part 2. Chemical and microbiological properties. (D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger and F. E., Clark, eds.), Vol. 9, pp. 1460-1466. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin USA.
- Díaz, F. R. S. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernaderos. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y producción Torreón, Coah, México, octubre 13, 14 y 15 del 2004. Editores: Sánchez R., F.J., A. Moreno R., J.L. Puente M. y J. Araiza Ch. 44-52 p. MX.
- Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C. 1998. Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank, Washington DC, USA.

- Gallardo, C. 2008. Sustratos para plantas, tipos y principales características. En: Tratamiento integral de residuos sólidos. Universidad Nacional de Entre Ríos, Paraná Argentina. Visitado en abril 2008. AR.
- Goodland, R. y H. Daly. 1996. Environmental sustainability: universal and non-negotiable. *Ecological Applications* 6:1002- 1017.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M. y Ellert, B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian J. of Soil Science* 74: 367-386. CA.
- Hünemeyer, J.A., De Camino, R. y Müller, S. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. y Schuman, G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10.
- López, G., Almonte, I., Pérez, A., Sotomayor-Ramírez, D., Núñez, P.A. 2014. Caracterización biológica de suelos y sustratos empleados en la producción de vegetales en invernaderos. *Revista Argentina de la Ciencia del Suelo*, 32 (1): 29-39.
- Martínez, C. 2018. Socialización de resultados de investigación en cultivos bajo ambiente controlado: Capítulo 5. Análisis económico de la producción de vegetales en invernaderos. Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (CONIAF). Santo Domingo. 204 p.
- NOVAGRIC. 2015. Ventajas de la producción en invernadero. Disponible en: Ventajas de la Producción en Invernaderos (novagric.com). Consultado el 14 de julio del 2022.
- Núñez, P.A., Almonte, I., Avilés, E., Pérez, A., Martínez, C., López, G. 2012. Caracterización de suelos y sustratos provenientes de invernaderos dedicados a la producción de vegetales. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar de Plata, Argentina, del 16 al 20 de abril de 2012. Documento extenso en CD. 1-5 p.
- Page, A.L.; Miller, R.H. and Keeney, D.R. (Eds). 1982. *Method of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Second edition. American Society of Agronomy, Soil Science. Society of America, Madison
- Singer, M.J. y Ewing, S. 2000. Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC.
- Sparling, G.P. 1997. Soil Microbial Biomass, Activity and Nutrient Cycling, as Indicators of Soil Health. En *Biological Indicators of Soil Health* (eds. Pankhursts, C.E., Doube, B.M. y Gupta, V.S.R.), pp. 97-105, Cab International, Oxon, UK.

- SQL-Soil Quality Institute. 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
- Stotzky, G. 1965. Microbial respiration Part 2. Chemical and microbiological properties. (D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger and F. E., Clark, eds.), Vol. 9, pp. 1550-1572. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin USA.
- Urrestarazu, M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª Ed. (ed.) Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería. Mundi-Prensa.

2.8. Anexos

Anexo 2.8.1. Tabla 49. Porcentajes de arena (R), limo (L) y arcilla (A) y clase de textura por muestra de suelo.

Código	Identificación de las muestras	Porcentajes			Textura
		R	L	A	
GVT2	Los Guayos, Villa Trina, Espaillat	19	68	13	AL
GVT4	Los Guayos, Villa Trina, Espaillat	15	70	15	AL
GVT7	Los Guayos, Villa Trina, Espaillat	9	66	25	AL
GVT8	Los Guayos, Villa Trina, Espaillat	19	36	45	A
GVT9	Los Guayos, Villa Trina, Espaillat	12	75	13	AL
GVT10	Los Guayos, Villa Trina, Espaillat	20	63	17	AL
GVT11	Los Guayos, Villa Trina, Espaillat	18	67	15	AL
GVT12	Los Guayos, Villa Trina, Espaillat	12	65	23	AL
MVT20	El Mogote, Moca, Espaillat	14	75	11	AL
MVT21	El Mogote, Moca, Espaillat	18	71	11	AL
MVT22	El Mogote, Moca, Espaillat	18	69	13	AL
MVT24	El Mogote, Moca, Espaillat	16	67	17	AL
MVT25	El Mogote, Moca, Espaillat	17	32	51	A
SM27	El Salitre, Moca, Espaillat	21	41	39	FA
SM28	El Salitre, Moca, Espaillat	23	33	45	A
LCJ8	La Colonia, La Vega, Jarabacoa	23	24	53	FA
PVBJ19	Piedra Blanca, Jarabacoa, La Vega	37	32	31	FA
PVBJ20	Piedra Blanca, Jarabacoa, La Vega	27	31	43	A
LJPB4	La Jagua, Paso Bajito, Jarabacoa, La Vega	37	32	43	A
MPBJ42	Masipetro, Paso Bajito, Jarabacoa, LV	27	31	15	FA
LPPBJ43	La Pita, Paso Bajito, Jarabacoa, La Vega	59	27	13	F
LPPBJ53	La Pita, Paso Bajito, Jarabacoa, La Vega	43	45	39	FA
LPPBJ54	La Pita, Paso Bajito, Jarabacoa, La Vega	41	21	17	F
LPPBJ57	La Pita, Paso Bajito, Jarabacoa, La Vega	48	35	27	FAR
LPPBJ58	Masipetro, Paso Bajito, Jarabacoa, LV	46	27	31	FAR
LJJ62	La Joya, Jarabacoa, La Vega	46	23	11	F
LPPBJ63	La Pita, Paso Bajito, Jarabacoa, La Vega	50	39	9	FL
LPPBJ64	Pita, Paso Bajito, Jarabacoa, La Vega	36	55	11	F
SB67	Salto Bayguate, Jarabacoa, La Vega	52	37	19	FL
LPPBJ69	La Pita, Paso Bajito, Jarabacoa, La Vega	54	27	31	FA
CL-6	Los Cerros, Constanza, La Vega	27	36	37	FA
CL-7	Los Cerros, Constanza, La Vega	33	44	23	F
CLP-10	La Planta, Constanza, La Vega	35	32	33	FA
LBSJO-4	La Barra, San José de Ocoa	49	44	7	FR
LBSJO-5	La Barra, San José de Ocoa	55	30	15	FR
LBSJO-13	La Pereza, San José de Ocoa	33	32	35	FA
LPSJO14	La Pereza, San José de Ocoa	37	30	33	FA
SLSJO-20	Sabana Larga, San José de Ocoa	61	28	11	FR
ENASJO-25	El Naranjal Arriba, San José de Ocoa	29	34	37	FA
ENASJO-26	El Naranjal Arriba, San José de Ocoa	39	30	31	FS

LV = La Vega.

3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LOS SUSTRATOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE VEGETALES EN INVERNADEROS DEL CIBAO CENTRAL Y SAN JOSÉ DE OCOA

Aridio Pérez, Isidro Almonte, Glenny López, Elpidio Avilés Quezada, César Martínez y Pedro Antonio Núñez Ramos

3.1. Resumen

En la República Dominicana la producción de vegetales en invernaderos se realiza sobre suelos o sustratos. En las provincias de Espaillat, La Vega y San José de Ocoa, los sustratos no han sido caracterizados, por lo tanto, la fertilización se fundamenta en la experiencia extrapolada de los productores. El objetivo fue determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos provenientes de 128 invernaderos (128 muestras) de cinco localidades de República Dominicana. Se realizó en las localidades de: Moca (MO), Villa Trina (VT) (provincia Espaillat), Constanza (CO), Jarabacoa (JA) (provincia La Vega) y San José de Ocoa (SJO). La estimación del tamaño de la muestra se obtuvo a partir de un muestreo probabilístico con un nivel de confianza de 95 %. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva. Se encontró diferencias en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos, variando con la localidad. Las propiedades de los sustratos variaron con el tipo de mezcla y su procedencia. Además, el sustrato con mayor frecuencia de uso fue carbón de cascara de arroz (70 %) combinado con grava (30 %). Los resultados sugieren que el manejo de los sustratos en los invernaderos debe hacerse por localidad, considerando sus propiedades.

3.2. Introducción

La producción de vegetales en ambiente controlado en la República Dominicana se ha intensificado en la última década. Esta actividad se desarrolla principalmente en zonas del Cibao Central (La Vega, Constanza, Jarabacoa, Villa Trina, Moca) y otras localidades como: San José de Ocoa, Dajabón, Santiago Rodríguez, Santiago, San Juan de la Maguana, Sánchez Ramírez, Monte Plata, Azua, Santo Domingo, Peravia, Barahona y Bahoruco. Según las estadísticas de PROMEFRIN (2009), el área instalada sobrepasa las 300 hectáreas. Los cultivos de mayor incidencia en estas estructuras corresponden a pimiento (*Capsicum annuum* L), pepino (*Cucumis sativus* L) y tomate (*Lycopersicon esculentum* L).

Durante el período 2004-2008 la producción de vegetales correspondió a unos 43.3 millones de libras de vegetales y un volumen exportado de 29.7 millones de libras con ingreso generado de US\$25.1 millones. A nivel local se vendió 13.6 millones de libras con ingreso de RD\$ 358 millones de pesos (PROMEFRIN, 2009).

En los invernaderos de República Dominicana existen un sin número de limitaciones que están afectando su rentabilidad y sostenibilidad. De acuerdo a un diagnóstico realizado por el IDIAF en el 2008, esto es atribuido en parte a factores de manejo de sustratos y suelos. Además, en gran medida las tecnologías que se usan fueron introducidas desde países templados, sin los ajustes correspondientes (IDIAF, 2008).

En lo que respecta a la producción, en el país existen dos modalidades: en camas con sustrato y directamente en el suelo. Los sustratos pueden ser de origen local o importado. Se estima que el 85 % de los productores que cultivan vegetales en invernaderos usan camas con sustratos y el 15 % utiliza directamente utilizan suelo (PROMEFRIN, 2008).

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo, ya sea natural o de síntesis, residual, mineral u orgánico, que, al ser colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, sirviéndole de soporte. Los diferentes materiales que se utilizan para la fabricación de sustrato se clasifican en orgánicos e inorgánicos atendiendo a su origen. Una ventaja importante de los sustratos con respecto al cultivo en suelo es que los sustratos tienen una alta porosidad (>85%), de la cual una buena proporción debe ser de macroporos; mientras que en un suelo la porosidad total en algunas ocasiones puede alcanzar apenas un 50 % en suelos bien drenados (Díaz, 2004).

Antes de utilizar un sustrato en explotaciones comerciales es importante el conocimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, de esto depende el éxito o el fracaso de una buena producción de las partes que se comercializan de un cultivo hortícola (Díaz, 2004).

En un diagnóstico sobre fertilidad de suelos y nutrición de plantas para el manejo sostenible de la agricultura en la República Dominicana realizado por el IDIAF, donde se evaluaron las propiedades físico-químicas y biológicas de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos (Pérez *et al.*, 2008), se caracterizaron diferentes abonos orgánicos (bokashi, compost, lombricompost, residuos animales y vegetales) y se analizaron materiales orgánicos de uso frecuente en producción de cultivos (cascarilla de arroz, tierra de bosque y pulpa de café). Sin embargo, en la misma se señala que en el país no se ha documentado que existan trabajos de investigación sobre caracterización de sustratos de uso común en los invernaderos. Aunque este estudio es diferente, pues usaron enmiendas orgánicas y en el invernadero se usan como soportes.

Es importante conocer las propiedades, niveles nutricionales, componentes y composición tanto físicas, químicas y biológicas que permitan hacer uso adecuado de los mismos. En respuesta a la inexistencia de este tipo de información se realizó el estudio con el objetivo de

caracterizar los sustratos (física, química y biológicamente) utilizados en la producción de vegetales en invernaderos del Cibao Central y San José de Ocoa.

3.3. Materiales y métodos

3.3.1. Tipo de investigación

Este es un estudio no experimental donde sólo se empleó la estadística descriptiva. Se presentan las informaciones más relevantes de los sustratos evaluados y se describen las características físicas, químicas y biológicas.

3.3.2. Localización de los sitios de muestreo

El estudio se realizó en las localidades de: Moca (MO), Villa Trina (VT) (provincia Espaillat, 19° 23' N y 70° 31' O), Constanza (CO), Jarabacoa (JA) (provincia La Vega, 19° 14' N y 70° 31' O) y San José de Ocoa (SJO) (18° 33' N - 70° 30' O).

3.3.3. Cálculo y estratificación de muestras

La recolección de las muestras consistió en la selección de 128 invernaderos, considerando el total de dichas estructuras establecidas en las cinco localidades de estudio. El tamaño de la muestra fue calculado aplicando el Programa Stats (2002), utilizando una población de 197 invernaderos. El tamaño muestral fue proporcional al número de invernaderos por localidad. El número de muestras por localidad se presentan en el Tabla 50.

Tabla 50. Estratificación de las muestras por localidades y tipo de invernaderos.

Localidades	Tamaño muestra (n)/ tipo invernadero		Total
	Tecnificado	Artisanal	
Jarabacoa	43	10	53
Constanza	20	5	25
San José de Ocoa	30	6	36
Villa Trina	6	2	8
Moca	5	1	6
Total	104	24	128

La estimación del tamaño de la muestra se obtuvo a partir de un muestreo probabilístico con un nivel de confianza de 95 %. Se determinó el tamaño muestral (n) distribuyendo el total de unidades en forma proporcional al número de invernaderos en cada una de las localidades evaluadas. Se aplicaron los siguientes algoritmos:

$$n_p = \frac{Z^2 N p q}{d^2 (N - 1) + [Z^2 p q]} \quad (1)$$

Donde:

np : Tamaño de la muestra para poblaciones pequeñas.

Z : Desviación en relación a la distribución normal a un intervalo de confianza de 95%.

d : Grado de precisión deseado. Generalmente 5 o 2.

p : Proporción de la población que se estima que presenta la característica. Use 50 si se desconoce

q : Proporción que no presenta la característica. $q=1-p$

N : Tamaño estimado de la población en estudio.

3.3.3.1. Proceso de muestreo y manejo de las muestras

Se recolectaron 128 muestras de sustratos (14 invernaderos de Villa Trina, 25 en Constanza, 53 en Jarabacoa y 36 en San José de Ocoa). A pesar de que se tomó en cuenta para el cálculo del tamaño muestral el número de invernaderos de Moca, en esta localidad no se encontraron estructuras con producción en la modalidad de sustratos.

Las muestras fueron tomadas en camas seleccionadas al azar en los invernaderos evaluados y se tomaron ocho submuestras, a una profundidad de 15 cm, para obtener una muestra compuesta de 2 kg, de los cuales se separaron 1.5 kg para el análisis físicoquímico y 0.5 kg para el análisis microbiológico. Las muestras fueron colectadas y analizadas en el período comprendido entre los meses de octubre 2009 y mayo 2010. Para el caso de los análisis físicos y químicos las muestras se colocaron en bolsas de polietileno y en el caso del análisis microbiológico las muestras se colocaron en recipientes totalmente asépticos a 4 °C en condiciones de refrigeración y luego se trasladaron al laboratorio para su análisis.

3.3.4. Parámetros evaluados

Se analizaron los parámetros físicos, químicos y biológicos en las diferentes muestras de sustratos. Los indicadores físicos-químicos analizados fueron: densidades aparente y real, porcentaje de saturación, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn) (Tabla 51). Los análisis físicos se realizaron en el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) y los análisis químicos en el Laboratorio de Análisis de suelos del Centro de Tecnología Agrícola (CENTA) del IDIAF.

Tabla 51. Métodos de análisis físicos-químicos utilizados por el laboratorio de referencia (ISFEIP, 1972; American Society of Agronomy, 1982).

Indicadores / Parámetros	Método
N, Ca, Mg, Fe Cu, Mn y Zn	Digestión ácido nítrico-perclórico – Absorción atómica
Potasio (K)	Extracción ISFEIP. – Colorimetría
pH, en agua	Relación 1:2 – Potenciometría
Conductividad eléctrica (CE)	Relación 1:2 – Conductimetría
Humedad (%)	Diferencia de peso húmedo y seco.
Carbono total (%)	Walkey y Black
Materia orgánica (%)	Walkey y Black
Nitrógeno total (%)	Método Kjeldahl (Destilación)
% de saturación	Contenido de humedad máximo de pasta saturada
Punto marchitez permanente	Contenido de humedad en sustratos en membrana de presión a 15 atm
Capacidad de campo	Humedad contenida en el medio sometido en plato poroso a 1/3 de atm
Curva de retención de humedad	Contenido de humedad del sustrato en anillo de presión a 1/3, 2/3 y 15 atm para el trazado de la curva
Densidad aparente	Determinada por el método del anillo
% de porosidad	Determinación por la relación entre la densidad real y la densidad aparente
Densidad real	En base al promedio de otros estudios
Color	Tabla Munsell

N= nitrógeno, K= potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, Fe= hierro, Cu= cobre, Mn= manganeso, Zn= zinc,

Los análisis microbiológicos se determinaron por medio de recuento en placa, utilizando *Agar* como medio de cultivo ajustado a pH 7.0. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Protección Vegetal en la Estación Experimental de Mata Larga, San Francisco de Macorís. Los grupos microbiológicos reportados fueron: aerobios mesófilos totales, hongos, levaduras y actinomicetos por el método de conteo en placas expresado en logaritmo de unidades formadoras de colonias por gramo de muestra (UFC/ g).

3.3.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en el programa estadístico INFOSTAT (2009). Se aplicó estadística descriptiva (promedio, error estándar y valores máximos y mínimos) y los datos sobre las características de los sustratos fueron agrupados en tablas para su comparación e interpretación.

3.4. Resultados y discusión

3.4.1. Frecuencia de uso de sustratos en las localidades de muestreo

En las zonas de muestreo se identificaron ocho tipos de sustratos y diez tipos de mezclas. Estas modalidades varían con las localidades de los invernaderos de Villa Trina, Constanza, Jarabacoa y San José de Ocoa (Tabla 52).

Tabla 52. Material evaluado en invernaderos de Moca, Villa Trina, Constanza, Jarabacoa y San José de Ocoa.

Clase de Sustrato	Número de muestras evaluadas			
	Villa Trina	Constanza	Jarabacoa	Ocoa
CA (100)	-	10	2	1
CA+AR (75-25)*	-	-	4	-
CA+CAS (50-50) *	-	-	2	-
CA+CAS+GR (70-20-10) *	-	2	2	-
CA+FIB (80-20)	-	1	-	-
CA+GR (70-30)*	12	11	33	20
FIB (100)	2	1	2	15
FIB+ABORG (50-50)*	-	-	1	-
FIB+CA (80-20)*	-	-	7	-
FIB DES+CA+GR (50-40-10)*	-	-	-	-
Total	14	25	53	36

CA= carbón de cascarilla de arroz, AR=arena, CAS=cascarilla arroz sin quemar, GR=grava, FIB= fibra de coco, ABORG=abono orgánico, DES= descompuesta. * proporciones de las mezclas entre paréntesis.

Se encontraron ocho tipos de sustratos, muchos utilizados de formas combinadas entre sí y otros utilizados como sustrato solo (CA y FIB). Los sustratos combinados encontrados fueron: carbón de cáscara de arroz (70%) + grava (30%) [CA+GR (70-30)]; carbón de cáscara de arroz (70%) + cascara de arroz (20%) + grava (10%) [CA+CASC+GR (70-20-10)]; carbón de cáscara de arroz (75%) + arena (25%) [CA+AR (75-25)]; carbón de cáscara de arroz + cáscara de arroz natural [CA+CAS]; fibra de coco + abono orgánico [FIB+ABORG] y fibra de coco descompuesta + grava [FIB+DESC+GR]. Los sustratos encontrados en su forma simple fueron: carbón de cáscara de arroz [CA] y fibra de coco [FIB] (Tabla 52).

Según los resultados, de los sustratos evaluados, se encontró con mayor frecuencia el uso de carbón de cascarilla de arroz (70%) combinada con grava en un 30%, en todas las localidades (Tabla 52, Figura 17). Este sustrato se encontró en una frecuencia de uso de 86 % en Villa Trina, 44 % en Constanza, 62 % en Jarabacoa y 56 % en San José de Ocoa (Tabla 52). Es notorio el hecho de que en San José de Ocoa la fibra de coco es utilizada en 42 %, esto es una alta proporción.



Figura 17. Sustrato de carbón de cascarilla de arroz (70 %) combinada con grava en un 30 %, que es el de mayor frecuencia en uso, en todas las localidades evaluadas.

3.4.2. Resultados de las características físicas de los sustratos en las localidades estudiadas

Los resultados físicos obtenidos a partir de los sustratos provenientes de invernaderos de Villa Trina, Constanza, Jarabacoa y San José de Ocoa se presentan en las Tablas 53 y 54.

3.4.2.1. Características físicas de los sustratos de Villa Trina

Los resultados mostrados en la Tabla 53 indican que el valor promedio de densidad aparente fue de 0.5 gr/ml para la CA+GR (70 30). Mientras que para la FIB la densidad fue de 0.2 gr/ml. En lo que concierne al porcentaje de saturación el valor promedio fue 184.6 gr/ml para la CA+GR (70 30) y 310gr/ml para la FIB. La porosidad promedio fue de 81.9 % para la CA+GR (70 30) y 93.9 % para FIB.

Tabla 53. Características físicas de los sustratos cascarilla de arroz + grava [CA+GR (70-30)] y fibra de coco [FIB] utilizados en los invernaderos de Villa Trina.

Propiedades físicas/sustrato	Media	Error estándar	Mínima	Máxima	Mediana
Cascarilla de arroz + grava [CA+GR (70-30)]					
Da (g/cm ³)	0.5	0.05	0.2	0.7	0.5
Porosidad (%)	81.9	1.72	74.1	93.2	79.5
CC (1/3 Atm)	44.7	2.32	36.7	63.2	44.2
PMP (15 Atm)	26.6	1.45	21.5	38.1	26.2
Saturación (%)	184.6	4.98	140.0	205.0	180.0
Fibra de coco [FIB]					
Da (g/cm ³)	0.2	0.02	0.2	0.2	0.2
Porosidad (%)	93.9	0.52	93.4	94.4	93.9
CC (1/3 Atm)	38.7	6.59	32.1	45.3	38.7
PMP (15 Atm)	22.7	4.15	18.5	26.8	22.7
Saturación (%)	310.0	90.00	220.0	400.0	310.0

CC= capacidad de campo; PMP= punto de marchitez permanente.

Los valores indicados para los parámetros densidad y porosidad son (<0.5 g/cm³) en CA+GR y FIB y (>80%), respectivamente para ambos sustratos. Considerando los parámetros físicos señalados, ambos materiales, pueden considerarse apropiados para utilizarlos como sustratos para el cultivo de vegetales en invernaderos para Villa Trina. Estos valores de parámetros físicos concuerdan con lo reportado por Días (2004).

3.4.2.2. Características físicas de los sustratos de Constanza

Los resultados (Tabla 54) indican que el mayor valor promedio de densidad aparente (Da) fue de 0.77 gr/ml, para el sustrato FIB, siendo el menor valor 0.41 gr/ml que corresponde al sustrato CA+CAS+GR (70 20 10). Por lo que respecta al porcentaje de humedad de saturación, el valor mayor fue 200 para los sustratos CA+CAS+GR (70 20 10), FIB y FIB+DES+CA+GR (50-40-10). Mientras que el menor valor, 194, reportado para el material CA. Por lo que concierne a la porosidad, el mayor valor de esta, 82.17, se presenta en el sustrato CA+CAS+GR (70 20 10). Los sustratos con los mejores parámetros físicos, en esta localidad están relacionados con aquellos que tienen como base carboncillo más cáscara de arroz, por presentar menor densidad aparente y mayor porosidad; en la Figura 18, se observa una plantación de ají morrón en este tipo de sustrato.

Tabla 54. Características físicas de los sustratos de uso común en invernaderos de Constanza.

Propiedades físicas/sustrato	Media	Error estándar	Mínima	Máxima
Carboncillo de Cascarilla de arroz [CA]				
Da (g/cm ³)	0.7	0.07	0.4	1.0
Porosidad (%)	72.2	2.63	57.4	82.1
CC (1/3 Atm)	40.0	4.09	21.6	59.7
C (2/3 Atm)	34.8	3.67	17.5	50.2
PMP (15 Atm)	23.0	2.70	12.0	35.9
Saturación (%)	194.0	3.06	180.0	200.0
Carboncillo de cáscara de arroz + Cáscara de arroz + grava CA+CAS+GR (70-20-10)				
Da (g/cm ³)	0.4	0.00	0.4	0.4
Porosidad (%)	82.2	0.00	82.2	82.2
CC (1/3 Atm)	40.1	6.13	34.0	46.2
C (2/3 Atm)	35.5	4.90	30.6	40.4
PMP (15 Atm)	23.6	3.85	19.7	27.4
Saturación (%)	200.0	0.00	200.0	200.0
Carboncillo de cáscara de arroz + Fibra de coco [CA+FIB]				
Da (g/cm ³)	0.8		0.8	0.8
Porosidad (%)	71.1		71.1	71.1
CC (1/3 Atm)	32.8		32.8	32.8
C (2/3 Atm)	29.2		29.2	29.2
PMP (15 Atm)	19.0		19.0	19.0
Saturación (%)	200.0		200.0	200.0
Carboncillo de Cáscara de arroz + Grava [CA+GR (70/30)]				
Da (g/cm ³)	0.7	0.05	0.4	0.9
Porosidad (%)	70.0	2.37	60.0	81.0
CC (1/3 Atm)	30.8	3.52	14.8	44.6
C (2/3 Atm)	26.4	3.19	11.3	38.4
PMP (15 Atm)	17.6	2.20	7.6	26.4
Saturación (%)	200.0	7.14	180.0	260.0
Fibra de Coco Descompuesta + Carboncillo de cáscara de arroz FIB+DES+CA+GR (50-40-10)				
Da (g/cm ³)	0.8		0.8	0.8
Porosidad (%)	67.4		67.4	67.4
CC (1/3 Atm)	23.1		23.1	23.1
C (2/3 Atm)	20.2		20.2	20.2
PMP (15 Atm)	12.9		12.9	12.9
Saturación (%)	200.0		200.0	200.0

CC= capacidad de campo; PMP= punto de marchitez permanente. [CA+CAS+GR (70-20-10)] = Carboncillo cascarilla de arroz (70%) combinada con cascarilla de arroz (20%) sin quemar y grava (10%); FIB+DES+CA+GR (50-40-10) = fibra de coco descompuesta combinada con cascarilla de arroz y grava.



