



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

**RELACIONES HÍDRICAS Y MINERALIZACIÓN DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA
EN SUSTRATOS CON BASE EN CACHAZA**

LOURDES PORFIRIO VICTORIANO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

Noviembre 2014

La presente tesis titulada: “**RELACIONES HÍDRICAS Y MINERALIZACION (CO₂) DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA EN SUSTRATOS CON BASE EN CACHAZA**” realizada por la alumna **Lourdes Porfirio Victoriano**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

FISIOLOGÍA VEGETAL

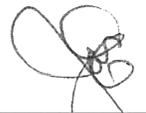
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



Dr. Gerardo Sergio Benedicto Valdés

ASESOR:



Dr. J. Alberto Escalante Estrada

ASESOR:



MC. Alfonso Muratalla Lúa

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre 2014.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al CONACYT por haberme brindado la oportunidad de financiar mis estudios de Maestría.

A mis consejo particular por haberme apoyado durante este trayecto de maestría y en la culminación de mi tesis.

Al Colegio de Postgraduados por haberme dado la oportunidad de encontrarme con excelente personas, brindándome sobre todo su confianza.

A los laboratoristas de física de suelo que siempre me brindaron su confianza y apoyo.

En especial a mis padres por sus ejemplos de humildad, respeto, honestidad, constancia y valentía.

Lourdes Porfirio Victoriano

Maestra en Ciencias en Fisiología Vegetal

2014

DEDICATORIA

Dedicó este trabajo a mis padres por haberme apoyado y confiado en mí, durante mi desarrollo profesional.

A mis profesores Dr. SERGIO BENEDICTO VALDES, DR. JOSE ALBERTO ESCALANTE ESTRADA Y MC. ALFONSO MURATALLA LVA y a la MC. MARÍA TERESA GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, por formar parte de mi consejo particular y brindarme su tiempo y apoyo durante el desarrollo de mi investigación.

Al CONACYT por haberme brindado el apoyo económico para seguir desarrollándome profesionalmente.

A los laboratoristas de física de suelos por el apoyo brindado durante el análisis de mis muestras.

A todos los amigos que compartieron momentos de tristeza, alegrías y felicidad durante mi estancia en esta institución.

A Dios por mandarme a un angelito que pronto compartirá momentos muy especiales con nosotros.

Lourdes Porfirio Victoriano

Maestra en Ciencias en Fisiología Vegetal

2014.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvii
CAPITULO I. RELACIONES HIDRICAS Y MINERALIZACIÓN (CO ₂) DE LA FRACCION ORGANICA EN SUSTRATOS CON BASE A CACHAZA.	1
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	2
2.1 Relaciones de Humedad en Sustratos vs Suelo.	2
2.2 Distribución Vertical de la Humedad dentro del Contenedor.	4
2.3 Propiedades Físicas del Sustrato.	5
2.3.1 Densidad Aparente (g cm ⁻³).	6
2.3.2 Densidad Real (g cm ⁻³).	7
2.3.3 Espacio Poroso Total (%).	7
2.3.4 Capacidad de Aireación (1 Kpa).	8
2.3.5 Agua Fácilmente Disponible (1 y 5 Kpa).	9
2.3.6 Agua de Reserva (5 y 10 Kpa).	9
2.3.7 Capacidad de Agua de un Sustrato.	9
2.4 Mineralización de Sustratos.	10
3. OBJETIVOS	12
3.1 General	12
3.2 Específicos	12
4. HIPÓTESIS	13
4.1 General	13
4.2 Específicas	13
5. MATERIALES Y MÉTODOS	14
5.1 Localización del Experimento.	14
5.2 Diseño de Tratamientos y Diseño Experimental.	14

5.3 Determinación de las Propiedades Físicas.	15
5.3.1 Densidad Aparente (g cm^{-3}) -----	15
5.3.2 Densidad Real (g cm^{-3})-----	16
5.3.3 Porosidad Total (%) -----	16
5.3.4 Método de la Curva de Liberación o Desorción de Agua. -----	16
5.4 Distribución Vertical de la Humedad.	16
5.5 Caracterización Química.	17
5.5.1 Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente (%) -----	17
5.5.2 pH y Conductividad Eléctrica (dS m^{-1}). -----	18
5.6 Liberación de CO_2 ($\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1}$ muestra).	18
5.7 Variables Evaluadas en la Planta de Fresa.....	18
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	19
6.1 Etapa Inicial y Etapa Final.	19
6.1.1 Curvas de Liberación o Desorción de Agua. -----	19
6.1.1.1 Agua No Disponible (AND). -----	19
6.1.1.2 Agua Fácilmente Disponible (AFD).-----	22
6.1.1.3 Agua de Reserva (AR). -----	24
6.1.1.4 Agua Difícilmente Disponible (ADD).-----	26
6.1.2 Capacidad de Campo (CC).-----	28
6.1.3 Punto de Marchitez Permanente (PMP).-----	30
6.1.4 Humedad Aprovechable (HA).-----	32
6.1.5 Distribución Vertical de la Humedad dentro del Contenedor. -----	35
6.1.6 Densidad Aparente (g cm^{-3}). -----	37
6.1.7 Densidad Real (g cm^{-3}).-----	39
6.1.8 Espacio Poroso Total (%).-----	42
6.1.8.1 Porosidad de Aireación (%).-----	44
6.1.8.2 Porosidad de Retención de Humedad (%).-----	46
6.1.9 Propiedades Químicas. -----	48
6.1.9.1 Conductividad Eléctrica (dS m^{-1}).-----	48
6.1.9.2 pH.-----	50

6.1.10 Liberación de CO ₂ (mg CO ₂ g ⁻¹ muestra).	52
7. CONCLUSIONES	55
8. BIBLOGRAFIA	56
CAPITULO II. DINAMICA DE CRECIMIENTO DE FRESA (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) EN DIFERENTES SUSTRATOS DE SIEMBRA. ----- 68	
1. INTRODUCCION	68
2. REVISION DE LITERATURA	70
2.1. La Fresa como Cultivo Indicador.	70
2.1.1. Importancia del Cultivo de Fresa. -----	70
2.1.2. Etapas Fenológicas. -----	71
2.1.3. Sistema Radicular. -----	72
2.1.4. Sustratos Utilizados en la Producción de Fresas. -----	72
2.1.5. Extracción Nutrimental y Nutrición en Fresa. -----	73
3. OBJETIVO	74
4. HIPÓTESIS	74
5. MATERIALES Y MÉTODOS	75
5.1. Localidad de Estudio.	75
5.2. Diseño de Tratamientos y Diseño Experimental.	75
5.3. Características de los Sustratos Empleados.	77
5.3.1. Orgánicos. -----	77
5.3.1.1. Composta de Cachaza. -----	77
5.3.1.2. Fibra de Coco. -----	77
5.3.2. Inorgánicos. -----	77
5.3.2.1. Tezontle. -----	77
5.3.2.2. Piedra Pómez. -----	78
5.4. Composición Química del Agua.	78
5.5. Preparación de la Solución Nutritiva.	78
5.6 Material Vegetal.	79
5.7 Variables Estudiadas.	79
5.7.1 Materia seca de hoja, materia seca del tallo y materia seca de raíz (MSH, MST y MSR). -----	79

5.7.2 Número de hojas (NH).	80
5.7.3 Longitud de raíz y Volumen de raíz (LR y VR).	80
5.7.4 Materia fresca del fruto y Materia seca de fruto (MFF y MSF).	80
5.7.5 Diámetro ecuatorial y Diámetro polar (DE y DP).	80
5.7.6 Área foliar (AF).	80
5.7.7 Peso promedio de hoja (PPH).	81
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
6.1. Variables de Crecimiento en Plantas Regadas con Solución Nutritiva.....	82
6.1.1. Materia Seca de Hoja (MSH).	82
6.1.2. Peso Promedio de Hoja (PPH).	83
6.1.3. Materia Seca del Tallo (MST).	83
6.1.4. Materia Seca Radical (MSR).	85
6.1.5. Número de Hojas (NH).	85
6.1.6. Longitud de Raíz (LR).	85
6.1.7. Volumen Radical (VR).	86
6.2. Variables de Crecimiento en Plantas Regadas con Agua.....	87
6.2.1. Materia Seca de Hoja (MSH).	87
6.2.2. Peso Promedio de Hoja (PPH).	89
6.2.3. Materia Seca del Tallo (MST).	89
6.2.4. Materia Seca Radical (MSR).	89
6.2.5. Número de Hojas (NH).	90
6.2.6. Longitud de Raíz (LR).	90
6.2.7. Volumen Radical (VR).	91
6.3. Variables de Fructificación en Plantas Regadas con Solución Nutritiva---	91
6.4. Variables de Fructificación en Plantas Regadas con Agua.	93
6.5. Área Foliar.	94
7. CONCLUSIONES	96
8. BIBLIOGRAFÍA	97
9. APENDICE	105

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos elaborados a base de cuatro sustratos.....	15
Cuadro 2. Contenido de humedad promedio (AND) obtenido mediante la columna de agua.....	20
Cuadro 3. Contenido de humedad promedio (AFD) obtenido mediante la columna de agua.....	22
Cuadro 4. Contenido de humedad promedio (AR) obtenido mediante la columna de agua.....	25
Cuadro 5. Contenido de humedad promedio (ADD) obtenido mediante la columna de agua.....	27
Cuadro 6. Porcentaje promedio de humedad gravimétrica correspondiente a CC (0.3 Bar).....	29
Cuadro 7. Porcentaje promedio de humedad gravimétrica correspondiente a PMP (15 Bar).....	31
Cuadro 8. Capacidad de retención promedio de humedad aprovechable (HA).....	33
Cuadro 9. Porcentaje promedio de humedad gravimétrica (HG) en el estrato superior, medio e inferior.....	35
Cuadro 10. Comportamiento promedio de Densidad Aparente (Da) en sustratos orgánicos, minerales y mezclas.....	37
Cuadro 11. Comportamiento promedio de Densidad Real (Dr) en sustratos orgánicos, minerales y mezclas.....	40

Cuadro 12. Espacio poroso total (EPT) promedio por tratamientos.....	42
Cuadro 13. Porosidad de Aireación (Pai) promedio por tratamientos.....	44
Cuadro 14. Porosidad de Retención de Humedad (Prh) promedio por tratamientos.....	46
Cuadro 15. Conductividad Eléctrica (CE) promedio por tratamiento.....	49
Cuadro 16. Promedio del pH en las fases inicial y final de los tratamientos.....	51
Cuadro 17. Producción Acumulativa de CO ₂ durante el periodo de incubación (riego con agua y solución nutritiva).....	53
Cuadro 18. Descripción de los tratamientos establecidos en la investigación.....	76
Cuadro 19. Composición química del agua empleada.....	78
Cuadro 20. Composición química de la solución nutritiva empleada.....	78
Cuadro 21. Variables de crecimiento en fresa regada con solución nutritiva en función del sustrato empleado. Datos tomados al final de la cosecha (252 dds, verano 2013).....	84
Cuadro 22. Variables de crecimiento en fresa regada con agua en función del sustrato empleado. Datos tomados al final de la cosecha (252 dds, verano 2013).....	87
Cuadro 23. Variables de crecimiento en fresa regada con solución nutritiva en función del sustrato empleado. Datos tomados al final de la cosecha (252 dds, verano 2013).....	92

Cuadro 24. Variables de crecimiento en fresa regada con agua en función del sustrato empleado. Datos tomados al final de la cosecha (252 dds, verano 2013).....93

Cuadro 25. Variables de crecimiento en fresa regada con solución nutritiva y agua en función del sustrato empleado. Datos tomados al final de la cosecha (252 dds, verano 2013).....94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Curva de retención de agua en dos suelos “A” (Hillel, 1980) y curva de retención de agua en sustratos inertes “B” (Felipó *et al.*, 1979).....3

Figura 2. Capacidad de retención hídrica de suelos típicos con varias texturas “A” (Thompson *et al.*, 2002) y curva de desorción o liberación de agua en sustratos “B” (De Boodt *et al.*, 1974b). Donde: EPT: Espacio poroso total; ADD: Agua difícilmente disponible; AR: Agua de reserva; AFD: Agua fácilmente disponible; CA: Capacidad de aireación; MS: Material sólido.....4

Figura 3. Influencia de la forma de la maceta sobre la capacidad de retención. “La proporción del sustrato más húmedo es más baja en el fondo de la maceta de forma troncocónica que en el de la maceta cilíndrica “A”. Efecto de la gravedad sobre el drenaje, en un recipiente de drenaje libre. Al aumentar la altura también aumenta la fuerza gravitacional, haciendo que se retenga menos agua (izquierda), lo que crea gradiente de humedad dentro del recipiente (derecha) “B”.....5

Figura 4. Distribución de los tratamientos.....15

Figura 5. Realización del muestreo en dos puntos dentro de la maceta.....17

Figura 6. Promedio de AND por tipo de sustrato y mezclas.....21

Figura 7. Promedio de AFD por tipo de sustrato y mezclas.....	23
Figura 8. Promedio de AR por tipo de sustrato y mezclas.....	25
Figura 9. Promedio de ADD por tipo de sustrato y mezclas.....	28
Figura 10. Promedio de CC por tipo de sustratos y mezclas.....	30
Figura 11. Promedio de PMP por tipo de sustratos y mezclas.....	32
Figura 12. Promedio de HA por tipo de sustratos y mezclas.....	34
Figura 13. Promedio de HG por tipo de sustrato y mezclas.....	36
Figura 14. Promedio de Da por tipo de sustrato y mezclas.....	38
Figura 15. Promedio de Dr por tipo de sustrato y mezclas.....	41
Figura 16. Promedio de EPT por tipo de sustrato y mezclas.....	43
Figura 17. Promedio de Pai por tipo de sustrato y mezclas.....	45
Figura 18. Promedio de Prh por tipo de sustrato y mezclas.....	47
Figura 19. Promedio de CE por tipo de sustrato y mezclas.....	49
Figura 20. Promedio de pH por tipo de sustratos y mezclas.....	51
Figura 21. Liberación de CO ₂ (mg CO ₂ g ⁻¹ muestra) por tratamientos con adición de agua (izquierda) y tratamientos con adición de solución nutritiva (derecha).....	54
Figura 22. Distribución de los tratamientos en las unidades experimentales.....	76

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura 1A. Dinámica de crecimiento del diámetro polar del fruto en plantas de fresa <i>cv.</i> Festival regado con solución nutritiva. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra Pómez; C + TN: Composta + Tezontle Negro; C + FC: Composta + Fibra de Coco; TP + TN: Piedra Pómez + Tezontle Negro.....	105
Figura 2A. Dinámica de crecimiento del diámetro polar del fruto en plantas regado con agua en fresa <i>cv.</i> Festival. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra Pómez; C + TN: Composta + Tezontle Negro; C + FC: Composta + Fibra de coco.....	106
Figura 3A. Dinámica de crecimiento del diámetro ecuatorial del fruto en plantas de fresa <i>cv.</i> Festival regado con solución nutritiva. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra Pómez; C + TN: Composta + Tezontle Negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP + TN: Piedra Pómez + Tezontle Negro.....	107
Figura 4A. Dinámica de crecimiento del diámetro ecuatorial del fruto en plantas de fresa <i>cv.</i> Festival regado con agua. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra Pómez; C + TN: Composta + Tezontle Negro; C + FC: Composta + Fibra de coco.....	108
Figura 5A. Dinámica de crecimiento del peso del fruto en plantas de fresa <i>cv.</i> Festival regado con solución nutritiva. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra Pómez; C + TN: Composta + Tezontle Negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP + TN: Piedra pómez y tezontle negro.....	109
Figura 6A. Dinámica de crecimiento del peso de fruto en plantas de fresa <i>cv.</i> Festival regado con agua. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra Pómez; C + TN: Composta + Tezontle Negro; C + FC: Composta + Fibra de coco.....	110

Figura 7A. Dinámica de crecimiento de la longitud de hoja en fresa *cv*. Festival regado con solución nutritiva. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TP + FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TN: Tezontle negro; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; FC: Fibra de coco.....111

Figura 8A. Dinámica de crecimiento de la longitud de hoja en fresa *cv* Festival regado con agua. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TP + FC: Piedra pómez + Fibra de coco.....112

Figura 9A. Dinámica de crecimiento del ancho de hoja en fresa *cv* Festival regado con solución nutritiva. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TP + FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TN: Tezontle negro; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; FC: Fibra de coco.....113

Figura 10A. Dinámica de crecimiento del ancho de hoja en fresa *cv* Festival regado con agua. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TP + FC: Piedra pómez + Fibra de coco.....114

RELACIONES HÍDRICAS Y MINERALIZACIÓN (CO₂) DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA EN SUSTRATOS CON BASE EN CACHAZA

**Lourdes Porfirio Victoriano, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2014.**

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, de Octubre 2012 a Julio 2013. El objetivo fue determinar las relaciones hídricas, es decir, las características de retención de humedad y su relación con la mineralización de la fracción orgánica, mediante la evolución del CO₂. Además se midió el comportamiento de la humedad de forma vertical, en sustratos elaborados en base a composta de cachaza, empleando como cultivo indicador Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Festival en condiciones de invernadero. Se evaluaron diez tratamientos producto de la mezcla de dos sustratos minerales (Piedra Pómez: TP y Tezontle Negro: TN) y dos orgánicos (Composta: C y Fibra de Coco: FC). La caracterización física y química de los tratamientos se realizó en dos fases, inicial y final (antes del trasplante y final de cosecha, respectivamente). Las propiedades físicas evaluadas fueron: Densidad Aparente, Densidad Real, Porosidad Total y Agua No Disponible (AND), Agua Fácilmente Disponible (AFD), Agua de Reserva (AR) y Agua Difícilmente Disponible (ADD). Las propiedades químicas determinadas fueron Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP), pH, Conductividad eléctrica (CE). Asimismo se determinó la distribución vertical de la humedad mediante un muestreo gravimétrico, iniciando con 80% de humedad con base al peso seco de la mezcla. El muestreo se realizó cada tercer día, en tres estratos (superior, medio e inferior) durante un periodo de 35 días. El contenido de humedad mayor se registró en el estrato inferior para la mayoría de los tratamientos, siendo particularmente notable con la presencia de sustratos orgánicos, de acuerdo con su alta capacidad retentiva. La liberación de CO₂ se determinó por el método de incubación descrito por

Anderson (1984), el muestreo se realizó cada tercer día, durante un periodo de 105 días a temperatura ambiente. El tratamiento con mayor producción de CO₂ fue Composta con Fibra de Coco (C+FC), tanto en sustratos regados con agua o solución nutritiva (535.32 mg CO₂ g⁻¹ muestra y 517.73 mg CO₂ g⁻¹ muestra, respectivamente). También se determinó la dinámica de crecimiento de Fresa en función del sustrato utilizado. Las variables estudiadas fueron Materia Seca de Hoja (MSH), Materia Seca de Tallo (MST), Materia Seca de Raíz (MSR), Materia Seca de Fruto (MSF), Número de Hojas (NH), Longitud de Raíz (LR), Volumen Radical (VR), Materia Fresca de Fruto (MFF), Diámetro Polar (DP), Diámetro Ecuatorial (DE), Área Foliar (AF), Peso de Hoja (PH), Longitud de Hoja (LH) y Ancho de Hoja (AH). Estas variables se evaluaron en plantas regadas con agua o solución nutritiva. En las variables MSH, PH, MST, MSR, NH, LR, VR, DP y DE los mayores valores se presentaron en sustratos y plantas regadas con agua. En las variables LH y AH los valores mayores se registraron en plantas regadas con solución nutritiva. Al final de cosecha se evaluó DE, DP, MFF y MSF, donde los mayores valores se registraron en plantas regadas con solución nutritiva y en la variable AF mayores se registraron en los tratamientos regados con agua.

Palabras clave: Sustratos, Propiedades físicas, Liberación de CO₂, dinámica de la humedad y dinámica de crecimiento de fresa.

WATER RELATIONS AND MINERALISATION (CO₂) OF THE ORGANIC FRACTION IN SUBSTRATES BASED ON CACHAZA

**Lourdes Porfirio Victoriano, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2014.**

SUMMARY

This work was performed at Colegio of Posgraduados, Campus Montecillo, from October 2012 to July 2013. The objective was to determine the water relations, i.e., the moisture retention characteristics and its relationship with the mineralization of the organic fraction, through the evolution of CO₂. Besides, the vertical behavior of moisture was measured in substrates prepared from compost of cachaza, using strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Festival as indicator crop in greenhouse conditions. Ten treatments elaborated of the mixture of two mineral substrates (Pumice: TP and Black Tezontle: TN) and two organic substrates (Compost: C and Coconut Fiber: FC) were evaluated. Physical and chemical characterization of the treatments was conducted in two phases, initial and final (before transplant and end of the harvest, respectively). The physical properties evaluated were: Bulk Density, Real Density, Total Porosity and Water Unavailable (AND) Readily Available Water (AFD), Water Reserve (AR) and Hardly Water Available (ADD). The chemical properties determined were Field Capacity (CC), Permanent Wilt Point (PMP), pH, Electrical Conductivity (EC). Also, the vertical distribution of the moisture was determined by a gravimetric sampling, starting with 80% moisture based on the dry weight of the mixture. Sampling was done every third day, in three layers (upper, middle and lower) for a period of 35 days. The higher moisture content was recorded in the lower layer for most treatments, being particularly remarkable with the presence of organic substrates, according to its high retention capacity. The CO₂ release was determined by the incubation method described by Anderson (1984), sampling was performed every third day during a period of 105 days at room temperature. Treatment with higher CO₂

production was Compost + Coconut Fiber (C+FC), both substrates irrigated with water or nutrient solution (535.32 mg CO₂ g⁻¹ and 517.73 mg CO₂ g⁻¹, respectively). Also, growth dynamics of strawberry was determined depending of the substrate used. The variables studied were Leaf Dry Matter (MSH), Stem Dry Matter (MST), Root Dry Matter (MSR), Dry Matter Fruit (MSF), Number of Leaves (NH), Root Length (LR), Radical Volume (VR), Matter Fresh Fruit (MFF) Polar Diameter (DP), Equatorial Diameter (DE), Leaf Area (AF), Leaf Weight (PH), Leaf Length (LH) and Leaf Wide (AH). These variables were evaluated in plants irrigated with water or nutrient solution. In the variables MSH, PH, MST, MSR, NH, LR, VR, DP and DE the higher values were recorded in substrates and plants irrigated with water. In the variables LH and AH the higher values were registered in plants irrigated with nutrient solution. At the end of harvest was evaluated DE, DP, MFF and MSF, where the highest values were recorded in plants irrigated with nutrient solution and in the AF variable major values were recorded in treatments irrigated with water.

Keywords: Substrates, physical properties, CO₂ release, moisture dynamics and dynamic growth of strawberry.

CAPITULO I. RELACIONES HIDRICAS Y MINERALIZACIÓN (CO₂) DE LA FRACCION ORGANICA EN SUSTRATOS CON BASE A CACHAZA.

1. INTRODUCCION

Actualmente los ingenios azucareros extraen residuos de caña de azúcar como la cachaza el cual no es aprovechado, se deposita en espacios a campo abierto, provocando problemas de contaminación ambiental por la recurrente incineración, además de favorecer la proliferación de fauna nociva en áreas aledañas (Cuéllar *et al.*, 2003). La cachaza es un residuo agroindustrial producido durante la clarificación que se hace del jugo de caña en la industria azucarera (Cárdenas y Guzmán, 1983). Uno de los problemas por la que este subproducto no es del todo aprovechado se debe a su dificultad para almacenamiento, transporte y manejo.

Una manera factible para aprovechar este residuo es mediante el compostaje, técnica que deriva en la transformación de materiales orgánicos para el aprovechamiento en cultivos ornamentales, hortícolas y frutícolas. Para garantizar la utilización de este material como sustrato, se requiere la determinación de propiedades físicas tales como: densidad aparente, espacio poroso total, densidad real, granulometría y retención de humedad. Dentro de las propiedades químicas, cabe destacar: pH, relación carbono/nitrógeno, conductividad eléctrica, y principalmente la mineralización de CO₂.

El objetivo de este estudio fue evaluar en mezclas de sustratos elaborados con base en cachaza, las características de retención de humedad, a las tensiones de 0.3 y 15 bar, y con la columna de baja tensión a 5, 10 y 100 cm de altura de agua. Se evaluó la relación con la mineralización de la fracción orgánica, mediante la evolución del CO₂ y la dinámica de la distribución vertical de la humedad en los contenedores, utilizando como cultivo indicador la Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. "Festival" en condiciones de invernadero.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Relaciones de Humedad en Sustratos vs Suelo.

En las ciencias del suelo el reparto de fases (sólida, líquida y gaseosa), se estudia mediante la curva pF (Logaritmo de potencial matricial) o curva de retención de agua, cuyos puntos representativos son la saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente (De Boodt y De Waele, 1968; De Boodt y Verdonck, 1972; De Boodt *et al.*, 1974a). De Boodt aplica el mismo criterio para el sustrato de cultivo, con la diferencia que los puntos de interés corresponden a bajas tensiones (Figura 1) (De Boodt y De Waele, 1968; De Boodt y Verdonck, 1972; De Boodt *et al.*, 1974a; Félipó *et al.*, 1979). La curva de retención de agua en sustratos se obtiene entre el intervalo de 0 y 100 cm de tensión (De Boodt y De Waele, 1968; De Boodt y Verdonck., 1972; Calderón y Cevallos, 2001), mientras que para suelos se obtiene en intervalos de 0 y 1500 KPa (0-1.5 MPa) (Cadahía, 2005) equivalente a 16000 cm de columna de agua (Ortiz, 2010). La curva de retención de agua expresa la relación entre el porcentaje (%) de agua y el potencial matricial (Ψ_m) ó tensión (t), refleja el perfil hídrico que se da en un contenedor en un momento dado. A partir de dicha curva se puede estudiar la disponibilidad del agua y aire (Terés y Arrieta, 1995). Proporciona además, la distribución de la porosidad total (Orozco, 1995) y se utiliza principalmente para: determinar un índice de humedad disponible en suelo, es decir, la porción de agua absorbida por las plantas; estimar determinados valores de humedad de la relación suelo-agua-planta como capacidad de campo o el punto de marchitez permanente; clasificar los suelos; detectar cambios en la estructura del suelo; y determinar la relación entre la tensión de la humedad del suelo y otras propiedades físicas (Stakman,1980).

La capacidad de retención de agua de los suelos y sustratos a diferentes succiones es una herramienta vital para analizar el flujo del agua, su disponibilidad y el manejo del riego (Raviv *et al.*, 2002). En la figura 1 se observan las curvas de retención de agua correspondientes a suelos (A) y

sustratos (B). En las curvas de retención los gradientes de humedad son más fuertes en sustratos que en suelos, es decir que a bajas tensiones se retiene más agua en sustratos en comparación que en suelos.

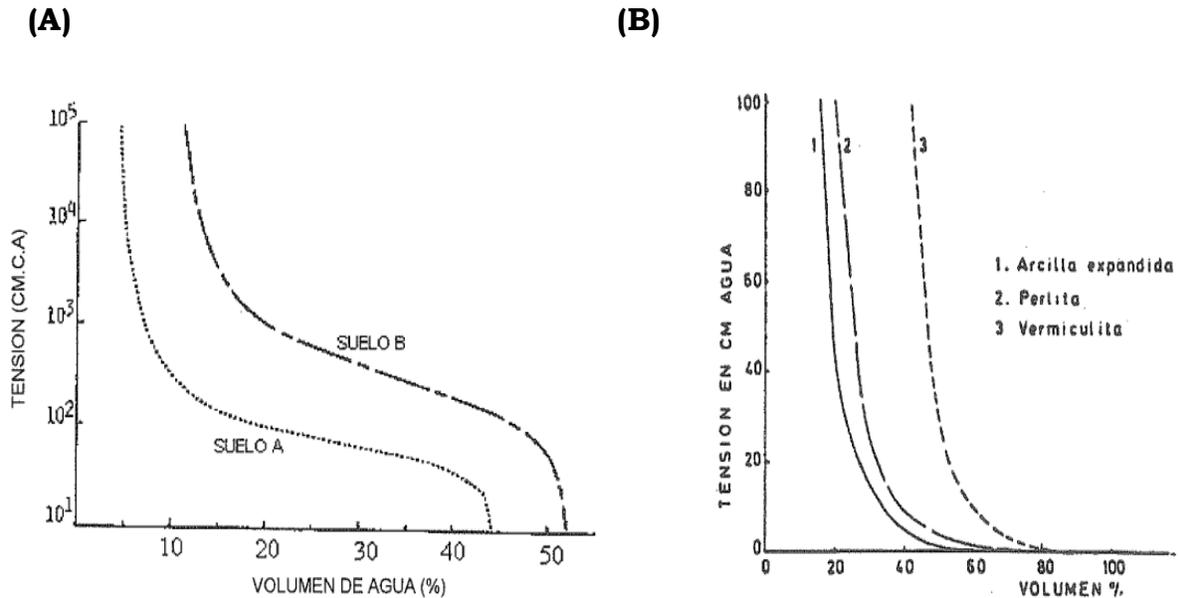
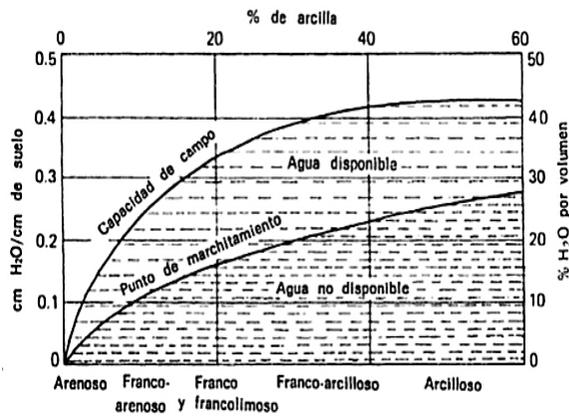


Figura 1.- Curva de retención de agua en dos suelos “A” (Hillel, 1980) y curva de retención de agua en sustratos inertes “B” (Felipó et al., 1979).

La figura 2 muestra la tendencia de la capacidad de campo, punto de marchitamiento y capacidad de retención útil (agua disponible) para suelos de varias texturas (A), se observa que en un suelo arcilloso con partículas finas y poros pequeños se retendrá humedad con mayor fuerza, mientras que un suelo arenoso con partículas gruesas y poros grandes perderá humedad al ser sometido a succiones bajas o moderadas (Ortiz, 2010) y (B) se observa la curva de liberación de agua en sustratos, donde el perfil de la curva es una cinética hiperbólica (línea continua), indicando que a bajas tensiones el sustrato estará bien aireado.

(A)



(B)

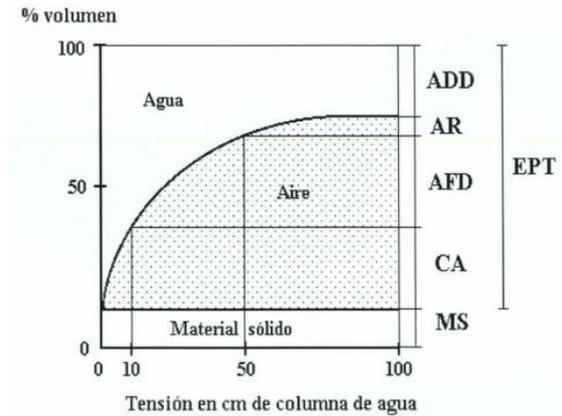


Figura 2. Capacidad de retención hídrica de suelos típicos con varias texturas “A” (Thompson y Troeh, 2002) y curva de desorción o liberación de agua en sustratos “B” (De Boodt *et al.*, 1974b). Donde: EPT: Espacio poroso total; ADD: Agua difícilmente disponible; AR: Agua de reserva; AFD: Agua fácilmente disponible; CA: Capacidad de aireación; MS: Material sólido.

2.2 Distribución Vertical de la Humedad dentro del Contenedor.

La capacidad de retención de agua, para un recipiente en un volumen dado, depende de la relación entre la altura y el diámetro, será menor cuanto mayor sea la relación altura/diámetro (Lemaire *et al.*, 2005). La fuerza de gravedad ejercida sobre un sustrato es mayor al aumentar su altura. Por lo tanto, entre más alto sea el recipiente mayor será el tiro gravitacional, y entre mayor sea éste más drenaje habrá y menos agua será retenida por el sustrato (Figura 3) (Fonteno, 1999). La forma de recipiente (truncocónica y cilíndrica) influye en la retención de humedad, en la truncocónica (caso de la macetas de barro) disminuye la proporción de sustrato húmedo en el fondo con relación al sustrato seco de la parte superior, mientras que en macetas de sección cilíndrica la retención de agua será ligeramente menor en comparación al otro tipo de maceta. La compactación de los sustratos en el recipiente, de igual manera, influye en la retención de agua, la compactación es menor en

recipientes de escaso volumen, disminuyendo así la retención de agua (Lemaire *et al.*, 2005), como se muestra en la figura 3 (A).

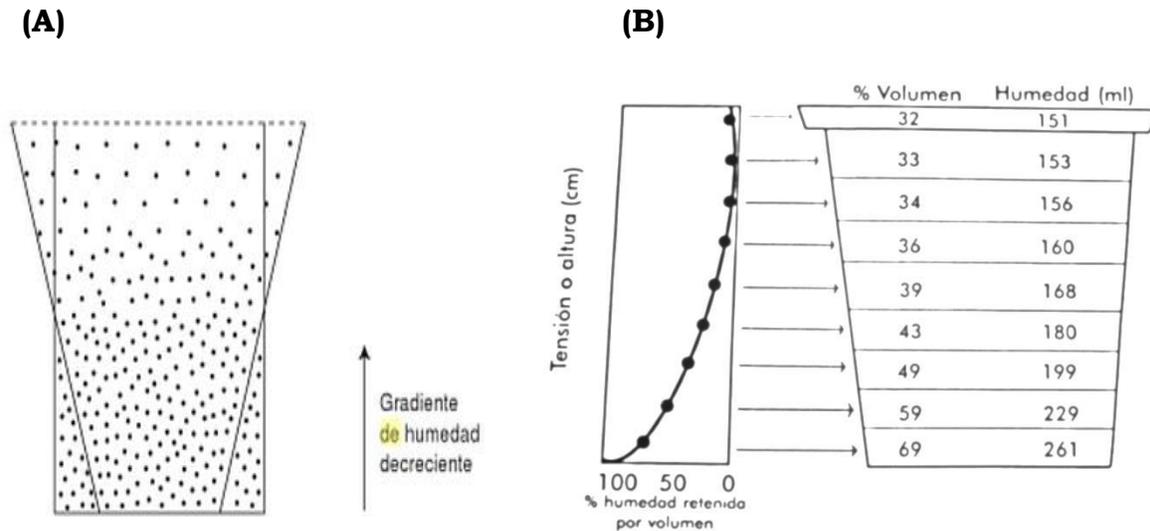


Figura 3. Influencia de la forma de la maceta sobre la capacidad de retención. “La proporción del sustrato más húmedo es más baja en el fondo de la maceta de forma troncocónica que en el de la maceta cilíndrica “A”. Efecto de la gravedad sobre el drenaje, en un recipiente de drenaje libre. Al aumentar la altura también aumenta la fuerza gravitacional, haciendo que se retenga menos agua (izquierda), lo que crea gradiente de humedad dentro del recipiente (derecha) “B”.

2.3 Propiedades Físicas del Sustrato.

La caracterización física de los sustratos estudia la distribución volumétrica del material sólido, agua y aire así como la variación en función del potencial matricial (Cadahía, 2005; Urrestarazu, 2004). Las propiedades físicas del sustrato son de gran importancia (Raviv *et al.*, 1986; Abad, 1995; Abad y Noguera., 1998), una vez que el sustrato está en el contenedor y la planta esté creciendo, no es posible modificar estas propiedades. A diferencia de las propiedades químicas que pueden ser alteradas mediante técnicas de cultivo apropiado, realizadas por el productor. En la caracterización de sustratos se suele evaluar las siguientes propiedades físicas: Densidad aparente (g cm^{-3}),

densidad real (g cm^{-3}), porcentaje de espacio poroso total. Las propiedades físicas relacionadas con la retención de humedad son: el espacio poroso considerado como conjunto de poros individuales interconectados entre sí, formado por un sistema único ocupado por aire y agua. La dimensión de poros y la distribución, condicionan la capacidad de almacenamiento y transporte del agua en el medio poroso. Las características hídricas de los sustratos dependen de la distribución del tamaño de poros en el sustrato (Milks *et al.*, 1989a; Fonteno, 1989; Búres, 1997).

2.3.1 Densidad Aparente (g cm^{-3}).

Este parámetro se define como la relación entre el peso seco y el volumen ocupado por el sustrato (De Boodt y De Waele., 1968). Las unidades en que es expresada es Mg m^{-3} o g cm^{-3} . En los sustratos orgánicos la densidad aparente varía a lo largo del cultivo e informa sobre el cambio del volumen total de poros y su morfología, así como sobre la velocidad de mineralización y humificación (De Boodt y Verdonck., 1971). Se utiliza para el cálculo de la porosidad total (%), el volumen ocupado por agua y por aire (Verdonck *et al.*, 1978). La densidad aparente se modifica por la compactación (De Boodt, 1975) y por el contenido de humedad de la muestra (Verdonck *et al.*, 1978). Hidalgo *et al.*, (2009) y Martínez y León (2004) refiere la importancia de contar con valores de menores a 0.5 g cm^{-3} . Con esto, se tienen condiciones apropiadas para el desarrollo y manejo de la planta.

La densidad aparente de los sustratos está en función del tamaño de partículas, naturaleza del material y de la proporción de mezcla (Escobar 2009). Tal es el caso de la fibra de coco, que al incrementar su proporción con respecto al contenido de pómez y tezontle, disminuyó de 0.88 g cm^{-3} a 0.05 g cm^{-3} .

En cuatro tipos de granulometría (3-5 mm, 5-10 mm, 10-20 mm y 20-30 mm) de tezontle con tres proporciones de fibra de coco (1:0,3:1 y 1:1) se obtuvieron valores de 0.75, 0.76, 0.7 y 0,6 g cm⁻³, respectivamente (San Martín, 2011).

2.3.2 Densidad Real (g cm⁻³).

Se define como el peso del sustrato entre el volumen que realmente ocupa, sin tomar en cuenta el volumen de poros que existe dentro y entre las partículas del sustrato y entre el sustrato y las paredes del contenedor. Este valor varía según el material del que se trate. Por ejemplo para la mayoría de los materiales de origen orgánico es de 1.45 g m⁻³ y para los materiales inorgánicos se registran valores de hasta 3.0 g m⁻³ (Ansorena, 1994). Como se señaló anteriormente, de este parámetro dependerá el porcentaje de espacio poroso total. Con mezclas de tezontle y composta, se registraron valores de 2.71 y 2.11 g m⁻³ (Chamú, 2010). En tanto que con fibra de coco a cuatro tipo de granulometría que variaron de (<0.13 mm a >3.36 mm) los valores resultantes fueron de 1.50 a 1.36 g m⁻³ respectivamente (Anicua, 2008).

2.3.3 Espacio Poroso Total (%).

Se define como el porcentaje de volumen del sustrato no ocupado por la fracción sólida y resulta de la relación entre densidad aparente sobre la densidad y equivale al contenido volumétrico de agua de 0 cm de succión (De Boodt y De Waele, 1968, De Boodt *et al.*, 1974b; De Boodt, 1975). El espacio poroso total debe ser mayor a 80 y 85% (De Boodt y Verdonck., 1972; Verdock *et al.*, 1984; Ansorena, 1994). Los sustratos presentan dos tipos de poros: internos y externos. La porosidad interna está influenciada por la naturaleza de las partículas y estado e interconexión de los poros; puede ser abierta o cerrada (Pastor, 1999). Los poros existentes en un sustrato se dividen en: 1) poros capilares, de tamaño (< 30µm), que son los que retienen el agua y 2) poros no capilares o macroporos, de tamaño (>30 µm), que son los que se

vacían después que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación (Raviv *et al.*, 1986; Bunt, 1988).

Con dos tipos de granulometría, utilizando mezclas de fibra de coco con piedra pómez y fibra de coco con tezontle se utilizaron dos tipos de granulometrías y diversas proporciones se obtuvieron valores de espacio poroso total en un rango que varió del 62 al 94% (Gutiérrez *et al.*, 2011).

2.3.4 Capacidad de Aireación (1 Kpa).

También conocido como contenido de aire (De Boodt *et al.*, 1974b), o poros llenos de aire a 10 cm de tensión (De Boodt y Verdonck, 1972; De Boodt, 1975), volumen de aire después del riego (De Boodt y De Waele, 1968; Felipó *et al.*, 1979; Pagés *et al.*, 1981) o volumen de poros drenados a una tensión de 10 cm después de regar el sustrato. Este volumen de aire es igual a la porosidad total menos el volumen de agua presente cuando se establece el equilibrio a 10 cm de tensión. La altura o profundidad del contenedor tiene un efecto marcado sobre el contenido de aire del sustrato. Cuando más alto sea el contenedor mayor es el contenido de aire, y en caso contrario se recomienda sustratos de textura gruesa para una aireación adecuada (Cadahía, 2005; Ortiz 2010). El nivel óptimo de la capacidad de aireación oscila entre el 20-30% en volumen (Abad *et al.*, 1993).

Campoverde (2007) al evaluar la mezcla de fibra de coco: turba en proporciones de 0:40, 20:20, 40:0 y 100:0 obtuvo valores de capacidad de aireación de 25.2, 19.8, 20.1 y 34.4%, respectivamente. Gallegos (2008) encontró en dos tipos de sustratos (tezontle y piedra pómez) con granulometría de 2 y 3 cm valores de capacidad de aireación de 11 y 21.5%, respectivamente.

2.3.5 Agua Fácilmente Disponible (1 y 5 Kpa).

Es el porcentaje de agua fácilmente asimilable por la planta (De Boodt y De Waele, 1968; De Boodt, 1975; Pagés *et al.*, 1981) o agua fácilmente disponible (De Boodt y Verdonck, 1972; De Boodt *et al.*, 1974b; Felipó *et al.*, 1979). También conocida como la cantidad de agua liberada cuando la tensión en el sustrato sube de 10 a 50 cm de agua. El valor óptimo para el agua fácilmente disponible oscila entre el 20% y 30% del volumen (Abad *et al.*, 1993). Un sustrato puede tener una baja capacidad de retención de agua fácilmente disponible por: baja porosidad total, poros grandes y pérdida de agua por gravedad o en caso contrario poros pequeños en donde la planta es incapaz de extraer agua antes de marchitarse o combinación de todas las anteriores (Bunt, 1988). Al respecto Anicua (2008) obtuvo valores de agua fácilmente disponible de 12.2, 28.2, 11.6, 3.5, 13.6 y 8.1% en cuatro tipos de granulometría (<0.13, 0.25, 0.50, 1.0, 2.0, >3.36, respectivamente) en fibra de coco.

2.3.6 Agua de Reserva (5 y 10 Kpa).

Poder tampón del agua (De Boodt y De Waele, 1968; De Boodt *et al.*, 1974b; De Boodt, 1975; Pagés *et al.*, 1981), capacidad de reserva de agua (De Boodt y Verdonck, 1972) o capacidad compensadora de agua (Felipó *et al.*, 1979). Es la cantidad de agua liberada entre 50 y 100 cm de tensión. Esta cantidad es igual a la diferencia de la humedad, expresada en porcentaje de volumen, cuando el sustrato está en equilibrio a 50 y 100 cm de tensión. El valor óptimo oscila entre el 4 a 10% (Pastor, 1999).

2.3.7 Capacidad de Agua de un Sustrato.

Es el agua retenida a 10 cm de tensión (De Boodt, 1975; Felipó *et al.*, 1979) y se expresa en $g/100 g^{-1}$ de sustrato seco.

De Boodt considera otro punto esencial: el valor de la succión para la cual el volumen de agua iguala al volumen de aire del sustrato (Verdonck *et al.*, 1974;

De Boodt, 1975; Felipó *et al.*, 1979). Para la interpretación de los valores obtenidos para este parámetro proporciona los siguientes criterios: si es menor de 10 cm de tensión, el sustrato tiene suficiente aire, pero prácticamente no tiene agua fácilmente asimilable; si está entre 10 y 30 cm el sustrato tiene al mismo tiempo aire y agua fácilmente asimilable; y si el valor es superior a 30 cm de tensión, el sustrato tiene suficiente agua fácilmente asimilable, pero prácticamente no tiene aire en la zona de las raíces (Felipó *et al.*, 1979).

2.4 Mineralización de Sustratos.

Se define como un proceso de reducción del contenido de materia orgánica en la que al mismo tiempo, aumentan los nutrientes asimilables, previamente inmovilizados en formas orgánicas (Pascual, 1996). Durante la mineralización de la materia orgánica se distingue dos fases: la humidificación y la mineralización. La humidificación es una fase bastante rápida, los microorganismos del suelo actúan sobre la materia orgánica desde el momento en que se entierra. Primero se forma el humus joven (lábil o libre), de evolución rápida que a su vez da paso al humus estable. Ambos productos forman la llamada materia orgánica de suelo. La fase de la mineralización es muy lenta, el humus estable recibe la acción de otros microorganismos que lo destruye progresivamente (1 a 2 años), liberando los minerales que absorbe las plantas (Gros y Domínguez, 1992). La mineralización está controlada por varios factores como riqueza microbiana, humedad, temperatura, textura y mineralogía del suelo, así como por la calidad de los materiales orgánicos in situ incorporados, cantidad agregada y forma de aplicación (Fassbender y Bornemisza, 1987; Guerrero, 1993; Soto, 2003). Cuando los nutrimentos quedan finalmente mineralizados, pueden ser inmovilizados por los microorganismos, acomplexados dentro de estructuras húmicas o bien adsorbidos por los coloides, y dependiendo de las situaciones imperantes algunas formas podrían ser lixiviadas (Satchell, 1974), o mineralizarse a partir de la descomposición de la materia orgánica pasando de amonio a nitratos

(Castellanos y Pratt, 1981; Kass, 1998; Hartz *et al.*, 2000). Cuanto más rica en carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa, lignina) y más pobre en nitrógeno, es menor la tasa de descomposición de materia orgánica fresca y mayor la inmovilización de nutrientes en la biomasa microbiana (Berendse, 1994; Grime *et al.*, 1996; Aerts y Caluwe, 1997; Berg *et al.*, 1998).

3. OBJETIVOS

3.1 General

- Determinar las relaciones hídricas, referidas a las características de retención de humedad, su relación con la mineralización de la fracción orgánica, mediante la evolución del CO₂ y comportamiento de la humedad de forma vertical , en sustratos elaborados en base a composta de cachaza, empleando como cultivo indicador la Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. “Festival” en condiciones de invernadero.

3.2 Específicos

- Caracterizar las propiedades físicas y químicas de los diez tratamientos (orgánico, inorgánico y mezclas).
- Determinar la evolución del CO₂ de la fracción orgánica de cada tratamiento.
- Evaluar el comportamiento de la humedad de forma vertical para cada tratamiento.

4. HIPÓTESIS

4.1 General

- Las relaciones hídricas favorecen en la capacidad retentiva de la humedad, interviene en la mineralización de la fracción orgánica, contribuyendo en la distribución uniforme de la humedad.

4.2 Específicas

- La adición de composta favorece la retención de humedad a tensiones cercanas a 10 cm de c.a de agua en función de su granulometría y porosidad.
- A medida que transcurre la mineralización de la fracción orgánica, es posible que la condición física de los sustratos, favorezca la retención de humedad.
- El empleo de sustratos orgánicos, favorece en la distribución uniforme de la humedad.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del Experimento.

El estudio se realizó en los invernaderos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México, en los meses de Octubre de 2012 a Julio de 2013, ubicado a 19° 29' LN y 98° 53' de LW a una altitud de 2240 msnm. El clima es del tipo C (Wo) (w) b (1) g' que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 750 mm y una temperatura media anual de 15.5 °C, cuya oscilación térmica es de 5 a 7 °C (García, 2004).

Los materiales utilizados fueron de diferente origen orgánicos; composta de cachaza elaborada en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba y Fibra de Coco e Inorgánicos como: Piedra Pómez y Tezontle negro. Los últimos tres materiales procedentes de Texcoco, Estado de México. El cultivo indicador para la fase experimental fue fresa cv. Festival generada de la cruce entre las variedades "Rosa Linda y Oso Grande" (Chandler, 2004).

5.2 Diseño de Tratamientos y Diseño Experimental.

Los tratamientos fueron diez (Cuadro 1), con tres repeticiones, el diseño fue completamente al azar. Se proporcionó dos regímenes de riego con solución nutritiva y la adición de agua (Figura 4).

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos elaborados a base de cuatro sustratos.

Tratamientos	Descripción	Proporción	Gramos
C	Composta	100%	2,640
C+TP	Composta + Piedra Pómez	1.2:1	1,320 + 1,100
C+TN	Composta + Tezontle Negro	1:1.3	1,320+ 1,725
C+FC	Composta + Fibra de Coco	4.8:1	1,320 + 275
TP	Piedra Pómez	100%	2,200
TP+TN	Piedra Pómez + Tezontle Negro	1:1.5	1,100 + 1725
TP+FC	Piedra Pómez + Fibra de Coco	4:1	1,100 + 275
TN	Tezontle Negro	100%	3,450
TN+FC	Tezontle Negro + Fibra de Coco	6.2:1	1,725 + 275
FC	Fibra de Coco	100%	550

T8	T10	T7	T9	T5	T4	T3	T1	T2	T6	} Con Agua.
T9	T8	T5	T1	T7	T2	T6	T4	T3	T10	
T10	T3	T9	T4	T8	T1	T7	T5	T6	T2	
T8	T10	T7	T9	T5	T4	T3	T1	T2	T6	} Con Solución Nutritiva.
T9	T8	T5	T1	T7	T2	T6	T4	T3	T10	
T10	T3	T9	T4	T8	T1	T7	T5	T6	T2	

Figura 4. Distribución de los tratamientos.

5.3 Determinación de las Propiedades Físicas.

Para la caracterización de las propiedades físicas de cada tratamiento se consideraron las variables:

5.3.1 Densidad Aparente (g cm⁻³).

Se determinó por el método de la probeta (Ansorena, 1994). Se pesó en seco cada muestra, posteriormente se colocó en el recipiente, los espacios entre partículas se redujeron golpeando la probeta sobre la mesa, logrando una uniformidad del sustrato, y por último se determinó el volumen ocupado.

5.3.2 Densidad Real (g cm⁻³).

Se determinó por el método del picnómetro de líquidos (Téres *et al.*, 1993) se utilizaron muestras en seco, posteriormente se agregó al matraz de 125 mL (Pm), después se pesó el matraz con el sustrato (Ps), se agregó agua destilada hervida para evitar aireación, se dejó reposar durante 24 horas, se introdujo al desecador para expulsar el aire, se enfrió y luego se enrasó con agua destilada hervida y se registró el peso (Psa). Finalmente el matraz se aforó con agua destilada hervida y se pesó (Pa).

5.3.3 Porosidad Total (%).

Para determinar la porosidad total se utilizó el método del permeámetro se sobresaturó la muestra, previamente se pesó el permeámetro con la cinta adhesiva que cubre las perforaciones, se llenó el permeámetro con agua antes del borde y se obtuvo el peso hasta que se estabilizó completamente la saturación, posteriormente se pesó el sustrato saturado, después el sustrato drenado, se introdujo a la estufa hasta obtener un peso constante.

5.3.4 Método de la Curva de Liberación o Desorción de Agua.

Para determinar la curvas de retención de humedad se utilizó el método de la columna colgante en succiones de 10, 50 y 100 cm, el nivel 0 se obtuvo en estado de saturación. Con este método se determinó agua fácilmente disponible, agua difícilmente disponible, agua de reserva, capacidad de aireación (De Boodt *et al.*, 1974b).

5.4 Distribución Vertical de la Humedad.

El muestreo gravimétrico se realizó cada tercer día durante un período de 35 días, durante los meses de Marzo a Abril de 2013. Iniciando con el 80% de humedad con base a peso seco de la mezcla. Para evaluar la distribución vertical de la humedad se consideró el espesor por cada tratamiento,

identificándose tres estratos de similar espesor: superior, medio e inferior. Los espesores fueron: Composta (5.6cm), Composta-Piedra Pómez (5.0cm), Composta-Tezontle Negro (5.6cm), Composta-Fibra de Coco (6.3cm), Piedra Pómez (4.3cm), Piedra Pómez-Tezontle Negro (5.0cm), Piedra Pómez-Fibra de Coco (4.3cm), Tezontle Negro (5.3cm), Tezontle Negro-Fibra de Coco (4.6cm) y Fibra de Coco (4.0cm). Para las muestras se tomaron muestras en dos puntos dentro de la maceta de forma lateral y central (Figura 5).

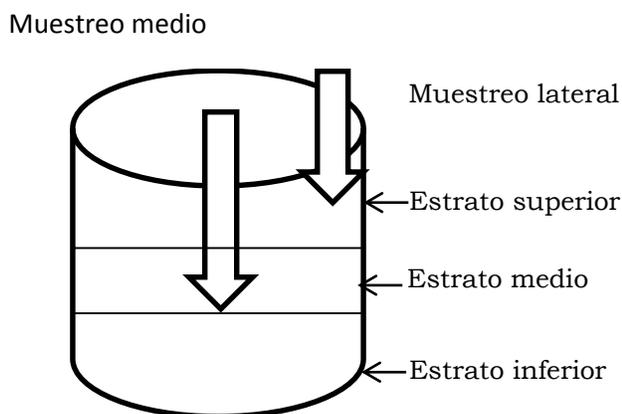


Figura 5. Realización del muestreo en dos puntos dentro de la maceta.

5.5 Caracterización Química.

5.5.1 Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente (%).

Se determinó por el método de la olla y membrana a presión (0.3 y 15 Bar) (Richards, 1947). Se colocó las muestras sobre los anillos de hule previamente colocados sobre el plato y membrana de presión; se agregó agua destilada a la superficie del plato o membrana hasta lograr una lámina de 8-10 mm hasta llegar al borde superior de los anillos de hule, dejando las muestras durante 16 horas, y finalmente las muestras se colocaron en los botes para obtener el peso del sustrato húmedo, después se introdujo a la estufa para secado hasta obtener un peso constante.

5.5.2 pH y Conductividad Eléctrica (dS m⁻¹).