Figura 18. Cultivo de pimiento morrón desarrollado en sustrato de cascarilla de arroz + grava [CA+GR (70-30)].

3.4.2.3. Características físicas de los sustratos de Jarabacoa

Los resultados (Tabla 55) mostraron que los materiales con la menor densidad aparente (D_a) fueron: FIB+ABORG, FIB, CA+AR (75-25), FIB+CA (80-20) con 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 gr/ml, respectivamente. Mientras que los sustratos con la mayor porosidad fueron: CA, CA+CAS y CA+GR (70 30) con 0.7 0.6 gr/ml, respectivamente. De igual manera, los materiales con la mayor porosidad fueron: FIB+ABORG, FIB y FIB+CA (80-20), con 90, 88 y 79 %, respectivamente. Estos sustratos son los que presentaron los mejores indicadores físicos de todos los materiales evaluados en la localidad de Jarabacoa, debido a que los mismos están dentro de los niveles deseables, reportados por Díaz (2004).

Tabla 55. Características físicas de los sustratos de uso común en invernaderos de Jarabacoa.

Propiedades físicas/sustrato	Media	Error estándar	Mínima	Máxima
Carboncillo de cáscara de arroz [CA]				
Da (g/cm ³)	0.7	0.38	0.3	1.1
Porosidad (%)	69.6	16.53	53.0	86.1
CC (1/3 Atm)	43.6	3.75	39.9	47.4
C (2/3 Atm)	36.5	3.90	32.6	40.4
PMP (15 Atm)	25.8	2.40	23.4	28.2
Saturación (%)	192.5	20.50	172.0	213.0
Carboncillo cáscara de arroz (75%) + arena (25%) [CA+AR]				
Da (g/cm ³)	0.4	0.06	0.3	0.6
Porosidad (%)	81.5	2.41	75.2	86.1
CC (1/3 Atm)	28.2	5.29	14.2	39.0
C (2/3 Atm)	23.5	5.06	10.2	33.9
PMP (15 Atm)	16.1	3.33	7.3	22.9
Saturación (%)	131.8	9.78	106.0	152.0
Carboncillo de cáscara de arroz + Cáscara de arroz [CA+ CAS]				
Da (g/cm ³)	0.7	0.37	0.3	1.0
Porosidad (%)	71.7	16.09	55.7	87.8
CC (1/3 Atm)	35.2	6.31	28.9	41.5
C (2/3 Atm)	29.8	8.55	21.2	38.3
PMP (15 Atm)	25.5	8.95	16.5	34.4
Saturación (%)	115.0	49.00	66.0	164.0
Carboncillo de cáscara de arroz + Cáscara de arroz + Grava (CA+ CAS+ GR)				
Da (g/cm ³)	0.4	0.10	0.3	0.5
Porosidad (%)	82.4	4.13	78.3	86.5
CC (1/3 Atm)	49.4	4.81	44.6	54.2
C (2/3 Atm)	42.1	5.85	36.2	47.9
PMP (15 Atm)	28.3	1.85	26.4	30.1
Saturación (%)	160.0	20.00	140.0	180.0
Carboncillo de cáscara de arroz (70%) + (Grava 30%) CA+ GR (70 30)				
Da (g/cm ³)	0.6	0.06	0.2	1.1
Porosidad (%)	74	2.43	54.3	89.6
CC (1/3 Atm)	54.4	2.26	22.4	72.9
C (2/3 Atm)	48.8	2.19	18.9	64.6
PMP (15 Atm)	33.8	1.49	12.5	44.2
Saturación (%)	168.6	10.34	40	337
Fibra de coco (FIB)				
Da (g/cm ³)	0.3	0.00	0.3	0.3
Porosidad (%)	88	0.22	87.4	87.8

CC (1/3 Atm)	62	1.61	60.8	64.0
C (2/3 Atm)	55	1.90	53.0	56.8
PMP (15 Atm)	38	1.00	36.5	38.5
Saturación (%)	313	38	275	350
Fibra de coco + Abono orgánico (FIB + ABORG)				
Da (g/cm ³)	0.2	0.00	0.2	0.2
Porosidad (%)	90	0.00	90.4	90.4
CC (1/3 Atm)	70	0.00	70.3	70.3
C (2/3 Atm)	64	0.00	64.4	64.4
PMP (15 Atm)	43		42.6	42.6
Saturación (%)	370	0.00	370	370
Fibra de coco (80%) + Carboncillo de cáscara de arroz (20%) [FIB + CA (80 20)]				
Da (g/cm ³)	0.5	0.12	0.3	1.0
Porosidad (%)	79	5.35	55.2	88.7
CC (1/3 Atm)	63	3.17	50.5	74.5
C (2/3 Atm)	56	3.23	45.4	68.5
PMP (15 Atm)	38	1.99	30.1	45.2
Saturación (%)	267	45.1	152.0	500.0

(CA)= Carboncillo de cascara de arroz [CA+ CAS+ GR]= Carboncillo de cascara de arroz (70%) + cascara de arroz (20%) + grava (10%); [CA+ GR] = Carboncillo de cascara de arroz (70%) + grava (30%); [FIB + ABORG] = fibra de coco + abono orgánico comercial [FIB + ABORG].

3.4.2.4. Características físicas de los sustratos de San José de Ocoa

Los resultados (Tabla 56) indican que los sustratos con el menor valor promedio de densidad aparente (Da) fueron FIB y CA de 0.2 gr/ml. Mientras que el sustrato con el mayor valor de densidad aparente fue CA+GR (70 30). Por lo que respecta a porosidad, los sustratos evaluados presentan valores similares. Todos los sustratos de esta localidad presentan buenos parámetros físicos en los invernaderos evaluados en San José de Ocoa. Sin embargo, el sustrato FIB presenta parámetros superiores.

Tabla 56. Características físicas de los sustratos de uso común en invernaderos de San José de Ocoa.

Propiedades físicas/sustrato	Media	Error estándar	Mínima	Máxima
Carbón de cascarilla de arroz [CA, 100 %]				
Da (g/cm ³)	0.2	0.00	0.2	0.2
Porosidad (%)	89.6	0.00	89.6	89.6
CC (1/3 Atm)	39.2	0.00	39.2	39.2
C (2/3 Atm)	32.4	0.00	32.4	32.4
PMP (15 Atm)	21.7	0.00	21.7	21.7
Saturación (%)	170.0	0.00	170.0	170.0
Carboncillo de cascarilla de arroz (70 %) + grava (30% [CA+ GR (70 30)])				
Da (g/cm ³)	0.3	0.01	0.2	0.4
Porosidad (%)	88.9	0.40	83.0	90.9
CC (1/3 Atm)	46.5	2.97	21.1	72.5
C (2/3 Atm)	39.6	2.79	15.4	56.7
PMP (15 Atm)	27.8	1.88	11.6	45.6
Saturación (%)	176.2	7.45	125.0	280.0
Fibra de coco (FIB, 100 %)				
Da (g/cm ³)	0.2	0.02	0.2	0.6
Porosidad (%)	89.6	0.99	76.0	91.3
CC (1/3 Atm)	61.4	3.99	23.3	83.3
C (2/3 Atm)	54.0	3.62	19.3	72.1
PMP (15 Atm)	37.0	2.50	13.0	50.8
Saturación (%)	396.0	25.67	220.0	540.0

(CA)= Carboncillo de cascara de arroz; [CA+ GR] = Carboncillo de cascara de arroz (70%) + grava (30%); (FIB) = Fibra de coco.

3.4.3. Resultados de las características químicas de las localidades estudiadas

3.4.3.1. Características químicas de los sustratos de Villa Trina

Los resultados (Tabla 57) mostraron que el sustrato FIB (Figura 19), presentó los mayores contenidos promedio de N, Ca, Mg, Fe, Cu y Zn (1.4, 3.9, 0.5, 74.15, 1110.5, 341.5), respectivamente. Mientras que el material CA+GR (70 30) presentó los mayores valores de P, K y Mn (0.5, 0.4 y 4018.8), respectivamente. Por lo que respecta al pH, el mayor valor reportado (7.6) se presentó en el sustrato CA+GR (70 30), mientras que el menor, 7.2 se presentó en el sustrato FIB, en ambos casos los materiales tienen pH por encima de los valores de referencias reportados por Eymar Enrique (2006).

Tabla 57. Propiedades químicas de los sustratos de uso común en invernaderos de Villa Trina.

Propiedades	Símbolo	Media	E.E.	Mínimo	Máximo
Carbocillo de cascarilla de arroz + grava [CA+GR (70-30 %)]					
Reacción	pH	7.6	0.40	4.5	10.0
Conductividad Eléctrica ((mmhos/cm))	CE	3.2	0.65	0.9	8.0
Nitrógeno (%)	N	0.3	0.02	0.1	0.4
Fósforo (%)	P	0.5	0.10	0.2	1.2
Potasio (%)	K	0.4	0.06	0.1	0.8
Calcio (%)	Ca	1.9	0.32	0.2	4.3
Magnesio (%)	Mg	0.3	0.04	0.1	0.7
Hierro (ppm)	Fe	26.6	4.76	3.4	55.6
Manganeso (ppm)	Mn	4018.8	599.48	652.0	6817.0
Cobre (ppm)	Cu	528.8	47.42	324.0	802.0
Zinc (ppm)	Zn	71.8	12.34	6.0	159.0
Fibra de coco					
Reacción	pH	7.2	7.64	0.4	10.0
Conductividad Eléctrica ((mmhos/cm))	CE	6.4	2.19	4.2	8.6
Nitrógeno (%)	N	1.4	0.04	1.4	1.5
Fósforo (%)	P	0.6	0.40	0.2	1.0
Potasio (%)	K	0.3	0.05	0.3	0.4
Calcio (%)	Ca	3.96	1.8	2.16	5.76
Magnesio (%)	Mg	0.5	0.28	0.2	0.8
Hierro (ppm)	Fe	74.1	2.1	72.0	76.3
Manganeso (ppm)	Mn	4473.0	629	3844	5102
Cobre (ppm)	Cu	1110.5	591.50	519.0	1702.0
Zinc (ppm)	Zn	341.5	163.5	178	505

EE = Error estándar.



Figura 19. Sustrato de fibra de coco, con buenos parámetros físicos, químicos y biológicos, siendo el de menor frecuencia de uso en las diferentes zonas.

Por lo que respecta a la conductividad eléctrica, el material FIB presentó el mayor valor de conductividad (6.4 mmhos/cm), mientras que CA+GR (70 30), mostró el menor valor (3.2mmhos/cm). De todos modos, ambos materiales presentan valores de conductividad por encima de los valores de referencia reportados por Eymar Enrique (2006). Esta situación podría estar relacionada con la naturaleza de los materiales muestreados, debido a que estaban cultivados de vegetales por varios periodos, lo que indica que los fertilizantes aplicados pueden ser los responsables de los niveles salinos reportados.

La baja fertilidad de los sustratos no los invalida para su utilización, ya que en estos sistemas son usados como soporte y no como fuente de nutrición. La función principal de estos materiales es servir de sostén a los cultivos establecidos, pues en estos sistemas todos los nutrientes son aportados periódicamente, mediante el empleo de soluciones nutritivas que se inyectan al sistema junto al agua de riego. Además, ningún nutriente representa niveles fitotóxicos en dichos sustratos.

3.4.3.2. Características químicas de los sustratos de Constanza

La Tabla 58 presenta la media, error estándar y valores máximos y mínimos de los resultados de los análisis químicos realizados a los sustratos de Constanza, donde los materiales CA+CAS+GR (70-20-10), FIB+DES+CA+GR (50-40-10), CA+FIB, CA+GR (70 30), presentan los mayores valores promedio de N, P, K, Ca y Mg (0.5, 0.7, 0.3, 1.51, y (0.33), respetivamente. Mientras que los sustratos FIB, FIB+DES+CA+GR (50-40-10), CA+CAS+GR (70 20 10) presentaron los menores valores medios de N, P, Ca y Mg (0.26, 0.20, 0.11, 0.36 y 0.09), respetivamente.

Por lo que respecta a micronutrientes, los sustratos FIB +DES+CA+GR (50-40-10), CA, FIB, y CA+FIB presentan los mayores valores promedio de hierro, manganeso, cobre y zinc (59.6, 3501.4, 847, y 145), respetivamente. Mientras que los sustratos CA, FIB +DES+CA+GR (50-40-10), CA+CAS+GR (70 20 10) muestran los menores contenidos de ambos nutrientes (32.56, 826, 206.5, y 35), respetivamente.

Al igual que los sustratos de Villa Trina, ocurrió en Constanza, con baja fertilidad, sin embargo, como fue explicado en la sección anterior, esto no los invalida para su utilización, ya que en estos sistemas son usados como soporte y no como fuente de nutrición. Además, ningún nutriente representa niveles fitotóxicos en dichos sustratos, razones del análisis químico.

Tabla 58. Características químicas de los sustratos utilizados en los invernaderos de Constanza.

Variable	Símbolo	Media	E.E	Mínima	Máxima
Carboncillo de cascarilla [CA]					
Reacción	pH	7.32	0.25	6.19	8.90
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	CE	1.56	0.20	0.38	2.28
Nitrógeno (%)	N	0.3	0.04	0.2	0.5
Fósforo (%)	P	0.5	0.11	0.2	1.2
Potasio (%)	K	0.2	0.01	0.1	0.3
Calcio (%)	Ca	1.1	0.16	0.6	2.3
Magnesio (%)	Mg	0.3	0.03	0.1	0.4
Hierro (ppm)	Fe	32.6	2.48	19.7	44.8
Manganeso (ppm)	Mn	3501.4	338.99	1919.0	5090.0
Cobre (ppm)	Cu	657.6	103.94	142.0	1327.0
Zinc (ppm)	Zn	71.3	12.41	13.0	130.0
Cascarilla de arroz (70%) + cascarilla de arroz (20%) sin quemar y grava (10%) [CA+CAS+GR (70-20-10)]					
Reacción	pH	6.07	0.09	5.98	6.16
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	CE	2.01	0.02	1.99	2.02
Nitrógeno (%)	N	0.5	0.06	0.4	0.5
Fósforo (%)	P	0.2	0.14	0.1	0.3
Potasio (%)	K	0.2	0.01	0.2	0.2
Calcio (%)	Ca	0.9	0.03	0.9	0.9
Magnesio (%)	Mg	0.3	0.01	0.3	0.3
Hierro (ppm)	Fe	52.0	1.35	50.6	53.3
Manganeso (ppm)	Mn	2972.0	815.00	2157.0	3787.0
Cobre (ppm)	Cu	206.5	25.50	181.0	232.0
Zinc (ppm)	Zn	35.0	9.00	26.0	44.0
Cascarilla de arroz combinada con fibra de coco [CA+FIB]					
Reacción	pH	6.61	0.00	6.61	6.61
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	CE	2.28	0.00	2.28	2.28
Nitrógeno (%)	N	0.3	0.00	0.3	0.3
Fósforo (%)	P	0.7	0.00	0.7	0.7
Potasio (%)	K	0.3	0.00	0.3	0.3
Calcio (%)	Ca	0.5	0.00	0.5	0.5
Magnesio (%)	Mg	0.1	0.00	0.1	0.1
Hierro (ppm)	Fe	57.8	0.00	57.8	57.8
Manganeso (ppm)	Mn	1157.0	0.00	1157.0	1157.0
Cobre (ppm)	Cu	848.0	0.00	848.0	848.0
Zinc (ppm)	Zn	145.0	0.00	145.0	145.0
Cascarilla de arroz (70%) combinada con grava (30%) [CA+GR (70/30)]					
Reacción	pH	7.12	0.22	5.97	7.76
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	CE	2.32	0.59	0.23	6.69
Nitrógeno (%)	N	0.3	0.03	0.2	0.5
Fósforo (%)	P	0.5	0.07	0.2	0.9
Potasio (%)	K	0.2	0.03	0.1	0.5
Calcio (%)	Ca	1.5	0.28	0.4	3.0
Magnesio (%)	Mg	0.3	0.05	0.1	0.6
Hierro (ppm)	Fe	39.2	2.68	25.2	54.2
Manganeso (ppm)	Mn	2839.4	368.05	1146.0	5221.0
Cobre (ppm)	Cu	784.6	111.07	426.0	1457.0
Zinc (ppm)	Zn	77.6	10.61	8.0	130.0

Fibra de coco descompuesta combinada con cascarilla de arroz y grava [FIB+DES+CA+GR (50-40-10)]					
Reacción	pH	6.13	0.00	6.13	6.13
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	CE	0.81	0.00	0.81	0.81
Nitrógeno (%)	N	0.3	0.00	0.3	0.3
Fósforo (%)	P	0.7	0.00	0.7	0.7
Potasio (%)	K	0.1	0.00	0.1	0.1
Calcio (%)	Ca	0.4	0.00	0.4	0.4
Magnesio (%)	Mg	0.1	0.00	0.1	0.1
Hierro (ppm)	Fe	59.6	0.00	59.6	59.6
Manganeso (ppm)	Mn	826.0	0.00	826.0	826.0
Cobre (ppm)	Cu	367.0	0.00	367.0	367.0
Zinc (ppm)	Zn	68.0	0.00	68.0	68.0

EE = error estándar.

3.4.3.3. Características químicas de los sustratos de Jarabacoa

La Tabla 59 presenta la media, error estándar y valores máximos y mínimos de los resultados de los análisis químicos realizados a los sustratos, donde los materiales FIB, FIB+ARBOR, CA+GR (70 30), presentan los mayores valores promedio de N, P, K, Ca y Mg (1.3, 0.27, 0.96, 0.56, y 2.96), respetivamente. Mientras que los sustratos CA+AR (75 25), CA+CAS+GR (70-20-10) presentaron los menores valores medios de N, P, Ca y Mg (0.13, 0.11, 0.36 y 0.11), respectivamente.

Por lo que respecta a micronutrientes, el sustrato CA+AR presentó mayor valor promedio de manganeso (11379). Mientras que el material FIB+ARBOR muestra el mayor contenido de hierro (85.7). Así mismo, el sustrato FIB presenta los mayores valores de cobre y zinc (731.5 y 157.5), respectivamente.

Al igual que los sustratos de Villa Trina, ocurrió en Constanza, con baja fertilidad. Sin embargo, como fue explicado en la sección anterior, esto no los invalida para su utilización, ya que en estos sistemas son usados como soporte y no como fuente de nutrición. Además, ningún nutriente representa niveles fitotóxicos en dichos sustratos, razones del análisis químico.

Tabla 59. Características químicas de los sustratos utilizados en los invernaderos de Jarabacoa.

Variable	Símbolo	Media	E.E.	Mínima	Máxima
Cascarilla de arroz [CA]					
Reacción	pH	5.89	0.19	5.70	6.07
Conductividad Eléctrica*	CE	1.93	0.85	1.08	2.77
Nitrógeno (%)	N	0.3	0.00	0.3	0.3
Fósforo (%)	P	0.1	0.03	0.1	0.2
Potasio (%)	K	0.1	0.03	0.1	0.2
Calcio (%)	Ca	1.2	0.35	0.8	1.5
Magnesio (%)	Mg	0.3	0.22	0.1	0.6
Hierro (ppm)	Fe	45.5	10.25	35.2	55.7
Manganeso (ppm)	Mn	3584.0	1666.00	1918.0	5250.0
Cobre (ppm)	Cu	444.0	214.00	230.0	658.0
Zinc (ppm)	Zn	67.0	45.00	22.0	112.0
Carbón de cascarilla de arroz (75%) + arena (25%) [CA+AR]					
Reacción	pH	7.36	0.30	6.60	8.00
Conductividad Eléctrica*	CE	1.99	0.38	1.11	2.63
Nitrógeno (%)	N	0.1	0.03	0.1	0.2
Fósforo (%)	P	0.1	0.03	0.0	0.2
Potasio (%)	K	0.2	0.04	0.1	0.3
Calcio (%)	Ca	0.5	0.10	0.3	0.7
Magnesio (%)	Mg	0.2	0.02	0.2	0.3
Hierro (ppm)	Cu	31.7	1.54	28.9	35.3
Manganeso (ppm)	Mn	11379.3	2766.80	3571.0	16021.0
Cobre (ppm)	Mg	340.0	71.27	144.0	483.0
Zinc (ppm)	Zn	55.8	14.13	23.0	92.0
Carbón de cáscara de arroz + Cáscara de arroz [CA+ CAS]					
Reacción	pH	8.55	0.54	8.01	9.08
Conductividad Eléctrica*	CE	1.57	0.81	0.76	2.38
Nitrógeno (%)	N	0.1	0.02	0.1	0.2
Fósforo (%)	P	0.2	0.03	0.2	0.2
Potasio (%)	K	0.5	0.27	0.2	0.7
Calcio (%)	Ca	0.4	0.06	0.3	0.4
Magnesio (%)	Mg	0.1	0.01	0.1	0.1
Hierro (ppm)	Cu	52.5	1.05	51.4	53.5
Manganeso (ppm)	Mn	256.5	50.50	206.0	307.0
Cobre (ppm)	Cu	187.5	5.50	182.0	193.0
Zinc (ppm)	Zn	10.5	2.50	8.0	13.0
Carbón de cáscara de arroz (70%) + Cáscara de arroz (20%) + grava (10%) [CA+ CAS+ GR]					
Reacción	pH	6.25	0.18	6.07	6.42
Conductividad Eléctrica*	CE	5.91	2.11	3.80	8.02
Nitrógeno (%)	N	0.2	0.02	0.2	0.3
Fósforo (%)	P	0.2	0.02	0.2	0.3
Potasio (%)	K	0.7	0.30	0.4	1.0
Calcio (%)	Ca	0.9	0.04	0.9	0.9
Magnesio (%)	Mg	0.3	0.07	0.3	0.4
Hierro (ppm)	Cu	47.4	1.95	45.4	49.3
Manganeso (ppm)	Mn	601.5	0.50	601.0	602.0
Cobre (ppm)	Cu	251.5	85.50	166.0	337.0
Zinc (ppm)	Zn	44.5	14.50	30.0	59.0

Carbón de cáscara de arroz (70%) + grava (30%) [CA+ GR]					
Reacción	pH	7.19	0.16	5.65	9.75
Conductividad Eléctrica*	CE	2.92	0.36	0.60	8.26
Nitrógeno (%)	N	0.3	0.03	0.2	1.3
Fósforo (%)	P	0.3	0.04	0.1	1.4
Potasio (%)	K	0.3	0.03	0.1	1.1
Calcio (%)	Ca	1.4	0.23	0.2	8.0
Magnesio (%)	Mg	0.3	0.03	0.1	0.8
Hierro (ppm)	Cu	35.3	2.24	3.7	61.0
Manganeso (ppm)	Mn	3088.9	463.94	203.0	13481.0
Cobre (ppm)	Cu	425.4	29.52	47.0	882.0
Zinc (ppm)	Zn	83.5	13.31	4.0	395.0
Fibra de coco [FIB]					
Reacción	pH	5.78	0.16	5.62	5.93
Conductividad Eléctrica*	CE	2.31	0.94	1.37	3.25
Nitrógeno (%)	N	1.3	0.02	1.3	1.3
Fósforo (%)	P	0.1	0.02	0.1	0.1
Potasio (%)	K	0.4	0.21	0.2	0.6
Calcio (%)	Ca	3.0	0.17	2.8	3.1
Magnesio (%)	Mg	0.4	0.05	0.3	0.4
Hierro (ppm)	Cu	64.6	3.40	61.2	68.0
Manganeso (ppm)	Mn	3076.5	113.50	2963.0	3190.0
Cobre (ppm)	Cu	731.5	395.50	336.0	1127.0
Zinc (ppm)	Zn	157.5	22.50	135.0	180.0
Fibra de coco + Abono orgánico [FIB + ABORG]					
Reacción	pH	6.31	0.00	6.31	6.31
Conductividad Eléctrica*	CE	1.34	0.00	1.34	1.34
Nitrógeno (%)	N	1.1	0.00	1.1	1.1
Fósforo (%)	P	0.2	0.00	0.2	0.2
Potasio (%)	K	1.0	0.00	1.0	1.0
Calcio (%)	Ca	2.4	0.00	2.4	2.4
Magnesio (%)	Mg	0.5	0.00	0.5	0.5
Hierro (ppm)	Cu	85.7	0.00	85.7	85.7
Manganeso (ppm)	Mn	1852.0	0.00	1852.0	1852.0
Cobre (ppm)	Cu	128.0	0.00	128.0	128.0
Zinc (ppm)	Zn	144.0	0.00	144.0	144.0
Fibra de coco (80%) +Carbón cáscara de arroz (20%) [FIB + CA]					
Reacción	pH	6.12	0.09	5.84	6.47
Conductividad Eléctrica*	CE	3.24	0.84	1.02	7.61
Nitrógeno (%)	N	0.6	0.15	0.3	1.4
Fósforo (%)	P	0.2	0.03	0.1	0.4
Potasio (%)	K	0.3	0.07	0.1	0.6
Calcio (%)	Ca	1.9	0.35	0.8	3.5
Magnesio (%)	Mg	0.3	0.04	0.1	0.4
Hierro (ppm)	Cu	44.6	5.92	16.3	62.4
Manganeso (ppm)	Mn	3152.0	1075.20	677.0	9087.0
Cobre (ppm)	Cu	403.6	73.11	213.0	745.0
Zinc (ppm)	Zn	114.9	28.89	29.0	260.0

EE = error estándar. *(mmhos/cm)

3.4.3.4. Características químicas de los sustratos de San José de Ocoa

Los resultados (Tabla 60) presenta la media, error estándar y valores máximos y mínimos de los resultados de los análisis químicos realizados a los sustratos de San José de Ocoa, donde los materiales de FIB presentan los mayores valores promedio de N, P, Ca y Mg (0.92, 0.65, 3.46, y 0.81), respectivamente. Así mismo, el mayor contenido de potasio aparece en el sustrato CA+GR (70 30). Mientras que el sustrato CA presentó los menores valores medios de N, P, Ca y Mg (0.30, 0.41, 0.37, 0.82 y 0.45), respectivamente. En la Tabla 61, se muestran los valores medios, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación, valores mínimos y máximos, según sustrato analizado.