Se determinó con el extracto de pasta de saturación, se utilizó agua destilada como extractante y se agitó hasta alcanzar un punto de humedad, la muestra se dejó reposar durante 24 horas. Se filtró el extracto y posteriormente se realizaron las lecturas de pH y CE.

5.6 Liberación de CO₂ (mg CO₂ g⁻¹ muestra).

Se utilizó el método de incubación descrito por Anderson (1984). Se utilizaron frascos de vidrio sellados herméticamente. Se usó 15 g de sustrato para la mayoría de los tratamientos a excepción de la fibra de coco que se utilizó 5 g. Cada tratamiento se humedeció al 50% con base al peso de la muestra respectivamente, con sus tres repeticiones. La tasa de mineralización se determinó cada tercer día a temperatura ambiente, durante un periodo de 105 días, de Enero a Mayo del 2013. Para la estimación del CO₂, cada tratamiento fue incubado empleando NaOH 1N. El CO₂ liberado, se precipitó con BaCl al 2% y la titulación se realizó con HCL 1N. Para el riego de las muestras incubadas, se utilizó agua con y sin solución nutritiva. El suministro de la humedad se realizó en base a la pérdida de peso que se mantuvo hasta el final del experimento. Se consideraron muestras blanco para controlar presencia de CO₂ y muestras incubadas con agua para demostrar la presencia de carbonatos.

5.7 Variables Evaluadas en la Planta de Fresa.

Se midieron variables como área foliar cuantificada mediante el programa Imagej®, peso seco del tallo, raíz, hojas y fruto. Estos tejidos se secaron en estufa de aire forzado hasta peso constante (72 horas a una temperatura de 70 °C). La longitud de raíz se evaluó midiendo desde el cuello hasta la raíz más larga con una regla graduada. El volumen de raíz se determinó sumergiendo la raíz en un volumen conocido de agua.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Etapa Inicial y Etapa Final.

Se determinaron algunas propiedades físicas en los tratamientos para conocer las características iniciales y finales de los sustratos. Las variables evaluadas fueron: Curva de Liberación de Agua, Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente, Distribución Vertical de la Humedad, Densidad Real, Densidad Aparente y Porosidad. Además se determinaron Propiedades Químicas como: pH, Conductividad Eléctrica y Liberación de CO₂.

6.1.1 Curvas de Liberación o Desorción de Agua.

Se determinó la clasificación del agua en los sustratos: Agua No Disponible (AND), Agua Fácilmente Disponible (AFD), Agua de Reserva (AR) y Agua Difícilmente Disponible (ADD).

Además se aplicó el método de retención de humedad utilizando olla y membrana de presión a Capacidad de Campo “CC” (0.3 Bar) y Punto de Marchitez Permanente “PMP” (15 Bar), así también la humedad aprovechable (diferencia entre CC y PMP). Se utilizaron ambas metodologías para distinguir el comportamiento de la humedad por el método (De Boodt *et al.*, 1974b) y por el método tradicional empleado en suelos (Richards, 1974).

6.1.1.1 Agua No Disponible (AND).

En la fase inicial se registraron valores de AND de 9.36 a 34.57% que correspondieron a los tratamientos C+FC y TP+FC, respectivamente. Esto significó un incremento por parte de TP+FC del 269.33%. En la fase final los valores encontrados fueron 9.51 y 45.47% en C+TN y TN respectivamente, mostrando un incremento del 378.12% (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenido de humedad promedio de Agua no disponible (AND) obtenido mediante la columna de agua.

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
	%			
TP+FC	34.57	a†	33.86	ab
TN	31.22	ab	45.47	a
TP+TN	29.43	ab	26.87	ab
C	29.41	ab	21.26	ab
TP	28.53	ab	20.46	ab
C+TN	27.18	ab	9.51	b
FC	23.34	ab	38.66	a
C+TP	19.78	ab	25.03	ab
TN+FC	19.41	ab	32.52	ab
C+FC	9.36	b	25.80	ab
CV (%)	33.39		35.99	
DMS (0.05)	24.35112		29.07434	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P > 0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TN: Tezontle negro; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; C: Composta; TP: Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; FC: Fibra de coco; C + TP: Composta + Piedra pómez; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; C + FC: Composta + Fibra de coco.

El mejor tratamiento para la fase inicial fue C+FC por mostrar el menor porcentaje de AND (9.36%), mientras que el menos deseado fue en TP+FC por su alto valor de AND (34.57%) y el resto de los tratamientos presentaron valores estadísticamente intermedios. Para la fase final el valor más bajo de AND se mostró en C+TN (9.51%). Los valores más altos en TN y FC (45.47 y 38.66% respectivamente). El resto de los tratamientos mostraron valores estadísticos intermedios. En ambas fases se puede observar que las mezclas con menor AND están constituida de Cachaza lo que significa que este material posee una menor cantidad de AFD.

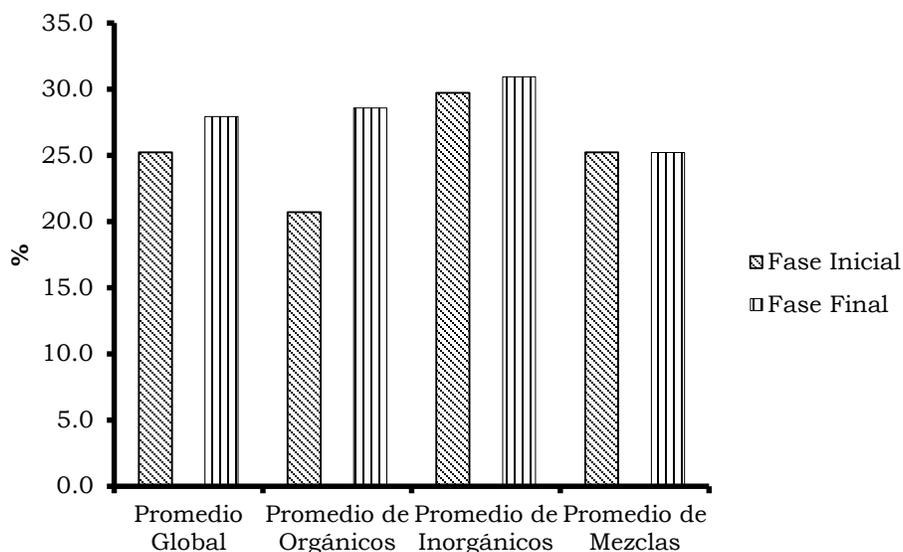


Figura 6. Promedio de AND por tipo de sustrato y mezclas.

El promedio global del porcentaje de AND en fase inicial y final fue de 25.22% a 27.94%, respondiendo un incremento del 10.78% en la fase final. En el caso de sustratos orgánicos los valores registrados fueron de 20.70 a 28.57% conduciendo a un incremento del 38.01% en la fase final. En los sustratos inorgánicos los valores registrados de AND fueron de 29.73 a 30.93% y un incremento del 4.03% en la fase final. Al mezclar ambos materiales, orgánicos e inorgánicos, se obtuvo valores de 25.24 a 25.23%, y correspondió a una disminución del 0.03% en la fase final (Figura 6).

En la fase final existe un aumento de AND en los sustratos orgánicos y sustratos inorgánicos esto indica que son materiales con mayor cantidad de agua fácilmente disponible. Para cuando se mezclaron hubo un valor intermedio posiblemente por las interacciones producidas entre sustratos. La adición de componente orgánicos en las mezclas ayuda a mejorar la retención de agua, porosidad de aire y disminución de peso húmedo (Cabrera, 1999).

6.1.1.2 Agua Fácilmente Disponible (AFD).

En la fase inicial se registraron valores de AFD en el rango comprendido 1.70 a 32.01% que correspondieron a TP+FC y TN+FC, respectivamente. El incremento en TN+FC fue 1782.9%. Estadísticamente en la fase final no hay diferencias significativas entre tratamientos sin embargo los valores registrados fueron de 4.05 a 20.72% en TN y C+FC. Lo cual hubo un incremento del 411.60% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Contenido de humedad promedio de Agua fácilmente disponible (AFD) obtenido mediante la columna de agua.

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
	%			
TN+FC	32.01	a [†]	18.02	a
C+FC	27.62	a	20.72	a
TN	19.27	ab	4.05	a
TP+TN	9.02	bc	9.79	a
FC	8.54	bc	16.88	a
TP	7.80	bc	6.05	a
C+TN	6.89	bc	19.89	a
C+TP	6.65	bc	8.69	a
C	6.31	bc	16.15	a
TP+FC	1.70	c	10.11	a
CV (%)	38.24		49.31	
DMS (0.05)	13.91101		18.58069	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P > 0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; C + FC: Composta + Fibra de coco; TN: Tezontle negro; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; FC: Fibra de coco; TP: Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; C + TP: Composta + Piedra pómez; C: Composta; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco.

En la fase inicial el mejor porcentaje de AFD se mostraron en TN+FC y C+FC, el valor más bajo se observó en TP+FC, mientras que el resto de los tratamientos presenta valores intermedios. Para la fase final estadísticamente no hay diferencias significativas, sin embargo los valores con mayor AFD se observaron en C+FC y C+TN y el valor más bajo en TN. Para ambas fases lo común que tiene estas mezclas que está constituido de sustratos orgánicos

caracterizada por tener una gran capacidad de retención de agua y estabilidad como sustrato orgánico (Abad *et al.*, 2003; Noguera *et al.*, 2003). El valor óptimo para AFD oscila entre 20 y 30% del volumen (Abad *et al.*, 1993). Ambas fases se encuentra dentro de este rango a excepción del tratamiento TN+FC que presentó un aumento del 2.01%. Al respecto Anicua (2008) obtuvo valores de AFD de 12.2, 28.2, 11.6, 3.5, 13.6 y 8.1% en cuatro tipos de granulometría (<0.13, 0.25, 0.50, 1.0, 2.0, >3.36, respectivamente) en fibra de coco. Lo que se relaciona descrito por Bunt (1988) una baja capacidad de retención de AFD puede atribuirse a la porosidad total, tamaño de poros y la pérdida de agua por gravedad.

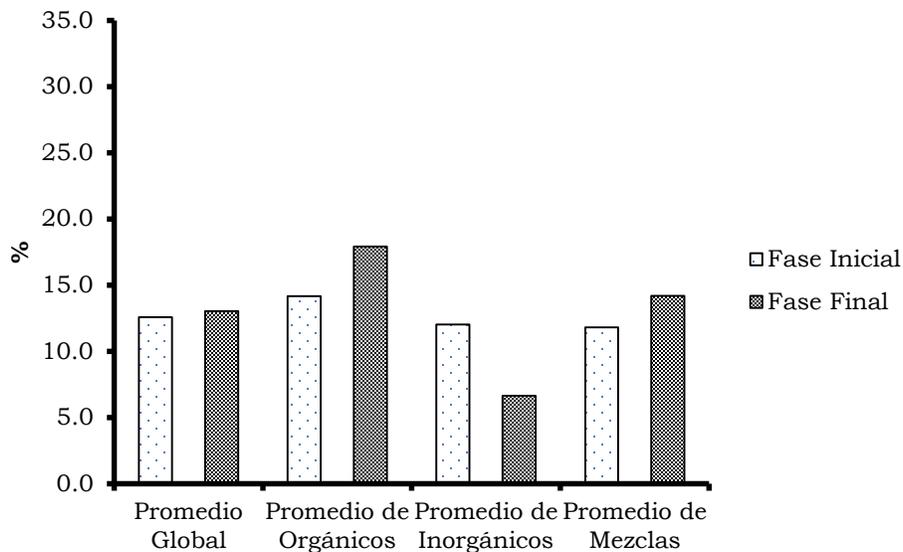


Figura 7. Promedio de AFD por tipo de sustrato y mezclas.

Los promedios globales para AFD fueron 12.58 a 13.04% para la fase inicial y fase final respectivamente, y un incremento del 3.65% en la fase final. Para los sustratos orgánicos los valores registrados fueron 14.16 a 17.92%, mostrando un incremento en la fase final del 26.55%. En tanto que los sustratos inorgánicos los valores comprendidos fueron de 12.03 a 6.63% lo cual hubo una disminución del 81.44% para la fase final y para cuando se mezclaron

orgánicos e inorgánicos los valores fueron de 11.81 a 14.18% y un incremento del 20.06%. En sustratos orgánicos en la fase final hay un aumento de AFD posiblemente tenga que ver a la porosidad inter e intra partícula factores que impiden el drenaje del agua y la retienen fuertemente (Anicua, 2008). En sustratos inorgánicos hubo una disminución del AFD en la fase inicial esto posiblemente se atribuye a porosidad intrapartícula característico de estos materiales (Pape y Lager, 1994). En el caso de las mezclas hubo un aumento en la fase final lo que se atribuye a la presencia de materiales orgánicos (Figura 7).

6.1.1.3 Agua de Reserva (AR).

Se registraron valores para AR en la fase inicial con los valores comprendidos 2.09 a 17.19%, que correspondieron a TN y C+TN respectivamente, y un incremento en C+TN del 722.48%, mientras que en la fase final los valores presentados fueron 1.25 a 17.48% en TN+FC y TP+FC respectivamente, y un incremento en TP+FC de 1298.4% (Cuadro 4).

En la fase inicial el mejor tratamiento con capacidad de agua de reserva se mostró en C+TN y los menores en C+TP y TN. En la fase final la mejor capacidad de agua de reserva se mostró en TP+FC y los valores más bajos estadísticamente se mostraron en TN+FC, TP, TP+TN, C+TP y TN. El valor óptimo de AR oscila entre 4 y 10% (Pastor, 1999). En algunas investigaciones se reportan valores para fibra de coco de 2 a 6% y 8.1% (Calderón y Cevallos, 2001; Quintero y González, 2004). Cuando se ha mezclado fibra de coco (35%) y cascarillas de arroz (65%) se han observado valores de AR 5.2 y 2.11% (Quintero y González, 2004; Bohórquez, 2008). Cuando las proporciones en mezclas de fibra de coco y cascarilla de arroz varían de proporción (35% y 65%) la capacidad de AR disminuye a valores de 4.9 y 1.87% (Quintero y González, 2004; Bohórquez, 2008).

Cuadro 4. Contenido de humedad promedio de agua de reserva (AR) obtenido mediante la columna de agua.

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
	%			
C+TN	17.19	a†	11.56	ab
FC	14.63	ab	4.18	bc
TN+FC	11.79	ab	1.25	c
C+FC	10.06	ab	8.28	bc
TP+FC	7.19	ab	17.48	a
TP	2.65	ab	2.6	c
TP+TN	2.64	ab	4.11	c
C	2.63	ab	6.90	bc
C+TP	2.41	b	3.04	c
TN	2.09	b	1.29	c
CV (%)	69.23		42.15	
DMS (0.05)	14.66536		7.39620	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P>0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. C + TN: Composta + Tezontle negro; FC: Fibra de coco; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; TN: Tezontle negro.

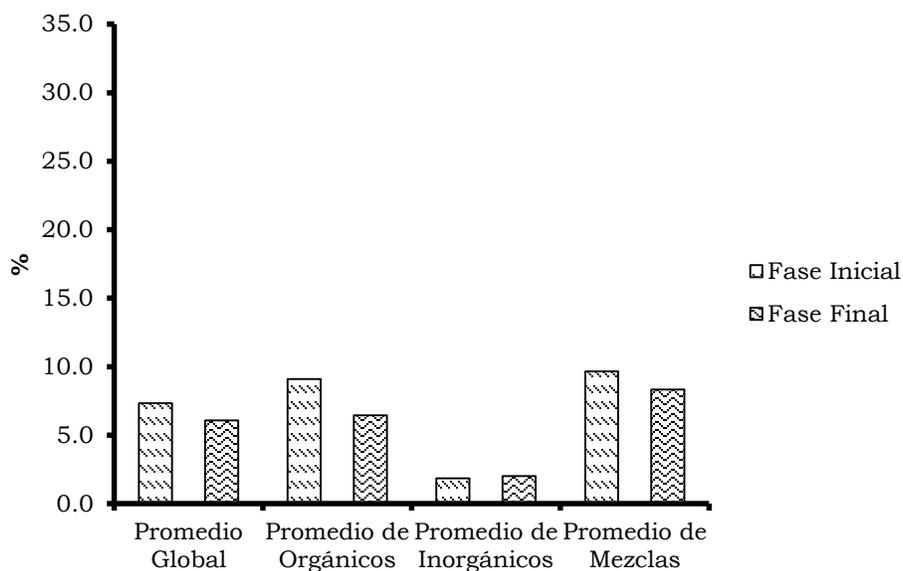


Figura 8. Promedio de AR por tipo de sustrato y mezclas.

Los promedios globales para AR fueron 7.33 a 6.07% para la fase inicial y fase final respectivamente, mostrando un decremento del 20.75% en la fase final. Mientras tanto el promedio de orgánicos los valores registrados fueron 9.11 a 6.45%, mostrando una disminución en la fase final del 41.24%. Para los sustratos inorgánicos los valores observados fueron 1.85 a 2.0% y un aumento del 8.10% en la fase final. Cuando se mezclan ambos materiales orgánicos con los inorgánicos los valores fueron de 9.65 a 8.33% y correspondió un decremento del 15.84%. En sustratos orgánicos hay una disminución de AR en la fase final, esto puede ser posible a la compactación. En materiales orgánicos la proporción de microporos, produce una elevada capacidad de retención de humedad, además que son resilientes para resistir a la compactación (Mastalerz, 1977) (Figura 8).

Para el caso de sustratos inorgánicos mostraron un ligero aumento de AR en la fase final y al mezclar ambos materiales también se observó una ligera disminución en la fase final. Burés (1997) observó que el tezontle presenta baja capacidad de retención de AR (1.63%), mientras Chen *et al.* (1980) reportaron valores de 1 a 2% de AR. Las propiedades físicas varían considerablemente con el tamaño de partículas y el origen del material.

6.1.1.4 Agua Dificilmente Disponible (ADD).

En la fase inicial se registraron valores de 15.23 a 46.20% para ADD, que correspondieron a TN y C+TP respectivamente, respondiendo un incremento en C+TP del 203.34%. Mientras tanto la fase final los valores presentados fueron de 20.56 a 40.48% en TP+FC y TP respectivamente, y un aumento del 96.88% (Cuadro 5).

En la fase inicial el tratamiento con mejor ADD se observaron en los tratamientos C+TP, FC y C+FC y los valores más bajos se mostraron en TN+FC y TN. En el caso de la fase final el valor más altos se observó en TP y FC y los valores más bajos en TN y TP+FC. Anicua (2008) reportó valores de 16.70% de

ADD en mezclas de Fibra de coco: Tezontle proporción de 60:40 y mezclas de Fibra de coco: Piedra pómez con valores de 5.32% de ADD con proporción 60:40 a granel.

Cuadro 5. Contenido de humedad promedio de Agua difícilmente disponible (ADD) obtenido mediante la columna de agua.

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
	%			
C+TP	46.20	a†	31.97	ab
FC	45.67	a	38.36	a
C+FC	43.40	a	31.8	ab
C	38.07	ab	30.23	ab
TP+FC	37.95	ab	20.56	b
TP	31.16	bc	40.48	a
C+TN	23.09	cd	28.36	ab
TP+TN	22.67	cd	31.54	ab
TN+FC	18.89	d	30.61	ab
TN	15.23	d	28.81	b
CV (%)	12.05		16.46	
DMS (0.05)	11.22594		14.54614	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P>0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. C + TP: Composta + Piedra pómez; FC: Fibra de coco; C + FC: Composta + Fibra de coco; C: Composta; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; TN: Tezontle negro.

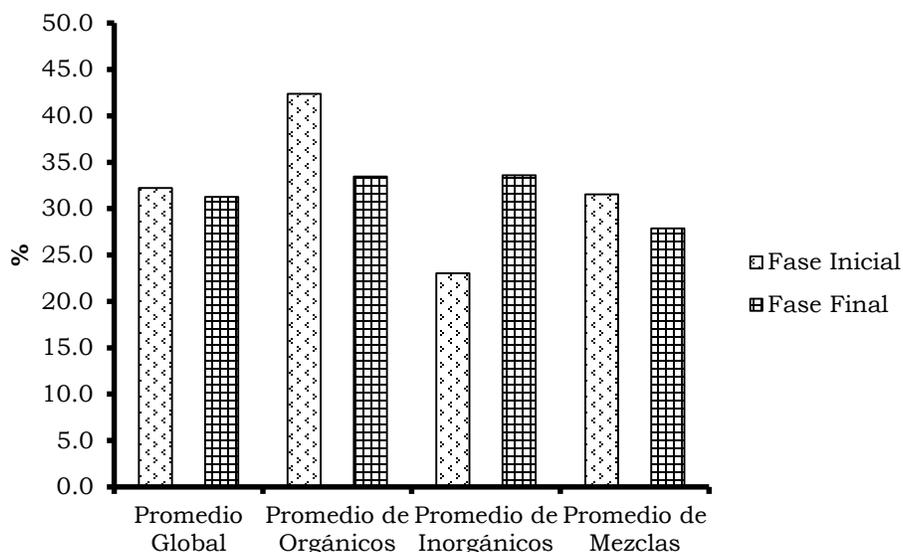


Figura 9. Promedio representativo por sustratos y mezclas de ADD.

Los promedios globales para la fase inicial y fase final fueron de 32.23 a 31.27% respectivamente, y un decremento del 3.07%. En cuanto a las respuesta por sustratos orgánicos los valores mostrados fueron de 42.38 a 33.46% y una disminución en la fase final del 26.65%. Para los sustratos inorgánicos los valores obtenidos fueron de 23.02 a 33.61% representando un aumento del 46.0% por parte de la fase final y al mezclarse ambos materiales orgánicos e inorgánicos los valores obtenidos fueron de 31.53 a 27.88% que corresponden un decremento del 13.09% en la fase final. Puustjärvi (1982) reportó que los materiales finos partículas (menores de 1mm) tienen poros de menor tamaño, retienen grandes cantidades de ADD y presenta menor capacidad de aireación (Figura 9).

6.1.2 Capacidad de Campo (CC).

Se registraron valores para la fase inicial en los rangos comprendidos de 9.27 a 251.74%, para los tratamientos TN y FC respectivamente. Esto correspondió un incremento en FC el 2615.64%, en tanto que para la fase final comprendió rangos de 35.42 a 234.99% en C+TN y FC. Esto mostró un incremento por parte de la FC el 563.43% (Cuadro 6).

En la fase inicial el mejor tratamiento se observó en la FC y el más bajo en TN. En la fase final el mejor tratamiento se presentó en FC y los más bajos en C+TP y C+TN. Segura *et al.* (2008) reportaron valores de CC (16.8%) en una mezcla de Pómez Natural: Arena con una proporción de volumen 10% y 500g de arena.

Cuadro 6. Porcentaje promedio de humedad gravimétrica correspondiente a CC (0.3 Bar).

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
	%			
FC	251.74	a [†]	234.99	a
C+FC	136.28	b	104.21	b
C	77.80	c	65.83	bc
C+TP	58.61	cd	48.37	c
TP	45.41	de	71.70	bc
C+TN	34.77	de	35.42	c
TP+TN	23.75	ef	*	
TN	9.27	f	*	
TP+FC	*		*	
TN+FC	*		*	
CV (%)	7.62		15.91	
DMS (0.05)	24.02254		40.75429	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P > 0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación; * Datos no considerados por su valor negativo. FC: Fibra de coco; FC: Fibra de coco; C + FC: Composta + Fibra de coco; C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; TP: Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TN: Tezontle negro; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco.

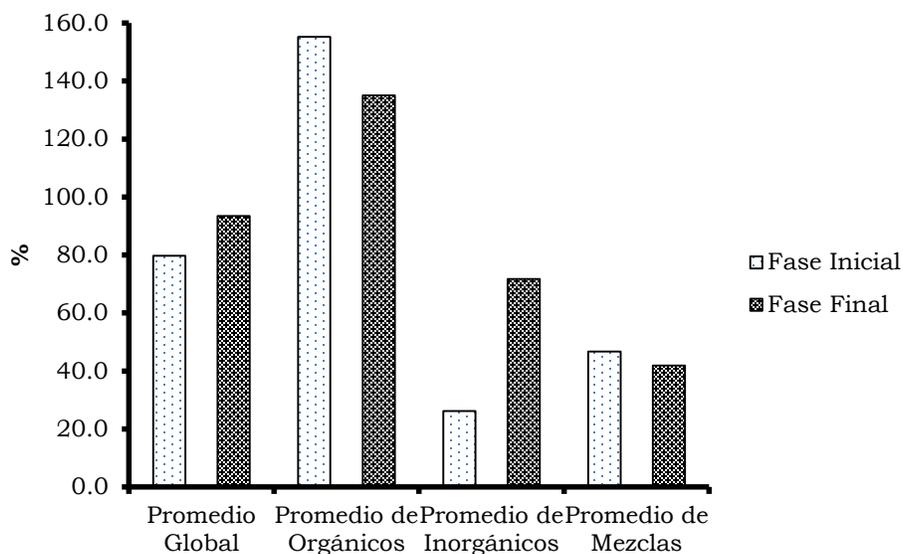


Figura 10. Promedio de CC por tipo de sustratos y mezclas.

Los promedios globales para CC fueron 79.70 y 93.42% para la fase inicial y final. Esto correspondió un incremento para la fase final del 17.21%. Para el caso de promedios orgánicos los valores registrados fueron 155.27 a 135.01%, y un decremento en la fase final del 15%. Para los sustratos inorgánicos los valores registrados fueron 26.14 a 71.70% y un incremento del 174.29% en la fase final y cuando ambos materiales se mezclaron orgánicos e inorgánicos los valores fueron de 46.69 a 41.90% y correspondió una disminución para la fase final del 11.43% (Figura 10).

6.1.3 Punto de Marchitez Permanente (PMP).

En la fase inicial se registraron valores de PMP de -0.11 a 250.28%, en TN y FC respectivamente. Mostrando un efecto negativo por parte de TN. Para la fase final los valores encontrados fueron 27.25 a 204.17%, y representó un incremento en FC de 649.24% (Cuadro 7).

Cuadro 7. Porcentaje promedio de humedad gravimétrica correspondiente a Punto de marchitez permanente (PMP) (15 Bar).

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
	%			
FC	250.28	a†	204.17	a
C+FC	131.48	b	83.51	b
C+TP	57.98	c	28.32	d
C	53.02	c	45.10	cd
TP	42.13	cd	56.96	c
C+TN	32.79	cd	27.25	d
TP+TN	23.52	cd	*	
TN	-0.11	d	*	
TP+FC	*		*	
TN+FC	*		*	
CV (%)	14.93		12.43	
DMS (0.05)	43.65169		25.30943	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P>0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación; * Datos no considerado por su valor negativo. FC: Fibra de coco; C + FC: Composta + Fibra de coco; C + TP: Composta + Piedra pómez; C: Composta; TP: Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TN: Tezontle negro; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco.

En la fase inicial el tratamiento con mejor PMP se presentó en FC, el valor más bajo en TN. Para la fase final el tratamiento FC presento el valor más alto de PMP, mientras que los valores más bajos se mostraron en C+TP y C+TN.