Por lo que respecta a micronutrientes, los mayores valores promedio de hierro, manganeso, cobre y zinc (64.82, 3333.95, 492.95, y 70.0), respectivamente se presentan en los sustratos FIB, CA+GR (70 30) y CA, respectivamente. Mientras que los sustratos CA y FIB presentan los menores contenidos de ambos nutrientes (47, 1618, 218, y 32.07), respectivamente.

Al igual que los sustratos de Villa Trina, Constanza y Jarabacoa, ocurrió en San José de Ocoa con baja fertilidad, sin embargo, como fue explicado en la sección anterior, esto no los invalida para su utilización, ya que en estos sistemas son usados como soporte y no como fuente de nutrición. Además, ningún nutriente representa niveles fitotóxicos en dichos sustratos, razones del análisis químico.

Tabla 60. Características químicas de los sustratos utilizados en los invernaderos de San José de Ocoa.

Variable	Símbolo	Media	E.E.	Mínimo	Máximo
Carbón cáscara de arroz [CA]					
Reacción	pH	6.24	0.00	6.24	6.24
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	CE	6.24	0.00	6.24	6.24
Nitrógeno (%)	N	0.3	0.00	0.3	0.3
Fósforo (%)	P	0.4	0.00	0.4	0.4
Potasio (%)	K	0.4	0.00	0.4	0.4
Calcio (%)	Ca	0.8	0.00	0.8	0.8
Magnesio (%)	Mg	0.5	0.00	0.5	0.5
Hierro (ppm)	Cu	47.0	0.00	47.0	47.0
Manganeso (ppm)	Mn	1618.0	0.00	1618.0	1618.0
Cobre (ppm)	Cu	218.0	0.00	218.0	218.0
Zinc (ppm)	Zn	70.0	0.00	70.0	70.0
Carbón de cáscara de arroz (70%) + grava (30%) [CA+ GR]					
Reacción	pH	7.42	0.22	5.93	10.02
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	CE	4.65	1.03	0.98	21.86
Nitrógeno (%)	N	0.3	0.07	0.2	1.4
Fósforo (%)	P	0.6	0.10	0.2	2.2
Potasio (%)	K	0.7	0.24	0.1	3.8
Calcio (%)	Ca	2.0	0.38	0.2	7.5
Magnesio (%)	Mg	0.5	0.09	0.2	1.4
Hierro (ppm)	Cu	49.3	4.33	5.0	82.1
Manganeso (ppm)	Mn	3,334.0	653.25	696.0	13,690.0
Cobre (ppm)	Cu	493.0	79.50	264.0	1,846.0
Zinc (ppm)	Zn	47.1	10.67	4.0	208.0
Fibra de coco [FIB]					
Reacción	pH	5.75	0.12	4.72	6.40
Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	CE	4.87	0.45	0.24	7.06
Nitrógeno (%)	N	0.9	0.07	0.5	1.4
Fósforo (%)	P	0.7	0.14	0.0	1.9
Potasio (%)	K	0.6	0.07	0.2	1.3
Calcio (%)	Ca	3.5	0.50	0.2	5.5
Magnesio (%)	Mg	0.8	0.12	0.1	1.7
Hierro (ppm)	Cu	64.8	7.77	4.0	84.0
Manganeso (ppm)	Mn	2,181.0	212.11	320.0	3,238.0
Cobre (ppm)	Cu	325.5	79.68	26.0	1138.0
Zinc (ppm)	Zn	32.1	6.37	6.0	86.0

EE = error estándar.

Tabla 61. Características químicas promedios de los sustratos de San José de Ocoa.

Sustrato	Variable	N	Media	DE	EE	CV	Mín.	Máx
CA	N (%)	1	0.3		0	0	0.3	0.3
CA	P (%)	1	0.41		0	0	0.41	0.41
CA	K (%)	1	0.37		0	0	0.37	0.37
CA	Ca (%)	1	0.82		0	0	0.82	0.82
CA	Mg (%)	1	0.45		0	0	0.45	0.45
CA	Fe (ppm)	1	47		0	0	47	47
CA	Mn (ppm)	1	1618		0	0	1618	1618
CA	Cu (ppm)	1	218		0	0	218	218
CA	Zn (ppm)	1	70		0	0	70	70
CA+GR (70-30)	N (%)	20	0.32	0.29	0.07	91.23	0.15	1.35
CA+GR (70-30)	P (%)	20	0.63	0.45	0.1	70.73	0.23	2.17
CA+GR (70-30)	K (%)	20	0.68	1.06	0.24	156.68	0.11	3.8
CA+GR (70-30)	Ca (%)	20	1.95	1.68	0.38	86.06	0.23	7.47
CA+GR (70-30)	Mg (%)	20	0.52	0.39	0.09	73.94	0.16	1.4
CA+GR (70-30)	Fe (ppm)	20	49.26	19.37	4.33	39.32	5	82.1
CA+GR (70-30)	Mn (ppm)	20	3333.95	2921.42	653.25	87.63	696	13690
CA+GR (70-30)	Cu (ppm)	20	492.95	355.53	79.5	72.12	264	1846
CA+GR (70-30)	Zn (ppm)	20	47.05	47.73	10.67	101.45	4	208
FIB	N (%)	15	0.92	0.27	0.07	29.36	0.52	1.38
FIB	P (%)	15	0.65	0.55	0.14	84.32	0.01	1.9
FIB	K (%)	15	0.64	0.28	0.07	44.14	0.2	1.28
FIB	Ca (%)	15	3.46	1.92	0.5	55.59	0.16	5.48
FIB	Mg (%)	15	0.81	0.48	0.12	59.16	0.12	1.73
FIB	Fe (ppm)	15	64.82	30.11	7.77	46.45	4	84
FIB	Mn (ppm)	15	2181	821.48	212.11	37.67	320	3238
FIB	Cu (ppm)	15	325.53	308.59	79.68	94.79	26	1138
FIB	Zn (ppm)	15	32.07	24.68	6.37	76.97	6	86

DE = desviación estándar, EE = error estándar, CV = coeficiente de variación, Mín = mínimo, Máx = máximo, carbón cáscara de arroz = CA, GR = grava, FIB = fibra de coco.

3.4.4. Resultados de las características biológicas de los sustratos estudiados

Como se observa en el Tabla 62, los contenidos promedio de bacterias para el sustrato CA+GR (70 30) fueron 6.2 (log UFC/g) y 6.0 para el material FIB, respectivamente. Así mismo, el valor promedio de actinomicetos fue de 6.0 (log UFC/g) en, CA+GR (70 30) y 5.8 (log UFC/g) para el sustrato FIB. Por lo que respecta al contenido de hongos, los valores promedio fueron 4.0 (log UFC/g) para el material CA+GR (70 30) y 4.3 (log UFC/g) en el sustrato FIB. En general, los contenidos microbiológicos de ambos sustratos están dentro de los valores aceptables para la producción de vegetales en invernaderos, según los valores de referencias reportados, Hongos (4-6 log UFC), bacterias (6-8 log UFC, Actinomiceto (5-8 log UFC). Por lo que respecta al número total de nematodos, Tabla 62, su contenido medio fue de 37.2 unidades por gramos en el material CA+GR

(70 30) y 550 unidades por gramos en el sustrato FIB. Estos valores no representan problemas para la producción de vegetales en los invernaderos de esta localidad, para ambos tipos de sustratos.

Tabla 62. Características biológicas de los sustratos utilizados en los invernaderos de Villa Trina.

Variable	Media	Error estándar	Mínima	Máxima	Mediana
Cascarilla de arroz + grava [CA+GR (70-30)]					
Bacterias	6.2	0.10	5.6	6.7	6.2
Actinomicetos	6.0	0.10	5.4	6.5	5.9
Hongos	4.0	0.10	3.0	4.6	4.2
Nemátodos totales	37.2	13.10	2.0	166.0	20.0
<i>Araeolaimida</i>	1.1	0.60	0.0	7.0	0.0
<i>Dorylaimida</i>	0.7	0.30	0.0	3.0	0.0
<i>Helicotylenchus</i>	0.1	0.10	0.0	1.0	0.0
<i>Meloidogyne</i>	8.0	4.60	0.0	47.0	0.0
<i>Monhysterida</i>	0.3	0.20	0.0	2.0	0.0
<i>Mononchida</i>	0.3	0.20	0.0	2.0	0.0
<i>Rhabditida</i>	43.3	9.40	7.0	96.0	39.0
Fibra de coco [FIB]					
Bacterias	6.0	0.10	5.9	6.1	6.0
Actinomicetes	5.8	0.20	5.7	6.0	5.8
Hongos	4.3	0.40	4.0	4.7	4.3
Nemátodos totales	550.0	70.00	480.0	620.0	550.0
<i>Araeolaimida</i>	11.0	6.00	5.0	17.0	11.0
<i>Alaimida</i>	1.0	1.00	0.0	2.0	1.0
<i>Dorylaimida</i>	0.5	0.50	0.0	1.0	0.5
<i>Meloidogyne</i>	2.5	2.50	0.0	5.0	2.5
<i>Monhysterida</i>	4.0	3.00	1.0	7.0	4.0
<i>Mononchida</i>	4.0	4.00	0.0	8.0	4.0
<i>Rhabditida</i>	76.0	16.00	60.0	92.0	76.0

3.4.4.1. Características biológicas de los sustratos de Constanza

Los resultados (Tabla 63) indican que los mayores contenidos promedio de bacterias, actinomicetos y de hongos fueron 6.51 (log UFC/g), 6.56 (log UFC/g) y 4.48 (log UFC/g) en los sustratos FIB+DES+GR (50 40 10), CA+FIB, respectivamente. Mientras que el menor contenido promedio de bacterias y hongos se presentó en los sustratos CA+CAS+GR (70 20 10) con 6.13, CA 5.96 y 3.65 (log UFC/g), respectivamente. Así mismo, el menor valor de actinomicetos fue 5.96 (log UFC/g), presente en el sustrato CA.

En general, los contenidos microbiológicos de ambos sustratos están dentro de los valores aceptables en sustratos, para la producción de vegetales en invernaderos, según los valores de referencias reportados: Hongos (4-6 log UFC), bacterias (6-8 log UFC, Actinomiceto (5-8 log UFC).

Tabla 63. Características biológicas de los sustratos utilizados en los invernaderos de Constanza.

Variable	Media	Error estándar	Mínima	Máxima
Cascarilla de arroz [CA]				
Bacterias	6.2	0.08	5.5	6.5
Actinomicetes	6.0	0.08	5.5	6.3
Hongos	3.7	0.15	3.0	4.4
Número total de nemátodos	69.0	27.29	0.0	270.0
<i>Araeolaimida</i>	2.1	0.95	0.0	10.0
<i>Dorylaimida</i>	0.5	0.40	0.0	4.0
<i>Meloidogyne</i>	1.8	1.80	0.0	18.0
<i>Monhysterida</i>	0.1	0.10	0.0	1.0
<i>Rhabditida</i>	49.4	11.89	3.0	99.0
Cascarilla de arroz (70%) combinada con cascarilla de arroz (20%) sin quemar y grava (10%) [CA+CAS+GR (70-20-10)]				
Bacterias	6.2	0.07	6.2	6.3
Actinomicetes	6.1	0.07	6.1	6.2
Hongos	4.2	0.12	4.1	4.3
Nemátodos totales	697.0	229.00	468.0	926.0
<i>Araeolaimida</i>	3.5	2.50	1.0	6.0
<i>Dorylaimida</i>	0.5	0.50	0.0	1.0
<i>Rhabditida</i>	96.0	3.00	93.0	99.0
Cascarilla de arroz combinada con fibra de coco [CA+FIB]				
Bacterias	6.5	0.00	6.5	6.5
Actinomicetes	6.6	0.00	6.6	6.6
Hongos	4.5	0.00	4.5	4.5
Nemátodos totales	368.0	0.00	368.0	368.0
<i>Rhabditida</i>	100.0	0.00	100.0	100.0
Cascarilla de arroz (70%) combinada con grava (30%) [CA+GR (70/30)]				
Bacterias	6.2	0.12	5.5	6.7
Actinomicetes	6.1	0.09	5.7	6.6
Hongos	3.7	0.18	2.7	4.3
Nemátodos totales	58.0	21.97	0.0	244.0
<i>Araeolaimida</i>	0.3	0.19	0.0	2.0
<i>Dorylaimida</i>	0.7	0.54	0.0	6.0
<i>Meloidogyne</i>	0.6	0.45	0.0	5.0
<i>Mononchida</i>	0.2	0.18	0.0	2.0
<i>Rhabditida</i>	54.6	11.59	2.0	100.0
Fibra de coco descompuesta combinada con cascarilla de arroz y grava [FIB+DES+CA+GR (50-40-10)]				
Bacterias	6.5	0.00	6.5	6.5
Actinomicetes	6.1	0.00	6.1	6.1
Hongos	4.3	0.00	4.3	4.3
Nemátodos totales	62.0	0.00	62.0	62.0
<i>Monhysterida</i>	2.0	0.00	2.0	2.0
<i>Rhabditida</i>	98.0	0.00	98.0	98.0

Por lo que respecta al número total de nematodos (Tabla 63), el valor mayor promedio reportado es 697 unidades por gramos en el sustrato CA+CAS+GR (70 20 10). Mientras que el contenido

menor fue 58 unidades por gramos del material CA+GR (70 30). El nematodo de mayor presencia en los sustratos es *Rhabditida*, que es del grupo bacteriólogo, cuyo mayor valor promedio fue 100 unidades por gramos de sustratos, en CA+FIB. Estos valores no representan problemas para la producción de vegetales en los invernaderos de esta localidad. Esto muestra que, en estas estructuras, los valores son apropiados, por lo cual no se presentan mayores inconvenientes para el normal desarrollo de una amplia diversidad de cultivos. Sin embargo, es conveniente mantener un continuo monitoreo de las poblaciones de nematodos, sobre todo, los fitoparásitos, para no permitir crecimiento de poblaciones por encima del umbral económico.

3.4.4.2. Características biológicas de los sustratos de Jarabacoa

Los resultados (Tabla 64) indican que los mayores contenidos promedio de bacterias, actinomicetos y de hongos fueron 6.83 (log UFC/g), 6.39 (log UFC/g) y 4.65 (log UFC/g) respectivamente en el sustrato FIB. Mientras que el menor contenido promedio de bacterias y hongos se presentó en el sustrato CA+CAS con 5.79 y 4.01 (log UFC/g), respectivamente. Así mismo, el menor valor de actinomicetos 5.5 (log UFC/g), presente en el sustrato CA+CAS.

Tabla 64. Características biológicas de la utilizada en los invernaderos de Jarabacoa.

Variable	Media	E.E.	Mínimo	Máximo
Cascarilla de arroz [CA]				
Bacterias	6.3	0.07	6.2	6.4
Actinomicetes	6.2	0.13	6.1	6.4
Hongos	4.3	0.15	4.1	4.4
Nemátodos totales	367.0	249.00	118.0	616.0
<i>Aphelenchida</i>	6.0	6.00	0.0	12.0
<i>Meloidogyne</i>	2.0	2.00	0.0	4.0
<i>Rhabditida</i>	91.5	7.50	84.0	99.0
<i>Diplogasterida</i>	0.5	0.50	0.0	1.0
Cascarilla de arroz (75%) + arena (25%) [CA+AR]				
Bacterias	6.3	0.09	6.2	6.5
Actinomicetes	5.6	0.28	4.7	5.9
Hongos	4.2	0.19	3.8	4.6
Nemátodos totales	67.0	46.49	10.0	206.0
<i>Araeolaimida</i>	0.3	0.25	0.0	1.0
<i>Dorylaimida</i>	0.8	0.48	0.0	2.0
<i>Meloidogyne</i>	0.5	0.29	0.0	1.0
<i>Mononchida</i>	0.3	0.25	0.0	1.0
<i>Rhabditida</i>	48.8	17.60	15.0	98.0
Cascarilla de arroz + cascarilla de arroz sin quemar [CA+ CAS]				
Bacterias	5.8	0.31	5.5	6.1
Actinomicetes	5.8	0.37	5.4	6.1
Hongos	4.0	0.05	4.0	4.1
Nemátodos totales	531.0	395.00	136.0	926.0
<i>Rhabditida</i>	100.0	0.00	100.0	100.0
Cascarilla de arroz (70%) + cascarilla de arroz sin quemar (20%) + grava (10%) [CA+ CAS+ GR]				
Bacterias	6.3	0.04	6.2	6.3
Actinomicetes	5.7	0.04	5.7	5.7
Hongos	4.1	0.49	3.6	4.6
Nemátodos totales	107.0	75.00	32.0	182.0

<i>Rhabditida</i>	66.0	34.00	32.0	100.0
Cascarilla de arroz (70%) + grava (30% [CA+ GR])				
Bacterias	6.2	0.09	5.0	7.1
Actinomicetes	5.9	0.07	5.2	6.7
Hongos	4.1	0.06	3.4	4.8
Nemátodos totales	142.4	25.54	2.0	674.0
<i>Araeolaimida</i>	1.7	0.44	0.0	10.0
<i>Alaimida</i>	0.1	0.04	0.0	1.0
<i>Aphelenchida</i>	0.0	0.03	0.0	1.0
<i>Dorylaimida</i>	1.2	0.59	0.0	19.0
<i>Helicotylenchus</i>	0.0	0.03	0.0	1.0
<i>Meloidogyne</i>	3.6	1.69	0.0	40.0
<i>Monhysterida</i>	0.9	0.65	0.0	21.0
<i>Mononchida</i>	0.7	0.61	0.0	20.0
<i>Pratylenchus</i>	0.1	0.06	0.0	2.0
<i>Rotylenchulus</i>	0.1	0.06	0.0	2.0
<i>Rhabditida</i>	67.2	6.23	4.0	100.0
<i>Tylenchus</i>	0.0	0.03	0.0	1.0
<i>Wilsonema</i>	0.1	0.04	0.0	1.0
Fibra de coco [FIB]				
Bacterias	6.8	0.15	6.7	7.0
Actinomicetes	6.4	0.02	6.4	6.4
Hongos	4.7	0.37	4.3	5.0
Nemátodos totales	748.0	354.00	394.0	1102.0
<i>Araeolaimida</i>	1.5	0.50	1.0	2.0
<i>Helicotylenchus</i>	5.0	5.00	0.0	10.0
<i>Meloidogyne</i>	0.0	0.00	0.0	0.0
<i>Monhysterida</i>	11.5	10.50	1.0	22.0
<i>Rhabditida</i>	82.0	5.00	77.0	87.0
Fibra de coco + abono orgánico comercial [FIB + ABORG]				
Bacterias	6.2	0.00	6.2	6.2
Actinomicetes	5.8	0.00	5.8	5.8
Hongos	4.3	0.00	4.3	4.3
Nemátodos totales	330.0	0.00	330.0	330.0
Fibra de coco (80%) + cascarilla de arroz (20%) [FIB + CA]				
Bacterias	6.4	0.13	6.0	7.0
Actinomicetes	6.0	0.15	5.4	6.7
Hongos	4.2	0.15	3.6	4.8
Nemátodos totales	121.4	39.80	40.0	346.0
<i>Araeolaimida</i>	4.9	2.13	0.0	13.0
<i>Alaimida</i>	0.6	0.37	0.0	2.0
<i>Dorylaimida</i>	0.6	0.37	0.0	2.0
<i>Helicotylenchus</i>	0.4	0.43	0.0	3.0
<i>Meloidogyne</i>	0.6	0.43	0.0	3.0
<i>Monhysterida</i>	4.1	3.14	0.0	22.0
<i>Mononchida</i>	1.1	1.14	0.0	8.0
<i>Rhabditida</i>	73.7	7.75	47.0	98.0
<i>Tylenchus</i>	0.1	0.14	0.0	1.0

EE = es error estándar.

En general, los contenidos microbiológicos de ambos sustratos están dentro de los valores aceptables en sustratos, para la producción de vegetales en invernaderos, según los valores de

referencias reportados: Hongos (4-6 log UFC), bacterias (6-8 log UFC, Actinomiceto (5-8 log UFC). Por lo que respecta al número total de nematodos (Tabla 64), el valor mayor promedio reportado es 748 unidades por gramos en el sustrato FIB. Mientras que el contenido menor fue 67 unidades por gramos del material CA+AR (75 25). El nematodo de mayor presencia en los sustratos es *Rhabditida*, que es del grupo bacteriólogo, cuyo mayor valor promedio fue 100 unidades por gramos de sustratos. Estos valores no representan problemas para la producción de vegetales en los invernaderos de esta localidad. Esto muestra que, en estas estructuras, los valores son apropiados, por lo cual no se presentan mayores inconvenientes para el normal desarrollo de una amplia diversidad de cultivos. Sin embargo, es conveniente mantener un continuo monitoreo de las poblaciones de nematodos, sobre todo, los fitoparásitos, para no permitir crecimiento de poblaciones por encima del umbral económico.

3.4.4.3. Características biológicas de los sustratos de San José de Ocoa

Los resultados (Tabla 65) indican que los mayores contenidos promedio de bacterias, actinomicetos y de hongos fueron 6.53 (log UFC/g), 5.96 (log UFC/g) y 4.28 (log UFC/g) en los sustratos CA, FIB y CA+GR (70 30), respectivamente. Mientras que el menor contenido promedio de bacterias, actinomicetos y hongos se presentó en los sustratos CA+GR (70 30) y FIB con 6.13, CA 5.80 y 4.12 (log UFC/g), respectivamente.

Tabla 65. Características biológicas de los sustratos utilizados en los invernaderos de San José de Ocoa.

Variable	Media	Error estándar	Mínima	Máxima
Cascarilla de arroz [CA]				
Bacterias	6.5	0.00	6.5	6.5
Actinomicetes	5.9	0.00	5.9	5.9
Hongos	4.2	0.00	4.2	4.2
Nemátodos totales	6.0	0.00	6.0	6.0
<i>Rhabditida</i>	10.0	0.00	10.0	10.0
Cascarilla de arroz (70%) + grava (30%) [CA+ GR]				
Bacterias	6.1	0.10	5.3	7.1
Actinomicetes	5.8	0.11	4.7	6.5
Hongos	4.3	0.09	3.4	4.9
Nemátodos totales	148.1	35.69	12.0	622.0
<i>Araeolaimida</i>	2.1	0.62	0.0	10.0
<i>Aphelenchida</i>	0.5	0.27	0.0	5.0
<i>Dorylaimida</i>	0.1	0.05	0.0	1.0
<i>Helicotylenchus</i>	0.2	0.08	0.0	1.0
<i>Meloidogyne</i>	5.5	4.07	0.0	78.0
<i>Monhysterida</i>	0.6	0.28	0.0	4.0
<i>Mononchida</i>	0.3	0.18	0.0	3.0
<i>Rhabditida</i>	74.1	5.84	20.0	98.0
Fibra de coco [FIB]				
Bacterias	6.4	0.16	5.0	7.2
Actinomicetes	6.0	0.11	5.0	6.3
Hongos	4.1	0.20	2.7	5.2

Nemátodos totales	459.5	126.25	18.0	1628.0
<i>Araeolaimida</i>	8.1	1.58	0.0	24.0
<i>Aphelenchida</i>	0.4	0.34	0.0	5.0
<i>Dorylaimida</i>	0.1	0.07	0.0	1.0
<i>Meloidogyne</i>	0.4	0.29	0.0	4.0
<i>Monhysterida</i>	2.8	1.25	0.0	15.0
<i>Rhabditida</i>	80.5	4.59	39.0	99.0

En general, los contenidos microbiológicos de ambos sustratos están dentro de los valores aceptables en sustratos, para la producción de vegetales en invernaderos, según los valores de referencias reportados: Hongos (4-6 log UFC), bacterias (6-8 log UFC, Actinomiceto (5-8 log UFC).

Por lo que respecta al número total de nematodos (Tabla 65), el mayor valor promedio reportado es 459.53 unidades por gramos en el sustrato FIB. Mientras que el contenido menor fue 6.0 unidades por gramos del material CA. El nematodo de mayor presencia en los sustratos es *Rhabditida*, que es del grupo bacteriólogo, cuyo mayor valor promedio fue 80.47 unidades por gramos de sustratos, en FIB. Estos valores no representan problemas para la producción de vegetales en los invernaderos de esta localidad. Esto muestra que, en estas estructuras, los valores son apropiados, por lo cual no se presentan mayores inconvenientes para el normal desarrollo de una amplia diversidad de cultivos. Sin embargo, es conveniente mantener un continuo monitoreo de las poblaciones de nematodos, sobre todo, los fitoparásitos, para no permitir crecimiento de poblaciones por encima del umbral económico.

3.5. Conclusiones

El sustrato con mayor frecuencia de uso en los invernaderos fue el carbón de cáscara de arroz (70%) combinado con grava (30%). En términos de número de sustratos usados, Jarabacoa fue la localidad con el mayor el número de sustratos. Mientras la localidad de Villa Trina presentó la menor diversidad.

Los sustratos con los mejores parámetros físicos en las diferentes localidades fueron:

a). La cáscara de arroz + grava, b) fibra de coco, c) carbón de cáscara de arroz + cáscara de arroz + grava, d) carbón de cáscara de arroz + arena, e) fibra de coco + abono orgánico, f) fibra de coco + carbón de cáscara de arroz y g) carbón de cascarilla de arroz + grava en todas las localidades, excepto en Jarabacoa.

Los sustratos estudiados en las diferentes regiones presentan valores de pH dentro del rango deseable, excepto carbón de cáscara de arroz, más cáscara de arroz en Jarabacoa, cuyo valor está por encima del rango. Esto es de suma importancia para un manejo eficiente de los invernaderos, pues la fertirrigación podría ser afectada por el pH. Además, la mayoría de los sustratos evaluados en las localidades consideradas, presentan contenidos salinos por encima de los valores de referencia.

En los sustratos estudiados en las localidades consideradas, los contenidos de nutrientes son bajos, lo cual no representa ninguna limitación, debido a que, en estos sistemas de producción, los sustratos son utilizados como soporte del cultivo, ya que los nutrientes son suministrados en soluciones, junto al agua de riego.

En términos biológicos, los sustratos evaluados, presentan contenidos de bacterias, hongos y actinomicetos apropiados para el desarrollo y producción de cultivos. Además, el nematodo del grupo *Rabditida* (bacteriófago) es el de mayor presencia en los sustratos de las diferentes localidades.

3.6. Referencias

- Clark, F. J. 1965. Agar-Plate Method for total microbial count Part 2. Chemical and microbiological properties. (D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger and F. E., Clark, eds.), Vol. 9, pp. 1460-1466. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin USA.
- Díaz, S. F. R. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción Torreón, Coah, México, octubre 13, 14 y 15 del 2004. pp. 1-25.
- Pérez, A. Céspedes, C. y Núñez, P. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 8 (4): 10-29.
- Programa de Mercadeo de Frigoríficos e Invernaderos (PROMEFRIN). 2009. Estadísticas. En línea, consultado 21/05/2009. <http://promefrin.org/estadisticaspromefrin.pdf>.
- Mercado Frigorífico e Invernaderos (PROMEFRIN). 2008. Estadísticas publicadas. SEA.
- American Society of Agronomy.1982. Method of Soil Analysis, Part Chemical and Microbiological Properties, LIM, CHIN HUAT -JACKSON, MARION. (Eds) American Society of Agronomy, Soil Science. Society of America, Madison. M. Second edition.
- ISFEIP (International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program). 1972. Annual Report. Soil Sci. Dep. North Carolina State Univ., Raleigh, N.C., USA.

4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA LA ELABORACIÓN DE SUSTRATOS

Elpidio Avilés Quezada, Aridio Pérez, Isidro Almonte, Glenny López, César Martínez y Pedro Antonio Núñez Ramos

4.1. Resumen

En la República Dominicana los principales cultivos producidos bajo invernaderos son tomate, pepino, ají picante y pimientos dulces (cubanela y morrón). El área cultivada bajo esta modalidad es aproximadamente 1,110 hectáreas, de la cuales se estima que el 50 % utiliza algún sustrato para su producción. Sin embargo, los materiales utilizados para su elaboración no están disponibles en todas las zonas de producción. En este estudio se caracterizaron materiales locales orgánicos e inorgánicos, luego se seleccionaron los que presentaron propiedades más adecuadas para los cultivos en invernadero, así como aquellos que mostraron ser más disponibles y de bajo costo. Para esto, se realizó análisis de conglomerados para agrupar los que tienen características comunes, análisis de varianza y prueba de comparación de media (Duncan 0.05), para separar las medias de las variables evaluadas. Se seleccionaron materiales con propiedades físicas: porosidad (>85%), densidad aparente (<0.5 g/cm³), humedad disponible (>22%); químicas pH (5.2-6.3), CE (0.75-3.50 dS/m), N (1.5-3.0%) P (1.0-2.0%), K (0.15-0.30%), Ca (1.5-3.5%), Mg (0.25-0.40%), Cu (600-1200 mg/kg), Fe (8000-13000 mg/kg), Mn (150-400 mg/kg) Zn (1200-2000 mg/kg) y biológicas: bacterias (6 - 8 log UFC), hongos (4 - 6 log UFC) y actinomicetos (5 - 8 log UFC). Los materiales orgánicos seleccionados fueron: cáscara de arroz, carboncillo de arroz, fibra de coco y gallinaza. Los inorgánicos elegidos fueron grava de ¼ y arena fina, para luego evaluar, en posteriores ensayos, las mezclas de estos materiales y hacer las evaluaciones agronómicas.

4.2. Introducción

Desde sus inicios, la producción de vegetales en invernadero en República Dominicana ha utilizado sustratos en mayor proporción que el uso de suelos, pero estos sustratos tienen un costo elevado y en su mayoría son importados (PROMEFRIN, 2009). Por lo tanto, identificar y caracterizar sustratos en el país con potencial de utilización es un tema de interés para este sector. En ese sentido, las propiedades físicas de los sustratos son de importancia para tomar la decisión de usar un sustrato particular. Las propiedades físicas más importantes que usualmente se determinan en los sustratos son la porosidad total, la densidad aparente, y la retención de agua y de aire (Pasto, 2000).

Otro de los estándares requeridos para un buen sustrato, es su firmeza. Debe ser lo suficientemente pesado (suficiente densidad aparente), para mantener a la planta en posición vertical, evitando el volcamiento, y al mismo tiempo sin exceso de peso que dificulte el manipuleo de la planta e incremente los costos del transporte (Jiménez y Caballero, 1990). Otro aspecto a considerar es la disponibilidad de agua y su capacidad de almacenamiento. El

equilibrio entre el agua retenida y la aireación en el medio de crecimiento es un aspecto esencial, ya que deben existir poros lo suficientemente pequeños para retener el agua que va a absorber la planta y suficientes poros grandes para permitir el intercambio de aire con el medio externo y mantener las concentraciones de oxígeno por encima de los niveles críticos (Reinaldo y Aracelys, 2003).

Los sustratos deben tener características adecuadas para permitir el desarrollo de las plantas (Bell, 1992). Por ejemplo, porosidad total (75-85 %), retención de agua (55-70 %), capacidad de aireación (10-20 %), humedad disponible ($\geq 30\%$), peso húmedo (1-1.5 kg/lt). Estas propiedades dependen mucho de las proporciones y mezclas de materiales. Por ello, es necesario determinar en cada caso las propiedades de las mezclas resultantes (Iskander, 2002).

Las tres provincias más importantes de producción en invernadero en República Dominicana son La Vega (103.3 ha), San José de Ocoa (39.9 ha), Espaillat (21.4 ha). Los cultivos que más se siembran en los invernaderos son ajíes, morrones, tomates y pepinos. La región Norcentral del país es la que mayor cantidad de invernaderos posee. El sustrato más utilizado fue el recomendado por PROMEFRIN (70 % de carboncillo de arroz y 30 % de gravilla de un cuarto) y el otro es Fibra de coco. (PROMEFRIN, 2009). En los invernaderos existen dos modalidades de producción: en camas con sustrato y directamente en el suelo. Los sustratos pueden ser de origen local o importado. Se estima que el 85 % de los productores que cultivan vegetales en invernaderos usan camas con sustratos y el 15 % utiliza directamente el suelo. Los diferentes materiales que se utilizan para la fabricación de sustrato se clasifican en orgánicos e inorgánicos atendiendo a su origen.

En República Dominicana existe escasa información publicada sobre la caracterización de los materiales orgánicos utilizados en los invernaderos (Pérez *et al.*, 2004). En la región del Cibao Central existe limitada información acerca de materiales alternativos que puedan ser utilizados en la preparación de sustratos. Por esta razón, se realizó la investigación con el objetivo de determinar las características físicas, químicas y biológicas de diferentes materiales orgánicos e inorgánicos recolectados en zonas de producción del Cibao Sur y Cibao Nordeste.

4.3. Materiales y métodos

4.3.1. Área de muestreo

Las zonas de muestreo de este estudio fueron: Constanza, Jarabacoa, La Vega, Samaná, Nagua, Villa Altagracia, y Barahona. El muestreo se realizó entre agosto 2009 y febrero de 2010, fotos de algunos materiales son presentadas en Anexo 4.8.1.

4.3.2. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo descriptiva. Consistió en la realización de una caracterización de los materiales alternativos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos.

4.3.3. Materiales evaluados

Se evaluaron 28 materiales de origen animal y vegetal, descritos a continuación:

a) Origen vegetal:

- 1) Bagazo de caña
- 2) Afrecho de arroz
- 3) Pulpa de café
- 4) Pulpa de naranja
- 5) Residuos de vegetales orientales
- 6) Cáscara de arroz
- 7) Carbón de cáscara de arroz
- 8) Fibra de coco
- 9) Aserrín de madera
- 10) Coberturas verdes (mezcla de *Arachi*, *Desmodium* y *Mucuna*)
- 11) Pergamino de café
- 12) Compost
- 13) Jícara de coco
- 14) Cachaza de caña

b) Origen animal:

- 15) Gallinaza
- 16) Humus de lombriz
- 17) Estiércol de caballo
- 18) Estiércol vacuno
- 19) Estiércol de cerdo
- 20) Estiércol de chivo
- 21) Harina de sangre y hueso
- 22) Estiércol de ovejo

c) Otros:

- 23) Turba (suelo turboso)
- 24) Tierra de bosque
- 25) Barro (suelo arcilloso)
- 26) Suelo tamizado (arena)
- 27) Suelo tamizado (limo)
- 28) Nutriorgánico

4.3.4. Parámetros evaluados

a) Físicos: Retención de agua (método del anillo a las presiones 1/3, 2/3 y 15 ATM), densidad aparente (método del anillo), porosidad total (relación entre las densidades real y aparente) y porcentaje de saturación de agua (método pasta saturada).

b) Químicos: contenidos de N, % (método de digestión ácida), P, % (método de Olsen modificado) y K, % (método de Absorción atómica). Los cationes intercambiables Mg, % y Ca, % (Método de complexometría y absorción atómica) y los micronutrientes Fe, Zn, Mn y Cu (en ppm mediante el método de Olsen modificado). Estos análisis se realizaron en los laboratorios del CENTA-IDIAF.

c) Biológicos: poblaciones totales de organismos (bacterias, hongos, actinomicetos) por la metodología de dilución en plato Petri (recuento directo) y respiración microbiana total (mg 100 g⁻¹ 10 días).

4.3.5. Selección y manejo de las muestras

Se colectaron 28 tipos de materiales orgánicos e inorgánicos. Por tipos de material se colectaron tres muestras para un total de 84 muestras. Cada uno de estos fue debidamente empacado, identificado y enviados a laboratorios. Se colectaron dos kilogramos de cada tipo de material por muestra para la determinación de los parámetros: físicos (1.0 kg), químicos (0.5 kg) y biológico (0.5 kg). Las muestras para análisis biológico fueron colocadas en fundas esterilizadas y almacenadas en neveras a 4 °C.

4.3.6. Análisis de datos

Los resultados de laboratorio fueron analizados con el software InfoStat, mediante prueba de tendencia central y medida de dispersión de los datos (para los géneros de nematodos) y la aplicación de análisis de varianza y prueba de comparación de media por Tukey para agrupar grupos comunes y separar las medias.

4.4. Resultados y discusión

4.4.1. Propiedades químicas

4.4.1.1. Contenidos de macronutrientes

4.4.1.1.1. Nitrógeno total

Existe diferencias significativas entre las medias de los contenidos de nitrógeno (p -valor<0.0001) con un coeficiente de variación de 4.89 % (Tabla 66). Se observó que el 40 % de los materiales estudiados tiene un contenido de N bajo que oscila entre 0.28 y 1.36 %, un 52 % tiene un contenido medio entre 1.54 y 2.52 %, mientras que el 8 % restante tiene un contenido alto entre 3.64 y 5.75 % de N (niveles de referencias tomado de Acosta *et al.* 2003).

Tabla 66. Comparación de medias de contenido de nitrógeno total (%) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (%)	
Aserrín de madera	0.28	a
Bagazo de caña	0.34	ab
Tierra de bosque	0.40	ab
Jícara de coco	0.56	b
Pergamino de café	0.90	c
Cáscara de arroz	0.90	c
Pulpa de naranja	0.98	cd
Cachaza de caña	1.05	cd
Carbón de cáscara de arroz	1.20	de
Nutriorgánico	1.36	ef
Estiércol de caballo	1.54	fg
Bocashi	1.61	fgh
Pollinaza	1.65	gh
Estiércol de cerdo	1.68	gh
Estiércol vacuno	1.74	ghi
Humus de Lombriz	1.81	hij
Compost	1.86	hij
Afrecho de arroz	1.98	ljk
Hojarasca de caña	2.01	jk
Gallinaza	2.02	jk
Residuos de vegetales orientales	2.20	k
Estiércol de ovejo	2.47	l
Estiércol del chivo	2.52	l
Pulpa de café	3.64	m
Harina de hueso + sangre	5.75	n

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

4.4.1.1.2. Fósforo total

Se encontró diferencias significativas entre las medias del contenido de P ($p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 5.14 % (Tabla 67). Se observó que el 60 % de los materiales estudiados tiene un contenido de P bajo que oscila entre 0 y 0.96 %, un 36 % tiene un contenido medio entre 1.11 y 1.66 %, mientras que el 4% restante tiene alto contenido de P de 3.20 % (niveles de referencias tomado de Acosta *et al.* 2003).

Tabla 67. Comparación de medias de contenido de fósforo (%) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (%)	
Aserrín de madera	0.00	a
Jícara de coco	0.03	ab
Pergamino de café	0.10	abc
Bagazo de caña	0.14	bc
Tierra de bosque	0.20	cd
Pulpa de naranja	0.20	cd
Hojarasca de caña	0.22	cd
Cáscara de arroz	0.22	cd
Carbón de cáscara de arroz	0.27	d
Pulpa de café	0.30	d
Estiércol de caballo	0.30	d
Residuos de vegetales orientales	0.46	e
Estiércol de chivo	0.52	e
Estiércol de ovejo	0.95	f
Bocashi	0.96	f
Estiércol vacuno	1.11	g
Cachaza de caña	1.12	g
Humus de lombriz	1.22	gh
Compost	1.26	hi
Pollinaza	1.30	hi
Gallinaza	1.30	hi
Afrecho de arroz	1.37	i
Nutriorgánico	1.53	j
Estiércol de cerdo	1.66	k
Harina de hueso y sangre	3.20	l

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

4.4.1.1.3. Potasio

Se observó que existe diferencias significativas entre las medias del contenido de K (p -valor <0.0001) con un coeficiente de variación de 6.24 % (Tabla 68). Se observó que el 4 % de los materiales estudiados tiene un contenido de K bajo con (0.06 %), un 16 % tiene un contenido medio entre 0.18 y 0.34 %, mientras que el 80 % restante tiene un contenido alto de K que oscila entre 0.45 y 4.32 % (niveles de referencias tomado de Acosta *et al.* 2003).

Tabla 68. Comparación de medias de contenido de potasio (%) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (%)	
Aserrín de madera	0.06	a
Tierra de bosque	0.18	ab
Pulpa de naranja	0.18	ab
Bagazo de caña	0.32	abc
Estiércol de caballo	0.34	bc
Harina de hueso y sangre	0.45	bcd
Pergamino de café	0.51	cde
Cáscara de arroz	0.66	def
Jícara de coco	0.76	ef
Carbón de cáscara de arroz	0.77	ef
Cachaza de caña	0.79	f
Hojarasca de caña	0.88	f
Humus de lombriz	1.43	g
Afrecho de arroz	1.55	g
Bocashi	1.65	gh
Estiércol de cerdo	1.66	gh
Pollinaza	1.85	hi
Residuos de vegetales orientales	1.98	ij
Estiércol vacuno	2.05	jkl
Compost	2.08	jkl
Gallinaza	2.24	Jkl
Estiércol de chivo	2.26	kl
Nutriorgánico	2.45	l
Pulpa de café	3.96	m
Estiércol de ovejo	4.32	n

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

4.4.1.1.4. Calcio

Se observó que existe diferencias significativas entre las medias del contenido de calcio en los materiales ($p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 13.1 % (Tabla 69). Se observó que el 48 % de los materiales estudiados tiene un contenido de Ca bajo que oscila entre 0.07 y 1.53 %, un 32 % tiene un contenido medio entre 1.73 y 3.05 %, mientras que el 30 % restante tiene un contenido alto de Ca entre 4.28 y 12.99 % (niveles de referencias tomado de Acosta *et al.*, 2003).

Tabla 69. Comparación de medias de contenido de calcio (Ca, %) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (%)	
Afrecho de arroz	0.07	a
Aserrín de madera	0.07	a
Jícara de coco	0.27	ab
Cáscara de arroz	0.34	ab
Bagazo de caña	0.48	ab
Carbón de cáscara de arroz	0.53	abc
Pergamino de café	0.56	abc
Estiércol de caballo	0.85	abcd
Pulpa de naranja	1.09	bcde
Tierra de bosque	1.15	bcde
Estiércol de chivo	1.53	cdef
Estiércol vacuno	1.73	defg
Hojarasca de caña	1.89	efg
Estiércol de cerdo	1.91	efg
Pulpa de café	2.06	efgh
Residuos de vegetales orientales	2.19	fgh
Humus de lombriz	2.32	fgh
Estiércol de ovejo	2.57	gh
Bocashi	2.59	gh
Pollinaza	3.05	h
Gallinaza	4.28	i
Cachaza de caña	4.62	i
Compost	5.17	i
Harina de hueso y sangre	9.50	j
Nutriorgánico	12.99	k

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

4.4.1.1.5. Magnesio

Se observó que existe diferencias significativas entre las medias del contenido de magnesio en los materiales alternativos ($p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 17.5% (Tabla 70). Se observó que el 28 % de los materiales estudiados tiene un contenido de Mg bajo que oscila entre 0.02 y 0.24 %, un 12 % tiene un contenido medio entre 0.28 y 0.35 %, mientras que el 60 % restante tiene un contenido alto de Mg entre 0.64 y 5.83 % (niveles de referencias tomado de Acosta *et al.*, 2003).

Tabla 70. Comparación de medias de contenido de Magnesio (Mg, %) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (%)	
Aserrín de madera	0.02	a
Carbón de arroz	0.16	ab
Harina de hueso y sangre	0.17	ab
Jícara de coco	0.18	ab
Pulpa de naranja	0.22	abc
Bagazo de caña	0.23	abc
Carbón de cáscara de arroz	0.24	abc
Pergamino de café	0.28	abcd
Pulpa de café	0.30	abcd
Hojarasca de caña	0.35	abcde
Residuos de vegetales orientales	0.64	bcdef
Pollinaza	0.72	cdefg
Estiércol de chivo	0.8	defgh
Compost	0.88	efgh
Afrecho de arroz	0.89	efgh
Nutriorgánico	0.93	fghi
Cachaza de caña	1.2	ghij
Bocashi	1.23	ghijk
Estiércol de cerdo	1.33	Hijk
Estiércol vacuno	1.45	ljk
Tierra de bosque	1.5	Jk
Humus de lombriz	1.63	Jkl
Estiércol de caballo	1.77	Kl
Estiércol de ovejo	2.11	I
Gallinaza	5.83	m

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

4.4.1.2. Contenidos de micronutrientes

4.4.1.2.1. Hierro

Se observó que existe diferencias significativas entre las medias del contenido de hierro en los materiales alternativos ($p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 8.65 % (Tabla 71). Se observó que el 60 % de los materiales estudiados tiene un contenido de Fe bajo que oscila entre 96 y 7,748 ppm, un 8% tiene un contenido medio entre 9310 y 12167 ppm, mientras que el 32 % restante tiene un contenido alto de Fe entre 14333 y 47231 ppm (niveles de referencias tomado de Acosta *et al.*, 2003).

Tabla 71. Comparación de medias de contenido de hierro (ppm) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (ppm)	
Afrecho de arroz	96.0	a
Aserrín de madera	125.3	a
Jícara de coco	282.7	a
Harina de hueso y sangre	292.3	a
Hojarasca de caña	1499.3	ab
Pulpa de café	1839.7	ab
Carbón de cáscara de arroz	2062.0	abc
Cáscara de arroz	2974.0	bc
Bagazo de caña	4058.0	bcd
Nutriorgánico	5439.7	cde
Estiércol de chivo	5468.3	cde
Residuos de vegetales orientales	5487.3	cde
Estiércol de caballo	5940.3	de
Estiércol vacuno	7313.7	ef
Compost	7748.7	ef
Estiércol de ovejo	9310.3	f
Pollinaza	12167.7	g
Humus lombriz	14333.7	gh
Estiércol de cerdo	15146.3	h
Bocashi	16144.0	h
Pergamino de café	16418.3	h
Cachaza de caña	20767.3	i
Gallinaza	21597.3	i
Pulpa de naranja	30650.3	j
Tierra de bosque	47231.0	k

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=8.65%.

4.4.1.2.2. Manganeso

Se observó que existen diferencias significativas entre las medias del contenido de manganeso en los materiales alternativos ($p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 8.65 % (Tabla 72). Se observó que el 28 % de los materiales estudiados tiene un contenido de Mn bajo que oscila entre 2 y 151 ppm, un 24 % tiene un contenido medio entre 176 y 393 ppm, mientras que el 48 % restante tiene un contenido alto de Mn entre 413 y 1143 ppm (niveles de referencias tomado de Acosta *et al.*, 2003).

Tabla 72. Comparación de medias de contenido de manganeso (ppm) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (ppm)	
Aserrín de madera	2.0	a
Harina de hueso y sangre	8.7	a
Jícara de coco	11.83	a
Bagazo de caña	71.33	ab
Hojarasca de caña	86.3	ab
Pulpa de naranja	113.0	bc
Afrecho de arroz	151.3	bcd
Residuos de vegetales orientales	175.7	cde
Pulpa de café	211.7	de
Pergamino de café	242.7	e
Estiércol de caballo	333.3	f
Estiércol vacuno	353.3	f
Estiércol de chivo	392.7	fg
Carbón de cáscara de arroz	413.0	fgh
Cáscara de arroz	444.3	ghi
Cachaza de caña	490.0	hij
Compost	491.7	hij
Estiércol de ovejo	522.7	lj
Estiércol de cerdo	544.7	j
Bocashi	643.7	k
Humus de lombriz	667.3	k
Pollinaza	684.0	k
Gallinaza	960.3	l
Tierra de bosque	1001.0	l
Nutriorgánico	1143.3	m

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=7.0%.

4.4.1.2.3. Cobre

Se observó que existe diferencias significativas entre las medias del contenido de cobre en los materiales alternativos ($p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 7.96 % (Tabla 73). Se observó que el 96 % de los materiales estudiados tiene un contenido de Cu bajo que oscila entre 0.7 y 241 ppm, mientras que el 4 % restante tiene un contenido medio con 720 ppm (niveles de referencias tomado de Acosta *et al.*, 2003).

Tabla 73. Comparación de medias de contenido de cobre (ppm) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (ppm)	
Aserrín de madera	0.7	a
Harina de hueso y sangre	5.3	ab
Jícara de coco	6.2	ab
Afrecho de arroz	8.0	ab
Hojarasca de caña	8.7	ab
Cáscara de arroz	10.3	ab
Carbón de cáscara de arroz	11.3	ab
Bagazo de caña	12.0	ab
Estiércol de caballo	20.7	ab
Estiércol de chivo	25.3	b
Pulpa de naranja	26.0	b
Residuos de vegetales orientales	48.0	c
Pulpa de café	49.0	c
Pergamino de café	51.0	cd
Estiércol de cerdo	61.7	cd
Estiércol de ovejo	66.7	cde
Estiércol vacuno	67.3	cde
Tierra de bosque	71.0	de
Bocashi	72.0	de
Cachaza de caña	84.7	e
Compost	123.7	f
Pollinaza	208.3	g
Humus de lombriz	222.0	gh
Gallinaza	241.0	h
Nutriorgánico	719.7	i

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=7.96%.

4.4.1.2.4. Zinc

Se observó que existe diferencias significativas entre las medias del contenido de zinc en los materiales alternativos ($p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 7.0 % (Tabla 74). Se observó que el 100 % de los materiales estudiados tiene un contenido de Zn bajo que oscila entre 4.3 y 909 ppm (niveles de referencias tomado de Acosta *et al.*, 2003).

Tabla 74. Comparación de medias de contenido de zinc (ppm) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (ppm)	
Aserrín de madera	4.3	a
Jícara de coco	20.3	a b
Bagazo de caña	21.7	a b
Hojarasca de caña	38.3	a bc
Afrecho de arroz	53.0	Bcd
Pulpa de café	62.0	bcde
Pulpa de naranja	68.0	cdef
Harina de hueso y sangre	93.0	defg
Tierra de bosque	99.0	efg
Carbón de cáscara de arroz	103.3	efg
Residuos de vegetales orientales	105.3	fg
Estiércol de caballo	108.3	fg
Estiercol de chivo	113.3	g
Cáscara de arroz	126.3	gh
Pergamino de café	158.0	hi
Cachaza de caña	161.3	hi
Bocashi	184.3	ij
Estiércol de ovejo	210.3	jk
Estiércol vacuno	232.3	k
Compost	252.0	kl
Estiércol de cerdo	291.7	l
Humus de lombriz	338.3	m
Pollinaza	512.7	n
Gallinaza	644.0	o
Nutriorgánico	908.7	p

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=7.0 %.

4.4.1.3. pH y conductividad eléctrica

4.4.1.3.1. Potencial de hidrógeno (pH)

Se observó que existe diferencias significativas entre las medias de pH en los materiales alternativos ($p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 2.55 % (Tabla 75). Se observó que el 24 % de los materiales estudiados tiene un pH ligeramente ácido entre 5.18 y 6.89, un 40 % tiene un pH ligeramente alcalino entre 7.17 y 7.95, mientras que el restante 36 % tiene un pH medianamente alcalino entre 8.03 y 8.66.

Tabla 75. Comparación de medias de pH en los materiales alternativos.