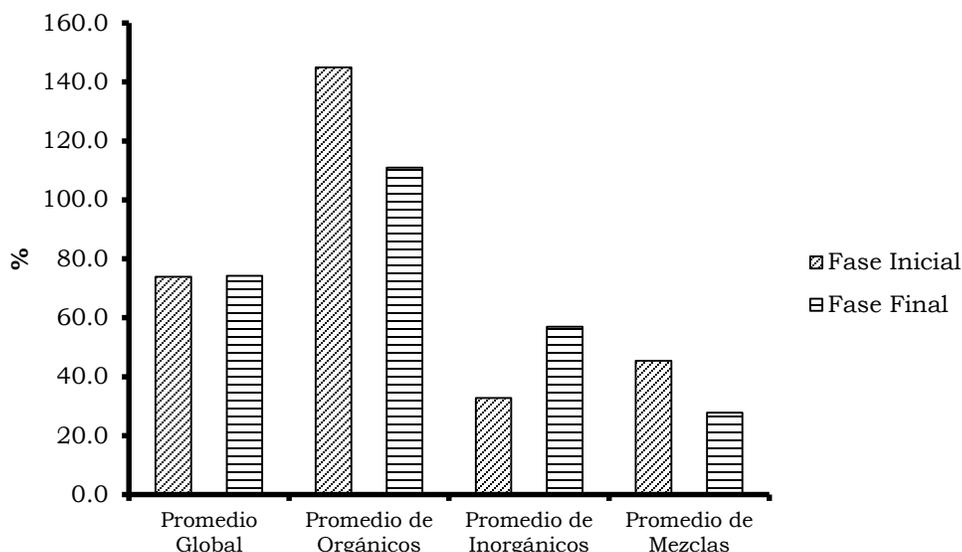


Figura 11. Promedio de PMP por tipo de sustratos y mezclas.

Los promedios globales para PMP fueron 73.89 a 74.22% para la fase inicial y final, mostrando un incremento en la fase final de 0.44%. Para los sustrato inorgánicos los valores registrados fueron de 144.93 a 110.93% y un decremento para la fase final de 30.64%. Cuando se mezclaron ambos materiales orgánicos con los inorgánicos lo valores fueron 45.39 a 27.79% con una disminución del 63.33% (Figura 11).

6.1.4 Humedad Aprovechable (HA).

Con la diferencia de valores de CC y PMP se registraron valores de HA en la fase inicial de 0.23 a 24.78%, que correspondieron a los tratamientos TP+TN y C respectivamente. Estadísticamente no presenta ninguna diferencia significativa. En la fase final se registraron valores 8.17 a 20.73% (Cuadro 8).

Cuadro 8. Capacidad de retención promedio de humedad aprovechable (HA).

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
	%			
C	24.78	a†	20.73	a
TN	9.38	a	*	
C+FC	4.80	a	20.70	a
TP	3.27	a	14.74	a
C+TN	1.98	a	8.17	a
FC	1.46	a	30.82	a
C+TP	0.62	a	20.06	a
TP+TN	0.23	a	*	
TP+FC	*		*	
TN+FC	*		*	
CV (%)	229.22		97.67	
DMS (0.05)	52.74		51.44.290	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P>0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación;* Datos no considerados por su valor negativo. C: Composta; TN: Tezontle negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; FC: Fibra de coco; C + TP: Composta + Piedra pómez; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco.

En la fase inicial el tratamiento C presentó el mejor HA, mientras el valor más bajo en TP+TN. Para la fase final el valor más alto se mostró en FC y el valor más bajo en C+TN.

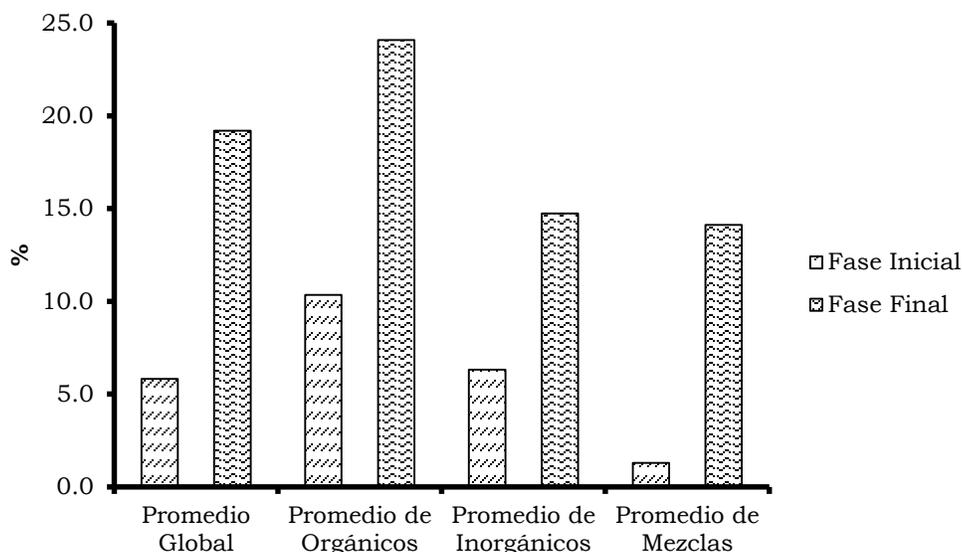


Figura 12. Promedio de HA por tipo de sustratos y mezclas.

Los promedios globales para HA comprendieron rangos de 5.82 a 19.20% para la fase inicial y fase final. Mostrando un incremento por parte de la fase final de 229.89%. En cuando a materiales orgánicos los valores registrados fueron 10.35 a 24.08%, y un incremento del 132.65% para la fase final. Para los materiales inorgánicos los valores registrados fueron 6.33 a 14.74% y hubo un aumento en la fase inicial de 132.85%. Cuando ambos materiales de mezclaron (orgánicos e inorgánicos) se registraron valores de 1.30 a 14.12%, y un aumento en la fase inicial de 986.15% (Figura 12).

En los materiales orgánicos presentó un aumento en la fase final, además este comportamiento se mostró en materiales inorgánicos y mezclas. La ventaja de los componentes orgánicos sobre los minerales, respecto al incremento en la retención de humedad, podría atribuirse que los sustratos orgánicos, particularmente a la naturaleza hidrofílica de la fibra de coco favoreció la mayor retención de agua. Con relación a los sustratos inorgánicos su baja capacidad de almacenamiento de agua puede atribuirse a la formación de poros de empaquetamiento simples y vesículas (Meeron, 1994; Anicua, 2008).

6.1.5 Distribución Vertical de la Humedad dentro del Contenedor.

Dentro de esta variable se realizaron ensayos de la distribución de la humedad dentro del contenedor en cada estrato (superior, medio e inferior) (Cuadro 9).

Para el Estrato superior se registraron valores de 12.99 a 45.68%, en TN y C respectivamente. Mostrando un incremento en C del 251.65%. En el Estrato medio se registraron valores de 15.19 a 53.83% para los tratamientos TN y C+FC respectivamente, y un incremento en C+FC del 254.37%. Para el Estrato inferior el contenido de humedad registrado fue de 25.02 a 109.98% en TN y C+FC y un aumento en C+FC del 339.56%.

Cuadro 9. Porcentaje promedio de humedad gravimétrica (HG) en el estrato superior, medio e inferior.

Tratamientos	Estrato Superior		Estrato Medio		Estrato Inferior	
	%					
C	45.68	at	52.65	a	69.53	b
C+TP	41.33	ab	41.14	bc	49.30	c
C+TN	37.25	abc	41.99	b	61.17	bc
TP+FC	35.39	bc	32.83	bcd	53.74	bc
TP	32.55	bc	30.83	de	30.69	de
TN+FC	30.61	c	32.70	bcd	60.46	bc
TP+TN	30.13	c	31.87	cd	44.48	cd
FC	17.39	d	21.53	ef	61.45	bc
C+FC	16.55	d	53.83	a	109.98	a
TN	12.99	d	15.19	f	25.02	e
CV (%)	11.68		9.26		10.87	
DMS (0.05)	10.12578		9.49154		17.78405	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P > 0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; FC: Fibra de coco; C + FC: Composta + Fibra de coco; TN: Tezontle negro.

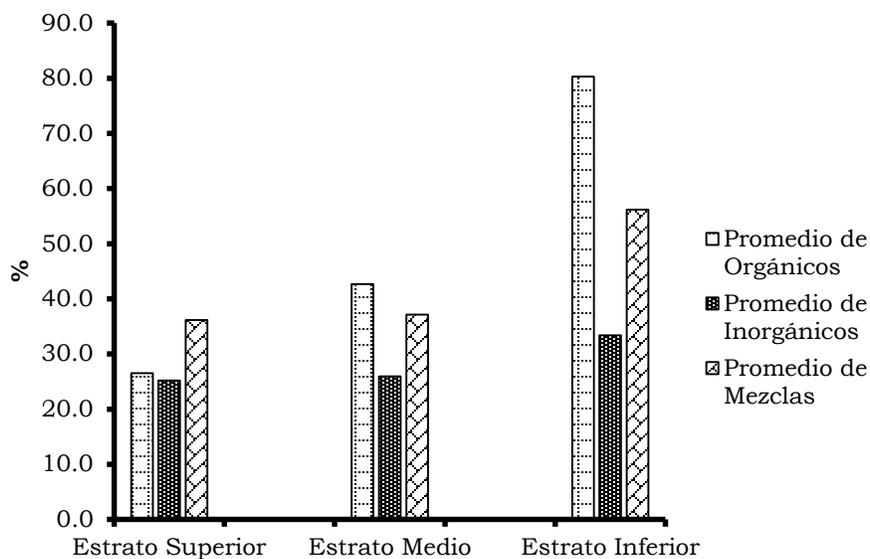


Figura 13. Promedio de HG por tipo de sustratos y mezclas.

En el estrato superior se muestra que el contenido de humedad para orgánicos fue 26.54%, para los materiales inorgánicos fue 25.22%, en tanto que la respuesta para cuando estos materiales se mezclaron el contenido de humedad fue 36.15%. Para el estrato medio, el contenido de humedad en sustratos orgánicos fue 42.67%, en tanto que para los inorgánicos fue 25.96% y al mezclarse fue 37.17%. Para el estrato inferior el contenido de humedad registrado para sustratos orgánicos fue 80.32%, mientras que para los inorgánicos fue 33.40% y al mezclarse mostraron valores de 56.17% (Figura 13).

Para el estrato superior se muestra que al mezclarse ambos materiales (orgánicos e inorgánicos) el contenido de humedad aumenta, mientras que en el estrato medio el mayor contenido de humedad se muestra en los orgánicos al igual que en el estrato inferior. Cuando se utilizan solamente materiales orgánicos como sustratos, la retención de humedad es superior en el estrato inferior. Al respecto se ha señalado que la fibra de coco, tiende a formar poros de empaquetamiento (Anicua, 2008). La variación favorable del contenido de humedad, se atribuye a que la incorporación de sustratos orgánicos a los materiales minerales, facilitan el incremento en la retención y redistribución de

la humedad sobre todo a los estratos medio e inferior por su alta porosidad de aireación (Murthy *et al.*, 1997). También influye la forma del recipiente (truncocónica y cilíndrica) en la retención de humedad, la proporción del sustrato más húmedo es más baja en el fondo de la maceta de forma truncocónica que el de una maceta cilíndrica (Lemaire *et al.*, 2005).

6.1.6 Densidad Aparente (g cm⁻³).

Se registraron valores para densidad aparente en la fase inicial en el rango comprendido 0.09 a 0.74 gcm⁻³ en FC y TN, respectivamente. Este incremento fue por parte del tezontle negro del 722.22%, mientras en la fase final los valores mínimo y máximo, fueron 0.11 y 0.62 gcm⁻³ en FC y C+TN respectivamente, y hubo un incremento del 463.63% (Cuadro 10).

Cuadro 10. Comportamiento promedio de Densidad Aparente (Da) en sustratos orgánicos, minerales y mezclas.

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
	gcm ⁻³			
TN	0.74	a†	0.57	ab
TP + TN	0.61	b	0.55	ab
C + TN	0.57	c	0.62	a
C	0.51	d	0.57	ab
TP	0.47	e	0.42	c
C + TP	0.38	f	0.53	b
TN + FC	0.37	f	0.38	cd
TP +FC	0.29	g	0.31	d
C+FC	0.24	h	0.33	d
FC	0.09	i	0.11	e
CV (%)	1.97		5.60	
DMS (0.05)	0.03312		0.07121	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. TN: Tezontle negro; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; C + TN: Composta + Tezontle negro; C: Composta; TP: Piedra pómez; C + TP: Composta + Piedra pómez; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; C + FC: Composta + Fibra de coco; FC: Fibra de coco.

En la fase inicial el mejor tratamiento fue TN, mientras que el valor más bajo se presentó en FC. En la fase final el valor más alto se observó en el tratamiento C+TN y el valor más bajo en FC.

Para la densidad aparente es importante contar con valores inferiores a 0.5 gcm^{-3} para el crecimiento y manejo de la planta (Hidalgo *et al.*, 2009; Martínez y León, 2004). Los resultados para sustratos orgánicos, inorgánicos y mezclas se encontraron dentro de este rango, para la fase inicial y fase final. A excepción de la fase inicial de los sustratos inorgánicos estuvo fuera del rango mencionado. Por ejemplo Escobar (2009), menciona que la FC al incrementar su proporción con respecto al contenido de sustratos inorgánicos disminuyó de 0.88 a 0.05 gcm^{-3} . Ortiz (2010), utilizó una proporción de volumen 50% TN y 50% FC se registraron valores de 1.03 gcm^{-3} y San Martín (2011), trabajó con cuatro tipos de granulometrías (3-5 mm, 5-10 mm, 10-20 mm y 20-30 mm) de tezontle con tres proporciones de fibra de coco (1:0,3:1 y 1:1) obtuvo valores de 0.75 , 0.76 , 0.7 y 0.6 gcm^{-3} , respectivamente.

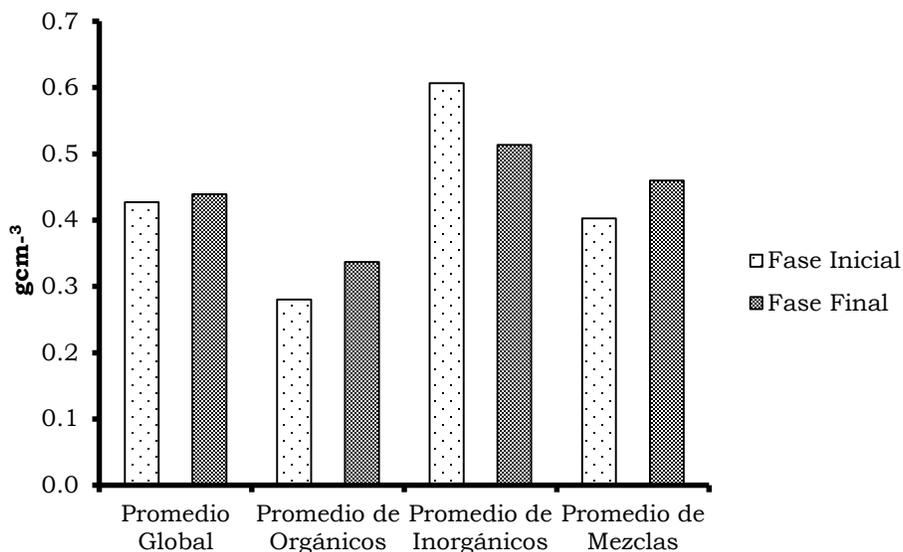


Figura 14. Promedio de D_a por tipo de sustrato y mezclas.

Los promedios globales para densidad aparente fueron 0.43 a 0.44 gcm⁻³ para la fase inicial y fase final respectivamente. Mostrando un incremento marginal de 2.32% en la fase final. En cuanto a la respuesta por sustratos orgánicos los valores registrados fueron 0.28 a 0.34 gcm⁻³ y un incremento en la fase final de 21.42%. Para los sustratos inorgánicos los valores de densidad aparente fueron de 0.61 a 0.51 gcm⁻³, y una disminución del 19.60% en la fase final. Cuando se mezclaron los materiales orgánicos con los inorgánicos los valores fueron de 0.40 a 0.46 gcm⁻³ y un incremento del 15% (Figura 14).

También se registraron aumento para Da en los materiales orgánicos y mezclas esto se atribuye a la posible mineralización (De Boodt y Verdonck, 1971) y una posible compactación de los materiales orgánicos (De Boodt, 1975). Para los materiales inorgánicos la posible disminución en la Da podría atribuirse al cambio de volumen total de poros y su morfología (De Boodt y Verdonck, 1971).

6.1.7 Densidad Real (g cm⁻³).

Para la fase inicial se registraron valores de densidad real comprendido de 1.24 a 2.42 gcm⁻³ en TP+FC y C+TN respectivamente, y un incremento del 95.16% en C+TN. Estadísticamente no existen diferencias significativas entre tratamientos. En la fase final se registraron valores de 1.08 a 2.02 gcm⁻³, en FC y C+TN, mostrando un incremento del 87.03% en C+TN (Cuadro 11).

Cuadro 11. Comportamiento promedio de Densidad Real (Dr) en sustratos orgánicos, minerales y mezclas.

Tratamientos	Fase Inicial		Fase final	
	gcm^{-3}			
C+TN	2.42	a†	2.02	a
TN	2.12	a	2.00	a
C+FC	1.92	a	1.28	b
TN+FC	1.92	a	1.74	ab
C+TP	1.81	a	1.50	ab
C	1.64	a	1.51	ab
TP+TN	1.50	a	1.59	ab
FC	1.46	a	1.08	b
TP	1.26	a	1.38	ab
TP+FC	1.24	a	1.25	b
CV (%)	30.53		15.55	
DMS (0.05)	2.08680		0.69045	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P>0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. C + TN: Composta + Tezontle negro; TN: Tezontle negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; C + TP: Composta + Piedra pómez; C: Composta; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; FC: Fibra de coco; TP: Piedra pómez; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco.

En la fase inicial estadísticamente existen diferencias significativas. La mayor Dr se mostró en el tratamiento C+TN y el más bajo en TP+FC. Para la fase final los tratamientos con mayor Dr se registraron en C+TN y TN y los más bajos en C+FC, FC y TP+FC. Se reportaron valores de densidad real utilizados en cultivos de flores para el sustrato fibra de coco de 0.51, 1.03, 1.55 y 0.78 gcm^{-3} (Arias, 2003; Galán, 2004; Ríos 2008; Quintero *et al.*, 2009). Mientras que en materiales inorgánicos como piedra pómez y tezontle reportaron valores de Dr 2.13 y 0.42 gcm^{-3} (García *et al.*, 2001).

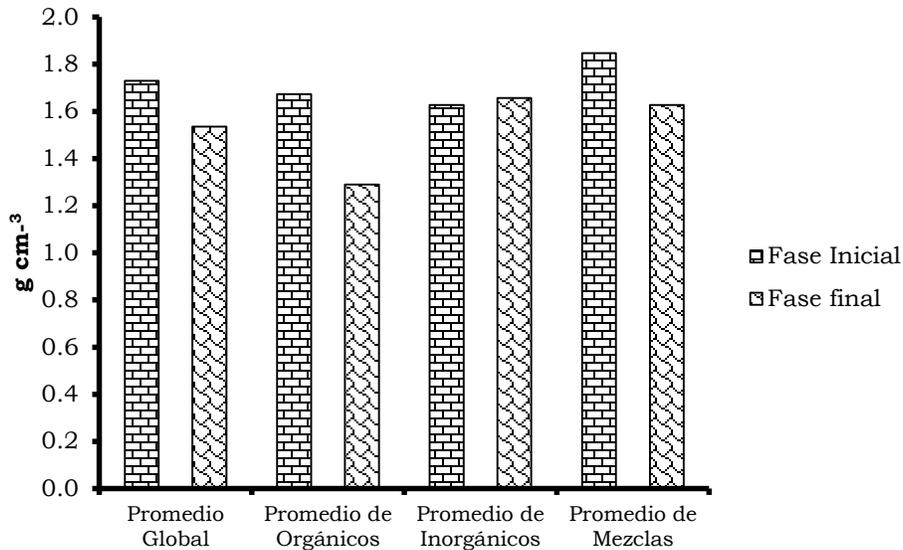


Figura 15. Promedio de Dr por tipo de sustrato y mezclas.

Los promedios globales para densidad real osciló entre 1.73 a 1.54 g cm⁻³ para la fase inicial y fase final, y un decremento de 12.33% en la fase final. En cuando a sustratos orgánicos los valores registrados osciló de 1.67 a 1.29 g cm⁻³, y una disminución del 29.45% en la fase final. Para los sustratos inorgánicos los valores osciló entre 1.63 a 1.66 g cm⁻³ y un aumento en la fase final del 1.84%. Cuando ambos se mezclaron materiales orgánicos con inorgánicos los valores oscilaron entre 1.85 a 1.63 g cm⁻³ y una disminución del 13.49% (Figura 15). Los sustratos de origen orgánico la densidad real es de 1.45 gcm⁻³. Para materiales inorgánicos se registran valores de hasta 3.0 gcm⁻³ (De Boodt 1974b; Ansorena, 1994). Con mezclas de tezontle y composta se registraron valores de 2.71 y 2-11 gcm⁻³.

La variación de la Dr en diferentes materiales o inclusive dentro de un mismo tipo, debe estar relacionado en el empaquetamiento o arreglo, tipo y forma de las partículas (Anicua, 2008). Además la Dr puede variar dependiendo del método de trituración que se utilice puesto que se eliminan poros (Búres, 1997).

6.1.8 Espacio Poroso Total (%).

Para la fase inicial se registraron valores de EPT que comprendió de 64.20 a 92.77%, mostrando un incremento en FC del 44.5%. Para la fase final los valores registrados fueron de 68.72 a 98.09% en C+TP y FC, y un incremento del 42.73% en FC (Cuadro 12).

Cuadro 12. Espacio poroso total (EPT) promedio por tratamientos.

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
	%			
FC	92.77	a†	98.09	a
C+FC	90.84	b	86.59	b
TN+FC	82.21	c	82.40	b
TP+FC	81.18	c	82.01	b
C	76.55	d	74.54	c
C+TP	75.10	de	68.72	c
C+TN	74.67	e	69.31	c
TP	70.22	f	69.59	c
TN	67.53	g	72.61	c
TP+TN	64.20	h	72.31	c
CV (%)	0.56		2.89	
DMS (0.05)	1.73349		6.48176	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P > 0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. FC: Fibra de coco; C + FC: Composta + Fibra de coco; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; TP: Piedra pómez; TN: Tezontle negro; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro.

El espacio poroso total debe ser mayor a 80 y 85% (De Boodt y Verdonck., 1972; Verdock *et al.*, 1984; Ansorena, 1994). De acuerdo a los parámetros mencionados, para ambas fases inicial y final los tratamientos con mayor EPT fueron FC, C+FC, TN+FC y TP+FC mientras que el menor EPT se observaron en tratamientos C, C+TP, C+TN, TP+TN y TP+TN. Algunos autores han reportado valores de EPT en el caso de la Fibra de coco de 90.3, 87.42, 94.1 y 82.4% (Arias, 2003; Galán ,2004; Ríos, 2008 y Quintero *et al.*, 2009). Se evaluó la porosidad total del tezontle negro donde mostró valores de 49.6% en el cultivo

de nochebuena *cv* Supjibi Red (Pineda *et al.*, 2008). En la producción de dos plantas de follaje: teléfono (*Epipremnum aureum*) y cuna de moisés (*Spathiphyllum wallisii* 'Viscount') en sustratos de piedra pómez y tezontle se observaron valores de 66.6 y 63.8% (García *et al.*, 2001).

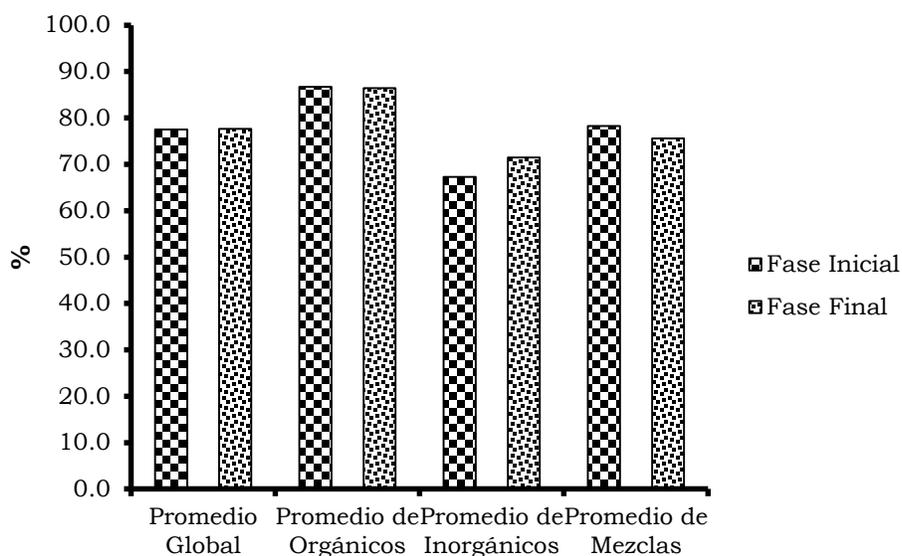


Figura 16. Promedio de EPT por tipo de sustrato y mezclas.

Los promedios globales de EPT fueron 77.53 a 77.62% para la fase inicial y fase final respectivamente, y un aumento en la fase final del 0.11%. En cuando a sustratos inorgánicos los valores registrados fueron 67.32 a 71.50%, y un incremento del 6.20% en la fase final. Cuando ambos materiales se mezclaron orgánicos e inorgánicos los valores fueron de 78.29 a 75.61% y mostró un decremento del 3.54% en la fase final (Figura 16). Valores altos de densidad aparente implican un incremento en el peso del sustrato y disminución de la porosidad volumen de aire; mientras que bajas densidades son causa de excesiva aireación y disminución de la cantidad de agua disponible de plantas (Nappi y Barberis, 1993). En esta investigación se cumple con lo mencionado por estos autores, por ejemplo, en sustratos orgánicos de la fase inicial y fase final se registraron valores de densidad aparente de 0.28 y 0.34 g cm⁻³, densidad real de 1.67 y 1.29 g cm⁻³ y Espacio poroso total de 86.72 y 86.41%.

Para sustratos inorgánicos se registraron valores de densidad aparente de 0.61 y 0.51g cm⁻³, densidad real de 1.63 y 1.66 g cm⁻³ y Espacio poroso total de 67.32 y 71.50%. Cuando ambos materiales se mezclaron registraron valores de densidad aparente de 0.40 y 0.46 g cm⁻³, densidad real de 1.85 y 1.63 g cm⁻³ y Espacio poroso total de 78.29 y 75.61%.

6.1.8.1 Porosidad de Aireación (%).

Para la fase inicial se registraron valores de Pai en el rango comprendido 20.84 a 56.62% en C y FC respectivamente. Mostrando un incremento en FC del 171.68%, mientras que en la fase final se registraron valores de 14.0 a 57.98% en C y TN respectivamente, y un aumento en TN del 314.14% (Cuadro 13).

Cuadro 13. Porosidad de Aireación (Pai) promedio por tratamientos.

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
	%			
FC	56.62	a [†]	49.27	ab
TN+FC	53.31	ab	54.59	a
TP+FC	50.79	b	37.72	b
TN	48.99	b	57.98	a
C+TN	43.17	c	24.3	c
C+TP	42.99	c	23.23	c
TP+TN	40.98	cd	50.68	a
TP	38.17	de	46.91	ab
C+FC	35.41	e	17.92	c
C	20.84	f	14.00	c
CV (%)	2.68		10.67	
DMS (0.05)	4.56795		11.62336	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. FC: Fibra de coco; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TN: Tezontle negro; C + TN: Composta + Tezontle negro; C + TP: Composta + Piedra pómez; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TP: Piedra pómez; C + FC: Composta + Fibra de coco; C: Composta.

La porosidad de aireación debe oscilar entre 10 y 35% para sustratos en maceta), mientras que otros autores señalan que debe situarse entre 20 y 35%,

dependiendo del medio (Cruz *et al.*, 2013). Esta variable depende del tamaño de partícula utilizada en el medio de crecimiento así como la forma, naturaleza de los materiales y altura del contenedor. Pire y Pereira (2003) determinaron la Pai en demostrando que existe variabilidad dependiendo del tipo del material los sustratos fueron suelo, fibra de coco, aserrín de coco, cáscara de arroz, bagazo de caña y arena fina con valores registrados de 2.2, 16.3, 8.6, 68.2, 47.0 y 4.7%. Estadísticamente el mejor tratamiento en la fase inicial se encontró en FC y el menos deseado en C. En la fase final el mejor tratamiento se observó en TN y el menos deseado en C.

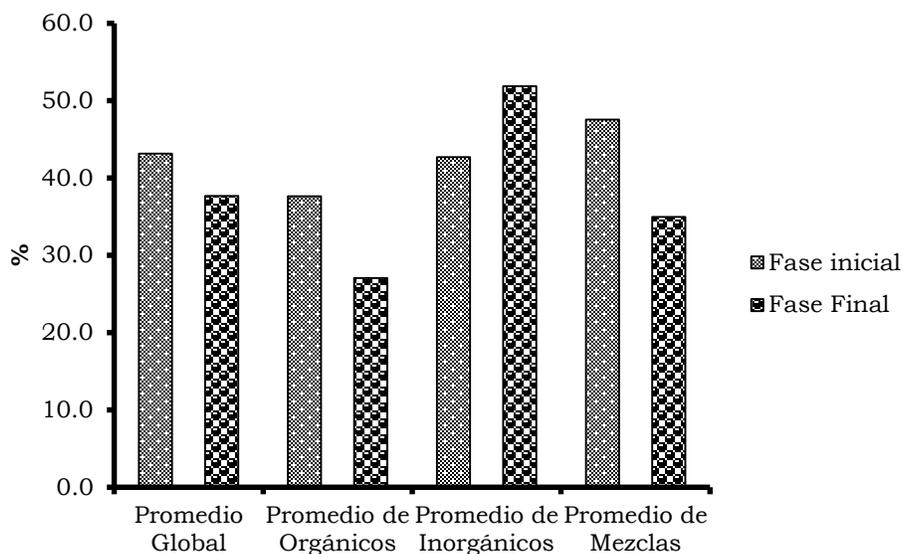


Figura 17. Promedio de Pai por tipo de sustrato y mezclas.

Los promedio globales para Pai fueron 43.13 a 37.66% para la fase inicial y fase final respectivamente, y un decremento del 14.52% para la fase final. Para los sustratos inorgánicos los valores registrados fueron 42.71 a 51.86% y un incremento en la fase final de 21.42%. Cuando ambos materiales se mezclaron orgánico e inorgánicos los valores fueron 47.57 a 34.96% mostrando una disminución del 36.06% (Figura 17).

6.1.8.2 Porosidad de Retención de Humedad (%).

En la fase inicial se registraron valores para Prh de 18.75 a 55.74% en TN y C y un aumento de 197.28%. Para la fase final los valores registrados fueron 14.63 y 68.57% en TN y C lo cual mostró un incremento en la fase final del 368.69% (Cuadro 14).

Cuadro 14. Porosidad de Retención de Humedad (Prh) promedio por tratamientos.

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
	%			
C	55.74	a†	68.57	a
C+FC	54.31	a	60.54	a
FC	35.78	b	48.82	b
C+TP	32.21	bc	45.49	b
TP+FC	31.09	bc	44.29	b
TP	30.54	cd	22.67	cd
C+TN	30.49	cd	45.01	b
TN+FC	25.87	de	27.81	c
TP+TN	21.77	ef	21.63	cd
TN	18.75	f	14.63	d
CV (%)	3.63		7.63	
DMS (0.05)	4.82928		8.8132	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P > 0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. C: Composta; C + FC: Composta + Fibra de coco; FC: Fibra de coco; C + TP: Composta + Piedra pómez; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TN: Tezontle negro.

Pineda *et al.* (2008) evaluó el efecto de aplicaciones foliares de dos efluentes de vermicomposta y sustratos: 1) tezontle, mezcla 1 (turba + vermiculita, 2:1 v/v), mezcla 2 (tierra de hojas de encino + tezontle + turba + agrolita, 3:1:0.75:0.75, v/v). Encontró porcentajes de Prh de 27.1, 75 y 52.5. Pire y Pereira (2003) determinaron la Prh demostrando que existe variabilidad dependiendo del tipo del material los sustratos fueron suelo, fibra de coco, aserrín de coco, cáscara de arroz, bagazo de caña y arena fina con valores registrados de 52.2, 65.5, 70.1, 16.6, 42.4 y 32.6%.

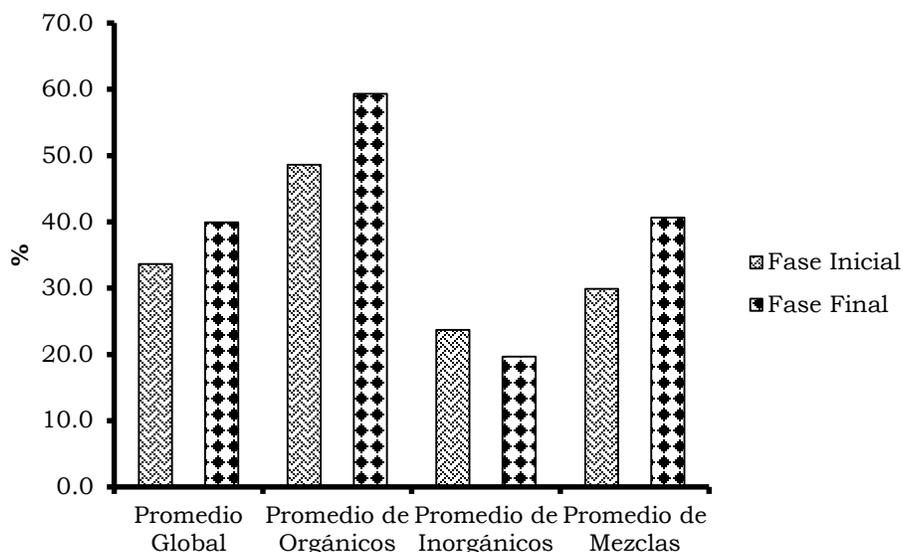


Figura 18. Promedio de Prh por tipo de sustrato y mezclas.

Los promedios globales para Prh fueron 33.66 a 39.95% para la fase inicial y final respectivamente y hubo un incremento del 18.68% en la fase final. En cuando a la respuesta por sustratos orgánicos los valores registrados fueron 48.61 a 59.31% y un incremento en la fase final del 22.0%. Para los sustratos inorgánicos los valores fueron de 23.69 a 19.64%, y una disminución en la fase final del 20.62%. Cuando ambos sustratos se mezclaron orgánicos con los inorgánicos los valores fueron 29.92 a 40.65%, y un incremento para la fase final del 35.86% (Figura 18).

Los sustratos inorgánicos tienden a tener baja capacidad de aireación y retención de humedad (Daniel y Hammer, 1992). Los materiales orgánicos tiende a presentar gran capacidad de retención de agua y aireación (Hoitink y Kuter, 1986; Zucconi y Bertoldi, 1987; Abad *et al.*, 2003; Noguera *et al.*, 2003).

Nappi y Barberis (1993) indican que valores altos de densidad aparente implican un incremento en el peso del sustrato y disminución de la porosidad y volumen de aire; mientras que bajas densidades son causa excesiva aireación y disminución de la cantidad de agua disponible para las plantas.

Anicua (2008) menciona que la formación de mesoporos o cavidades de diferentes tamaños en estas partículas, son un factor que está determinado que ocurra un aumento o disminución de retención de agua.

La porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad tienen una relación complementaria, es decir, conforme el tamaño de las partículas incrementa, la porosidad de retención de humedad disminuye y la porosidad de aireación aumenta (Verdonck, 2004).

6.1.9 Propiedades Químicas.

6.1.9.1 Conductividad Eléctrica (dS m⁻¹).

Se registraron valores para CE en la fase inicial en el rango comprendido 0.07 a 0.51 dS m⁻¹ en TP y C, respectivamente, y un incremento en C del 628.57%, en tanto que la fase final los valores registrados fueron 0.19 a 1.59 dS m⁻¹ en TN y C respectivamente, y hubo un incremento por parte de C del 736.84% (Cuadro 15).

Para plantas de fresa se recomienda una CE de 2.0 a 3.0 dS m⁻¹ en verano y 2.5 a 3.0 dS m⁻¹ en invierno asegura un buen rendimiento y fruta de alta calidad (Morgan, 2000). Valores superiores a 3.5 dS m⁻¹ son excesivamente altos para la mayor parte de los cultivos hortícolas (Baixauli y Aguilar, 2002). Los tratamientos utilizados dentro de esta investigación se encuentran dentro del rango mencionado por los autores.

López *et al.* (2005) evaluaron la CE de mezclas Tezontle: Fibra de coco (25:75, 50:50, 75:25) y (Tezontle) 100%, para dos variedades de fresa “Chandler” y “Oso” los valores registrados fueron 0.16, 0.14, 0.17, y 0.20 dS m⁻¹.

Cuadro 15. Conductividad Eléctrica (CE) promedio por tratamientos.

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
	dS m ⁻¹			
C	0.51	a†	1.59	A
C+FC	0.44	ab	1.42	A
C+TP	0.42	ab	0.92	Abc
C+TN	0.34	b	1.11	Ab
FC	0.21	c	0.53	Bc
TN+FC	0.17	cd	0.31	C
TP+TN	0.14	cd	0.29	C
TN	0.13	cd	0.19	C
TP+FC	0.12	cd	0.35	Bc
TP	0.07	d	0.49	Bc
CV (%)	11.80		37.62	
DMS (0.05)	0.11843		0.7842	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P>0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. C: Composta; C + FC: Composta + Fibra de coco; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; FC: Fibra de coco; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TN: Tezontle negro; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TP: Piedra pómez.

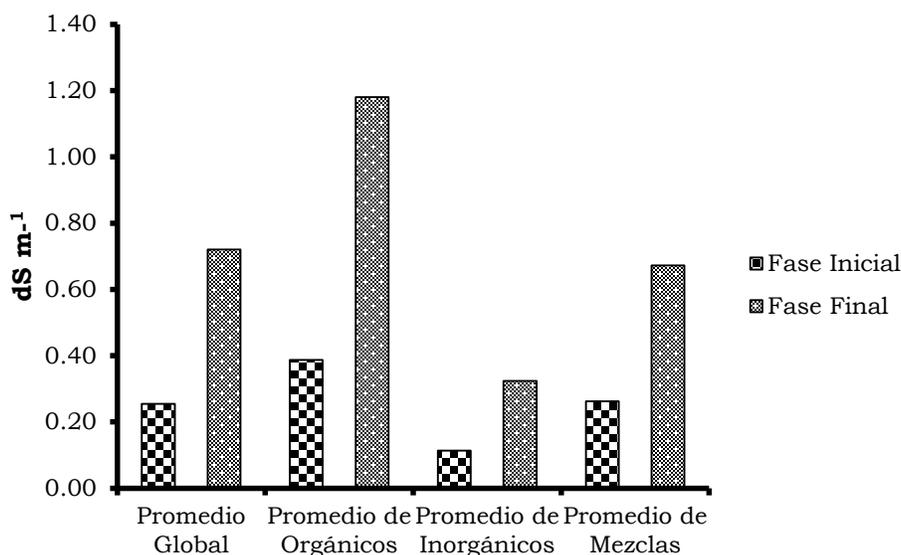


Figura 19. Promedio de CE por tipo de sustrato y mezclas.

Los promedios globales para CE fueron 0.26 a 0.72 dS m⁻¹ para la fase inicial y final respectivamente, y un incremento del 176.92% en la fase final. Los

sustratos orgánicos registraron valores del 0.39 a 1.18 dS m⁻¹ y un incremento en la fase final del 202.56%. Para los sustratos inorgánicos los valores registrados fueron 0.11 a 0.32 dS m⁻¹, y un incremento del 190.9% en la fase final. Cuando ambos se mezclaron los materiales orgánicos con los inorgánicos los valores fueron de 0.26 a 0.67 dS m⁻¹, mostrando un incremento en la fase final del 157.7% (Figura 19).

Se puede observar que en la fase final se encontraron aumentos de CE para sustratos orgánicos, inorgánicos y mezclas.

En el caso de los sustratos orgánicos podría atribuirse a una concentración natural de sales como es el caso de la fibra de coco y a un proceso de descomposición previa o durante sus permanencia en el contenedor (Villasmil, 2008). Para el caso de los sustratos inorgánicos puede atribuirse a la baja percolación. En mezclas que contenía fibra de coco y piedra pómez se observaron cambios mayores de CE (Anicua, 2008). Un incremento en la salinidad de un sustrato, puede prevenirse o corregirse mediante lixiviación controlada (Kerr y Hanan, 1985; Abad *et al.*, 1989). La respuesta de las plantas a la salinidad varía en función de su edad, condiciones ambientales, manejo de cultivo y características de las especie (ASCE, 1990).

6.1.9.2 pH.

Se registraron valores de pH en la fase inicial en el rango comprendido 6.77 a 9.19 en FC y TP+TN, respectivamente, y un incremento en TP+TN del 35.74%, en tanto que para la fase final los valores registrados fueron 6.01 a 8.90, en FC y TP+TN respectivamente, y un incremento en TP+TN del 48.08% (Cuadro 16).

Cuadro 16. Promedio del pH en las fases inicial y final de los tratamientos.

Tratamientos	Fase Inicial		Fase Final	
TP+TN	9.19	a†	8.90	A
TN	9.17	a	8.87	A
TP	8.85	b	8.53	B
C+TN	8.18	c	7.58	C
C	7.89	d	7.25	De
C+FC	7.79	de	7.26	De
TN+FC	7.62	ef	7.00	E
C+TP	7.57	f	7.41	Cd
TP+FC	7.03	g	6.45	F
FC	6.77	h	6.01	G
CV (%)	0.59		1.27	
DMS (0.05)	0.18778		0.27536	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P > 0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TN: Tezontle negro; TP: Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; C: Composta; C + FC: Composta + Fibra de coco; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; C + TP: Composta + Piedra pómez; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco; FC: Fibra de coco.

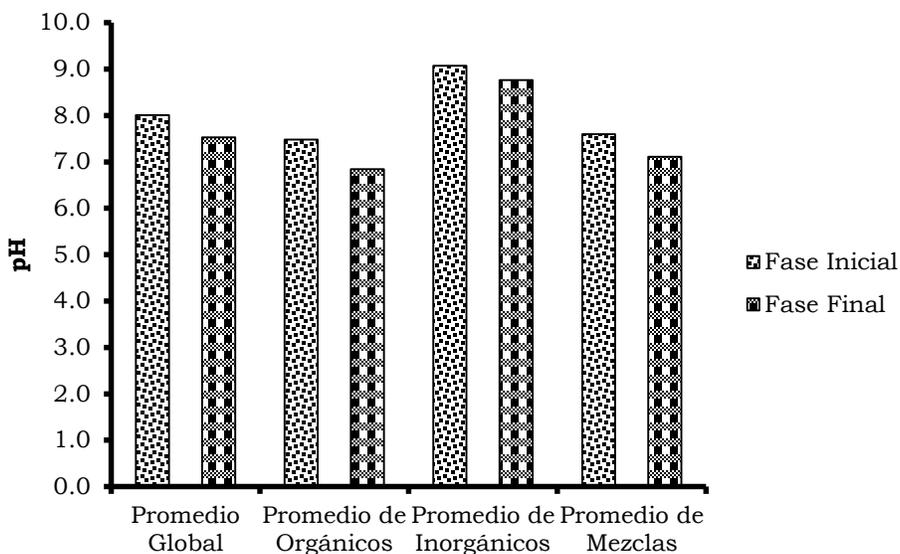


Figura 20. Promedio de pH por tipo de sustrato y mezclas.

Para plantas de fresas en hidroponía lo ideal es que tenga pH de 5.5 a 5.8 (Peckenpaugh, 2004). En cultivo hidropónico de hortalizas, el valor óptimo de pH (solución del sustrato) se sitúa entre 5.5 y 6.8 (Escudero, 1993), y pH

(pasta saturada) 5.2 a 6.3 (Abad *et al.*, 1993). En la presente investigación el pH en la fase inicial y final se encontraron fueran del rango establecido. En soluciones con pH's de 5.0 a 6.5 la mayoría de nutrientes mantienen su máximo nivel de asimilabilidad y pH encima de 6.5 puede disminuir la asimilabilidad de P, Fe, Mn, B, Zn y Cu (Peterson, 1981).

Los promedios globales de pH fueron 8.01 a 7.53 para la fase inicial y final respectivamente, y un decremento del 6.37% en la fase final. Los sustratos orgánicos registraron valores del 7.48 a 6.84 y una disminución en la fase final del 9.35%. Para los sustratos inorgánicos los valores registrados fueron 9.07 a 8.77, y una disminución del 3.42% en la fase final. Cuando ambos se mezclaron los materiales orgánicos con los inorgánicos los valores fueron de 7.60 a 7.11 y una disminución en la fase final del 6.89% (Figura 20).

El pH óptimo en sustratos inorgánicos que favorece la actividad de los microorganismos benéficos para las plantas es de 5.2 a 6.3 (bacterias nitrificantes, hongos micorrízicos, etc.) (Handreck y Black, 1991). El pH final de un sustrato dependerá de la proporción de los materiales que lo integren, así como de las prácticas de cultivo posteriores, especialmente fertilización y riego (Gladon, 1988).

6.1.10 Liberación de CO₂ (mg CO₂ g⁻¹ muestra).

La mayor producción de CO₂ se registró en C+FC y los más bajos en tratamientos TP, TP+TN, TN y TP+FC, para los tratamientos regados solo con agua (Cuadro 17).

Para el caso del riego con solución nutritiva la mayor producción de CO₂ se registró en C+FC y los menores se registraron en FC, TP, TP+TN, TN y TP+FC. La mayor tasa de liberación de CO₂, podría atribuirse que existe mayor proporción de la fracción lábil, que es de fácil descomposición en mezclas donde predominó la composta (Puget *et al.*, 1995; Balesdent *et al.*, 2000)

Cuadro 17. Producción Acumulativa de CO₂ durante el periodo de incubación (riego con agua y solución nutritiva).

Tratamientos	Producción de CO ₂ (mg CO ₂ g ⁻¹ muestra)		Producción de CO ₂ (mg CO ₂ g ⁻¹ muestra)	
	Riego con agua		Riego con solución nutritiva	
C+FC	535.32	a†	517.73	a
C	413.60	b	376.20	b
C+TP	233.20	c	264.00	bc
C+TN	208.27	cd	274.27	c
TN+FC	149.60	de	225.87	d
FC	145.20	de	163.53	e
TP	87.27	e	134.93	e
TP+TN	102.67	e	133.10	e
TN	111.47	e	101.20	e
TP+FC	94.60	e	99.73	e
CV (%)	11.42		8.77	
DMS(0.05)	2.47001		1.85546	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. C + FC: Composta + Fibra de coco; C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; FC: Fibra de coco; TP: Piedra pómez; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TN: Tezontle negro; TP+FC: Piedra pómez + Fibra de coco.

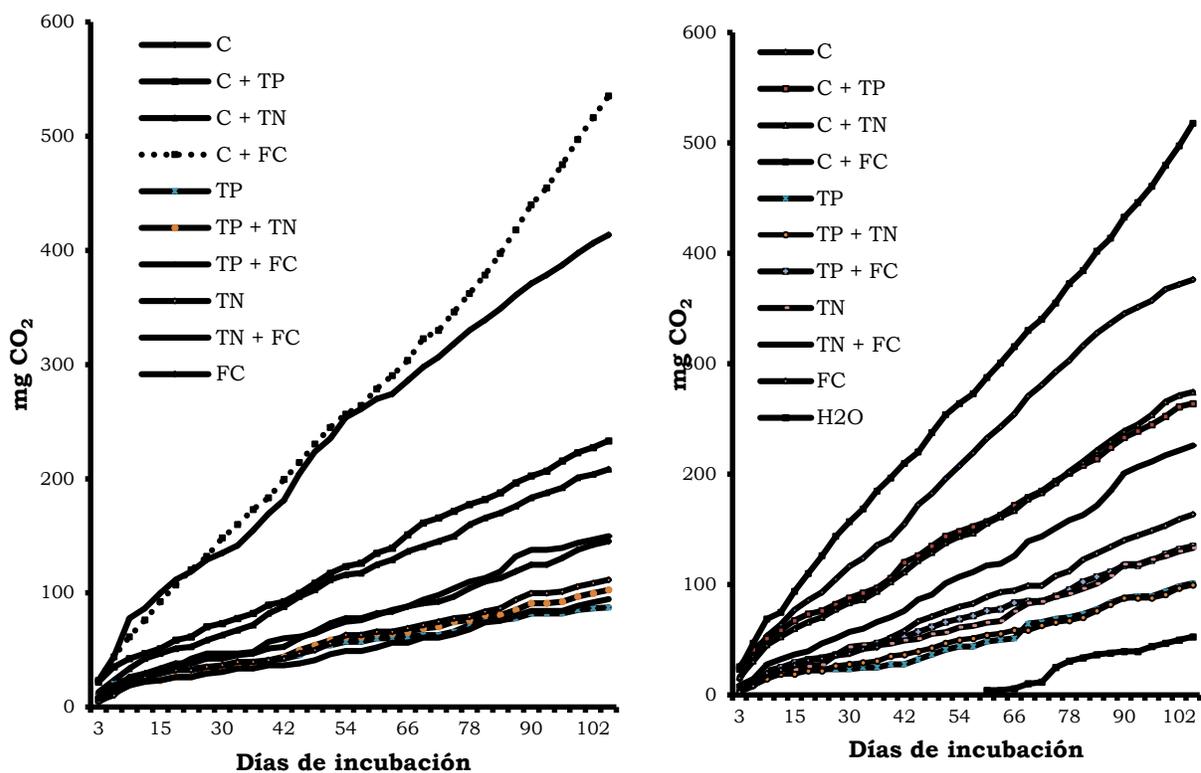


Figura 21. Liberación de CO₂ (mg CO₂ g⁻¹ muestra) por tratamientos con adición de agua (izquierda) y tratamientos con adición de solución nutritiva (derecha).

Para el caso de los sustratos inorgánicos con riego de agua (Figura 21), la mayor producción de CO₂ se registró en TN (111,47 mg CO₂ g⁻¹ muestra) y TP+TN (102,67 mg CO₂ g⁻¹ muestra). Con la adición de solución nutritiva la mayor producción de CO₂ se detectó en TN (133,10 mg CO₂ g⁻¹ muestra) y TP (101,20 mgCO₂ g⁻¹ muestra). La liberación de CO₂ en sustratos inorgánicos se atribuye a la reacción de la concentración de bicarbonatos presentes en el agua empleada para riego (Carrasco y Vera, 1992).

7. CONCLUSIONES

- Las propiedades físicas y químicas del sustrato varían al inicio y final del experimento.
- La mineralización de la fracción orgánica, modificó las propiedades físicas del sustrato y favoreció la retención de la humedad.
- El incremento de la retención de humedad se atribuyó a la alta capacidad de retención y porosidad de los materiales orgánicos, manteniendo esta propiedad cuando se mezcla con materiales minerales.
- La mayor liberación del CO₂ se manifestó en materiales orgánicos y mezclas.
- La mayor acumulación de la humedad de forma vertical se concentró en el estrato inferior.
- La distribución de la humedad es uniforme en materiales orgánicos y en mezclas.

8. BIBLOGRAFIA

Abad M., P. Noguera, R. Puchades, A. Maqueira and V. Noguera. 2003. Physico-chemical and chemical properties of some cocunut coir dusts for use as a peat substitute for containerized ornamental plants. *Bioresour. Technol.* 82:241-245.

Abad M, 1995. Sustratos para el cultivo sin suelo. En: F. Nuez (Coord.). *El Cultivo del Tomate*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. pp. 131-166.

Abad M, Noguera P. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En: C Cadahía (Coord.). *Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. pp. 287-342.

Abad, M., Martínez, P. F., Martínez, M. D., Martínez, J. 1993. Evaluación Agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de horticultura*. 11: 141-154.

Abad, M.; Noguera V.; Martínez-Herrero, M. D.; Fornes F.; Martínez-Corts J. 1989. Physical and chemical properties of sedge peat-based media and their relation to plant growth. *Acta Horticulturae*. 238:45-56.

Aerts R.: H. De Caluwe. 1997. Nutritional and Plant-Mediated controls on leaf litter decomposition of *Carex* species. *Ecology* 78: 244-260.

Anicua S. R. 2008. Caracterización física y micromofológica de materiales orgánicos e inorgánicos para la generación de mezclas de sustratos en la producción de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Tesis doctoral. Colegios de postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 198p.

Anderson, J. 1984. Herbicide degradation in soil: influence of microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 16:483-489.

Ansorena, M. J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-prensa. Madrid. España. 172p.

Arias M., D. 2003. Utilización agrícola de derivados del mesocarpio del coco. Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Facultad de Ingeniería. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 129p.

ASCE/American Society of Civil Engineers, 1990. Agricultural Salinity Assessment and Management. K.K. Tanji (Eds.). ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71. pp 619. ASCE, New York.

Baixauli, S. C., Aguilar, O. J.M. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas: Aspectos prácticos y experiencia. Ediciones Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, pesca y alimentación.

Balesdent, J., Arrouays, D., Gaillard J. 2000. Morgane: un modèle de simulation des réserves organiques des sols et de la dynamique du carbone des sols. Submitted to Agronomie.

Berendse F. 1994. Litter decomposability a neglected component of plant fitness. *Journal of Ecology* 82:187-190.

Berg B; G. Ekbohm; M. Johansson; C. MC Claugherty; F. Rutigliano; A. De Santo. 1998. Maximum decomposition limits of forest litter types a synthesis. *Can. J. Bot.* 74:659-672.

Bohórquez R., N.E. 2008. Normalización para determinar las características hidrofísicas de sustratos usados en el cultivo de flores de corte en la Sabana de Bogotá. Propuesta de práctica estudiantil. Programa curricular de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia.

Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Hyman. London. Great Britain. 309 p.

Burés S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid, España. 342p.

Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Rev. Chapingo S. Hortic. 5(1):5-11.

Cadahía L. C. 2005. Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Edics. Mundi Prensa. España. 3ra. Edición. 681p.

Calderón S. F.; Cevallos F. 2001. Los sustratos. Memorias del primer curso de Hidroponía para la Floricultura. Bogotá. Colombia.

Campoverde M. J.O. 2007. Efecto del sustrato y la fertilización en el crecimiento de *Pinus patula* Schl. et cham. En vivero. Tesis. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco. México. 82 p.