Materiales	Medias
Fibra de coco	5.18 a
Afrecho de arroz	5.58 ab
Aserrín de madera	5.72 ab
Harina de hueso y sangre	5.76 ab
Cachaza de caña	5.94 b
Cáscara de arroz	6.83 c
Carbón de cáscara de arroz	6.89 c
Tierra de bosque	7.00 cd
Humus de lombriz	7.17 cd
Estiércol de cerdo	7.19 cd
Bagazo de caña	7.25 cd
Hojarasca de caña	7.36 cde
Pulpa de naranja	7.40 cdef
Compost artesanal	7.52 defg
Estiércol de caballo	7.52 defg
Bochashi	7.58 defg
Estiércol vacuno	7.88 efgh
Estiércol de chivo	7.95 fgh
Pergamino de café	8.03 ghi
Pollinaza	8.09 ghij
Gallinaza	8.20 hij
Estiércol de ovejo	8.26 hij
Residuos de vegetales orientales	8.46 hij
Pulpa de café	8.59 ij
Compost comercial	8.66 j

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=2.55%.

4.4.1.3.2. Conductividad eléctrica (CE)

Se observó que existe diferencias significativas entre las medias de CE en los materiales alternativos ($p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 6.36 % (Tabla 76). Se observó que el 20 % de los materiales estudiados tiene una CE baja que oscila entre 0.26 y 0.83 dS/m, un 12 % tiene una CE media entre 1.14 y 1.73, mientras que el restante 63 % tiene una CE alta entre 2.45 y 16.83 dS/m (niveles de referencias tomado de Acosta *et al.*, 2003).

Tabla 76. Comparación de medias de CE en los materiales alternativos.

Materiales	Medias (dS/m)
Aserrín de madera	0.26 a
Tierra de bosque	0.47 a
Pergamino de café	0.66 a
Pulpa de naranja	0.77 ab
Estiércol de caballo	0.83 ab
Bagazo de caña	1.14 ab
Fibra de coco	1.21 ab
Cáscara de arroz	1.73 bc
Carbón de cáscara de arroz	2.45 cd
Hojarasca de caña	2.76 cd
Afrecho de arroz	3.20 d
Cachaza de caña	4.84 e
Humus de lombriz	5.18 ef
Estiércol de chivo	5.70 ef
Residuos de vegetales orientales	5.82 ef
Pulpa de café	5.82 ef
Estiércol de cerdo	5.99 f
Estiércol vacuno	6.15 f
Pollinaza	7.98 g
Bocashi	8.06 g
Compost comercial	9.83 h
Harina de hueso y sangre	9.92 h
Gallinaza	10.03 h
Compost artesanal	12.11 i
Estiércol de ovejo	16.83 jk

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=6.36%.

4.4.2. Propiedades físicas

4.4.2.1. Densidad Aparente

En la Tabla 77 se observa que existe diferencias significativas entre las medias de las densidades aparentes de los materiales alternativos ($p\text{-valor} < 0.0001$). Se observó que la mayoría de los materiales estudiados (64.3 %) poseen una densidad aparente baja (menor de 0.53 g/cm^3). Según Díaz (2004), la densidad aparente óptima para materiales orgánicos debe ser menor de 0.50 g/cm^3 , por el manejo mismo en el invernadero, la porosidad total y costo en transporte.

Tabla 77. Comparación de medias de la densidad aparente (g/cm³) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (g/cm³)	
Estiércol de caballo	0.15	a
Cáscara de arroz	0.16	a
Pulpa de café	0.27	b
Estiércol vacuno	0.28	b
Aserrín de madera	0.29	bc
Humus de lombriz	0.32	bcd
Estiércol de chivo	0.33	bcd
Bagazo de caña	0.35	cde
Carbón de cáscara de arroz	0.35	cde
Cachaza de caña	0.36	def
Hojarasca de <i>Carnavalia</i>	0.36	def
Estiércol de cerdo	0.41	ef
Pergaminos del café	0.42	fg
Residuos de vegetales orientales	0.48	gh
Bocashi	0.49	h
Pulpa de naranja	0.49	h
Afrecho de arroz	0.51	h
Nutriorgánico	0.53	h
Compost	0.61	i
Estiércol de ovejo	0.61	i
Gallinaza	0.74	j
Paja de arroz	0.83	k
Limo	1.00	l
Arena	1.01	l
Jícara de coco	1.01	l
Harina de hueso y sangre	1.03	l
Turba	1.04	l
Tierra de bosque	1.30	m

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), CV=3.6%.

4.4.2.2. Porosidad total

Se encontró diferencias significativas entre las medias de la porosidad total de los materiales alternativos estudiados para la elaboración de sustrato ($p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 1.48 % (Tabla 78). Se observó que la mayoría de los materiales estudiados (46.4 %) poseen una porosidad total alta, mayor de un 82 %. Según Díaz (2004), la porosidad total óptima para materiales orgánicos debe ser mayor de un 85 %.

Tabla 78. Comparación de medias de la porosidad total (%) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (%)	
Tierra de bosque	43.62	a
Harina de hueso y sangre	55.07	b
Turba	55.54	b
Jícara de coco	55.94	b
Arena	56.23	b
Limo	56.67	b
Paja de arroz	63.91	c
Gallinaza	67.83	d
Estiércol de ovejo	73.33	e
Compost	73.62	ef
Nutriorgánico	76.96	fg
Afrecho de arroz	77.97	g
Pulpa de naranja	78.55	gh
Bocashi	78.7	ghi
Residuos de vegetales orientales	79.13	ghi
Pergaminos del café	81.74	hij
Estiércol de cerdo	82.17	jk
Hojarasca de <i>Carnavalía</i>	84.2	jk
Cachaza de caña	84.35	jk
Bagazo de caña	84.78	jkl
Carbón de cáscara de arroz	84.78	jkl
Humus de lombriz	86.09	kl
Estiércol de chivo	86.14	kl
Aserrín de madera	87.39	kl
Estiércol vacuno	87.97	l
Pulpa de café	88.26	l
Cáscara de arroz	93.19	m
Estiércol de caballo	93.48	m

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=1.48%.

4.4.2.3. Saturación de agua

Se observó que existe diferencias significativas entre las medias de saturación de agua de los materiales alternativos ($p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 7.88 % (Tabla 79). Se observó que la mayoría de los materiales estudiados (67.9 %) poseen una saturación de agua considerable, que oscila entre 140 y 1837 %.

Tabla 79. Comparación de medias de saturación de agua (%) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (%)	
Arena	28	a
Limo	42	ab
Pulpa de naranja	64	abc
Compost	69	abc
Turba	90	abcd
Harina de hueso y sangre	100	abcd
Residuos de vegetales orientales	100	abcd
Afrecho de arroz	120	abcde
Pergaminos del café	120	abcde
Paja de arroz	140	bcde
Aserrín de madera	150	bcde
Estiércol vacuno	150	bcde
Estiércol de ovejo	150	bcde
Pulpa de café	150	bcde
Nutriorgánico	150	bcde
Carbón de cáscara de arroz	180	cdef
Cáscara de arroz	180	cdef
Humus de lombriz	220	def
Bocashi	280	efg
Tierra de bosque	360	fgh
Estiércol de caballo	400	gh
Gallinaza	440	h
Bagazo de caña	627	i
Hojarasca de <i>Carnavalía</i>	1200	j
Jícara de coco	1317	k
Estiércol de cerdo	1500	l
Estiércol de chivo	1800	m
Cachaza de caña	1837	m

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

4.4.2.4. Humedad disponible

Se observó que existe diferencias significativas entre las medias de humedad disponible de los materiales alternativos ($p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 8.56 % (Tabla 80). La mayoría de los materiales estudiados (60.7 %) poseen una humedad disponible que oscila entre 19 y 32 %, lo cual indica que clasifican como materiales potenciales. Según Díaz (2004), la humedad disponible óptima para materiales orgánicos debe ser entre 20 y 30 % (los cálculos en Anexos 4.8.2 y 4.8.3).

Tabla 80. Comparación de medias del porcentaje humedad disponible (%) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (%)	
Pulpa de naranja	9.8	a
Arena	9.95	a
Limo	10.84	ab
Carbón de cáscara de arroz	12.87	abc
Residuos de vegetales orientales	17.22	bcd
Bocashi	18.93	cde
Pergaminos del café	18.98	cde
Compost	18.98	cde
Gallinaza	21.11	de
Cáscara de arroz	22.04	de
Estiércol de ovejo	24.23	def
Humus de lombriz	25.05	efg
Nutriorgánico	25.61	efgh
Aserrín de madera	29.31	efghi
Tierra de bosque	29.47	efghi
Estiércol de caballo	29.81	efghi
Turba	29.95	fghi
Pulpa de café	30.52	fghi
Estiércol vacuno	30.58	fghi
Harina de hueso y sangre	31.83	ghij
Paja de arroz	32.01	ghij
Afrecho de arroz	32.29	hij
Bagazo de caña	34.32	ij
Cachaza de caña	34.98	ij
Estiércol de cerdo	35.23	ij
Estiércol de chivo	36.29	ij
Hojarasca de <i>Carnavalia</i>	38.25	j
Jícara de coco	38.66	j

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=8.56%.

4.4.3. Variables biológicas

4.4.3.1 Poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos en los materiales alternativos

4.4.3.1.1. Población de hongos

En la Tabla 81 se observa que existe diferencias significativas entre las medias de las unidades formadora de colonia de hongos de los materiales alternativos ($p\text{-valor} < 0.0001$). Se observó que la mayoría de los materiales estudiados (72 %) poseen una población que oscila entre 3.73 y 5.18 Log UFC. Según CERPOICA INCORDER (2005), la cantidad óptima de unidades formadora de colonia para hongos en el suelo debe ser entre 4 y 6 log UFC.

Tabla 81. Comparación de medias de las unidades formadoras de colonia de hongo (log UFC) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (log UFC)	
Nutriorgánico	0	a
Paja de arroz	0	a
Gallinaza	0	a
Afrecho de arroz	0.9	a
Estiércol vacuno	2.59	b
Humus de lombriz	3.56	bc
Limo	3.61	c
Turba	3.73	cd
Jícara de coco	3.89	cde
Arcilla	3.99	cdef
Arena	4.17	cdefg
Bocashi	4.19	cdefgh
Carbón de cáscara de arroz	4.23	cdefgh
Estiércol de ovejo	4.36	cdefgh
Cáscara de arroz	4.49	cdefgh
Pulpa de naranja	4.63	defgh
Estiércol de caballo	4.73	defgh
Compost	4.76	efgh
Aserrín de madera	4.79	efgh
Estiércol de cerdo	4.89	efgh
Pulpa de café	4.96	efgh
Estiércol del chivo	4.97	fgh
Pergaminos del café	5.05	gh
Hojarasca de <i>Carnavalia</i>	5.05	gh
Residuos de vegetales orientales	5.18	gh

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=8.68%.

4.4.3.1.2. Población de bacterias

Se encontró diferencias significativas entre las medias de las unidades formadoras de colonia de bacterias (Tabla 82, $p\text{-valor} < 0.0001$) con un coeficiente de variación de 12.35 %. La mayoría de los materiales estudiados (88%) poseen una población que oscila entre 5.49 y 7.65 Log UFC. Según CERPOICA INCORDER (2005), la cantidad óptima de unidades formadoras de colonia para bacterias en el suelo debe ser entre 6 y 8 log UFC.

Tabla 82. Comparación de medias de las unidades formadoras de colonia de bacteria (log UFC) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (log UCF)	
Afrecho de arroz	0	a
Nutriorgánico	3.23	b
Arcilla	5.18	bc
Arena	5.49	bcd
Limo	5.65	cd
Residuos de vegetales orientales	5.93	cd
Estiércol de ovejo	6.25	cd
Hojarasca de <i>Carnavalia</i>	6.27	cd
Humus de lombriz	6.33	cd
Turba	6.53	cd
Paja de arroz	6.55	cd
Bocashi	6.69	cd
Pulpa de naranja	6.75	cd
Carbón de cáscara de arroz	6.76	cd
Estiércol vacuno	6.84	cd
Pergaminos del café	6.96	cd
Estiércol de cerdo	7.3	cd
Gallinaza	7.33	cd
Aserrín de madera	7.33	cd
Cáscara de arroz	7.36	cd
Estiércol de caballo	7.44	cd
Estiércol de chivo	7.51	cd
Pulpa de café	7.56	cd
Jícara de coco	7.59	d
Compost	7.65	d

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=12.35%.

4.4.3.1.3. Población de actinomicetos

Existe diferencias significativas entre las medias de las unidades formadoras de colonias de actinomicetos ($p\text{-valor} < 0.0001$, Tabla 83) en los materiales alternativos. con un coeficiente de variación de 11.32 %. Se observó que la mayoría de los materiales estudiados (88 %) poseen una población que oscila entre 5.01 y 7.47 Log UFC. Según CERPOICA INCORDER (2005), la cantidad óptima de unidades formadoras de colonias para actinomicetos en el suelo debe ser entre 5 y 8 log UFC.

Tabla 83. Comparación de medias de las unidades formadoras de colonia de actinomiceto (log UFC) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (log UCF)	
Arcilla	0	a
Afrecho de arroz	0	a
Nutriorgánico	3.25	b
Arena	5.01	bc
Limo	5.29	bcd
Humus de lombriz	5.70	cde
Gallinaza	5.90	cde
Turba	6.06	cde
Estiércol de ovejo	6.36	cde
Paja de arroz	6.41	cde
Hojarasca de <i>Carnavalia</i>	6.52	cde
Bocashi	6.54	cde
Estiércol de chivo	6.62	cde
Jícara de coco	6.66	cde
Estiércol vacuno	6.68	cde
Aserrín de madera	6.74	cde
Pulpa de naranja	6.78	cde
Estiércol de cerdo	6.81	cde
Carbón de cáscara de arroz	6.88	cde
Compost	7.08	de
Pergaminos del café	7.16	de
Residuos de vegetales orientales	7.36	e
Cáscara de arroz	7.45	e
Pulpa de café	7.45	e
Estiércol de caballo	7.47	e

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=11.32%.

4.4.3.1.4. Poblaciones de nematodos

En la Tabla 84 se observa que las mayores poblaciones de nematodos son del género de *Rhabditida*. Se observó su presencia en los estiércoles de cerdo, ovejo y chivo con 95, 100 y 85 unidades, respectivamente. También, se observó este género en el limo con 95 unidades. Las mayores poblaciones de nematodo del género de *Dorylaimida* se observó en el humus de lombriz y la turba, con 71 y 34 unidades, respectivamente.

Tabla 84. Medias de la población de los distintos géneros de nematodos en materiales alternativos.

Materiales	Género	Media	E.E.	Mínima	Máxima	Mediana
Arcilla	<i>Meloidogyne</i>	0.67	0.33	0	1	1
Arcilla	<i>Rotylenchulus</i>	1.33	0.33	1	2	1
Arcilla	<i>Rhabditida</i>	15	1.73	12	18	15
Arena	<i>Rhabditida</i>	19	3.79	13	26	18
Bocashi	<i>Rhabditida</i>	2.33	0.88	1	4	2
Estiércol de cerdo	<i>Rhabditida</i>	91.67	6.01	80	100	95
Estiércol de ovejo	<i>Rhabditida</i>	100.67	0.67	100	102	100
Estiércol de chivo	<i>Rhabditida</i>	86.33	7.54	74	100	85
Estiércol vacuno	<i>Rhabditida</i>	2	0	2	2	2
Humus de lombriz	<i>Araeolaimida</i>	2	0.58	1	3	2
Humus de lombriz	<i>Dorylaimida</i>	67.67	12.81	44	88	71
Humus de lombriz	<i>Rhabditida</i>	7.33	1.2	5	9	8
Limo	<i>Rhabditida</i>	92.33	5.36	82	100	95
Nutriorgánico	<i>Araeolaimida</i>	3.33	0.33	3	4	3
Pulpa de naranja	<i>Araeolaimida</i>	0.67	0.33	0	1	1
Pulpa de naranja	<i>Rhabditida</i>	18	1.15	16	20	18
Turba	<i>Araeolaimida</i>	5.67	0.33	5	6	6
Turba	<i>Alaimida</i>	3.33	0.33	3	4	3
Turba	<i>Dorylaimida</i>	32.67	2.4	28	36	34
Turba	<i>Longidorus</i>	1	0.58	0	2	1
Turba	<i>Monhysterida</i>	1.67	0.88	0	3	2
Turba	<i>Rotylenchulus</i>	0.67	0.33	0	1	1
Turba	<i>Rhabditida</i>	22.67	5.24	13	31	24
Turba	<i>Diplogasterida</i>	0.67	0.33	0	1	1
Turba	<i>Xiphinema</i>	15.67	2.03	12	19	16

4.5. Conclusiones y recomendaciones

4.5.1. Conclusiones

Desde los aspectos químicos, todos los materiales evaluados pueden ser usados como sustratos, pues su mayor propósito es ser soporte. Sin embargo, en termino de pH y salinidad, se observó gran variabilidad entre 5.18 y 8.66 para el pH y conductividad eléctrica muy baja, lo que hace que estos materiales tengan buen potencial para ser usados en la elaboración de sustrato en sentido general.

En relación con las propiedades físicas, los materiales evaluados, presentan una densidad aparente baja en un 64 %, porosidad mayor a un 82 % en un 46 %, saturación de agua superior al 140 % en un 68 % y una humedad disponible entre un 19 y 32 % en un 61 %. Estos resultados

indican que, en general, los materiales poseen excelentes propiedades físicas para ser mezclados y usados como sustratos en invernadero.

En términos biológicos, algunos materiales fueron inertes con relación a hongos (paja de arroz, nutriorgánico y gallinaza), bacterias (aflecho de arroz), actinomicetos (arcilla, y aflecho de arroz) y se observó nematodos en todas las muestras. Estos resultados sugieren la desinfección de los materiales al momento de realizar las mezclas y evitar en algunos casos problemas sanitarios. Las mayores poblaciones de nematodos se observaron del género de *Rhabditida* (estiércol de cerdo, oveja y chivo) y *Dorylaimida* (humus de lombriz y turba).

4.5.2. Recomendaciones

Se recomienda evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas de las diferentes mezclas de estos materiales a fin de poder verificar sus propiedades óptimas.

Se recomienda evaluar las diferentes combinaciones de materiales alternativos con potencial para la elaboración de sustrato en los cultivos que se están cultivando.

4.6. Agradecimientos

A los productores y empresas privadas por su colaboración en la investigación.

4.7. Referencias bibliográficas

Acosta, Yudith; Paolini, Jorge; Flores, Saul; Benzo, Zully; El Zauahre, Maziad; Toyo, Ligia. 2003. Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza. Universidad de Zulia. Multiciencia, junio, año/Vol. 3, número 001.

Bell, P. R. 1992. Green plants their origin and diversity. Dioscorides Press. Portland, Oregon.

CORPOICA-INCODER. 2005. Caracterización, zonificación y evaluación económica de los sistemas productivos en el área de desarrollo rural de la Altillanura. Primera aproximación. CIAT. 2004. Plan de desarrollo municipal Con nuestra gente gobernamos. 2004- 2007. C.D. CIAT ADR.

Fidel, Díaz. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Guanajuato. *Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción* Torreón, Coah, México, octubre 13, 14 y 15 del 2004.

InfoStat (2004). InfoStat, versión 2004. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina.

Iskander, R. 2002. Manejo de sustrato para la producción de plantas ornamentales en maceta. Department of Horticultural Sciences. Texas A&M University.

Pérez, Aridio; Céspedes, Carlos y Núñez, Pedro. Caracterización física-Química Y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* [online]. 2008, vol. 8, no. 3 [citado 2009-05-25], pp. 10-29. Disponible en : <http://www.scielo.cl/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000300002&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-2791.

Programa de Mercadeo de Frigoríficos e Invernaderos (PROMEFRIN). 2009. Estadísticas. En línea, consultado 21/05/2009. <http://promefrin.org/estadísticas/promefrin.pdf>

Reinaldo, P; Aracelys, P. 2002. Propiedades físicas de componente de sustratos de uso común en la hortícola del Estado de Lara, Venezuela. *Bioagro* 15(1) 55-63. 2003.

4.8. Anexo

Anexo 4.8.1. Fotos de algunos de los materiales evaluados.



Foto 1. Arena.



Foto 2. Cáscara de arroz.



Foto 3. Tierra de bosque.



Foto 4. Estiércol vacuno.



Foto 5. Fibra de coco.



Foto 6. Carbón de cáscara de arroz.



Foto 7. Haina de hueso y sangre.



Foto 8. Residuos de vegetales orientales.



Foto 9. Gallinaza.



Foto 10. Afrecho.

Anexo 4.8.2. Tabla 85. Comparación de medias de la capacidad de campo (%) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (%)	
Arena	22.07	a
Pulpa de naranja	23.25	a
Limo	25.42	ab
Carbón de cáscara de arroz	30.39	b
Residuos de vegetales orientales	41.86	c
Bocashi	46.37	c
Pergaminos del café	46.46	c
Compost	46.70	cd
Gallinaza	51.70	de
Cáscara de arroz	54.44	e
Nutriorgánico	54.57	e
Estiércol de ovejo	60.79	f
Humus de lombriz	71.51	g
Tierra de bosque	74.58	gh
Aserrín de madera	74.70	gh
Turba	75.05	gh
Estiércol de caballo	75.52	gh
Pulpa de café	77.24	hi
Estiércol vacuno	78.11	hi
Harina de hueso y sangre	81.57	hi
Paja de arroz	81.67	ij
Afrecho de arroz	82.68	jk
Bagazo de caña	87.63	kl
Cachaza de caña	90.18	lm
Estiércol de cerdo	90.90	lm
Estiércol de chivo	93.56	mn
Jícara de coco	96.88	n
Hojarasca de <i>Carnavalia</i>	97.81	n

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=2.45%.

Anexo 4.8.3. Tabla 86. Comparación de medias del punto de marchitez (%) en materiales alternativos.

Materiales	Medias (%)	
Arena	12.13	a
Pulpa de naranja	13.45	a
Limo	14.58	a
Carbón de cáscara de arroz	17.52	a
Residuos de vegetales orientales	24.64	b
Bocashi	27.44	bc
Pergaminos del café	27.48	bc
Compost	27.72	bc
Nutriorgánico	28.96	bc
Gallinaza	30.59	bc
Cáscara de arroz	32.40	cd
Estiércol de ovejo	36.56	d
Turba	45.10	e
Tierra de bosque	45.12	e
Aserrín de madera	45.39	e
Estiércol de caballo	45.72	e
Humus de lombriz	46.46	e
Pulpa de café	46.73	e
Estiércol vacuno	47.53	ef
Paja de arroz	49.66	efg
Harina de hueso y sangre	49.74	efgh
Afrecho de arroz	50.39	efgh
Bagazo de caña	53.31	fghi
Cachaza de caña	55.20	ghij
Estiércol de cerdo	55.67	hij
Estiércol de chivo	57.27	ij
Jícara de coco	58.22	ij
Hojarasca de <i>Carnavalia</i>	59.56	j

Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$). CV=4.73%.

5. ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELOS Y SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE VEGETALES EN INVERNADEROS

Glenny López y Pedro Antonio Núñez Ramos

5.1. Resumen

Se estima que el 85 % de los productores dominicanos que cultivan vegetales en invernaderos utilizan camas elaboradas con sustratos y el 15 % utiliza directamente el suelo, sin embargo, actualmente estos porcentajes han cambiado y se encuentran en proporción equilibrada de un 50:50 (suelo:sustrato). La aptitud de un suelo o de un sustrato puede ser definida en base a parámetros físicos, químicos y biológicos. Cualquier actividad biológica en un sustrato es perjudicial, mientras que en el suelo es sinónimo de calidad. El objetivo del trabajo fue evaluar biológicamente suelos y sustratos provenientes de invernaderos utilizados como medio en la producción de vegetales. Para ello se determinó: carbono biomásico (CB), nitrógeno biomásico (NB) y respiración basal (RB) en diversos experimentos y cultivos. El análisis estadístico de los parámetros de CB, NB, y RB se realizó en el programa *Stat-graphics* mediante un análisis de varianza (ANOVA). La información se analizó utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5 % ($\alpha=0.05$) para detectar diferencias entre las medias. Los valores obtenidos difirieron significativamente en los tratamientos entre los diversos experimentos. Los resultados reflejan una alta actividad microbiana en los sustratos, materiales alternativos y suelos evaluados. Esto se debe a que todos los sustratos y materiales orgánicos usados, incluso los más estables, son susceptibles a la degradación. En el caso del suelo, también se observó una alta actividad biológica, por la presencia de residuos orgánicos y materiales en descomposición. Estos resultados sugieren, que los suelos y sustratos en invernadero deben ser manejados en función de la actividad biológica y se deberían implementar sistemas sostenibles y resilientes con una baja carga de insumos que afecten la actividad biológica en suelos y sustratos.

5.2. Introducción

En República Dominicana, la producción de vegetales en bajo ambiente protegido es una actividad agrícola que se ha incrementado de forma exponencial en el último decenio y se caracteriza por ser uno de los pilares económicos básicos en diversas regiones del país (Promefrin, 2010). El manejo de este sistema productivo comúnmente encontrado es la utilización de sustratos (orgánicos o inorgánicos o combinados) con circulación de formulaciones nutritivas. Se estima que el 85 % de los productores que cultivan vegetales en invernaderos utilizan camas con sustratos, elaborados localmente o importados (Promefrin, 2010).

El desarrollo tecnológico de materiales locales o regionales posibilita potenciar un eslabón más en la cadena de producción para la producción de vegetales en condiciones de invernaderos. Ahora estamos en un punto de inflexión, donde investigadores de otros países ha probado que

existe una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados como componentes de sustratos, desarrollarse e introducirse en los sistemas productivos. El costo debe ser relativamente bajo, con disponibilidad de volúmenes para la producción comercial de cultivos. Los más promisorios podrían ser residuos de procesos industriales, agropecuarios y urbanos biodegradables. De esta manera se disminuye la contaminación, se agrega valor al residuo y no se impacta sobre los recursos naturales ni se contamina con materiales de difícil degradación. Generan trabajo y oportunidades para emprendedores y empresarios.