Cárdenas, G.; B. Guzmán; S. BRU.1983. Calor de combustión de cachazas producidas en ingenios azucareros de Tucumán. Rev. Ind. Agr. de Tucumán 60 (1): 81-85. Argentina.

Carrasco, M. A., Vera W. 1992. El suelo como sistema químico. En Vera W.: Suelos, una visión actualizada del recurso. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 38, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, 345 p.

Castellanos J., Pratt P. 1981. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. Soil Science Society of America Journal 45:354-357.

Chamú B. J.A. 2010. Respuesta del pimiento morrón al secado parcial de la raíz y sustratos en hidroponía e invernadero. Tesis. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 150 P.

Chandler, C.K. 2004. 'Strawberry Festival' strawberry plant. United States Patent and Trademark Office, U.S. Plant Patent No. 14,739.

Chen Y., A. Banin and Y. Ataman.1980. Characterization of particles and pores, hydraulic properties and water-air ratios of artificial growth media and soils. Proc. 5th Int. Congress of soilless culture. Wageningen. The Netherlands . pp 63-82.

Cruz, C. E.; Can, Chulim A.; Sandoval, V. M.; Bugarín, M. R.; Robles, B. A.; Juárez, L. P. 2013. Sustratos en la horticultura. Revista Biociencias. 2(2): 17-26.

Cuéllar, A. I.A.; León O. M.E.; Gómez R. A.; Piñon G. A.; Villegas D. R.; Santana A. I. 2003. Caña de azúcar. Paradigma de sostenibilidad. INICA. pp: 169.

Daniels, R. B.; R. Hammer D. 1992. Soil Geomorphology. John Wiley & Sons. Inc. U. S.A.

De Boodt M, 1975. Caractères physiques et disponibilité en eau des substrats. Annales de Gembloux 81:59-72.

De Boodt M, Verdonck O. 1971. Physical properties of peat and peat-moulds improved by perlite and foam-plastics in relation to ornamental plant-growth. Acta Horticulturae 18:9-25.

De Boodt M, Verdonck O. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. Acta Horticulturae 26:37-44.

De Boodt M, Verdonck O, Cappaert I. 1974a. Determination and study of the water availability of substrates for ornamental plant growing. Acta Horticulturae 35:51-58.

De Boodt M, Verdonck O, Cappaert I. 1974b. Method for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Horticulturae 37:2054-2062.

De Boodt M, De Waele N. 1968. Study on the physical properties of artificial soils and the growth of ornamental plants. *Pedologie XVIII (3):275-300.*

Escobar H. J.L. 2009. Propiedades hídricas en mezcla de sustratos con diferentes proporciones y tamaños de partícula. Tesis. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 79 p.

Escudero J. 1993. Cultivo hidropónico del tomate. En: F. Cánovas y J.R. Díaz (Eds.). *Curso Superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo*, pp. 261-297. I.E.A. /F.I.A.P.A., Almería.

Fassbender H. y E. Bornemisza. 1987. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 2 Edición. San José. Costa Rica. IICA.420 p.

Felipó, M. T.; Verdonck O, Cappaert I, De Boodt M, 1979. Estudio de las propiedades físicas de los sustratos hortícolas. *Anales de Edafología y Agrobiología 38(3-4):604-11.*

Fonteno W.C., 1989. An approach to modeling air and water status of horticultural substrates. *Acta Horticulturae 238:67-74.*

Fonteno, W.C. 1999. Sustratos: Tipos y propiedades físicas y químicas. En: *Agua, Sustratos y Nutrición en los cultivos de flores en invernadero*. David Wm. Reed. Ediciones Batavia, Illinois. Ball Publishing. HortiTecnia Ltda. Bogotá, Colombia. pp. 93-123.

Galán F., M.R. 2004. Proceso de acondicionamiento del sustrato de coco para uso agrícola. Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Facultad de Ingeniería. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 110p.

Gallegos C. D. 2008. Tesis. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 53 p.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen 2ª Ed. Instituto de Geografía. UNAM. México. D.F. pp: 33:40.

García C. O.; Alcántar G. G.; Cabrera R.I.; Gavi R. F.; Volke H.V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum Wallisii* cultivada en maceta. Terra. Vol (19) 3: 249-258.

Gladon, D. 1988. Amendments and media. Container grower: news and notes. Fall. 1988. Ames. IA: Iowa State University of Science and Technology. Department of Forestry. 10 p.

Grime J.; Cornelissen J.; Thompson K.; Hodgson J. 1996. Evidence of a casual connection between anti-herbivore defense and the decomposition rate of leaves. *Oikos* 77: 489-494.

Gros A. y Domínguez A. 1992. Abonos guía práctica de la fertilización. 8va. Edición. Ediciones Mundi – prensa. Madrid. 450 p.

Guerrero J. 1993. Abonos orgánicos: Tecnología para el manejo ecológico de suelos. RAAA. Perú. 89 p.

Gutiérrez C.; Hernández E. J.; Ortiz S. C. A.; Sánchez A. R.; Hernández L. M. E. 2011. Relación porosidad- Retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 17(3): 183-196.

Handreck K.A, Black, ND, 1991. *Growing Media for Ornamental Plants and Turf*. New South Wales University Press, Kensington (Australia), 401 pp.

Hartz T., Mitchell J., Giannini C. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and compost. *HortScience* 35(2):209-212.

Hidalgo L. P.R.; Sindoni V. M.; Méndez Natera J.R. 2009. Importancia de la selección y manejo adecuado de sustratos en la producción de plantas frutales

en vivero. Instituto Nacional de Investigadores Agrícolas (INIA).Revista UDO Agrícola 9(2).282-288.

Hillel, D. 1980. Applications of Soils Physics. Academic Press, Inc. London Ltd. ISBN 0-12-348580-0.

Hoitink H.A. J.; A. Kuter, G. 1986. Effects of composts in growth media on soil borne pathogens. Pp 289-306. In: Chen, Y. and Avnimelech, Y. (eds). The role of organic matter in modern agricultura. Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht, Netherlands.

Kass D. 1998. Fertilidad de suelos. J. Núñez (ed). UNED. Costa Rica. pp. 100-103.

Kerr, G.P, Hanan J, 1985. Leaching of container media. Journal of the American Society for Horticultural Science, 110:474-480.

Lemaire F.; Dartigues A.; Riviere M. L.; Charpentier S.; Morel P. 2005. Cultivos en macetas y contenedores: Principios agronómicos y aplicación. Edics. Mundi Prensa. España. 209p.

López P. L.; Cárdenas N.R.; Lobit P.; Martínez C. O.; Escalante L.O. 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en Hidroponía. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 28(2): 171-174.

Martínez T. J.J.; León G. H.M. 2004. Producción de fresas en invernadero. Memoria del IV Simposio Nacional de Horticultura: Diseño, Manejo y producción. Torreón Coahuila, México. pp.131-132.

Mataslerz J. 1977. The greenhouse enviroment. Chapter 6. Growing media. Jonh Wiley & Sons. New York, U.S.A.

Meeron, A. W. 1994. Growth of two subtropical ornamentals using coir (coconut mesocarp pith) as a peat substitute. Hortscience 29 (12): 1484-1486.

Milks R, Fonteno WC, Larson R. A, 1989a. Hydrology of horticultural substrates: I mathematical models for moisture characteristics of horticultural containers media. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 114:48-52.

Morgan, L. 2000. Grow your own hydroponics strawberries. In: A. Knutson (Ed). *The best of the growing edge*. Vol. 2. New Moon Publishing, Corvallis, OR, USA. pp.99-102.

Muthy, C. P., Bullock, P. and Turner, R. H. 1977. The measurement and characterization of voids in soil thin sections of image analysis. Part II. *Applications J. Soil Sci.* 28:509-518.

Nappi P. y Barberis R. 1993. Compost as growing medium: chemical, physical and biological aspects. *Acta Hort. (ISHS)* 342:249-257.

Noguera P., M. Abad, R. Puchades, A. Maqueira and V. Noguera. 2003. Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dusts as container medium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34:593-605.

Orozco R. 1995. Propiedades físicas de perlitas utilizadas para cultivo sin suelo. Su implicación con la relación sustrato-agua-planta y con el riego de cultivos hortícolas. Tesis Doctorado. Universidad de Lleida.

Ortiz S. C. A. 2010. Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. Octava edición. México.

Pagés M, Verdonck O, De Boodt M, 1981. Estudio comparativo de las propiedades físicas de los 'pequeños bloques prensados' y los sustratos más comunes en el cultivo hortícola. *Anales INIA* 14:251-65.

Pape, TH.; Lagger, D. 1994. Manual for soil description and classification. Departament of Soil Science and Geology. Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands.

Pascual, J. 1996. Efectividad de los residuos orgánicos en la mejora de la calidad de los suelos áridos: Aspectos biológicos y bioquímicos. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. España. 428 p.

Pastor S. J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra*. 17(3): 231-235.

Peckenpaugh, D. 2004. Hidroponyc solutions. New Moon Publishing. Corvallis, OR, USA. Vol. 1.121p.

Peterson J.C, 1981. Modify your pH perspective. *Florists' Review*, 169:34-35.

Pineda P. J.; Castillo G. A.M.; Morales C. J.A. Colinas L. M.T.; Valdez A. L.A.; Avitia G.E. 2008. Efluentes y sustratos en el desarrollo de nochebuena. *Revista chapingo. Serie horticultura*. 14(2): 131-137.

Pire, R.; Pereira, A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. *Propuesta metodológica. Bioagro*. 15(1): 55-63.

Puget, P., Chenu, C., Balesdent, J. 1995. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *European Journal of Soil Science* 46: 449-459.

Puustjärvi V. 1982. The size ditribution of peat particles, pp. 33-47. In: Peat and plant yearbook. V. Puusstjärvi , T.A. Ilmonen, A. Suoninem, M. Voutilainen and M. Korhonen (eds.). Assoc. Finnish Peat Industries. Helsinki, Finland.

Quintero, M.F. y González-Murillo, C.A. 2004. Determinación de la curvas de retención de humedad para sustratos utilizados en cultivos de flores de la

Sabana de Bogotá. San José: VI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola 2004. pp. 10.

Quintero, M.F., González-Murillo, C.A., Flórez, V.J., and Guzmán, J.M. 2009. Physical evaluation of four substrates for cut-rose crops. *Acta Horticulturae*, 843:349-358.

Raviv M.; Wallach R.; Silber A.; Bar-Tal A. 2002. In: D. Savvas and H. Passam (Eds). *Hidroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece. pp 25-101.

Raviv, M.; Chen, Y.; Inbar, Y. 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container- grown plants. In: *The Role of organic Matter in Modern Agriculture*. Eds. Y Chen y Y. Avnimelech. Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht. Pp 257-287.

Richards, L. A. 1947. Pressure membrane apparatus: construction and use. *Agric. End.* 28:451-454.

Ríos V., J.M. 2008. Evaluación de nuevos sistemas de cultivos sin suelo para la producción de clavel estándar en condiciones de la Sabana de Bogotá. Propuesta de práctica estudiantil. Programa Curricular de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia.

San Martín H. C. 2011. Producción de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en diferentes granulometrías de “tezontle”. Tesis. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 98 p.

Satchell J. 1974. Litter- interface of animate/inanimate matter, pp. 24-25. In: C.H. Dickinson y G.J. Pugh (eds). *Biology of plant litter decomposition*. Academic Press, Gran Bretaña.

Segura, C. M.A., Preciado R. P., González C. G., Frías R. J.E., García L. G., Orozco Vidal J. A., Enríquez S. M. 2008. Adición de material pomáceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad. *INTERCIENCIA*. 33(12): 923-928.

Soto G. 2003. Abonos orgánicos: definiciones y procesos, pp. 27-33. In: G. Soto, G. Meléndez, L. Uribe. (eds). *Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura*. CIA, Costa Rica.

Stakman W.P. 1980. Measuring soil moisture. In: *Drainage Principles and Applications*. Vol. III. ILRI. Wageningen. 221-251.

Terés V.; Arrieta V. 1995. Metodología para la evaluación del volumen de aire en sustratos. Informe técnico No. 63:63-70. Departamento de producción Vegetal. Resultados de investigación 1994. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco. ISBN:84-457-0584-9.

Terés V., Arrieta V., Olabarría I., Esnaola I. 1993. Comparación de métodos para la medida de la densidad real en corteza de pino de diferentes granulometrías. *Acta de Horticultura* 10:1152-1156.

Thompson, L.M., Troeh F.R. 2002. *Los suelos y su fertilidad*. Editorial REVERTÉ. 4ta. Edición. España. 661p.

Urrestarazu G. M.2004. *Tratado de cultivo sin suelo*. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Verdonck O, Cappaert I, De Boodt M, 1978. Physical characterization of horticultural substrates. *Acta Horticulturae* 82:191-200.

Verdonck O, Cappaert I, De Boodt M. 1974. The properties of the normally used substrates in the region of Ghent. *Acta Horticulturae* 37:1930-44.

Verdonck O. 2004. The influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. *Acta Horticulturae* 644:99-101.

Verdonck O.; Penninck; De Boodt M. 1984. The Physical properties of different horticultural substrate. *Acta horticulturae* 150:155-160.

Villasmil M. 2008. Uso de desechos orgánicos compostados en mezclas para la producción de dos plantas de temporada (Tesis) Maestría en Horticultura. Barquisimeto, estado Lara, Venezuela: Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado.

Zucconi F., and M. Bertoldi M. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. Pp 30-50. In: Bertoldi, M. L' Hermite, P. and Zucconi, F. (Eds). *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science. New York, NY, USA.

CAPITULO II. DINAMICA DE CRECIMIENTO DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN DIFERENTES SUSTRATOS DE SIEMBRA.

1. INTRODUCCION

El crecimiento es un proceso cuantitativo consistente en un aumento de peso y volumen, independientemente de cualquier dinamismo evolutivo (Radosevich y Holt, 1984; De Juan *et al.*, 1992), con el consiguiente aumento de las dimensiones de las plantas (masa, altura, área y volumen). Las mediciones primarias que posibilitan un análisis de crecimiento incluyen el área foliar, el peso total de materia seca (MS) (De Juan *et al.*, 1992). El análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores que influyen el desarrollo de la planta y el rendimiento, a través del seguimiento de la acumulación de la materia seca durante el tiempo (Gardner *et al.*, 1985; Hunt, 1990). Además permite cuantificar aspectos como la duración del ciclo, definición de estados fenológicos y estados de desarrollo, distribución de asimilados en los diferentes órganos (Azofeifa y Moreira, 2004). Además permite comprender procesos fisiológicos relacionado a la producción vegetal, determinando opciones en el manejo del cultivo orientado a la fertilización, riego, prácticas sanitarias, podas, ubicación del cultivo y densidad de siembra, entre otros (Barrientos, 1988; Lambers y Poorter, 1992). Hay dos formas diferentes de realizar el análisis de crecimiento, la primera el análisis tradicional o clásico, considera mediciones realizados a intervalos amplio de tiempo (cada 1-2 semanas) utilizando gran número de plantas; la segunda denominada análisis funcional o dinámico, abarca mediciones a intervalos de tiempo usualmente en pequeño número de plantas (Hunt, 1978). La calidad y sanidad, de una planta depende en parte del medio de crecimiento o sustrato en que se desarrolle (Howard, 1998; Cabrera, 1999; Morel *et al.*, 2000; Pastor, 2000), en particular de sus características físicas y químicas ya que el desarrollo y funcionamiento de las raíces están directamente ligados a las condiciones de aeración, además de tener influencia directa en el suministro de

los nutrimentos necesarios para su desarrollo (Bunt, 1988; Ünver *et al.*, 1989; Brückner, 1997; Lemaire, 1997). Otros factores que influyen en las características de las plantas son fertilización, riego, control de plagas y enfermedades (Aloni *et al.*, 1991; Noordegraaf, 1994; Guzmán y Sánchez, 2003).

En general, la investigación sobre sustratos como medio de crecimiento se ha desarrollado en especies ornamentales y entre los más utilizados se encuentran la turba (peat moss), tierra de monte, arena de río, tezontle, piedra pómez, perlita, vermiculita, agrolita y compostas, entre otros. Respecto a los cultivos hortícolas, la investigación se ha orientado a estudiar la germinación de semillas o la propagación vegetativa, y no tanto al crecimiento y desarrollo de la planta (López *et al.*, 2005).

El cultivo en sustrato presenta diferencias sustanciales respecto al cultivo en suelo (Abad, 1993). Al cultivar en contenedor las características de éste resultan decisivas para un mejor crecimiento de la planta, ya que se produce una clara interacción entre las características del contenedor (altura, diámetro, etc.) y el manejo del complejo planta-sustrato (Abad, 1993). El objetivo de este estudio fue determinar la dinámica de crecimiento de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. "Festival" en función del sustrato de crecimiento.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. La Fresa como Cultivo Indicador.

Es una planta rastrera perenne, posee un tallo pequeño semisubterráneo o rizoma y un tallo modificado denominado “corona central” en que se encuentran las yemas axilares que puedan dar origen a flores, estolones o las coronas secundarias, que son las que dan forma de roseta a la planta. Una vez que la planta obtiene cierto desarrollo, aparecen estolones o ramificaciones de la planta que producen hojas compuestas o trifoliadas, con bordes aserrado y ligeramente pubescente en su cara inferior y raíces que llegan a convertirse en nuevas plantas. Los estolones tienen capacidad de intercambiar agua y nutrimentos entre la planta madre y sus hijos los que les permite sobrevivir en situaciones de poca humedad o daños radiculares. Una corona puede producir de 10 a 12 estolones, esto a su vez, tienen la capacidad de producir raíces y estolones secundarios, lo que permite una producción de 4 a 6 plantas por estolón (Brazanti, 1989; Baraona *et al.*, 1998).

2.1.1. Importancia del Cultivo de Fresa.

La fresa en México es considerada como un cultivo de gran valor económico, debido a que genera muchas divisas por su producción y venta para consumo en fresco al interior y también en explotación (ASERCA, 1998). Asimismo, por las características propias del cultivo gran parte de la producción se destina para el procesamiento de productos derivados sobre todo como fresa congelada, base de frutas y congeladas (Boucher y Salas, 2007; Sánchez 2008). Involucra dos actividades agronómicas como son la producción de frutas y plantas (Dávalos *et al.*, 1992).

2.1.2.Etapas Fenológicas.

En condiciones de cultivo normales, la fresa no dura más de tres o cuatro años, debido a las exigencias de la producción, su longevidad se reduce inclusive en un año (Bianchi, 1999). Maroto y López (1988) agrupan las fases fenológicas de la siguiente manera:

- Fase A o de reposo vegetativo o dormancia: estadio en el que hay poco crecimiento foliar y se observan hojas rojizas y secas. Ocurre cuando los días son cortos y temperaturas bajas (noviembre-diciembre), ocurriendo la detención del crecimiento hasta que la planta sale del reposo.
- Fase B o de iniciación de la actividad vegetativa: manifestada por la aparición de brotes turgentes y formación incipiente de hojas en estado rudimentario.
- Fase C o de botones verdes: en la cual entre las hojas en estado rudimentario se observan aquéllos.
- Fase D o botones blancos: en la que observan éstos de forma ostensible, sin que los pétalos se hayan desplegado.
- Fase E o de iniciación de la floración, cuando se contrastan tres o cinco flores abiertas por planta.
- Fase F o de plena floración, cuando un 50% de las flores están abiertas.
- Fase G o fin de la floración, cuando se observa la caída de los pétalos y se inicia el cuajado de frutos.
- Fase H o de fructificación, cuando los frutos verdes son claramente visibles.

2.1.3.Sistema Radicular.

La fresa posee un sistema radicular fasciculado, constituido por un gran número de raíces y raicillas; la mayor parte de las raíces se encuentran localizadas superficialmente y están constituidos por un cambium vascular y suberoso (Maroto y López 1988; Galleta y Himelrick, 1990). Una planta tiene generalmente de 20 a 35 raíces primarias, pero puede desarrollar más de 100 y más de 1000 raíces secundarias, terciarias y de mayor orden. Las raíces primarias son penetradoras del suelo, las raíces secundarias más pequeñas y ramificadas están destinadas a explorar el suelo, adherirse y alimentar la planta. Estudios han demostrado que aunque las raíces pueden penetrar el suelo hasta una profundidad de 100 a 105 cm; de 50% a 90% del sistema radicular se concentra en los primeros 15 cm y el 25% en los primeros 8 cm (Benavides y Cisne, 2012). En condiciones óptimas pueden alcanzar los 2-3 m, aunque lo normal es que no sobrepases los 40 cm (Folquer, 1999).

2.1.4 Sustratos Utilizados en la Producción de Fresas.

En los cultivos hortícolas, la mayoría de las investigaciones se han orientado a estudiar la germinación de semillas o la propagación vegetativa, y no tanto al crecimiento y desarrollo de la planta.

López *et al.* (2005) en un experimento bajo condiciones de invernadero para encontrar un sustrato adecuado para el crecimiento de fresa “Chandler” y “Oso grande”, utilizaron como sustratos mezclas a base de tezontle: fibra de coco con cuatro proporciones diferentes (25:75; 50:50; 75:25 y 100:0%, v/v respectivamente), así como vermiculita al 100%. Los valores más altos de peso seco de la corona y peciolo, número de hojas, altura de planta y área foliar se obtuvieron con la mezcla de tezontle y fibra de coco en proporción 3:1 y aunque para el caso de algunas variables la vermiculita se comportó estadísticamente igual que dicha mezcla, ellos no la recomiendan debido a que su costo es mayor.

2.1.5 Extracción Nutricional y Nutrición en Fresa.

- Se han identificado 2 etapas críticas de acumulación de nutrientes en fresa: durante el crecimiento activo (crecimiento vegetativo) y durante la formación de estolones y fructificación (Cooper y Vaile, 1945).
- En términos prácticos es posible concluir que la fertilización en fresa puede distribuirse en 3 etapas importantes del cultivo: durante las primeras 12 semanas se puede agregar 20% del abono a aplicar, 40% en el periodo comprendido entre las semanas 12 y 18 y el restante 40% entre las semanas 20 y 24 (Molina *et al.*, 1993).
- De acuerdo con Molina *et al.* (1993) la acumulación de nutrientes en orden decreciente es N>K>Ca>Mg>P>Fe>Mn>Zn>Cu.
- Domínguez (1993) documentó que el cultivo de fresa extrae en promedio de 2-3, 0.4-0.7 y 3.3-4.2 kg de N, P y K por tonelada de fruta.

3. OBJETIVO

- Determinar la dinámica de crecimiento de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. “Festival” en función del sustrato de crecimiento.

4. HIPÓTESIS

- La dinámica de crecimiento de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. “Festival” está determinada por el sustrato utilizado.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localidad de Estudio.

El estudio se realizó en los invernaderos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México, de Octubre de 2012 a Julio de 2013. Ubicado a 19° 29' LN y 98° 53' de LW a una altitud de 2240 msnm. El clima es del tipo C (Wo) (w) b (1) g' que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 750 mm y una temperatura media anual de 15.5 °C, cuya oscilación térmica es de 5 a 7 °C (García, 2004).

5.2. Diseño de Tratamientos y Diseño Experimental.

El trasplante de fresa, cv. "Festival", se realizó el 24 de Octubre de 2013 en macetas de polietileno color negro, con dimensiones: Base=15.8 cm, Ancho=14.0 cm y Altura= 20.2 cm.

Se establecieron 10 tratamientos derivados de la combinación de sustratos, orgánicos e inorgánicos, solos y en mezclas.

Para definir las cantidades de sustrato a emplearse, solo o en mezcla, se agregó el sustrato a una maceta, ejemplo Composta, hasta un nivel definido y se obtuvo su masa. Al realizar una mezcla de Composta con otro sustrato, se agregó la mitad de la masa que ocupó la Composta más la mitad de la masa que ocupó el otro sustrato en la maceta. Finalmente, considerando la masa de cada sustrato en mezcla se obtuvo la proporción que ocupa en cada tratamiento (Cuadro 18).

Cuadro 18. Descripción de los tratamientos establecidos en la investigación.

Tratamientos	Descripción	Proporción	Gramos
C	Composta	100%	2,640
C+TP	Composta + Piedra Pómez	1.2:1	1,320 + 1,100
C+TN	Composta + Tezontle Negro	1:1.3	1,320+ 1,725
C + FC	Composta + Fibra de Coco	4.8:1	1,320 + 275
TP	Piedra Pómez	100%	2,200
TP+TN	Piedra Pómez + Tezontle Negro	1:1.5	1,100 + 1725
TP+FC	Piedra Pómez + Fibra de Coco	4:1	1,100 + 275
TN	Tezontle Negro	100%	3,450
TN+FC	Tezontle Negro + Fibra de Coco	6.2:1	1,725 + 275
FC	Fibra de Coco	100%	550

El diseño experimental fue completamente al azar. Del trasplante a la floración todas las unidades experimentales se regaron con agua. Después de la etapa de floración, las plantas de fresa fueron sometidas a riego diferencial con agua y solución nutritiva cada tercer día, con la finalidad de conocer la respuesta del cultivo a diferentes medios de crecimiento (tratamientos), empleando tres repeticiones (Figura 22).

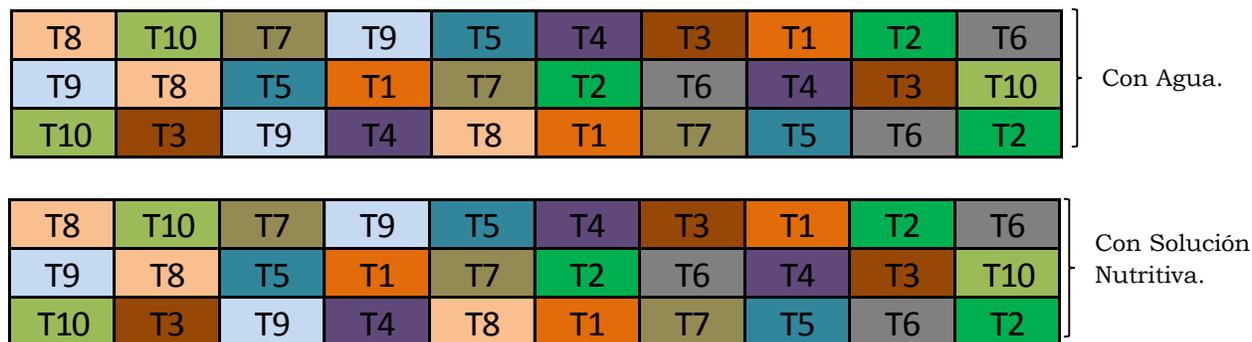


Figura 22. Distribución de los tratamientos en las unidades experimentales.

5.3. Características de los Sustratos Empleados.

5.3.1.Orgánicos.

5.3.1.1. Composta de Cachaza.

Residuo de la industria azucarera, material esponjoso amorfo, de color oscuro a negro que absorbe grandes cantidades de agua (Bonnet, 1960). Este material composteado, fue proporcionado y elaborado en el Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba.

5.3.1.2. Fibra de Coco.

Físicamente corresponde a la cubierta protectora o cáscara de la fruta (mesorcapio) del cocotero. Es una fibra proveniente de las cortezas, que puede ser composteada, tamizada, secada y comprimida en bloques o ladrillos que facilitan su transporte (Fonteno, 1999). Material adquirido en Texcoco, Estado de México.

5.3.2.Inorgánicos.