Como sustrato de cultivo en la mayoría de los invernaderos dominicanos se utiliza la cascarilla de arroz, directamente, o tras sufrir un proceso de descomposición o quemado. La cascarilla de arroz tostada es considerada un buen material en su uso como sustrato (Papafotiou *et al.*, 2001), ya sea sola o mezclada con otros subproductos o compost (Guerrini y Trigueiro, 2004; Yahya *et al.*, 2009). Este material da como resultado un sustrato económico, comparado con turba, lana de roca o perlita y disponible, por ser un subproducto de la industria arrocería (Quintero *et al.*, 2006). A pesar de estas ventajas, y de ser el sustrato más comúnmente utilizado en la República Dominicana, su manejo resulta complicado ya que no se conoce lo suficiente sobre cómo varían sus propiedades a lo largo del ciclo de los cultivos.

La calidad de los sustratos y suelos depende de factores como pH, humedad, temperatura, tipos de residuos, actividad biológica y otros. En estos procesos, los organismos juegan un papel fundamental en el reciclaje de nutrientes, principalmente: carbono, nitrógeno, fósforo y potasio. Estos nutrientes son esenciales para el crecimiento de las plantas y dependen mucho de los contenidos de materia orgánica (García y Hernández, 2004). La poca homogeneidad, el contenido de ciertos compuestos (como sales) que aumentan la conductividad eléctrica (CE) del medio o incluso pueden presentar toxicidad para la planta y la falta de aireación por compactación de la estructura conforme se degrada la materia, han sido los inconvenientes que se le atribuían al sustrato cuando comenzó a utilizarse.

La calidad de un sustrato es compleja de conceptualizar, ya que la misma se define en función al uso y manejo del medio edáfico que favorece determinadas condiciones (Blum, 1998). Burés (1997) atribuye que, para garantizar el éxito de un cultivo, el sustrato debe poder mantenerse como un factor fijo, es decir, que sus propiedades físicas, químicas y biológicas sean siempre las mismas con el fin de establecer un manejo adecuado.

Todos los microorganismos heterótrofos tienen la propiedad de degradar la materia orgánica, obteniendo la energía que necesitan para su desarrollo a través de la descomposición de compuestos orgánicos. En estas reacciones redox 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 CO_2 y H_2O . Por lo tanto, la actividad metabólica de los microorganismos del suelo puede ser medida mediante el desprendimiento del CO_2 o el consumo de O_2 en un determinado periodo de tiempo. Este parámetro, indicador de la actividad microbiológica existente en el suelo puede medirse en laboratorio y nos dará idea de la actividad microbiológica existente en el mismo (García-Préchac *et al.*, 2001).

La actividad microbiana se utiliza como índice de fertilidad y calidad en los suelos (Alvear *et al.*, 2006), en el caso de los sustratos como índice de calidad (Acosta *et al.*, 2006). Esta se mide a través de parámetros tales como: carbono biomásico (CB), nitrógeno biomásico (NB) y respiración microbiana (RM). Los contenidos de CB y NB permiten evaluar la capacidad de mineralización e inmovilización de nutrientes en el suelo y en residuos en sistemas de producción. La actividad respiratoria es un indicador de la presencia de microorganismos aeróbicos. El CB indica la cantidad de carbono microbiano existente en el suelo o sustrato; el NB indica la cantidad de nitrógeno microbiano existente en el suelo o sustrato y la RM consiste en la medida de la actividad biológica de la población microbiana total, a través del desprendimiento de CO₂.

La actividad microbiana es un indicador de calidad en los sustratos (Acosta y Paolini, 2006) y permite evaluar la “*bioestabilidad*”, propiedad que asociada a la durabilidad y al estado, define si un sustrato permanece con poca alteración durante el ciclo de un cultivo (Lemaire, 1997). Cualquiera que sea la característica de la rizosfera siempre se encontrará en ella cierta actividad biológica, de naturaleza e intensidad variable. No obstante, cuando el sustrato es de naturaleza orgánica, rápidamente se desarrolla una intensa vida microbiana que, en mayor o menor medida lo transforma y degrada (Gómez y Paolini, 2006). Según Lemaire *et al.* (2003), en la caracterización biológica se evalúa la estabilidad del material y la liberación de elementos o sustancias que pudieran afectar al cultivo.

La velocidad de descomposición de los materiales orgánicos está determinada tanto por las condiciones ambientales del medio radicular como a factores externos (aireación, temperatura, humedad, pH y etc.) requeridos por los microorganismos, como por la composición química de estos materiales (Burés, 1998). Esta velocidad puede ser medida a través de parámetros biológicos, tales como: carbono biomásico, nitrógeno biomásico y respiración microbiana. La actividad respiratoria es un indicador de la presencia de microorganismos aeróbicos y el uso de índices que estimen la actividad microbiana proporciona información sobre factores que se atribuyen a la vida útil de los sustratos utilizados en invernaderos y sobre las condiciones referentes a su calidad y a los factores de manejo (Terés, 2001).

La actividad de la biomasa microbiana tanto en suelos como en sustratos depende del tipo, cantidad y calidad del material utilizado y de las concentraciones de nutrientes. Un mayor flujo de residuos orgánicos al suelo, asociado a condiciones favorables para los microorganismos, estimula la BM e incrementan los contenidos de CB y NB. No obstante, en el caso de los sustratos la actividad biológica es perjudicial, debido a que los microorganismos utilizan estos materiales como fuente de energía (Rad *et al.*, 2004). Esto sugiere que los sustratos utilizados podrían no ser adecuados para usarse como soporte en la producción de vegetales en invernaderos, debido a que es un material de rápida mineralización. Una de las características principales para evaluar un sustrato como bueno es que tenga baja velocidad de descomposición.

La respiración basal es la producción de dióxido de carbono (CO₂) como resultado de la actividad biológica en el suelo, realizada por microorganismos, raíces vivas, y macroorganismos tales como lombrices, nemátodos o insectos (Parkin *et al.*, 1996). El dióxido de carbono emitido desde el suelo es un gas incoloro e inodoro que entra en la atmósfera y anualmente supera la cantidad emitida por todas las actividades humanas (Volk, 1994). Este elemento se define como un catabólico habitual resultante del desarrollo microbiano sobre materia orgánica tanto en condiciones aerobias y como anaerobias (Pares y Juárez, 1997). La actividad de organismos en el suelo es considerada como un atributo positivo para la calidad del suelo. La respiración del suelo es altamente variable, tanto espacialmente como estacionalmente, y está fuertemente afectada por condiciones de humedad y temperatura.

Los elementos que constituyen el sustrato y la actividad microbiana asociada hacen que la solución nutritiva disponible para las plantas varíe en función a la aportada inicialmente. De esta forma, los indicadores microbiológicos aportan información relativa a la actividad metabólica que se encuentre en el medio (sustrato), pues que mantienen una mayor sensibilidad frente a procesos no deseables (Marschner *et al.*, 2002). En estos procesos, los microorganismos juegan un papel fundamental en el ciclaje de nutrientes, principalmente: carbono, nitrógeno, fósforo y potasio. Estos nutrientes son esenciales para el crecimiento de las plantas y dependen mucho de los contenidos de materia orgánica (Martínez, 2005).

El desarrollo de sustratos formulados con materiales diferentes a los tradicionales debe partir del conocimiento sobre cómo se produce en esa región, es decir, tener en cuenta los cultivos, saber el sistema de riego predominante, la calidad del agua, cómo los productores manejan la nutrición y seguramente los nuevos sustratos serán adoptados sin problemas por los productores, siempre y cuando los precios sean razonables. En principio, cualquier cuerpo poroso que permita el almacenamiento de agua y aire, el intercambio de gases y en definitiva pueda suministrar en el tiempo las condiciones adecuadas para el crecimiento de las raíces de las plantas en un contenedor, podría ser utilizado como sustrato, siempre y cuando no tenga un impacto negativo sobre el medio ambiente y su uso no esté restringido legalmente.

Algunos aspectos relacionados con la selección de materiales regionales o locales se discuten a continuación: disponibilidad a bajo costo; granulometría – uniformidad; libre de malezas y patógenos; relación beneficio/costo; homogeneidad (referido a que las partidas o lotes no sean heterogéneos) (fitotoxicidad (los componentes no deben contener fenoles, taninos, sales y otros compuestos que puedan ser dañinos para la planta); estabilidad (no deben degradarse en el ciclo del cultivo); libre de inertes (no deben contener piedras, plástico, vidrios y todo material distinto al sustrato); y baja actividad microbiana. Con relación al último aspecto, existe una preocupación general sobre la estabilidad biológica de los sustratos, entendida como la resistencia a la biodegradación de los componentes orgánicos del sustrato (Valenzuela, 2014). Este autor argumenta que este problema se puede acentuar cuando se emplean subproductos orgánicos incompletamente compostados, provocando que las consecuencias de este problema incidan sobre el cultivo.

A partir de los resultados obtenidos por el IDIAF en el proyecto MESCYT- IDIAF 2008-2-D3-027 en invernaderos del Cibao Central y San José de Ocoa, donde se determinó una mayor actividad microbiana en los sustratos comparado con los suelos, se deduce que estos materiales se mineralizan muy rápido, acortándose el tiempo de vida útil y, por ende, aumentando los costos de reposición en los invernaderos de la región del Cibao Central y San José de Ocoa. Por lo que, se hizo necesaria una segunda etapa de evaluación de estos parámetros biológicos en el proyecto, con la finalidad de generar informaciones locales que contribuyan a un manejo apropiado de los sistemas.

El objetivo de la investigación fue evaluar la actividad microbiana en suelos, materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos y en sustratos alternativos para la producción de vegetales en condiciones de ambiente controlado. Además, evaluar la actividad microbiana en suelos y sustratos provenientes de invernaderos en ají morrón, pepino y la berenjena midiendo la respiración basal (RB) a través de la producción de CO₂, el carbono biomásico (CB) y el nitrógeno biomásico (NB) emitido por los microorganismos del suelo.

5.3. Materiales y métodos

5.3.1. Ubicación

La investigación se realizó en invernaderos ubicados en la Estación Experimental de Pontón, provincia La Vega, ubicada en las coordenadas latitud 19° 15' N y longitud 70° 33' O. La altitud corresponde a unos 97 msnm, la temperatura media anual es de 27 °C y la pluviometría media corresponde a unos 1,400 mm/año. Las áreas seleccionadas para la instalación del experimento correspondieron a invernaderos tipo cubano tropicalizado con un área de 300 m² y la investigación se realizó durante el período comprendido entre septiembre 2010 y agosto 2011.

5.3.2. Tipo de investigación y diseño experimental

La investigación fue del tipo experimental donde se evaluó la actividad microbiana en suelos, materiales para la elaboración de sustratos alternativos y en sustratos alternativos previamente elaborados. Se realizaron varios ensayos con berenjena (*Solanum melongena* L), pepino (*Cucumis sativus* L.) y ají morrón (*Capsicum annuum* L.) como cultivos indicadores. Los diseños experimentales dispuestos en campo fueron en bloques completamente al azar (DBCA) con tres repeticiones para el cultivo de pepino y un diseño completamente aleatorizado (DCA) con tres repeticiones para el cultivo de ají morrón.

5.3.3. Determinaciones de biomasa microbiana carbono biomásico (CB) y nitrógeno biomásico (NB) y respiración basal (RB)

Las determinaciones biológicas y de actividad microbiana se realizaron en el Laboratorio de Protección Vegetal de la Estación Experimental Mata Larga del IDIAF, donde se evaluaron los parámetros CB, NB y RB por triplicado. Para la determinación del CB y NB y la RB, las muestras homogéneas de suelo y sustratos se tamizaron a través de una malla de 2 mm y se pre-incubaron durante siete días con la finalidad de acondicionar la muestra y promover la

actividad microbiana. Para la determinación de CB y de NB de las muestras incubadas se utilizó el método de Fumigación-Extracción (FE) con cloroformo (CH_3Cl). La FE se desarrolló utilizando la metodología propuesta por Brookes *et al.* (1985) y Vance *et al.* (1987). Todos los análisis se efectuaron en triplicado pesando 50 g de suelo húmedo en frascos de 15 mL. De éstos, 25 g fueron fumigados y 25 g no se fumigaron (controles). Se colocaron envases con muestra húmeda de suelo y/o sustrato en un desecador, junto con un matraz con 25 mL de cloroformo libre de etanol (CHCl_3), luego se sometió a vacío con una bomba hasta que se obtuvo la ebullición del cloroformo. Las muestras contenidas en el desecador se colocaron en la oscuridad y a una temperatura de 25°C durante 24 horas. Transcurridas las 24 hrs el CH_3Cl se removió en varias ocasiones, y la muestra se transfirió a otro envase para su extracción con K_2SO_4 0.5 M. La muestra se filtró y se obtuvo la alícuota para la determinación del CB proveniente de la biomasa (Alef y Nannipieri, 1995).

La determinación del CB se realizó tomando 20 mL de los extractos de muestras fumigadas y no fumigadas y se le añadió 5 mL de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) y 15 mL de la mezcla (2:1 v/v) de ácido sulfúrico: ácido fosfórico ($\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$) en un matraz de 250 mL. La mezcla se sometió a reflujo durante 45 min a 15 libras de presión, se dejaron enfriar y el dicromato de potasio residual se determinó por titulación con sulfato ferroso amoniacal 0.2 N agregando de 6 a 7 gotas de la solución indicadora de orto-fenantrolina con sulfato ferroso (Alef y Nannipieri, 1995). El carbono de la biomasa fue calculado como: Biomasa- $\text{C} = 2.64 \times [(\text{Carbono orgánico extraído con } \text{K}_2\text{SO}_4 \text{ del suelo fumigado}) - (\text{carbono orgánico extraído con } \text{K}_2\text{SO}_4 \text{ del suelo no fumigado})]$ (Vance *et al.*, 1987). Los resultados se expresaron como mg de C kg ss^{-1} .

Para la determinación del N asociado a la biomasa microbiana las muestras fueron extraídas con K_2SO_4 0.5 M. el N total de las muestras fumigadas y no fumigadas se determinó por el método de destilación Kjeldahl (Brookes *et al.*, 1985). Para la lectura del N-NH_4^+ se recolectaron unos 20 ml del destilado, previo a la adición de 0.2 g de MgO preliminarmente calcinado, posteriormente se adicionó 0.2 g de aleación Devarda (Aluminio: 44%-46% + Cobre: 49%-51% + Zinc: 4-6%) para la lectura del N-NO_3^- y se recolectaron 20 ml del mismo destilado en una misma muestra. El destilado se recogió sobre 5 ml de ácido bórico con indicador mixto (rojo de metilo al 0.1 % y azul de metileno al 0.1 %) y se valoró en una solución de 0.005 N de H_2SO_4 de concentración. El NB microbiana fue calculado como la diferencia entre la muestra fumigada y no fumigada, dividida por un factor de 0.45.

La RB se estimó por la cuantificación de la producción de CO_2 capturado en una trampa de alcalina preparada con NaOH. Las muestras se incubaron aeróbicamente durante 28 días preparadas en envases de cristal, uno con 20 mL de NaOH 1M para atrapar el CO_2 generado por la respiración de la muestra y el otro con 20 mL de agua destilada para mantener la humedad de las muestras. El NaOH se precipita con BaCl_2 y se le adiciona dos gotas de fenolftaleína al 1 %. El color morado indica pH básico por la formación de BaCO_3 y NaCl. Se tomaron muestras por triplicado los días 1, 2, 4, 7 y 10 de la incubación y se titularon con HCl 0,5 M para cuantificar el volumen de hidróxido que no reaccionó con el CO_2 (Anderson, 1982). Las valoraciones en las muestras fueron calculadas en base a peso seco ($\text{mg CO}_2 \text{ C kg ss}^{-1}$). El valor utilizado para este parámetro correspondió al promedio de todas las evaluaciones.

5.3.4. Metodología por experimento

5.3.4.1. Determinación de la actividad microbiana en suelos de invernadero con diferentes modalidades de preparación con ají morrón como cultivo indicador

En este ensayo se evaluó la actividad microbiana (CB, NB) y la RM en diez modalidades de preparación de suelo cultivado con ají morrón en condiciones de invernadero (Figura 20).



Figura 20. Unidades experimentales establecidas en el ensayo de suelo con diferentes modalidades de preparación de suelo cultivado con ají morrón en condiciones de invernadero.

El tamaño de la unidad experimental (UE) fue de 2.76 m² (4.6 m de largo x 0.60 m de ancho) y el peso equivalente de material orgánico utilizado en la preparación de los tratamientos fue de 2.76 kg. Los tratamientos evaluados se muestran en la Tabla 87.

Tabla 87. Tratamientos evaluados en el ensayo de cultivo de ají morrón en suelos con diferentes modalidades de preparación.

Tratamientos		Modalidad	Nomenclatura
1	Muro tradicional		MT
2	Muro tradicional + 10 ton/ha abono verde		MT+AV
3	Muro tradicional + 10 ton/ha de gallinaza compostada		MT+GAC
4	Muro tradicional + 10 ton/ha de bocashi		MT+BO
5	Muro tradicional +10 ton/ha de lombricompost		MT+LC
6	Doble excavación		DE
7	Doble excavación + 10 ton/ha de abono verde		DE+AV
8	Doble excavación + 10 ton/ha gallinaza compostada		DE+GA
9	Doble excavación+ 10 ton/ha bocashi		DE+BO
10	Doble excavación+10 ton/ha lombricompost		DE+LC

5.3.4.2. Evaluación de actividad microbiana en materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos basados en componentes locales.

Se evaluó la actividad microbiana a partir del CO₂ desprendido por los microorganismos en 18 materiales orgánicos utilizados en el país en la producción de vegetales en condiciones de invernadero (Tabla 88). Esto con la finalidad de conocer su estabilidad biológica como materiales potenciales para la elaboración de sustratos alternativos a los que ya se utilizan.

Tabla 88. Tratamientos evaluados en el ensayo de actividad microbiana en materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos.

Material potencial	Ficha	Material potencial	Ficha
1. Afrecho de arroz	AA	10. Gallinaza	GA
2. Aserrín de madera	AM	11. Harina de hueso	HH
3. Bocashi	BO	12. Humus de lombriz	HL
4. Cáscara de arroz	CA	13. Nutriorgánico	NO
5. Ceniza de cascarilla arroz	CCA	14. Pergamino de café	PC
6. Compost	COM	15. Pollinaza	PO
7. Estiércol de caballo	EC	16. Pulpa de café	PC
8. Estiércol de ovejo	EO	17. Residuos de vegetales orientales	RVO
9. Estiércol vacuno	EV	18. Tierra de bosque	TB

5.3.4.2. Determinación de la actividad microbiana en sustratos alternativos para la producción de vegetales en invernaderos con pepino como cultivo indicador

La materia prima utilizada para la elaboración de los sustratos correspondió a materiales orgánicos en base a: gallinaza (GA), carboncillo de arroz (CB), cascarilla de arroz (CA) y fibra de coco (FC) y materiales inorgánicos (arena (AR) y grava (GR)). Estos materiales se utilizaron solos como tratamiento testigo (100 % v) y mezclados (orgánico/ inorgánico) en diferentes proporciones v/v (50/50, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10, 40/60, 30/70, 20/80 y 10/90) (Tabla 89). Se utilizó un DCA con 46 tratamientos y tres repeticiones, para un total de 138 unidades experimentales (UE). Cada UE contó con cuatro plantas dispuestas en tarros de plástico (macetas) (Figura 21). Las evaluaciones en el cultivo con pepino se realizaron durante dos ciclos del cultivo consecutivamente, ambos ciclos con el mismo manejo agronómico en condiciones de fertirrigación controlada. En una primera etapa se utilizaron sustratos y materiales inorgánicos nuevos, en la segunda etapa se reutilizaron dichos materiales y se completó la parte faltante en cada maceta con material nuevo mezclado con el existente, pero en las proporciones especificadas en la Tabla 89.



Figura 21. Unidad experimental del ensayo de cultivo de pepino en sustratos alternativos.

Tabla 89. Sustratos elaborados a partir de materiales orgánicos mezclados con arena y grava utilizados en los ensayos.

<i>Sustratos con arena</i>	<i>Proporciones</i>	<i>Sustratos con grava</i>	<i>Proporciones</i>
Gallinaza + arena	GA ₃₀ + AR ₇₀	Gallinaza + grava	GA ₃₀ + GR ₇₀
	GA ₄₀ + AR ₆₀		GA ₄₀ + GR ₆₀
	GA ₄₀ + AR ₅₀		GA ₄₀ + GR ₅₀
	GA ₆₀ + AR ₄₀		GA ₆₀ + GR ₄₀
	GA ₇₀ + AR ₃₀		GA ₇₀ + GR ₃₀
Cáscara de arroz + arena	CA ₃₀ + AR ₇₀	Cáscara de arroz + grava	CA ₃₀ + GR ₇₀
	CA ₄₀ + AR ₆₀		CA ₄₀ + GR ₆₀
	CA ₄₀ + AR ₅₀		CA ₄₀ + GR ₅₀
	CA ₆₀ + AR ₄₀		CA ₆₀ + GR ₄₀
	CA ₇₀ + AR ₃₀		CA ₇₀ + GR ₃₀
Carboncillo de arroz + arena	CB ₃₀ + AR ₇₀	Carboncillo de arroz + grava	CB ₃₀ + GR ₇₀
	CB ₄₀ + AR ₆₀		CB ₄₀ + GR ₆₀
	CB ₄₀ + AR ₅₀		CB ₄₀ + GR ₅₀
	CB ₆₀ + AR ₄₀		CB ₆₀ + GR ₄₀
	CB ₇₀ + AR ₃₀		CB ₇₀ + GR ₃₀
Fibra de coco + arena	FC ₃₀ + AR ₇₀	Fibra de coco+ grava	FC ₃₀ + GR ₇₀
	FC ₄₀ + AR ₆₀		FC ₄₀ + GR ₆₀
	FC ₄₀ + AR ₅₀		FC ₄₀ + GR ₅₀
	FC ₆₀ + AR ₄₀		FC ₆₀ + GR ₄₀
	FC ₇₀ + AR ₃₀		FC ₇₀ +G R ₃₀
<i>Materiales utilizados al 100 %</i>			
Material orgánico		Material inorgánico	
Gallinaza	GA ₁₀₀	Arena	AR ₁₀₀
Cáscara de arroz	CA ₁₀₀	Grava	GR ₁₀₀
Carboncillo de arroz	CB ₁₀₀		
Fibra de coco	FC ₁₀₀		

El manejo se realizó acorde con las prácticas comúnmente utilizadas por el productor en el cultivo de pepino (muros, marco de plantación, tutorado, raleo, poda, manejo de riego, nutrición y control de plagas y enfermedades).

5.3.4.3. Determinación de la actividad microbiana en sustratos alternativos para la producción de vegetales en invernaderos con ají morrón como cultivo indicador

Este experimento se realizó utilizando los 46 tratamientos del experimento de sustratos alternativos con pepino como cultivo indicador. Las evaluaciones se realizaron con la reutilizaron de dichos materiales y se completó la parte faltante en cada maceta con material nuevo mezclado con el existente, pero en las proporciones especificadas en la Tabla 89. En esta tercera etapa el manejo agronómico fue el mismo que se utilizó en el ensayo con pepino. El ensayo se estableció con cultivo de ají morrón siguiendo los procedimientos establecidos por el programa de mercado, frigoríficos e invernaderos (PROMEFRIN) sobre el manejo del cultivo en condiciones de invernadero desde la siembra hasta la cosecha.

Los tratamientos evaluados fueron: gallinaza (GA), carboncillo de arroz (CB), cascarilla de arroz (CA) y fibra de coco (FC) y materiales inorgánicos (arena (AR) y grava (GR)). Estos materiales se utilizaron solos como tratamiento testigo (100 % v) y mezclados (orgánico/ inorgánico) en diferentes proporciones v/v (50/50, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10, 40/60, 30/70, 20/80 y 10/90) (Tabla 89).

5.3.4.4. Determinación de la actividad microbiana en diez sustratos de uso común para la producción de vegetales en invernaderos con ají morrón como cultivo indicador

Se evaluó la actividad microbiana (CB, NB y RM) en diez sustratos de uso común en condiciones de invernadero utilizando el ají morrón como cultivo indicador. El ensayo se estableció siguiendo los procedimientos establecidos por el programa de mercado, frigoríficos e invernaderos (PROMEFRIN) sobre el manejo del cultivo en condiciones de invernadero desde la siembra hasta la cosecha. Se evaluaron los siguientes tratamientos (Tabla 90):

Tabla 90. Tratamientos evaluados en el ensayo de actividad microbiana en sustratos cultivo de ají morrón con sustratos de uso común.

Tratamientos	Materiales para elaboración del sustrato	Proporción (%)	Sustrato
1	Carboncillo de cáscara de arroz	100	CBA ₁₀₀
2	Carboncillo de cáscara de arroz + Arena	75:25	CBA ₇₅ AR ₂₅
3	Carboncillo de cáscara de arroz + cáscara de arroz	70:30	CBA ₇₀ CA ₃₀
4	Carboncillo de cáscara de arroz + cáscara de arroz + grava	70:20:10	CBA ₇₀ CA ₂₀ GR ₁₀

5	Carboncillo de cáscara de arroz + fibra de coco	70:30	CBA ₇₀ FC ₃₀
6	Cáscara de arroz + grava	70:30	CA ₇₀ GR ₃₀
7	Fibra de coco	100	FC ₁₀₀
8	Fibra de coco + abono orgánico comercial	80:20	FC ₈₀ AOC ₂₀
9	Fibra de coco + carboncillo de cáscara de arroz	80:20	FC ₈₀ CBA ₂₀
10	Fibra de coco descompuesta + carboncillo de arroz + grava	50:40:10	FCD ₅₀ CBA ₄₀ GR ₁₀

Los sustratos establecidos en este ensayo se prepararon según las proporciones en cada tratamiento y se colocaron en camas. Las unidades experimentales (UE) se establecieron con un tamaño de 3.5mx0.4m (1.4 m²), equivalente a un área total de 42m². Cada UE estuvo compuesta por seis plantas (180 total), de las cuales cuatro constituyeron la parcela útil (119 plantas), según Figura 22.



Figura 22. Unidades experimentales del ensayo de sustratos de uso común con cultivo de ají morrón como cultivo indicador.

5.3.5. Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico de los parámetros de CB, NB, y RB se realizaron en el programa *Statgraphics* mediante un análisis de varianza (ANOVA). La información se analizó utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$) para detectar diferencias entre las medias.

5.4. Resultados y discusión

5.4.1. Actividad microbiana en suelos para la producción de vegetales en invernaderos.

Los resultados obtenidos de evaluación de actividad microbiana (CB, NB y RB) en suelos de invernadero con diferentes modalidades de preparación, con ají morrón como cultivo indicador, se presentan en la Tabla 91. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores promedios de CB en todos los tratamientos, para un nivel del 95.0% de confianza (Tabla 91).

En cuanto a la NB, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores promedios reportado en DE+GA y DE+BO con relación a MT+LC, siendo estadísticamente ($p \leq 0.05$) igual al resto de las modalidades de preparación de suelo (Tabla 91).

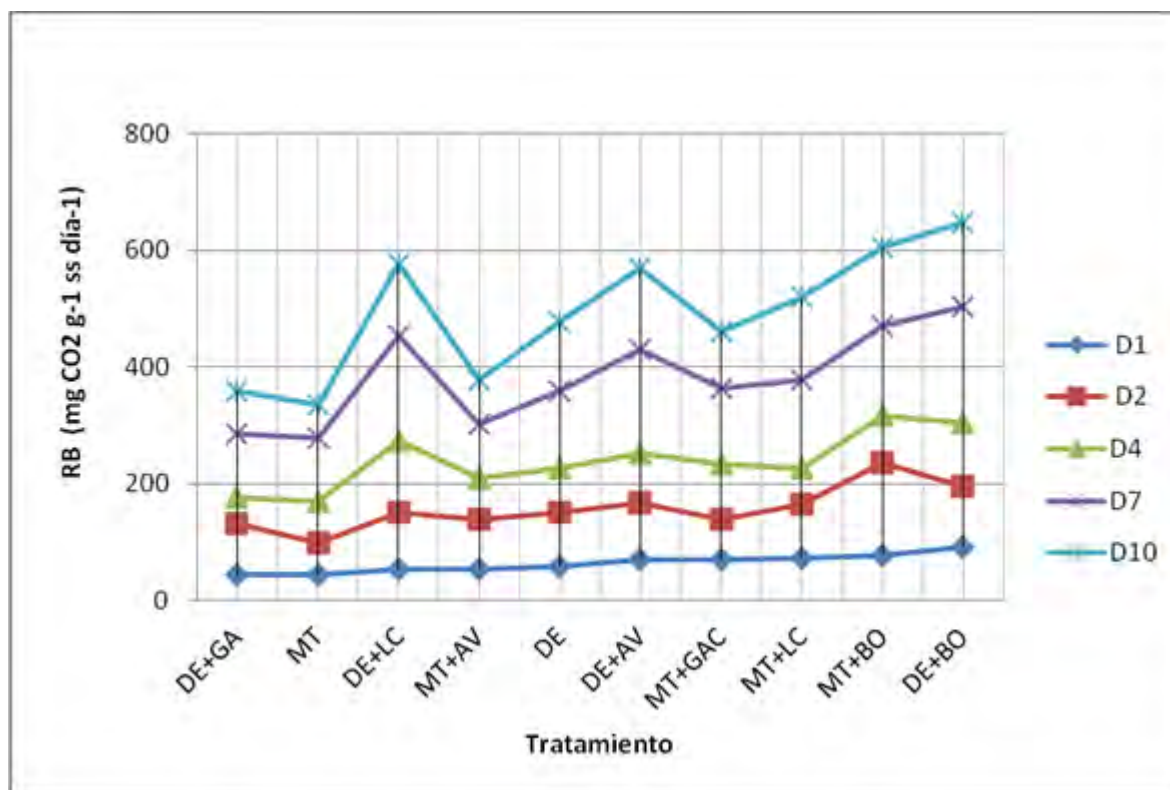
Tabla 91. Actividad microbiana (CB, NB y RB) en suelos de invernadero con diferentes modalidades de preparación con ají morrón como cultivo indicador.

Tratamiento	CB (mg C g ⁻¹ ss)	NB (mg N g ⁻¹ ss)	RB (mg CO ₂ g ⁻¹ ss)
1 MT	10.06 a	0.11 ab	66.80 a
2 MT+AV	12.57 a	0.09 ab	75.57 abc
3 MT+GAC	11.74 a	0.11 ab	92.28 abcd
4 MT+BO	10.13 a	0.07 ab	21.16 cd
5 MT+LC	15.38 a	0.05 a	3.85 abcd
6 DE	9.55 a	0.09 ab	95.64 abcd
7 DE+AV	15.98 a	0.07 ab	13.71 abcd
8 DE+GA	10.82 a	0.13 b	71.96 ab
9 DE+BO	17.11 a	0.13 b	29.68 d
10 DE+LC	9.48 a	0.09 ab	115.09 bcd

CB= carbono biomásico, NB= nitrógeno biomásico y RB= respiración basal. MT= muro tradicional, MT+AV= muro tradicional + 10 ton/ha abono verde, MT+GAC= muro tradicional + 10 ton/ha de gallinaza compostada, MT+BO= muro tradicional + 10 ton/ha de bocashi, MT+LC=muro tradicional +10 ton/ha de lombricompost, DE= doble excavación, DE+AV= doble excavación + 10 ton/ha de abono verde, DE+GA=doble excavación + 10 ton/ha gallinaza compostada, DE+BO= doble excavación+ 10 ton/ha bocashi, DE+LC= doble excavación+10 ton/ha lombricompost. Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD Medias que no comparten una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

La RB fue estadísticamente superior ($p \leq 0.05$) en DE+BO (130 mg CO₂ g⁻¹ ss) con respecto a MT (67 mg CO₂ g⁻¹ ss), MT+AV (76 mg CO₂ g⁻¹ ss) y DE+GA (72 mg CO₂ g⁻¹ ss) (91). Estos valores elevados de respiración en los suelos enmendados se han atribuido a los altos niveles de carbono soluble en agua presentes en el material (Pascual *et al.*, 1999).

La Figura 23 presenta los resultados obtenidos en las tasas acumuladas de respiración basal alcanzadas a través del período de evaluación. Las menores tasas de RB durante todo el período de evaluación se observaron en MT, DE+GA y MT+AV con respecto a las demás modalidades de preparación de suelo en condiciones de invernadero ($p < 0.05$; Figura 23). Las mayores tasas de actividad microbiana cumulativas se presentaron en la preparación de suelo con doble excavación y aplicación de bocashi (Figura 23). Esto puede deberse a la presencia de C fácilmente degradable (Ortiz y Alcañiz, 1993; Chuan-kuan *et al.*, 2005).



MT= muro tradicional, MT+AV= muro tradicional + 10 ton/ha abono verde, MT+GAC= muro tradicional + 10 ton/ha de gallinaza compostada, MT+BO= muro tradicional + 10 ton/ha de bocashi, MT+LC=muro tradicional +10 ton/ha de lombricompost, DE= doble excavación, DE+AV= doble excavación + 10 ton/ha de abono verde, DE+GA=doble excavación + 10 ton/ha gallinaza compostada, DE+BO= doble excavación+ 10 ton/ha bocashi, DE+LC= doble excavación+10 ton/ha lombricompost.

Figura 23. Tasas acumuladas de respiración basal en suelos de invernadero con diferentes modalidades de preparación.

5.4.2. Evaluación de actividad microbiana en materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos basados en componentes locales

Los resultados obtenidos de evaluación de actividad microbiana en materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos se presentan en la Tabla 92. Los valores promedios de RB encontrados en todos los materiales orgánicos potenciales estudiados fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$) con respecto de los residuos de vegetales orientales ($476.81 \text{ mg CO}_2 \text{ C kg}^{-1} \text{ ss}$) (Tabla 92). Estadísticamente no se encontraron diferencias ($p \leq 0,05$) entre 17 materiales orgánicos potenciales.

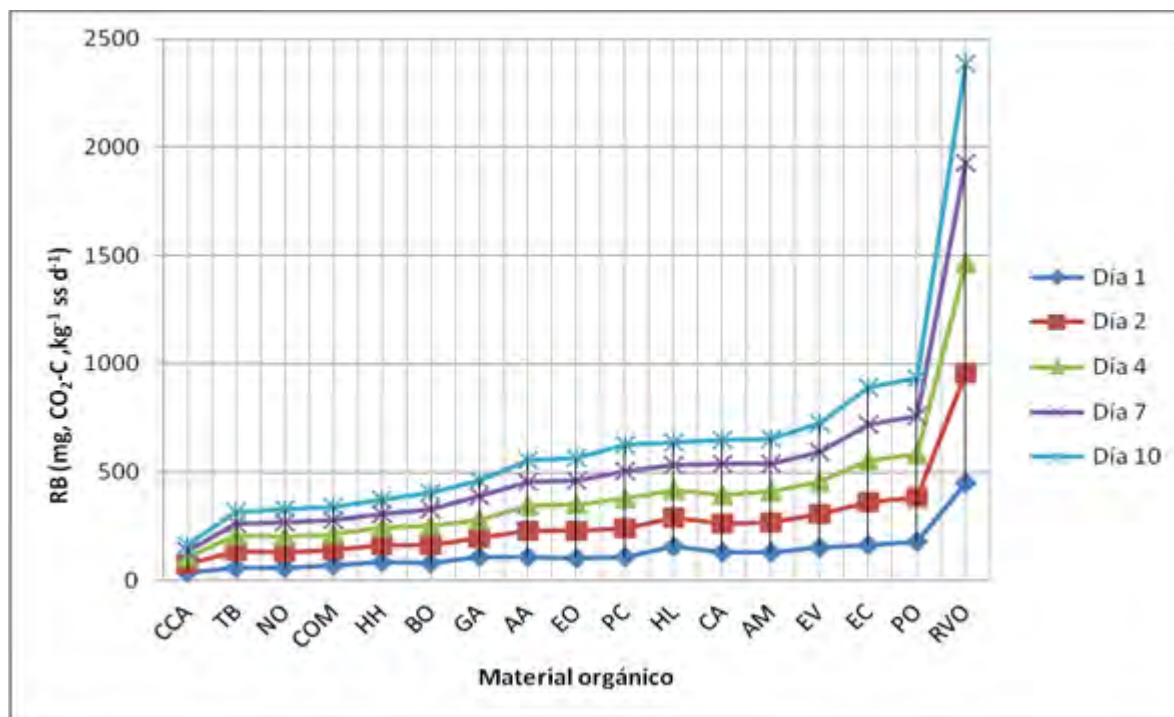
Tabla 92. Actividad microbiana en materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos.

Materiales	Ficha	CO₂ (mg CO₂ g⁻¹ ss)
1- Ceniza de cascarilla de arroz	CCA	32.50 a
2- Tierra de bosque	TB	63.74 a
3- Nutriorgánico	NO	66.11 a
4- Compost	COM	68.25 a
5- Harina de hueso	HH	74.86 a
6- Bocashi	BO	81.40 ab
7- Pergamino de café	PC	84.39 ab
8- Gallinaza	GA	92.41 ab
9- Afrecho de arroz	AA	111.35 ab
10- Estiércol de ovejo	EO	113.78 ab
11- Humus de lombriz	HL	127.94 ab
12- Cáscara de arroz	CA	130.35 ab
13- Aserrín de madera	AM	131.16 ab
14- Estiércol vacuno	EV	145.21 ab
15- Pulpa de café	PC	167.18 ab
16- Estiércol de caballo	EC	178.54 ab
17- Pollinaza	PO	187.30 ab
18- Residuos de vegetales orientales	RVO	476.81 c

CCA= ceniza de cascarilla de arroz, TB= tierra de bosque, NO= nutriorganico, COM= compost, HH= harina de hueso, BO= bocashi, GA= gallinaza, AA= afrecho de arroz, EO= estiércol de ovejo, PC= pergamino de café, HL= humus de lombriz, CA= cascara de arroz, AM= aserin de madera, EV= estiércol vacuno, EC= estiércol caballo, PO= pollinaza, RVO= restos de vegetales orientales.

La Figura 24 presenta los resultados obtenidos en las tasas acumuladas de respiración basal obtenida a través del período de evaluación. La mayor tasa de RB durante todo el período de evaluación se observó en los materiales RVO, PO, EC y EV los cuales fueron superiores con respecto a los demás materiales orgánicos evaluados ($p < 0.05$).

Los resultados de la Figura 24 podrían explicarse debido a que estos materiales orgánicos, se descomponen más rápidamente, gracias a condiciones favorables de humedad y temperatura básicamente y a que tienen un íntimo contacto con la comunidad microbiana, lo que facilita la actividad de descomposición (Galantini y Suner, 2008).



CCA= ceniza de cascarilla de arroz, TB= tierra de bosque, NO=nutriorgánico, COM= compost, HH=harina de hueso, BO=bocashi, GA=gallinaza, AA=afrecho de arroz, EO=estiércol de ovejo, PC=pergamino de café, HL=humus de lombriz, CA=cáscara de arroz, AM=aserrín de madera, EV=estiércol vacuno, EC=estiércol caballo, PO=pollinaza, RVO=restos de vegetales orientales.

Figura 24. Tasas acumuladas de respiración basal en materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos.

5.4.3. Determinación de la actividad microbiana en suelos de invernadero para la producción de vegetales, con ají morrón y berenjena como cultivos indicadores

Los resultados obtenidos de evaluación de actividad microbiana en suelos de invernaderos con ají morrón y berenjena (ensayo observacional) medida como respiración basal se presentan a continuación (Tabla 93). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores promedios de RB, CB y NB en los cultivos evaluados, para un nivel del 95.0% de confianza (Tabla 93).

Tabla 93. Pruebas de múltiples rangos para RB ($\text{CO}_2 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ ss}$) en ají morrón y berenjena.

<i>Tratamiento</i>	<i>n</i>	<i>RB (mg CO₂ g⁻¹ ss)</i>	<i>CB (mg C g⁻¹ ss)</i>	<i>NB (mg N g⁻¹ ss)</i>
Ají morrón	21	139.31 a	26.36 a	0.16 a
Berenjena	3	184.39 a	36.70 a	0.25 a

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas.

La cantidad de CO_2 desprendido osciló entre 54 y 293 $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ ss}$ en el suelo cultivado con ají morrón y entre 110 y 225 $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ ss}$ en el suelo cultivado con berenjena. Rangos que se superan a los reportados en la literatura, según lo reportado por Martínez (2014) y Martínez *et al.* (2014).

5.4.4. Determinación de la actividad microbiana en sustratos alternativos para la producción de vegetales en invernaderos con pepino como cultivo indicador

Los resultados obtenidos correspondientes a la actividad microbiana evaluada como RB en sustratos alternativos en el pepino como cultivo indicador se muestran en la Tabla 94. En la misma se presenta el valor promedio, el número de muestras, la desviación y el error estándar, los valores máximos y mínimos arrojados por los sustratos ensayados. También se aplicó un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se identificaron 7 grupos homogéneos (de menor a mayor) según las diferentes letras (desde *a* hasta *g*).

En los materiales inorgánicos se encontró muy baja actividad microbiana, era de esperarse una actividad nula, pero debido a que los muestreos se realizaron próximo a las raíces, se encontró actividad biológica, pero baja. Las condiciones como contenido de minerales, materia orgánica procedente de las raíces, la humedad, y el flujo de oxígeno, son factores que influyen sobre la respiración basal del suelo. Los valores promedios extremos de RB entre los sustratos alternativos evaluados fueron de 14 $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ ss}$ reportado en el sustrato elaborado a partir de la cascarilla de arroz 60% + grava 40% y de 30 $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ ss}$ reportado en el sustrato de cascarilla de arroz 70% + arena 30% (Tabla 94).

Rad *et al.* (2004) reportan que las actividades de los microorganismos dependen de las características del material orgánico y de las especies existentes, principalmente a nivel de rizósfera y horizontes superficiales. La RB diaria promedio registradas fueron inferiores a los valores reportados por Acosta *et al.* (2006), donde obtuvieron valores de 91 $\text{mg CO}_2 \text{ C kg}^{-1} \text{ ss día}^{-1}$ y coinciden con Gómez y Paolini (2006) quienes reportaron valores de hasta 24 $\text{mg CO}_2 \text{ C kg}^{-1} \text{ ss día}^{-1}$.

Tabla 94. Pruebas de múltiples rangos para RB (CO₂ mg kg⁻¹ ss) en sustratos alternativos en pepino como cultivo indicador.

Tratamientos	Sustrato	Media	n	DE	CV	EE	Mín	Máx	
41	Ar ₁₀₀	5.7	12	1.7	29.4	0.48	3.4	8.1	a
46	Gr ₁₀₀	11.5	12	9.1	79.1	2.63	2.0	25.8	a b
28	Ca ₆₀ Gr ₄₀	13.6	12	3.3	24.2	0.95	8.7	18.3	a b c
2	Ga ₄₀ Ar ₆₀	14.7	12	4.6	31.5	1.33	7.4	20.7	a b c d
27	Ca ₅₀ Gr ₅₀	15.4	12	6.5	42.1	1.87	5.8	24.8	a b c d e
43	Ca ₁₀₀	16.4	12	3.9	23.7	1.12	12.4	23.7	a b c d e f
4	Ga ₆₀ Ar ₄₀	17.0	12	4.4	25.8	1.26	11.7	24.8	a b c d e f
29	Ca ₇₀ Gr ₃₀	17.8	12	5.5	30.7	1.58	11.6	27.3	b c d e f
3	Ga ₅₀ Ar ₅₀	17.9	12	4.8	26.5	1.37	10.6	24.7	b c d e f
17	Fc ₄₀ Ar ₆₀	18.3	12	7.2	39.5	2.09	8.6	29.7	b c d e f
37	Fc ₅₀ Gr ₅₀	19.2	12	4.0	20.9	1.16	14.1	25.9	b c d e f g
16	Fc ₃₀ Ar ₇₀	19.2	12	6.7	34.8	1.92	12.3	30.4	b c d e f g
35	Fc ₃₀ Gr ₇₀	19.6	12	5.9	30.4	1.71	13.2	30.2	b c d e f g
32	Cb ₅₀ Gr ₅₀	19.6	12	7.1	36.1	2.04	10.3	28.8	b c d e f g
5	Ga ₇₀ Ar ₃₀	19.9	12	8.4	42.2	2.42	12.8	34.6	b c d e f g
30	Cb ₃₀ Gr ₇₀	20.4	12	6.4	31.5	1.85	12.2	31.3	b c d e f g
14	Cb ₆₀ Ar ₄₀	20.7	12	12.4	59.9	3.59	3.1	33.9	b c d e f g
33	Cb ₆₀ Gr ₄₀	20.9	12	6.3	30.0	1.81	13.6	29.8	b c d e f g
13	Cb ₅₀ Ar ₅₀	21.0	12	7.9	37.4	2.27	12.8	34.1	b c d e f g
34	Cb ₇₀ Gr ₃₀	21.3	12	8.6	40.1	2.47	13.4	36.2	b c d e f g
20	Fc ₇₀ Ar ₃₀	21.6	12	5.9	27.2	1.7	12.8	29.6	b c d e f g
26	Ca ₄₀ Gr ₆₀	21.7	12	6.3	28.9	1.82	10.9	29.8	b c d e f g
42	Ga ₁₀₀	21.9	12	5.9	27.1	1.71	11.1	27.3	b c d e f g
18	Fc ₅₀ Ar ₅₀	21.9	12	2.4	11.1	0.7	17.2	25.0	b c d e f g
31	Cb ₄₀ Gr ₆₀	22.4	12	9.0	40.0	2.58	7.7	32.3	b c d e f g
25	Ca ₃₀ Gr ₇₀	22.7	12	6.3	27.8	1.82	14.8	32.8	b c d e f g
40	Ga ₄₀ Gr ₆₀	23.4	12	5.6	23.9	1.61	13.5	29.7	c d e f g
1	Ga ₃₀ Ar ₇₀	23.5	12	10.9	46.4	3.14	7.4	38.2	c d e f g
39	Fc ₇₀ Gr ₃₀	23.8	12	6.5	27.2	1.87	18.0	35.5	c d e f g
38	Fc ₆₀ Gr ₄₀	24.6	12	6.1	25.0	1.77	15.2	33.2	c d e f g
22	Ga ₅₀ Gr ₅₀	24.7	12	8.2	33.3	2.37	15.2	37.2	c d e f g
6	Ca ₃₀ Ar ₇₀	25.0	12	7.0	28.1	2.03	12.9	33.2	d e f g
19	Fc ₆₀ Ar ₄₀	25.0	12	7.3	29.0	2.1	13.5	34.7	d e f g
15	Cb ₇₀ Ar ₃₀	25.1	12	8.4	33.4	2.42	18.0	39.9	d e f g

21	Ga ₄₀ Gr ₆₀	25.1	12	7.8	31.0	2.24	12.3	33.9	d e f g
8	Ca ₅₀ Ar ₅₀	25.3	12	8.0	31.6	2.3	18.9	39.5	d e f g
24	Ga ₇₀ Gr ₃₀	25.3	12	5.4	21.2	1.55	15.9	31.4	d e f g
36	Fc ₄₀ Gr ₆₀	25.5	12	9.4	36.6	2.7	11.8	36.6	d e f G
11	Cb ₃₀ Ar ₇₀	25.7	12	9.3	36.4	2.7	13.6	40.0	d e f g
9	Ca ₆₀ Ar ₄₀	25.8	12	5.8	22.4	1.67	16.4	34.0	d e f g
12	Cb ₄₀ Ar ₆₀	26.2	12	9.6	36.6	2.77	10.3	36.3	e f g
7	Ca ₄₀ Ar ₆₀	26.4	12	7.1	27.0	2.06	18.2	35.2	e f g
45	Fc ₁₀₀	26.5	12	6.1	23.1	1.77	17.9	33.6	e f g
23	Ga ₆₀ Gr ₄₀	27.6	12	6.7	24.3	1.93	16.3	36.3	f g
44	Cb ₁₀₀	27.6	12	4.3	15.5	1.24	21.8	35.2	f g
10	Ca ₇₀ Ar ₃₀	29.6	12	6.4	21.6	1.85	22.8	40.4	g

DE=desviación estándar, CV=coeficiente de variación, EE=error estándar, Min=mínimo, Max=máximo. GA=gallinaza, CB=carboncillo de arroz, CA=cascarilla de arroz y FC=fibra de coco; AR= arena, GR=grava. Proporciones v/v (50/50, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10, 40/60, 30/70, 20/80 y 10/90). Letras distintas en una misma columna significan diferencias significativas entre tratamiento ($\alpha=0.05$).

5.4.5. Determinación de la actividad microbiana en sustratos alternativos para la producción de vegetales en invernaderos con ají morrón como cultivo indicador

Los resultados obtenidos correspondientes a la actividad microbiana evaluada a través de la RB, CB (mg CO₂ kg⁻¹ ss) y NB (mg CN kg⁻¹ ss) en sustratos alternativos en ají morrón como cultivo indicador se muestran en la Tabla 95.

Tabla 95. Pruebas de múltiples rangos para RB (CO₂), CB y NB (mg CN kg⁻¹ ss) en sustratos alternativos en ají morrón como cultivo indicador.