5.3.2.1. Tezontle.

Sustrato mineral de origen volcánico extrusivo. Es uno de los sustratos más utilizados en los cultivos sin suelo en el país. Las partículas de tezontle forman poros de empaquetamiento simple y vesículas, la formación de mesoporos se presenta en partículas mayores de 0.25 mm (Castellanos y Vargas-Tapia, 2003).

5.3.2.2. Piedra Pómez.

Roca volcánica extrusiva que se forma cuando la lava con un alto contenido de agua y gases es expulsada del volcán. Cuando la lava se enfría y se endurece, el resultado es un material ligero y poroso (Robbins y Evans, 2008).

5.4. Composición Química del Agua.

La composición química del agua para riego fue (Cuadro 19):

Cuadro 19. Composición química del agua empleada.

Fuente	Concentración (meq L⁻¹)
Ca ²⁺	1.19
Mg ²⁺	2.23
Na ²⁺	1.70
K ⁺	0.16
CO ₃	0.79
HCO ₃	2.64
Cl	1.42
SO ₄ ²⁻	0.6

5.5. Preparación de la Solución Nutritiva.

Se aplicó solución nutritiva a las unidades experimentales regadas con solución nutritiva (Cuadro 20). La cantidad de fertilizantes empleada para 20 litros fue:

Cuadro 20. Composición química de la solución nutritiva empleada.

Fertilizante	Cantidad
H ₃ PO ₃	0.7 mL
H ₂ SO ₄	1.7 mL
Ca(NO ₃) ₂	4.6 g
KNO ₃	5.1 g
K ₂ SO ₄	0.2 g

5.6 Material Vegetal.

Se utilizó planta de fresa (*Fragaria x anannasa* Duch.) cv. “Festival”, procedente de Zamora, Michoacán. Variedad de día corto, generada en la Universidad de Florida a partir de la cruce entre las variedades “Rosa Linda” y Oso Grande” (Chandler, 2004). Se distingue por su alta producción de estolones en los campos de fructificación, pedicelos largos sosteniendo a los frutos y por frutos aromáticos firmes, de color rojo profundo, de forma cónica y con cálices vistosos cuando se produce bajo condiciones subtropicales (Chandler *et al.*, 2000).

5.7 Variables Estudiadas.

Las variables evaluadas durante el crecimiento de la planta fueron: materia seca de hoja (MSH), materia seca del tallo (MST), materia seca de raíz (MSR) materia seca del fruto (MSF), materia fresca del fruto (MFF), número de hojas (NH), longitud de raíz (LR), volumen radical (VR), diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), área foliar (AF) y peso promedio de hoja (PPH). Estas variables se evaluaron en plantas regadas con agua y con solución nutritiva.

5.7.1 Materia seca de hoja, materia seca del tallo y materia seca de raíz (MSH, MST y MSR).

Las mediciones se realizaron al final del periodo experimental por ocasión única. Para determinar la MS de hoja, tallo y raíz se depositó en una bolsa de papel cada estructura y se colocaron en una estufa de aire forzado para su secado hasta peso constante (72 horas a una temperatura de 70 ° C) y posteriormente se pesaron en una balanza analítica (Core Balance®). El peso se expresó en miligramos (mg). Previo a esto la raíz fue lavada para eliminar residuos que pudieran afectar el peso.

5.7.2 Número de hojas (NH).

El NH se cuantificó al finalizar el periodo experimental. Se consideraron hojas completas, con sus tres folíolos totalmente expandidos. Se cuantificaron las tres repeticiones de los 10 tratamientos. Tanto en plantas regadas con agua y solución nutritiva.

5.7.3 Longitud de raíz y Volumen de raíz (LR y VR).

La longitud de raíz se determinó midiendo con una regla, de la corona hasta la raíz más larga. Para el volumen de raíz, se sumergió la raíz en una probeta con un volumen de agua conocido, siendo la diferencia de volumen, el volumen de la raíz. Esta medición se realizó al final del experimento.

5.7.4 Materia fresca del fruto y Materia seca de fruto (MFF y MSF).

Se determinaron pesando el fruto fresco y seco en una balanza analítica (Core Balance®). Se midieron frutos con madurez de consumo. Se consideraron 5 frutos por planta y se obtuvo su peso fresco y seco.

5.7.5 Diámetro ecuatorial y Diámetro polar (DE y DP).

El diámetro ecuatorial se consideró al medir la circunferencia del fruto (transversalmente) y el diámetro polar fue considerado desde la base del sépalo (cáliz) hasta el extremo (punta) del fruto. Se tomaron las lecturas con ayuda de un vernier. Se midieron 5 frutos con madurez de consumo por planta y se obtuvo su diámetro polar y ecuatorial.

5.7.6 Área foliar (AF).

Al final del periodo experimental se determinó el área foliar total de cada planta con la ayuda del programa ImageJ 1.47v®. Se midió cada una de las repeticiones de todos los tratamientos.

5.7.7 Peso promedio de hoja (PPH).

Esta variable se midió al final del experimento. Se consideraron las tres repeticiones de cada tratamiento. Se obtuvo el promedio del peso seco de cada hoja.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Variables de Crecimiento en Plantas Regadas con Solución Nutritiva.

En el Cuadro 21 se observa que las variables materia seca de hoja, Peso promedio de hoja, materia seca del tallo y volumen de raíz (MSH, PPH, MST y VR) mostraron cambios significativos por efecto del sustrato utilizado (tratamientos).

6.1.1. Materia Seca de Hoja (MSH).

La mayor acumulación de MSH se registraron en los tratamientos C+FC, C, C+TP y C+TN. La menor acumulación en FC y TN+FC. En promedio, la MSH de los sustratos orgánicos fue 15.2% superior al inorgánico. Cuando ambos sustratos se mezclaron la MSH fue 24.6% inferior al orgánico. Esto indica que la cachaza favorece a una mayor acumulación de MSH (Cuadro 21). Berrospe (2010) reportó que el mayor peso seco de la parte aérea se registró con sustrato de Composta de Cachaza en plántulas de tomate. Richmond (2010) evaluó diferentes proporciones de sustrato, el mayor valor fue conformado por el tratamiento 30-30-40 (fibra de coco: Aserrín de melina: Abono orgánico Coope Victoria) para la producción de almácigo de tomate. Peñuelas y Ocaña (1996) mencionan que niveles altos de porosidad (>80%) favorecen el crecimiento de las raíces, lo que también repercute en forma positiva sobre el desarrollo de la parte aérea de las plantas. De igual forma, la cachaza es rica en elementos minerales como: N, Ca, P, Mg, y Zn que pueden modificar la acumulación de biomasa. Además favorece las propiedades físicas y químicas del suelo e incrementa la retención de humedad durante su descomposición (Zérega, 1993).

6.1.2. Peso Promedio de Hoja (PPH).

El mayor PPH se registraron en los tratamientos C+FC y C. El más bajo en TN+FC. En promedio, el PPH de los sustratos orgánicos fue de 36.4% superior al inorgánicos. Cuando ambos se mezclaron el PPH fue 39.5% inferior al orgánico. Weston (1988) y Nesmith *et al.* (1992) mencionan que con una disminución radical, se produce la reducción de área foliar, ya que decrementaron menor número y tamaño de hojas. Esto se infiere debido a que el tratamiento TN+FC presentó baja MSR (Cuadro 21).

6.1.3. Materia Seca del Tallo (MST).

La mayor acumulación de MST se logró en el tratamiento C+FC y el más bajo con TN+FC. En promedio, la MST de los sustratos orgánicos fue 3.0% superior al inorgánicos y al mezclar orgánicos e inorgánicos, la MST fue 19.7% inferior al valor de los sustratos orgánicos (Cuadro 21). López *et al.* (2005) al evaluar dos genotipos de fresa, “Chandler” y “Oso”, encontraron que con diferentes proporciones de Tezontle: Fibra de coco (25:75, 50:50 y 75:25) y Tezontle (100%), no hubo diferencias significativas para materia seca de la corona, mientras que la proporción 75:25 (Tezontle: Fibra de coco) mostró la mayor acumulación de materia seca en peciolo. Es posible suponer que la mayor MST obtenida con los tratamientos con composta de Cachaza y la Fibra de Coco es debida a un aporte nutrimental por el sustrato. Así, el peso seco de tallos y hojas puede estar influenciado negativamente en condiciones salinas, aunque en tallo disminuye en menor grado que en hojas (Cruz y Cuartero, 1990). La cachaza generalmente es rica en fósforo, calcio y nitrógeno y pobre en potasio, aunque el potasio es compensado con la presencia de la fibra de coco (Búres, 1997).

Cuadro 21. Variables de crecimiento en fresa regada con Solución nutritiva en función del sustrato empleado. Datos tomados al final de la cosecha (252 dds, verano 2013).

Tratamientos	MSH		PPH		MST		MSR		NH		LR		VR	
	g													
											Cm		mL	
C+FC	6.64	a†	0.83	a	2.54	a	1.28	b	8.00	a	30.67	a	6.67	b
C	6.20	a	0.80	a	1.97	abc	1.41	ab	7.67	a	23.00	a	8.67	ab
C+TP	5.59	a	0.58	abc	1.98	abc	2.54	ab	10.00	a	26.73	a	12.67	ab
C+TN	5.54	a	0.66	ab	2.09	ab	1.53	ab	8.33	a	24.17	a	6.67	b
TP+TN	4.27	ab	0.41	bcde	1.75	abc	1.70	ab	10.33	a	28.67	a	8.33	ab
TP	3.88	ab	0.47	bcd	1.54	abc	1.55	ab	8.33	a	24.50	a	10.00	ab
TP+FC	2.96	ab	0.33	cde	1.29	abc	2.92	a	9.00	a	29.27	a	17.50	a
FC	1.25	b	0.17	de	0.59	bc	1.37	b	7.00	a	26.00	a	6.67	b
TN+FC	0.97	b	0.15	e	0.33	c	1.14	b	6.33	a	25.67	a	6.33	b
Promedio Global	4.14		0.49		1.56		1.72		8.33		26.52		9.28	
Promedio de Orgánicos	4.70	a	0.60	a	1.70	a	1.35	a	7.56	a	26.56	a	7.34	a
Promedio de Inorgánicos	4.08	a	0.44	a	1.65	a	1.63	a	9.33	a	26.59	a	9.17	a
Promedio de Mezclas	3.77	a	0.43	a	1.42	a	2.03	a	8.42	a	26.46	a	10.79	a
CV (%)	33.51		21.59		38.94		31.60		27.03		11.07		35.13	
DMS (0.05)	3.97		0.30		1.74		1.55		6.44		8.40		9.32	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P>0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación; MSH: Materia seca de hoja; PPH: Peso promedio de hoja; MST: Materia seca del tallo; MSR: Materia seca de raíz; NH: Número de hojas; LR: Longitud de raíz; VR: Volumen radical; ddt: días después del trasplante. C + FC: Composta + Fibra de coco; C: Composta; C +TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TP: Piedra pómez; TP +FC: Piedra pómez + Fibra de coco; FC: Fibra de coco; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco.

6.1.4.Materia Seca Radical (MSR).

La mayor acumulación de MSR se registró en el tratamiento TP+FC y los más bajos con TN+FC, FC y C+FC. En promedio, la MSR de los sustratos orgánicos fue de 50.4% inferior a las mezclas y los inorgánicos 24.5% inferior a las mezclas (Cuadro 21). Gutiérrez *et al.* (2011) evaluaron diferentes proporciones de Fibra de Coco: Piedra Pómez (25:75, 50:50, 75:25) y no encontraron diferencias en la acumulación de materia seca en plántulas de lechuga. Así también, en tratamientos como Fibra de Coco, Piedra Pómez y Tezontle no encontraron diferencias. López *et al.* (2005) al evaluar el crecimiento de dos genotipos de fresa, “Chandler” y “Oso”, con diferentes proporciones de Tezontle: Fibra de Coco (25:75, 50:50 y 75:25) y Tezontle (100%), no encontraron diferencias genotípicas en la acumulación de materia seca de la planta. La reducción en la distribución la materia seca de raíces se debe al aporte de agua o de macronutrientes (nitrógeno), aumento del potencial hídrico y a temperaturas óptimas para el funcionamiento de las raíces (Wilson, 1988; Chung *et al.*, 2002). De esta manera se infiere que el tratamiento TP+FC provee condiciones más favorables para el desarrollo de raíz.

6.1.5.Número de Hojas (NH).

En la variable NH estadísticamente no hubo diferencias significativas por efecto de tratamientos (Cuadro 21). Esto debido principalmente a que es un carácter definido genéticamente. Sin embargo, la biomasa foliar sí se modifica por el aporte nutrimental y las condiciones de salinidad del medio de crecimiento (Cruz y Cuartero, 1990; Van Ieperen,1996).

6.1.6.Longitud de Raíz (LR).

En la variable LR estadísticamente no hubo diferencias significativas por efecto de tratamientos (Cuadro 21). La mayor LR se registró en el tratamiento C+FC y el más bajo en C. En condiciones óptimas la raíz puede alcanzar de 2 a 3 m,

aunque lo normal es que no sobrepasen los 40 cm (Folquer, 1999). De acuerdo a Reckmann (2011), la porosidad de la fibra de coco favorece el vigor de las raíces. En promedio, la LR en sustratos orgánicos fue 0.11% inferior al inorgánicos . Cuando ambos materiales se mezclaron, la LR fue 0.49% inferior al inorgánico. Pérez (2013) evaluó tezontle: bagazo, tezontle: cascarilla de café, tezontle: cachaza y Tezontle en una proporción de 40:60, encontrando diferencias en la longitud de raíz principal en plántulas de Pimiento Morrón, es decir que la mezcla de sustratos inorgánicos y orgánicos modifica la longitud de raíz, dependiendo la naturaleza de la mezcla. Bajo condiciones de suelo bien aireado, el sistema radical crece vigorosamente y desarrolla un gran sistema ramificado de raicillas, responsables de la activa absorción de agua y nutrimentos (Russell y Russell, 1968; Atkison, 1980; López *et al.*, 2005; Comas *et al.*, 2005). Lo anterior concuerda con la porosidad total de los tratamientos C+FC y C (Cuadro 12).

6.1.7. Volumen Radical (VR).

En la variable VR estadísticamente hubo diferencias significativas debido a tratamientos (Cuadro 21). El mayor VR se registró con TP+FC y los más bajos en C+FC, C+TN, FC y TN+FC. En promedio, el VR de los sustratos orgánicos fue 47.0% inferior a las mezclas. En inorgánicos, 17.6% inferior a las mezclas. El sistema radicular de fresa se concentra en los primeros 15 cm, del 5 al 25%, en los primeros 8 cm (Benavides y Cisne, 2012). La influencia del volumen de la raíz puede correlacionarse con el suministro de nutrientes y agua (Regan, 1999). Es posible que los tratamientos consistentes en mezclas de sustratos, de manera promedio, tengan una mayor disponibilidad de agua para las plantas (Cuadro 3).

6.2. Variables de Crecimiento en Plantas Regadas con Agua.

En el Cuadro 22, se observa que las variables materia seca de hoja, peso promedio de hoja, materia seca del tallo, número de hojas, longitud de raíz y volumen de raíz (MSH, PPH, MST, MSR, NH, LR y VR) mostraron cambios significativos por efecto del sustrato utilizado (tratamientos).

6.2.1. Materia Seca de Hoja (MSH).

La mayor acumulación de MSH se registraron en los tratamientos C+FC, C, C + TP, y C+TN. Los más bajos con TP+TN, TP, TP+FC, TN + FC y TN. En promedio, la MSH de los sustratos orgánicos fue 388.1% superior a los sustratos inorgánicos. Cuando ambos se mezclaron, la MSH fue 91.4% inferior a los sustratos orgánicos (Cuadro 22). Gutiérrez *et al.* (2011) al evaluar proporciones de Fibra de Coco: Tezontle “FC: T” (25:75, 50:50 y 75:25) no encontraron diferencias en la acumulación de materia seca en plántulas de lechuga. Anicua (2008) al evaluar mezclas de Fibra de Coco: Tezontle (60:40) y Fibra de Coco: Piedra pómez (60:40) a granel encontraron diferencias en la acumulación de materia seca en planta de *Lisianthus* a las 7 y 14 semanas. La Fibra de Coco y Cachaza tienen elevada capacidad de retención de humedad (Búres, 1997; Bonnet, 1960), lo que nos indica que existe una elevada porosidad. De acuerdo a Peñuelas y Ocaña (1996) niveles altos de porosidad (>80%) favorecen el crecimiento de la raíces, lo que también repercute en forma positiva sobre el desarrollo de la parte aérea de las plantas.

Cuadro 22. Variables de crecimiento en fresa regada con agua en función del sustrato empleado. Datos tomados al final de la cosecha (252 dds, verano 2013).

Tratamientos	MSH		PPH		MST		MSR		NH		LR		VR	
	G													
											Cm		mL	
C+FC	7.40	a†	0.77	a	3.08	a	1.41	abc	9.67	abc	30.27	ab	9.67	a
C	7.33	a	0.78	a	3.45	a	1.62	abc	9.67	abc	32.67	ab	12.00	a
C+TP	7.65	a	0.58	a	3.55	a	2.09	a	13.00	a	25.67	ab	13.00	a
C+TN	7.19	a	0.69	a	2.75	a	1.41	abc	10.33	ab	24.50	b	8.67	ab
TP+TN	1.78	b	0.20	b	0.66	b	1.96	ab	9.33	bc	33.00	ab	8.00	abc
TP	1.70	b	0.26	b	0.62	b	1.97	ab	6.67	cd	27.50	ab	10.00	a
TP+FC	0.31	b	0.07	b	0.15	b	0.54	c	4.67	d	33.77	a	2.00	c
TN+FC	0.26	b	0.06	b	0.17	b	0.50	c	4.67	d	28.00	ab	1.67	c
TN	1.04	b	0.16	b	0.39	b	0.84	bc	6.67	cd	33.27	ab	2.67	bc
Promedio Global	3.85		0.40		1.65		1.37		8.30		29.85		7.52	
Promedio de Orgánicos	7.37	a	0.78	a	3.27	a	1.52	a	9.67	a	31.47	a	10.84	a
Promedio de Inorgánicos	1.51	b	0.21	b	0.56	b	1.59	a	7.56	a	31.26	a	6.89	a
Promedio de Mezclas	3.85	b	0.35	b	1.66	b	1.14	a	8.17	a	27.99	a	6.34	a
CV (%)	34.54		25.24		43.14		29.06		15.39		10.42		30.18	
DMS (0.05)	3.81		0.28		2.03		1.14		3.65		8.90		6.49	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P>0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación; MSH: Materia Seca de Hoja; PPH: Peso Promedio de Hoja; MST: Materia Seca del Tallo; MSR: Materia Seca de raíz; NH: Número de Hojas; LR: Longitud de Raíz; VR: Volumen Radical; ddt: días después del trasplante. C + FC: Composta + Fibra de coco; C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TP: Piedra pómez; TP +FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TN + FC: Tezontle Negro + Fibra de coco; TN: Tezontle negro.

6.2.2.Peso Promedio de Hoja (PPH).

El mayor PPH se registraron en los tratamientos C+FC, C, C+TP y C+TN y los más bajos en TP+TN, TP, TP+FC, TN+FC y TN. En promedio, el PPH de los sustratos orgánicos fue 271.4% superior al inorgánico. Cuando ambos tipos de sustratos se mezclaron, el PPH fue 122.8% inferior al orgánico (Cuadro 22). Weston (1988) y Nesmith *et al.* (1992) mencionaron que la reducción de área foliar, causó la disminución de raíces por el menor número y tamaño de hojas. Esto se infiere debido a que el tratamiento TP+FC y TN+FC presentaron baja MSR (Cuadro 22).

6.2.3.Materia Seca del Tallo (MST).

La mayor acumulación de MST se registraron en los tratamientos C+FC, C, C+TP y C+TN. La acumulación más baja en los tratamientos TP+TN, TP, TP+FC, TN+FC y TN. En promedio, la MST de los sustratos orgánicos fue 483.9% superior a los inorgánicos. Cuando ambos sustratos se mezclaron la MST fue 97.0% inferior al promedio de orgánicos (Cuadro 22). Cabrales (1994) obtuvo gruesas y largas raíces y gruesos tallos aéreos en la producción de plántulas de espárrago (*Asparagus officinalis* L.) al combinar cachaza y carbonilla. La disminución de la MST pudo deberse a los valores de pH de los sustratos. Al respecto, Smith *et al.* (2004) demostraron que la materia seca del tallo decrece al aumentar el pH (Cuadro 16).

6.2.4.Materia Seca Radical (MSR).

La mayor acumulación de MSR se registró en el tratamiento C+TP y la menor acumulación en TP+FC y TN+FC. En promedio, la MSR de los sustratos orgánicos fue 4.6 % inferior a los inorgánicos. Cuando ambos sustratos se mezclaron, la MSR fue 39.5% inferior al promedio de inorgánicos (Cuadro 22). Al respecto, Ramírez y Rengifo (1992) realizaron mezclas de cachaza y carbonilla desde 100:0 y 0:100 (V/V) y sembraron semilla de pimiento y tomate

obteniendo plántulas de calidad con la mezcla de 3 partes de cachaza y 1 parte de carbonilla. Además se obtuvo raíces muy sanas y de excelente compactación. La escasa humedad, generalmente, tiende a reducir la acumulación de biomasa y la relación parte aérea/raíz, asignando mayor cantidad de recursos hacia esta última (Hasse y Rose, 1994; Doi *et al.*, 2008). Lo anterior indica que el tratamiento C+TP presentó valores bajos de humedad aprovechable (Cuadro 8).

6.2.5. Número de Hojas (NH).

En la variable NH hubo diferencias estadísticamente significativas debido a la aplicación de tratamientos. El mayor NH se registró en el tratamiento C+TP y los más bajos con TP+FC y TN+FC. En promedio, el NH de los sustratos orgánicos fue 27.9% superior al NH de los inorgánicos. Cuando ambos se mezclan orgánicos e inorgánicos fue 18.4% inferior al orgánico (Cuadro 22). Las tendencias anteriores sugieren una mayor biomasa foliar debido a la aplicación conjunta de sustratos orgánicos e inorgánicos (Ramírez y Rengifo, 1992).

6.2.6. Longitud de Raíz (LR).

La mayor LR se registró en los tratamientos TP+FC y el más bajo con C+TN. En promedio, la LR de los sustratos orgánicos fue 0.7% superior al promedio de los sustratos inorgánicos. Cuando ambos sustratos se mezclaron la LR fue 12.4% inferior al promedio de orgánicos (Cuadro 22). De acuerdo a la tendencia anterior se observa que los sustratos orgánicos presentan mayor LR posiblemente a su aporte nutrimental (Zérega, 1993). Además Reckmann (2011) menciona que la porosidad de la fibra de coco favorece el vigor de las raíces. Pérez (2013) evaluó tezontle: bagazo, tezontle: cascarilla de café, tezontle: cachaza y Tezontle en una proporción de 40:60, encontrando diferencias en la longitud de raíz principal en plántulas de Pimiento Morrón, es

decir que la mezcla de sustratos inorgánicos y orgánicos modifica la longitud de raíz, dependiendo la naturaleza de la mezcla.

6.2.7. Volumen Radical (VR).

La variable VR mostró diferencias estadísticas debido a los tratamientos. El mayor VR se registraron en los tratamientos C+FC, C, C+TP y TP. Los más bajos, se encontraron en TP+FC y TN+FC. En promedio, el VR de los sustratos orgánicos fue 57.3% superior al promedio de inorgánicos. Cuando ambos sustratos se mezclaron, el VR fue 70.9% inferior a la media de orgánicos (Cuadro 22). De acuerdo con Benavides y Cisne (2012) la penetración radicular es generalmente mayor en los suelos livianos, arenosos o porosos, bien preparados, en lugar de aquellos pesados y con una preparación deficiente. Ouma (2007) indica que la disponibilidad de agua, debida posiblemente a la porosidad de retención de humedad, está directamente relacionada con la materia seca de hojas y raíces en plantas de mango. Lo anterior se sustenta en los mayores valores de porosidad de retención de humedad de los tratamientos C, C+FC y C+TP (Cuadro 14).

6.3. Variables de Fructificación en Plantas Regadas con Solución Nutritiva.

Se observa el efecto de los tratamientos sobre las variables de fructificación. Sólo los tratamientos: TP, C+TP, C+TN, C, C+FC y TP+TN produjeron frutos y por tanto aparece su efecto en el Cuadro 23. El resto de los tratamientos no produjo fruto alguno y por consiguiente no se reportaron. Esto pudo deberse al estrés hídrico sometido por la planta.

Estadísticamente no se encontró diferencias significativas entre tratamientos, para las variables NF, DE, DP, MFF, MSF. El mayor NF se registró en el tratamiento TP y el más bajo en el tratamiento TP+TN. El mayor DE se registró

en el tratamiento C y el más bajo en C+TN y TP+TN. El mayor DP se tuvo en el tratamiento C+TP y el más bajo en TP. La mayor MFF se registró en el tratamiento C y la más baja en TP+TN. Finalmente, la mayor MSF se consiguió con el tratamiento TP+TN. El resto de los tratamientos tuvo MSF similar (Cuadro 23).

Cuadro 23. Variables de crecimiento en fresa regada con solución nutritiva en función del sustrato empleado. Datos tomados al final de la cosecha (252 dds, verano 2013).

Tratamientos	NF	DE (cm)	DP (cm)	MFF (g)	MSF (g)
TP	3.67 a†	1.68 a	2.09 a	4.57 a	0.31 a
C+TP	2.67 a	1.67 a	2.61 a	4.49 a	0.28 a
C+TN	2.67 a	1.58 a	2.42 a	4.51 a	0.34 a
C	2.67 a	1.98 a	2.23 a	4.73 a	0.30 a
C+FC	2.67 a	1.69 a	2.17 a	3.94 a	0.25 a
TP+TN	1.67 a	1.64 a	2.31 a	3.61 a	0.42 a
CV (%)	37.50	14.05	13.48	27.64	23.77
DMS (0.05)	2.74	0.66	0.85	3.27	0.21

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P > 0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. NF: Número de frutos; DE: Diámetro ecuatorial; DP: Diámetro polar; MFF: Materia fresca del fruto; MSF: Materia seca del fruto; ddt: días después del trasplante. TP: Piedra pómez; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; C: Composta; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro.

De manera general se observa que cuando el aporte externo de nutrientes no es limitante, el comportamiento de las variables de fructificación es semejante en todos los tratamientos. Aunque existe la tendencia a mayores valores en cada variable cuando se mezclan sustratos orgánicos y minerales. Al respecto, Anicua (2008) al evaluar Fibra de Coco: Tezontle y Fibra de Coco: Piedra Pómez en *Lisianthus*, encontraron diferencias en la acumulación de materia seca. Es decir, la mezcla de sustratos orgánicos e inorgánicos es mejor que el uso separado de uno u otro.

6.4. Variables de Fructificación en Plantas Regadas con Agua.

Se observa el efecto de los tratamientos sobre las variables de fructificación. Sólo los tratamientos: C, C+TP y C+TN produjeron frutos y por tanto aparece su efecto en el Cuadro 24. El resto de los tratamientos no produjo fruto alguno y por consiguiente no se reportaron. Esto debido, en gran medida, al escaso aporte nutrimental.

En las variables DE, DP, MFF y MSF hubo diferencias estadísticas producto de la aplicación de los tratamientos. En la variable NF no existió diferencias. El mayor valor para las variables DE, DP y MSF se registró en el tratamiento C y los valores inferiores en C+TN (Cuadro 24).