<i>Tratamientos</i>	<i>Sustrato</i>	<i>n</i>	<i>RB</i>	<i>CB</i>	<i>NB</i>
42	Ga ₁₀₀	3	48.19 a	5.60 a	0.05 ab
39	Fc ₇₀ Gr ₃₀	3	63.96 a	8.83 ab	0.13 ab
43	Ca ₁₀₀	3	70.62 a	7.98 ab	0.05 ab
7	Ca ₄₀ Ar ₆₀	3	71.71 a	8.96 ab	0.37 c
36	Fc ₄₀ Gr ₆₀	3	73.02 a	5.76 a	0.04 a
32	Cb ₅₀ Gr ₅₀	3	74.47 a	21.27 abc	0.15 ab
23	Ga ₆₀ Gr ₄₀	3	75.81 a	5.33 a	0.05 ab
38	Fc ₆₀ Gr ₄₀	3	77.13 a	3.22 a	0.06 ab
8	Ca ₅₀ Ar ₅₀	3	77.4 a	14.19 abc	0.06 ab
12	Cb ₄₀ Ar ₆₀	3	78.09 a	7.73 ab	0.12 ab
46	Gr ₁₀₀	3	78.66 a	5.26 a	0.04 a

10	Ca ₇₀ Ar ₃₀	3	81.25 a	12.99 ab	0.05 ab
28	Ca ₆₀ Gr ₄₀	3	83.7 a	15.13 abc	0.11 ab
45	Fc ₁₀₀	3	84.23 a	15.92 abc	0.06 ab
44	Cb ₁₀₀	3	84.3 a	6.70 a	0.06 ab
22	Ga ₅₀ Gr ₅₀	3	84.48 a	11.2 ab	0.07 ab
9	Ca ₆₀ Ar ₄₀	3	88.77 a	7.61 ab	0.04 a
34	Cb ₇₀ Gr ₃₀	3	95.78 a	7.76 ab	0.17 ab
27	Ca ₅₀ Gr ₅₀	3	97.81 a	6.65 a	0.11 ab
29	Ca ₇₀ Gr ₃₀	3	99.02 a	8.08 ab	0.10 ab
1	Ga ₃₀ Ar ₇₀	3	100.5 a	7.43 ab	0.07 ab
26	Ca ₄₀ Gr ₆₀	3	100.54 a	6.27 a	0.13 ab
33	Cb ₆₀ Gr ₄₀	3	102.41 a	7.80 ab	0.04 ab
41	Ar ₁₀₀	3	105.18 a	7.31 ab	0.07 ab
2	Ga ₄₀ Ar ₆₀	3	109.46 a	6.91 a	0.10 ab
19	Fc ₆₀ Ar ₄₀	3	112.54 a	9.17 ab	0.11 ab
17	Fc ₄₀ Ar ₆₀	3	117.9 a	46.0 de	0.09 ab
37	Fc ₅₀ Gr ₅₀	3	129.64 a	5.30 a	0.06 ab
40	Ga ₄₀ Gr ₆₀	3	130.72 a	7.60 ab	0.04 a
35	Fc ₃₀ Gr ₇₀	3	133.89 a	7.98 ab	0.10 ab
14	Cb ₆₀ Ar ₄₀	3	134.78 a	11.43 ab	0.27 c
13	Cb ₅₀ Ar ₅₀	3	138.62 a	20.69 ab	0.36 c
24	Ga ₇₀ Gr ₃₀	3	140.63 a	14.68 ab	0.13 ab
16	Fc ₃₀ Ar ₇₀	3	142.73 a	11.74 ab	0.23 c
11	Cb ₃₀ Ar ₇₀	3	144.38 a	13.05 ab	0.16 ab
5	Ga ₇₀ Ar ₃₀	3	158.65 a	34.20 de	0.57 d
20	Fc ₇₀ Ar ₃₀	3	162.66 a	17.79 abc	0.07 ab
25	Ca ₃₀ Gr ₇₀	3	168.95 a	8.83 ab	0.12 ab
18	Fc ₅₀ Ar ₅₀	3	170.03 a	9.92 ab	0.04 a
21	Ga ₄₀ Gr ₆₀	3	172.84 a	13.51 ab	0.15 ab
31	Cb ₄₀ Gr ₆₀	3	174.49 a	10.53 ab	0.16 ab
15	Cb ₇₀ Ar ₃₀	3	196.14 b	56.95 e	0.21 bc
30	Cb ₃₀ Gr ₇₀	3	203.73 b	11.72 ab	0.08 ab
4	Ga ₆₀ Ar ₄₀	3	390.02 bc	15.06 abc	0.41 d
3	Ga ₅₀ Ar ₅₀	3	433.51 c	9.53 ab	0.9 d
6	Ca ₃₀ Ar ₇₀	3	697.81 d	40.73 de	0.31 abc

GA=gallinaza, CB=carboncillo de arroz, CA=cascarilla de arroz y FC=fibra de coco; AR= arena, GR=grava. Proporciones v/v (50/50, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10, 40/60, 30/70, 20/80 y 10/90). Letras distintas en una misma columna significan diferencias significativas entre tratamiento ($\alpha=0.05$).

En los materiales inorgánicos se encontró una menor actividad microbiana, era de esperarse una actividad nula, pero debido a que los muestreos se realizaron próximo a las raíces, se encontró actividad biológica. Los sustratos Cb₇₀Ar₃₀, Cb₃₀Gr₇₀, Ga₆₀Ar₄₀, Ga₅₀Ar₅₀ y Ca₃₀Ar₇₀ presentaron una RB estadísticamente superior ($p \leq 0.05$) al resto de sustratos. No obstante, los sustratos Fc₄₀Ar₆₀, Ga₇₀Ar₃₀, Cb₇₀Ar₃₀ y Ca₃₀Ar₇₀ fueron estadísticamente superiores ($p \leq 0.05$) en cuanto a CB y Ca₄₀Ar₆₀, Cb₆₀Ar₄₀, Cb₅₀Ar₅₀, Fc₃₀Ar₇₀, Ga₇₀Ar₃₀, Ga₆₀Ar₄₀ y Ga₅₀Ar₅₀ fueron estadísticamente superiores ($p \leq 0.05$) en cuanto al NB con relación al resto de los sustratos evaluados (Tabla 95).

5.4.6. Determinación de la actividad microbiana en diez sustratos de uso común para la producción de vegetales en invernaderos con ají morrón como cultivo indicador

Los resultados obtenidos correspondientes a la actividad microbiana evaluada como a través de la RB ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ ss}$), CB y NB ($\text{mg CN kg}^{-1} \text{ ss}$) en sustratos de uso común en ají morrón como cultivo indicador se muestran en Tablas 96 y 97.

Tabla 96. Pruebas de múltiples rangos para RB ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ ss}$) en sustratos de uso común en ají morrón como cultivo indicador.

Tratamiento	*Sustrato	RB ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ ss}$)	n
1	CBA ₁₀₀	364.05 d	3
2	CBA ₇₀ CA ₃₀	94.50 a	3
3	CBA ₇₀ CA ₂₀ GR ₁₀	120.24 ab	3
4	CBA ₇₀ FC ₃₀	180.44 ab	3
5	CA ₇₀ GR ₃₀	187.43 ab	3
6	FC ₁₀₀	123.67 ab	3
7	FC ₈₀ AOC ₂₀	466.79 d	3
8	FC ₈₀ CBA ₂₀	317.85 cd	3
9	FCD ₅₀ CBA ₄₀ GR ₁₀	410.89 d	3
10	CBA ₇₅ AR ₂₅	180.78 ab	3

1=Carboncillo de cáscara de arroz, 2=Carboncillo de cáscara de arroz + Arena, 3=Carboncillo de cáscara de arroz + cáscara de arroz, 4=Carboncillo de cáscara de arroz + cáscara de arroz + grava, 5=Carboncillo de cáscara de arroz + fibra de coco, 6=Cáscara de arroz + grava, 7=Fibra de coco, 8=Fibra de coco + abono orgánico comercial, 9=Fibra de coco + carboncillo de cáscara de arroz, 10=Fibra de coco descompuesta + carboncillo de arroz + grava. Letras distintas en una misma columna significan diferencias significativas entre tratamiento ($\alpha=0.05$).

Tabla 97. Pruebas de múltiples rangos para CB ($\text{mg C kg}^{-1} \text{ ss}$) y NB ($\text{mg N kg}^{-1} \text{ ss}$) en sustratos de uso común en invernadero con ají morrón como cultivo indicador.

Tratamiento	CB ($\text{mg C kg}^{-1} \text{ ss}$)	n	NB ($\text{mg N kg}^{-1} \text{ ss}$)
1- CBA ₁₀₀	1,456.17 c	3	0.31 c
2- CBA ₇₀ CA ₃₀	377.98 a	3	0.045a
3- CBA ₇₀ CA ₂₀ GR ₁₀	480.97 ab	3	0.19 ab
4- CBA ₇₀ FC ₃₀	721.75 ab	3	0.23 ab

5- CA ₇₀ GR ₃₀	749.73 ab	3	0.22 ab
6- FC ₁₀₀	494.69 ab	3	0.05 a
7- FC ₈₀ AOC ₂₀	1,867.17 c	3	0.51 c
8- FC ₈₀ CBA ₂₀	1,271.39 c	3	0.61 cd
9- FCD ₅₀ CBA ₄₀ GR ₁₀	1,643.56 c	3	1.00 d
10- CBA ₇₅ AR ₂₅	723.12 ab	3	0.41 abc

1=Carboncillo de cáscara de arroz, 2=Carboncillo de cáscara de arroz + Arena, 3=Carboncillo de cáscara de arroz + cáscara de arroz, 4=Carboncillo de cáscara de arroz + cáscara de arroz + grava, 5=Carboncillo de cáscara de arroz + fibra de coco, 6=Cáscara de arroz + grava, 7=Fibra de coco, 8=Fibra de coco + abono orgánico comercial, 9=Fibra de coco + carboncillo de cáscara de arroz, 10=Fibra de coco descompuesta + carboncillo de arroz + grava. Letras distintas en una misma columna significan diferencias significativas entre tratamiento ($\alpha=0.05$).

Los sustratos FC₈₀ AOC₂₀ (467 mg CO₂ kg⁻¹ ss), FCD₅₀CBA₄₀GR₁₀ (411 mg CO₂ kg⁻¹ ss), CBA₁₀₀ (364 mg CO₂ kg⁻¹ ss), y FC₈₀ CBA₂₀ (318 mg CO₂ kg⁻¹ ss) presentaron una RB estadísticamente superior ($p\leq 0.05$) con respecto al resto de los sustratos de uso común. Estos mismos sustratos presentaron los niveles más altos de CB y NB, estadísticamente ($p\leq 0.05$). Un porcentaje de actividad microbiana más elevado se traduce en una mayor fuente de energía y de nutrientes para los microorganismos, lo cual contribuye a su desarrollo y a una actividad microbiológica más alta, que se refleja en una mayor producción de CO₂. Esto podría afectar la “bioestabilidad” en algunas combinaciones de sustratos, puesto que la durabilidad del mismo podría ser alterada durante el ciclo del cultivo (Lemaire, 1997).

5.5. Conclusiones

Los resultados reflejan una alta actividad microbiana en los sustratos, materiales alternativos y suelos evaluados. Esto se debe a que todos los sustratos y materiales orgánicos usados, incluso los más estables, son susceptibles a la degradación. En el caso del suelo, también se observó una alta actividad biológica, por la presencia de residuos orgánicos y materiales en descomposición. Estos resultados sugieren, que los suelos y sustratos en invernadero deben ser manejado en función de la actividad biológica y se deberían implementar sistemas sostenibles y resilientes con una baja carga de insumos que afecten la actividad biológica en suelos y sustratos.

La preparación de suelo con doble excavación y aplicación de bocashi y el muro tradicional con bocashi indujo a modificaciones significativamente positivas en las variables biológicas estudiadas (carbono de la biomasa y respiración basal), como consecuencia de su descomposición. Este el bocashi sería una alternativa como enmienda orgánica en las prácticas agrícolas en condiciones de invernadero.

La actividad microbiana de suelos cultivados con ají morrón y berenjena en condiciones de invernaderos y medida a través de los parámetros biológicos respiración basal, carbono microbiano y nitrógeno microbiano como indicadores de calidad de suelo presentaron una alta actividad biológica. La actividad microbiana estimada por desprendimiento de bióxido de carbono constituye un importante indicador de calidad del suelo, éste puede ser involucrado

en un sistema de indicadores de fácil manejo para poder diagnosticar la capacidad y, por lo tanto, planificar el uso de tal recurso.

En relación a los materiales orgánicos potenciales para la elaboración de sustratos alternativos a partir de componentes locales, cabe destacar que los que presentaron mayor actividad biológica fueron los restos de vegetales orientales, la pollinaza, el estiércol de caballo y el estiércol de vacuno.

La arena y la grava reportaron valores bajos de actividad microbiana, tal como se esperaba, la poca actividad microbiana reportada en los mismos se pudo deber a la baja cantidad de residuos orgánicos y baja actividad biológica.

Los sustratos alternativos evaluados en el pepino como cultivo indicador mostraron una actividad microbiana menor a los 30 mg CO₂ C kg⁻¹ ss.

Los sustratos Cb₇₀Ar₃₀, Cb₃₀Gr₇₀, Ga₆₀Ar₄₀, Ga₅₀Ar₅₀ y Ca₃₀Ar₇₀ presentaron mayor actividad microbiana con respecto de los demás sustratos en cuanto a respiración basal se refiere. Los sustratos Fc₄₀Ar₆₀, Ga₇₀Ar₃₀, Cb₇₀Ar₃₀ y Ca₃₀Ar₇₀ presentaron mayor actividad microbiana en cuanto al CB, mientras que los sustratos Ca₄₀Ar₆₀, Cb₆₀Ar₄₀, Cb₅₀Ar₅₀, Fc₃₀Ar₇₀, Ga₇₀Ar₃₀, Ga₆₀Ar₄₀ y Ga₅₀Ar₅₀ fueron menos estables en cuanto a la NB con relación al resto de los sustratos evaluados

Los sustratos de uso común en invernaderos para la producción de vegetales que fueron evaluados y que presentaron la mayor actividad microbiana en cuanto a RB, fueron CB y NB, fueron FC₈₀AOC₂₀, FCD₅₀CBA₄₀GR₁₀, CBA₁₀₀, y FC₈₀ CBA₂₀.

5.6. Referencias bibliográficas

- Acosta, Y., Cayama, J., Gómez, E., Reyes, N., Rojas, D. y García, H. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias*, vol. 6: 220-227.
- Acosta, Y. y Paolini, J. 2006. Dinámica de la biomasa microbiana (C y N) en un suelo de la península de paraguáná tratado con residuos orgánicos. Universidad de Zulia, Venezuela, *Multiciencias*: 6 (2): 180-187.
- Alef, K. y Nannipieri, P. 1995. *Methods in applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press. London. 382-386 p.
- Alvear M., Reyes F., Morales A., Arriagada C. y Reyes M. Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro-Sur de Chile con perturbación antrópica. *Ecol. austral* [revista en la Internet]. 2007 Jun [citado 2013 Abr 24]; 17(1): 113-122. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2007000100010yIng=es.

- Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. In A.L. Page, R.M. Miller y D.R. Kenny (eds). Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. Part II. 2nd ed. Agronomy 9. p. 831-871.
- Blum, W.E.H. 1998. Problems of soil conservation. Council of Europe, Strasbourg. Nature and Environmental. Series 39: 62.
- Brookes, P.C., Landman A., Pruden, G. y Jenkinson, D.S. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.* 17(6): 837-842.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas SL. Madrid, España. 342 p.
- Burés S. 1998. Introducción a los sustratos. Aspectos generales. In: Tecnología de Sustratos. Aplicación a la Producción Viverística Ornamental, Hortícola y Forestal. J N Pastor S (ed). Universitat de Lleida, España. Pp.19-31.
- Chuan-kuan, W., Feldkirchner, D.C., Gower, S.T., Ferris, J. y Kruger, E. L. 2005. Effects of amendments of paper mill sludge and nutrients on soil surface CO₂ flux. *J. Forestry Res.* 16: 265-269
- Galantini, J.A. y Suner, L. 2008 Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*, Córdoba, v. 25, n. 1, jun. 2008. Disponible en <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2008000100006&lng=es&nrm=iso>. accedido en 02 abr. 2013.
- García I., C. y Hernández F., T. 2004. Importancia de la medida de la actividad microbiana en suelos y materiales orgánicos. I Conferencia Internacional Eco-biología del Suelo y el Compost. León, 15 - 17 de Septiembre de 2004. Pp. 209-210. Disponible en: <http://www.soilace.com/pdf/pon2004/18.Garcialzquierdo.pdf>
- García-Préchac, F., Pérez-Bidegain, M., Christie, S. y Santini, P. 2001. Efecto de la intensidad de laboreo para la plantación de *Eucalyptus dunnii* sobre la acumulación de biomasa aérea, el crecimiento radical y algunas propiedades físicas y químicas del suelo, *AGROCIENCIA* Vol. V, No 1, 1-9.
- Guerrini, I.A. y R.M. Trigueiro. 2004. Physical and chemical attributes of substrates composed of biosolids and carbonized rice chaff. *R. Bras. Ci. Solo* 28, 1069-1076.
- Gómez, Y. y Paolini, J. 2006. Actividad microbiana en suelos de sabanas de los Llanos Orientales de Venezuela convertidas pasturas. *Rev. Biol. Trop.* 54: 273-285.
- Lemaire, F. 1997. The problem of bioestability in organic substrates. *Acta Horticulturae*. 450:63-69.
- Lemaire F., Fatigues A., Revière L. M., Charpentier S., Morel P. 2003. Cultures en Post et Conteneurs, Principes Agronomiques at Applications. 2a ed. INRA. Paris. 210 p

- Marschner P., Neumann, G., Kania, A., Weiskopf, L. y Lieberei, R. 2002 Spatial and temporal dynamics of the microbial community structure in the rhizosphere of cluster roots of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant Soil* 246, 167-174.
- Martínez, A. 2005. Influencia del manejo de los suelos agrícolas en clima mediterráneo en el control de la erosión y en la disponibilidad de agua para las plantas. Ponencia en el II Simposio Nacional sobre Control de la Degradación de Suelo, Madrid 2005, 53-70.
- Martínez, H. 2014. Evaluación de la estabilidad biológica a través de la respiración microbiana en suelos de la zona de Quíbor, Estado Lara. Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA).
- Martínez, H., Rodríguez, M., y Casassa, A. 2014. Respiración basal y biomasa microbiana en suelos cultivados con ají dulce, ají morrón y berenjena. *Canaia*, 3(2), 45-52. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA).
- Ortiz, O. y Alcañiz J.M. 1993. Respiration potential of microbial biomass in a calcareous soil treated with sewage sludge. *Geomicrobiology J.* 11: 333-340.
- Papafotiou, M., Asimakopoulou, V., Kouvari, P., Kovaevou, I., Phsyhalou, M., Lytra, I. , Kargas, G. 2001. Cotton gin trash compost as growing medium ingredient for the production of pot ornamentals *Gartenbauwissenschaft*, 66: 229–232.
- Parés R. y Juárez A. 1997. Bioquímica de los microorganismos. Reverté. pp 191-210, 271-288
- Parkin, T.B.; JW Doran y Franco-Vizcaíno, E. 1996. Field and laboratory tests of soil respiration. En: Doran, JW & A Jones (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. Pp. 231-245. Soil Science Society of America.
- Pascual, J.A., García, C. y Hernández, T. 1999. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. *Biol. Fertil. Soils* 30:1-6.
- PROMEFRIN (Programa de Mercados Frigoríficos e Invernaderos). 2010. Estadísticas del programa de mercados frigoríficos e invernaderos (PROMEFRIN). Consultado el 03/03/2011. En: http://www.promefrin.org/paginapromefrin1/Estadisticas/ESTADISTICAS_2004_2008.pdf
- PROMEFRIN (Programa de Mercados Frigoríficos e Invernaderos). 2012. Estadísticas del programa de mercados frigoríficos e invernaderos (PROMEFRIN). Consultado el 23/03/2013. En: http://www.promefrin.org/paginapromefrin1/Estadisticas/ESTADISTICAS_2004_2008.pdf
- Quintero, M.F., González, C.A. y Flórez-Roncancio, V.J. 2006. Physical and hydraulic properties of four substrates used in the cut-flower industry in Colombia. *Acta Hort.* 718, 499-506.

- Rad, C, J Arroyo, D Pérez-Alonso, D Rodríguez-Unamuno, S González-Carcedo y, J Iturrondobeitia. 2004. The role of organic matter in supporting the biological activity and the mesofaunal diversity in the upper horizon of soils with different levels of disturbance. In: www.bodenkunde.uni-freiburg.de/urosoil.
- Terés, V., 2001. Relaciones agua-aire en sustratos de cultivo como base para el control de riego. Metodología de laboratorio y modelización. Depto. de Producción Agraria. Universidad Politécnica de Madrid. Publicada como Tesis Doctorales nº 43. Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria Gasteiz. Disponible en: (http://www.habe.euskadi.net/s23-4728/es/contenidos/informe_estudio/tesis_doctorales/es_agripes/adjuntos/tesis_doctoral43.pdf).
- Valenzuela, O. R. (2014). Sustratos y manejo de la nutrición en la producción de plantas en contenedores. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). pp. 14-20.
- Vance, E.D., Brookes, P.C. y Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biol. Bioch.* 19: 703-707.
- Volk, T. 1994. The soil's breath. Natural history November/94
- Yahya, A., Anieza, S., Rosli, B. y Ahmad, L. 2009. Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of celosia cristata. *Amer. J. Agric. Biol. Sci.* 4, 63-71.

6. CONCLUSIONES GENERALES

Los invernaderos son una opción importante como sistemas productivos en la República Dominicana. Sobre la base de incluir solo los costos operativos, estos sistemas de producción son rentables. Los invernaderos pueden ser alternativas de desarrollo, por el mayor rendimiento que se obtiene con relación a la siembra a campo abierto. La mayoría de nuestros agricultores disponen en promedio de dos hectáreas de terreno para producir, pero con un sistema de producción como el invernadero se podría producir igual o más, en diversas épocas y una menor área en comparación con el sistema tradicional de campo abierto.

Los invernaderos de la República Dominicana en su periodo inicial fueron establecidos en la modalidad de sustrato con eliminación de la capa superior de suelo y con esto eliminando la fertilidad natural de los mismos. Sin embargo, los resultados de la investigación han demostrado que los invernaderos establecidos sobre suelo no presentan limitaciones para la producción. Ya que no presentan limitaciones de fertilidad para la producción de vegetales. Esto se concluye en base a los resultados de suelo tanto en superficie como en los perfiles realizados en las cinco localidades.

El sustrato con mayor frecuencia de uso en los invernaderos fue el carbón de cáscara de arroz (70%) combinado con grava (30%). En términos de número de sustratos usados, Jarabacoa fue la localidad con el mayor el número de sustratos. Mientras la localidad de Villa Trina presentó la menor diversidad. Los sustratos con los mejores parámetros físicos en las diferentes localidades fueron: La cáscara de arroz + grava, b) fibra de coco, c) carbón de cáscara de arroz + cáscara de arroz + grava, d) carbón de cáscara de arroz + arena, e) fibra de coco + abono orgánico, f) fibra de coco + carbón de cáscara de arroz y g) carbón de cascarilla de arroz + grava en todas las localidades excepto en Jarabacoa.

Los sustratos estudiados en las diferentes regiones presentan valores de pH dentro del rango deseable, excepto carbón de cáscara de arroz, más cáscara de arroz en Jarabacoa, cuyo valor está por encima del rango. Esto es de suma importancia para un manejo eficiente de los invernaderos, pues fertirrigación podría ser afectada por el pH. Además, la mayoría de los sustratos evaluados en las regiones consideradas, presentan contenidos salinos por encima de los valores de referencia.

En los sustratos estudiados en las localidades consideradas, los contenidos de nutrientes son bajos, lo cual no representa ninguna limitación, debido a que, en estos sistemas de producción, los sustratos son utilizados como soporte del cultivo, ya que los nutrientes son suministrados en soluciones, junto al agua de riego. En términos biológicos, presentaron contenidos de bacterias, hongos y actinomicetos apropiados para el desarrollo y producción de cultivos. Además, el nematodo del grupo *Rabditida* (bacteriófago), es el de mayor presencia en los sustratos de las diferentes localidades. Además, en términos químicos, todos los materiales evaluados pueden ser usados como sustratos, pues su mayor propósito es ser soporte. Sin embargo, en término de pH y salinidad, se observó gran variabilidad entre 5.18 y 8.66 para el pH y conductividad eléctrica muy baja, lo que hace los materiales con potencial para ser usados en la elaboración de sustrato en sentido general.

En relación con las propiedades físicas, los materiales evaluados, presentan una densidad aparente baja en un 64 %, porosidad mayor a un 82 % en un 46 %, saturación de agua superior al 140 % en un 68 % y una humedad disponible entre un 19 y 32 % en un 61 %. Estos resultados indican que en general los materiales poseen excelentes propiedades físicas para ser mezclados y usados como sustratos en invernadero.

En términos biológicos, algunos materiales fueron inertes en relación a hongos (paja de arroz, nutriorgánico y gallinaza), bacterias (aflecho de arroz), actinomicetos (arcilla, y aflecho de arroz) y se observó nematodos en todas las muestras. Estos resultados sugieren la desinfección de los materiales al momento de realizar las mezclas y evitar en algunos casos problemas sanitarios. Las mayores poblaciones de nematodos se observaron del género de *Rhabditida* (estiércol de cerdo, oveja y chivo) y *Dorylaimida* (humus de lombriz y turba).

Finalmente se concluye que los sustratos y suelos evaluados en las diversas investigaciones realizadas reflejan una alta actividad microbiana en los sustratos, materiales alternativos y suelos evaluados. Esto se debe a que todos los sustratos y materiales orgánicos usados, incluso los más estables, son susceptibles a la degradación. En el caso del suelo, también se observó una alta actividad biológica, por la presencia de residuos orgánicos y materiales en descomposición. Estos resultados sugieren, que los suelos y sustratos en invernadero deben ser manejado en función de la actividad biológica y se deberían implementar sistemas sostenibles y resilientes con una baja carga de insumos que afecten la actividad biológica en suelos y sustratos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS INTRODUCCIÓN GENERAL

- Maradiaga, G. 2016. Análisis de la cadena de valor de vegetales de invernadero en la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana. Programa Exportando Calidad e Inocuidad (ECI). 28p.
- Ministerio de Agricultura de la República Dominicana, MARD. 2019. Memoria Institucional 2019. Santo Domingo, República Dominicana, DO, 312 p. Consultado en febrero de 2021. Disponible en: <http://agricultura.gob.do/transparencia/phocadownload/PlanEstrategico/Memorias/Memoria%20Institucional%20MA%202019.pdf>.
- Ministerio de Agricultura de la República Dominicana, MARD. 2020. Memoria Institucional año 2020. Santo Domingo, República Dominicana, DO, 234 p. Consultado en febrero de 2021. Disponible en: <http://agricultura.gob.do/transparencia/phocadownload/PlanEstrategico/Memorias/MEMORIA%20SECTOR%20AGROPECUARIO%202020%20MINPRE.pdf>
- Programa de Mercadeo de Frigoríficos e Invernaderos (PROMEFRIN). 2009. Estadísticas. En línea, consultado 21/05/2009. <http://promefrin.org/estadisticas/promefrin.pdf>
- PROMEFRIN (Programa de Mercados Frigoríficos e Invernaderos). 2010. Estadísticas del programa de mercados frigoríficos e invernaderos (PROMEFRIN). Consultado el 03/03/2011. En: http://www.promefrin.org/paginapromefrin1/Estadisticas/ESTADISTICAS_2004_2008.pdf



El Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF)

C/ Rafael Augusto Sánchez #89, Ensanche Evaristo Morales,

Santo Domingo, República Dominicana.

Teléfono. (809) 567-8999 - Fax: (809) 567-9199.

URL. <https://www.idiaf.gob.do/>

Santo Domingo, República Dominicana

2026

ISBN: 978-9945-448-46-7