Cuadro 24. Variables de crecimiento en fresa regada con agua en función del sustrato empleado. Datos tomados al final de la cosecha (252 dds, verano 2013).

Tratamientos	NF		DE(cm)		DP (cm)		MFF (g)		MSF (g)	
C	5.00	a	2.10	A	2.78	a	6.66	a	0.50	A
C+TP	4.00	a	1.37	B	1.68	b	2.39	b	0.38	B
C+TN	3.67	a	1.72	Ab	2.33	a	4.72	ab	0.24	Ab
CV (%)	24.97		9.48		10.86		22.74		20.98	
DMS (0.05)	2.64		0.41		0.62		2.62		0.20	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes ($P>0.05$), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. NF: Número de frutos; DE: Diámetro ecuatorial; DP: Diámetro polar; MFF: Materia fresca del fruto; MSF: Materia seca del fruto; ddt: días después del trasplante. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro.

La tendencia anterior se debe posiblemente a la mayor disponibilidad de agua en el tratamiento con composta de Cachaza, la cual presenta mayor humedad aprovechable (Cuadro 8) y aporta nutrientes adicionales como N, Ca, P, Mg y Zn que pueden modificar la acumulación de biomasa (Zérega, 1993).

6.5. Área Foliar.

La mayor área foliar se registraron en los tratamientos C+FC, C, TP+TN, C+TP y C+TN. El más bajo en TN+FC. En promedio, el área foliar de plantas regadas con solución nutritiva de los sustratos orgánicos fue de 780.24 cm² y 12.5% inferior al inorgánico (877.78 cm²). Cuando ambos tipos de sustratos se mezclaron, el área foliar fue de 642.73 cm² y 36.6% inferior a los inorgánicos. Esto indica que los sustratos inorgánicos favorecen a una mayor área foliar (Cuadro 25) debido a que no hay aporte significativo de nutrientes a la planta.

Cuadro 25. Área foliar (AF) en fresa regada con solución nutritiva y agua en función del sustrato empleado. Datos tomados al final de la cosecha (252 dds, verano 2013).

Tratamientos	Área foliar (cm ²)			
	Riego con solución nutritiva		Riego con agua	
C+FC	1061.74	a	1399.82	a
C	1011.35	a	1511.54	a
TP+TN	964.40	a	308.86	b
C+TP	924.16	a	1360.14	a
C+TN	909.80	a	1138.63	a
TP	791.16	ab	380.96	b
TP+FC	539.55	abc	60.89	b
FC	267.64	bc		
TN+FC	197.41	c	42.20	B
TN			232.48	B
Promedio Global	740.80		715.06	
Promedio de Orgánicos	780.24	a	1455.68	A
Promedio de Inorgánicos	877.78	a	307.43	B
Promedio de Mezclas	642.73	a	650.47	B
CV(%)	26.44		29.07	
DMS (0.05)	560.37		594.59	

†; Medias con una letra común por columna no son estadísticamente diferentes (P>0.05), DMS; Diferencia Mínima Significativa, CV (%); Coeficiente de Variación. C + FC: Composta + Fibra de coco; C: Composta; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; TP: Piedra pómez; TP + FC: Piedra pómez + Fibra de coco; FC: Fibra de coco; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; TN: Tezontle negro.

Sin embargo, de manera particular es más notorio el efecto sobre el AF cuando se mezcla cachaza con sustratos minerales. Probablemente a que desarrollaron un mejor sistema radical, que les permitió tomar más cantidad de nutrientes (Salisbury y Ross, 2000). La mezcla de fibra de coco y sustratos minerales no sigue la misma tendencia, debido posiblemente a efectos negativos como salinidad.

El área foliar en plantas regadas con agua fue mayor en los tratamientos C+FC, C, C+TP y C+TN y el más bajo en TP+TN, TP, TP+FC, TN+FC y TN. En promedio, el área foliar de los sustratos orgánicos fue de 1455.68 cm² y 373.49% superior a los inorgánicos (307.43 cm²). Cuando ambos sustratos se mezclaron, el área foliar fue de 650.47 cm² y 123.8 % inferior a los orgánicos. Lo anterior indica que cuando no hay aporte externo de nutrientes, los tratamientos con sustratos orgánicos, solos o en mezclas, tendrán mayor acumulación de biomasa como respuesta al aporte nutrimental que los caracteriza. Lo anterior se fundamenta en lo expuesto por Escalante y Kohashi (1993) quienes mencionan que el área foliar se traduce en la maquinaria que transformará los nutrimentos, a través de la fotosíntesis, en biomoléculas, mismas que no pueden traducirse en biomasa si no existen tales nutrientes. Lo anterior explica que hubo una mayor MSH, PPH, MST y VR. Bajos valores de biomasa aérea, volumen radical y disminución del peso seco de hojas reflejan una menor área foliar y capacidad para almacenar carbohidratos (Weston, 1988; Prieto *et al.*, 1999).

7. CONCLUSIONES

- El crecimiento de la planta de fresa depende del aporte nutrimental, del medio de crecimiento donde esté sustentada y de su naturaleza
- Las variables morfológicas de crecimiento medidas en fresa respondieron diferencialmente a la aplicación de tratamientos: sustratos orgánicos, inorgánicos y mezclas.
- Los resultados de este trabajo demuestran que la nutrición no es un factor único y definitivo que influye en las variables de crecimiento, sino que la respuesta de las plantas depende del medio de crecimiento y de las condiciones ambientales.

8. BIBLIOGRAFÍA

Abad, M. 1993. Sustratos. Características y propiedades. pp. 47-62. In: Cultivos sin suelo. F. Cánovas y J.R. Díaz. (ed.). Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA.

Aloni B., Pashkar T., Karni L. 1991. Nitrogen supply influences carbohydrate partitioning of pepper seedlings and transplant development. Amer. Soc. Hort. Sci. 116:995-999.

Anicua S. R. 2008. Caracterización física y micromofológica de materiales orgánicos e inorgánicos para la generación de mezclas de sustratos en la producción de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Tesis doctoral. Colegios de postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 198p.

ASERCA. 1998. De nuestra cosecha. Fresa. La producción en México y la generación de divisas. Claridades agropecuarias 55:3-14.

Atkison, D. 1980. The distribution and effectiveness of the roots of the crops. Hort. Rew. 2:424-490.

Azofeifa, A. y M. Moreira. 2004. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. hot), en Alajuela, Costa Rica. Agron. Costarr. 28(1), 57-67.

Baraona, C. M., Sancho B.E. 1998. Manzana, Melocotón, Fresa y Mora. Fruticultura Especial. Edit. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 144p.

Barrientos, E. 1988. Evaluación de necesidades de N, P y Mg en chile dulce, *Capsicum annuum* L., asociado con café, *Coffea arabiga*, en siembra nueva. Tesis Ing. Agr. Centro Regional de Occidente, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia. 49 p.

Benavides, G. A.; Cisne C. J. 2012. Producción orgánica de fresa en Nicaragua. Guía técnica 02. Facultad de Agronomía. Programa de Desarrollo participativo. Integral Rural (DEPARTIR). Nicaragua. 38p.

Berrospe, O. E. A. 2010. Sustratos alternativos a base de cachaza para la producción de plántula de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) Tesis. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 127p.

Bianchi P.G. 1999. Guía completa de cultivo de fresa. Editorial De Vianchi. España. 96p.

Bonnet, J. A. 1960. Edafología de los suelos salinos sódicos. Editorial Univ. de puerto Rico. 339 p.

Boucher F., Salas C.I. 2007. La cadena productiva de la fresa en México. El acceso de los productores al Mercado. 33-50 pp. In: Berdegú J.A. y X. Sanclemente (Eds). La fresa en Michoacán. Los retos del Mercado. 2007. Gobierno del Estado de Michoacán. Secretaria de Desarrollo Agropecuario- SEDAGRO. Consejo Estatal de la fresa- COEFRM, A.C. México. 149p.

Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Hyman. London. Great Britain. 309p.

Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotecnia. Madrid, España. 342 p.

Brazanti, E. C. 1989. La fresa. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid. España. 118p.

Brückner, U. 1997. Physical proprieties of different potting media and substrate mixtures especially air and water capacity. Acta Hortic. 450:263–270.

Cabrales, P. El modelo VPS., en la producción de plántulas de espárrago (*Asparagus officinalis* L.).

Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Rev. Chapingo S. Hortic.* 5(1):5-11p.

Castellanos, J.Z., P. Vargas-Tapia. 2003. El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero. En J.J. Muñoz-Ramos y J.Z. Castellanos (Eds). *Manual de producción hortícola en invernadero*. INCAPA, México. pp 130-156.

Cooper, J. and Vaile, J. 1945. Effect of fertilizers, soil reaction and texture, and plant stand on the performance of strawberry. *Arkansas Agricultural Experiment Station. Bulletin No. 454.*

Cruz, V., J. Cuartero. 1989. Desarrollo vegetativo de cuatro especies de *Lycopersicon* en condiciones de estrés salino. *Actas de Horticultura* 3: 15-20.

Chandler, C.K. 2004. 'Strawberry Festival' strawberry plant. United States Patent and Trademark Office, U.S. Plant Patent No. 14,739.

Chandler, C.K., D.E. Legard, D. Dunigan, T.E. Crocker, and C.A Sims. 2000. 'Strawberry Festival' Strawberry. *HortSci.* 35(7): 1366-167.

Chung, S.J., Chun, Y.T., Kim, K.Y., Kim, T.H. 2002. Root zone temperature effect in hydroponically grown cucumber plants: growth and carbohydrate metabolism. *Acta Horticulturae*, v.588, p.47-52.

Dávalos G. P. A.; Castro F. J.; Redondo J. E.; Rodríguez G. H.; Díaz C. G.; Arévalo V. A. 1992. Guía para cultivar fresa en Irapuato. Folleto de productores Num. 1. SARH-INIFAP-GTO. Celaya, Guanajuato. México. 43 p.

De Juan, V. J. A., De Santa O. F.J.M. Botella M. O. 1992. Dinámica del crecimiento y desarrollo del girasol (*Helianthus annuus* L.): Primeras observaciones sobre ocho variedades cultivadas de girasol rastrojero en el

Regadío de Albacete. Colección Ciencia y Técnica. Universidad de Castilla La Mancha. 256 p.

Doi, Y., S.A. Mori and H. Takeda. 2008. Adventitious root formation of two *Abies* species on log and soil in an old-growth subalpine forest in central Japan. *Journal of Forestry Research* 13:190-195.

Domínguez, A. 1993. Fertirrigación. Madrid. Mundi Prensa.

Escalante, E. J.A.; Kohashi, S. J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 84p.

Folquer, F. 1999. La frutilla o fresa. Buenos Aires. Hemisferio sur. Lujuan Buenos Aires Argentina. 75 p.

Fonteno, W.C. 1999. Sustratos: Tipos y propiedades físicas y químicas. En: Agua, Sustratos y Nutrición en los cultivos de flores en invernadero. David Wm. Reed. Ediciones Batavia, Illinois. Ball Publishing. HortiTecnia Ltda. Bogotá, Colombia. pp. 93-123.

Galleta G. J., D.G. Himelrick. 1990. Small fruit crop management. Prentice Hall. New Jersey. USA.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen 2ª Ed. Instituto de Geografía. UNAM. México. D.F. pp: 33:40.

Gardner F.P., R.B. Pearce and R.L. Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press, USA. 325 p.

Gútiérrez, C. M.C.; Hernández E. J.; Ortiz S. C.A.; Anicua S. R.; Hernández L. M. E.; 2011. Relación de la porosidad- retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 17 (3): 183-196.

Guzmán M., Sánchez A. 2003. Influence of nitrate and calcium increments on development, growth and early yield in sweet pepper plants. *Acta Hort.* 609:207-211.

Hasse, D., R. Rose.1993. Soil moisture stress induces transplant shock in stored and unstored 2+0 Douglas-fir seedlings of varying root volumes. *Forest Science* 39:275-294.

Howard, M. 1998. *Hydroponic Food Production. A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower.* Woodbridge. Santa Barbara, California. 520 p.

Hunt, R. 1990. *Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners.* Unwin Hyman, Londres. 112p.

Hunt, R. 1978. *Plant growth analysis.* Edward Arnold Publishers, London. 67 p.

Lambers, H., H. Poorter. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: A search for physiological causes and ecological consequences. *Adv. Ecol. Res.* 23, 187-261.

Lemaire F. 1997. The problem of the biostability in organic substrates. *Acta Hort.* 450:63-69.

López P. L., Cárdenas N.R., Lobit P., Martínez C. O., Escalante L.O. 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en Hidroponía. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 28(2): 171-174.

Maas, J. L. 1998. *Compendium of Strawberry Diseases.* 2a. ed. American Phytopathological Society St. Paul, MN, USDA. USA.

Maroto B. J. V., López G .S. 1988. Producción de fresas y fresones. Ediciones Mundi –prensa. Madrid. España. 119p.

Molina, E., Salas, R. y Castro, A. 1993. Curva de crecimiento y absorción de nutrimentos en fresa (*Fragaria x ananasa* cv. Chandler) en Alajuela. Agronomía Costarricense 17(1):67-73.

Morel P., Poncet L., Rivière L. 2000. Les Supports de Culture Horticoles. Les Matériaux Complémentaires et Alternatifs à la Tourbe. INRA. Paris. 87 p.

Nesmith, D., S., Bridges, D., C., Barbour, J., C. 1992. Bell pepper responses to root restriction. J. Plant Nutr. 16:421-431.

Noordefraaf C.V. 1994. Production and marketing of high quality plants. Acta Horticulturae 353:134-148.

Ouma, G. 2007. Effect of different container sizes and irrigation frequency on the morphological and physiological characteristics of Mango (*Mangifera indica* L.) rootstock seedlings. International journal of Botany 3(3):260-268.

Pastor S. J. N. 2000 Utilización de sustratos en viveros. Terra 17 (3):213–235.

Pérez L. H. 2013. Producción de plántulas de Pimiento Morrón (*Capsicum annuum* L.) en sustratos derivados de residuos agrícolas. Tesis de Grado. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 63 p.

Peñuelas R., J.L. y B. L. Ocaña.1996. Cultivo de plantas forestales en contenedor. 2ª Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 190 p.

Prieto R., J. A., G. Vera C. y E. Merlin B. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico No. 12 Campo Experimental Valle de Guadiana. INIFAP. Durango. México. 23 p.

Radosevich, S. R., Holt J. S. 1984. "Weed Ecology: Implications for vegetation Management". Wiley, New York.

Ramirez, G. y Rengifo, J.C. 1992. Importancia de la cachaza como sustrato en la producción de plántulas de hortalizas. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira.

Reckman A.O. 2011. Fibra de coco: Un sustrato con grandes ventajas. Redagrícola.

Regan, R. 1999. Nursery Irrigation Scheduling Proc. 2nd Ann. Nursery Growers Short Courses Wilson Ville are. Pp. 1-8.

Richmond F. 2010. Evaluación de distintas materias primas para la producción de almácigo de tomate. Nota técnica. Agronomía Costarricense. 34(1): 85-91.

Robbins, J.A. & Evans, M. R. 2008. Growing media for container production in a greenhouse or nursery part I (components and mixes). Greenhouse and nursery series. Division of agriculture. University of Arkansas.

Russell, J., E. y Russell E., W. 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Trad. De la 6ª. Ed. En inglés por Gaspar González y G. Aguilar, Madrid, España.

Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 2000. Fisiología de las plantas. Editorial Paraninfo Thomson Learning, Madrid.

Sánchez R. G. 2008. El cluster Agroindustrial de Zamora. La Red de valor fresa. Fundación PRODUCE Michoacán, A. C. México. 145p.

Smith, B. R.; Fisher, P. R.; Argo, W. R. 2004. Nutrient uptake in container-grown impatiens and Petunia in response to root substrate pH and applied micronutrient concentration. HortScience 39: 1426- 1431.

Ünver I, Ataman Y, Çanga M R, Munsuz N .1989. Buffering capacities of some mineral and organic substrates. *Acta Horti*. 238:83–97.

Van Ieperen, W. 1996. Effects of different day and night salinity levels on vegetative growth, yield and quality of tomato. *The journal of horticultural science & Biotechnology* 71(1):99-112.

Weston, L., A. 1988. Effect of flat cell size, transplant age, and production site on growth and yield of tomato transplants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111: 498-501.

Wilson, J.B. 1988. A review of evidence on the control of shoot:root ratio, in relation to models. *Annual of Botany*, v.61, p.433-449.

Zerega M. L.1993. Manejo y usos agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. FONAIAP- YARACUY. Vol. 11 No. 2. Venezuela.

9. APENDICE

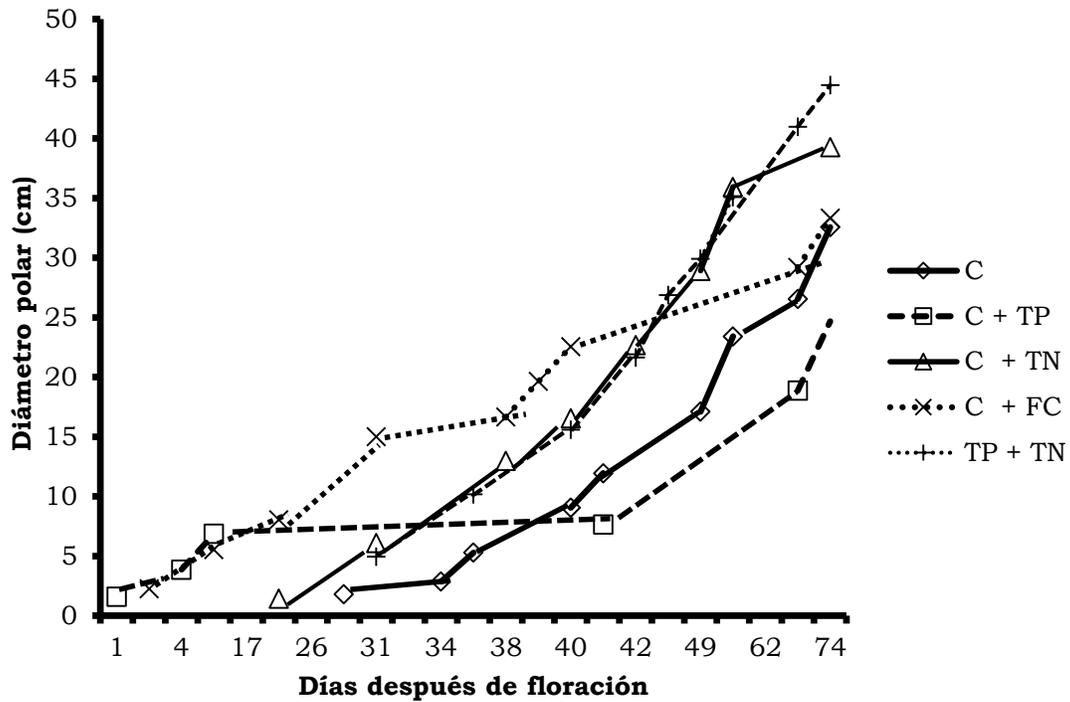


Figura 1A. Dinámica de crecimiento del diámetro polar del fruto en plantas de fresa *cv.* Festival regado con solución nutritiva. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra Pómez; C + TN: Composta + Tezontle Negro; C + FC: Composta + Fibra de Coco; TP + TN: Piedra Pómez + Tezontle Negro.

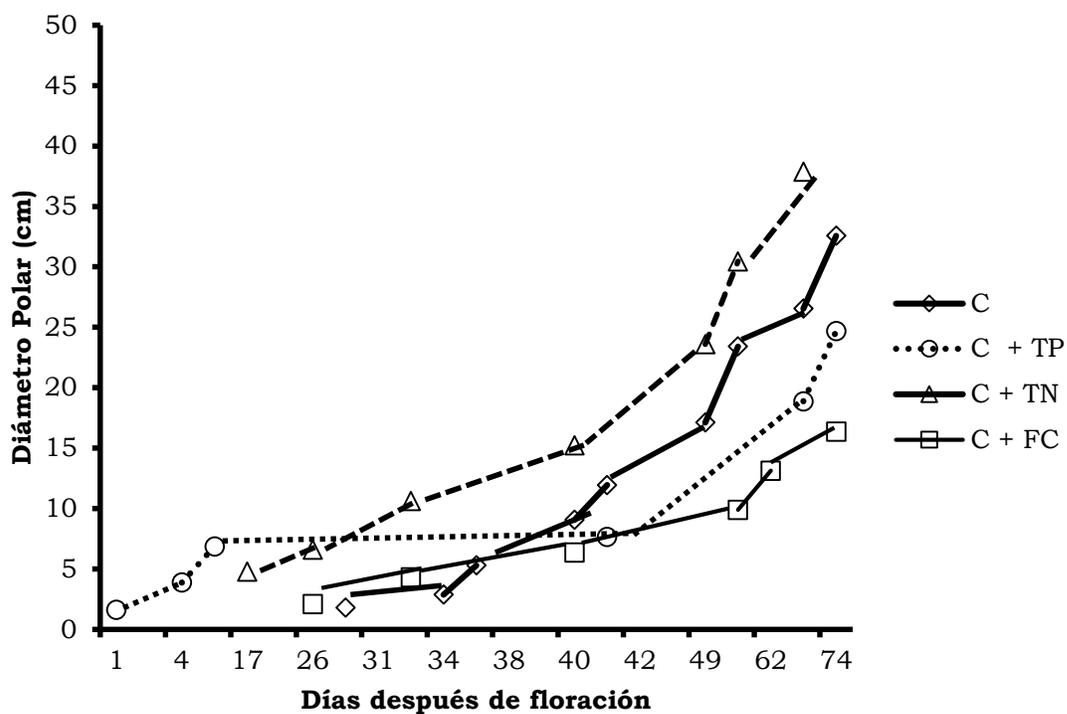


Figura 2A. Dinámica de crecimiento del diámetro polar del fruto en plantas regado con agua en fresa *cv.* Festival. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra Pómez; C + TN: Composta + Tezontle Negro; C + FC: Composta + Fibra de coco.

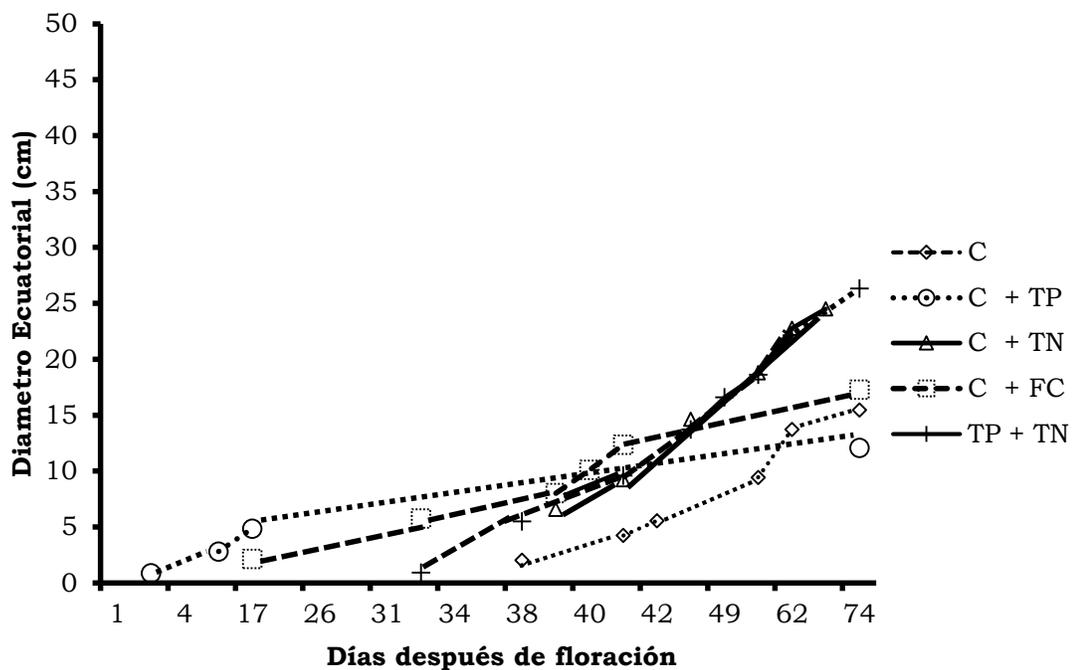


Figura 3A. Dinámica de crecimiento del diámetro ecuatorial del fruto en plantas de fresa *cv.* Festival regado con solución nutritiva. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra Pómez; C + TN: Composta + Tezontle Negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP + TN: Piedra Pómez + Tezontle Negro.

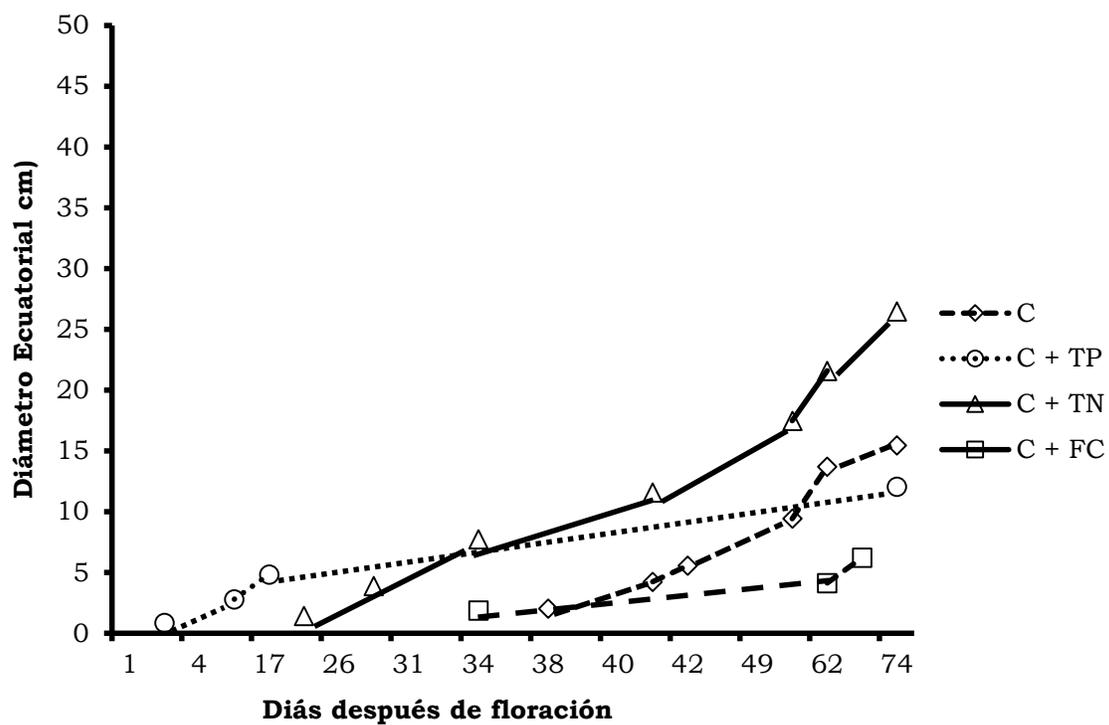


Figura 4A. Dinámica de crecimiento del diámetro ecuatorial del fruto en plantas de fresa *cv.* Festival regado con agua. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra Pómez; C + TN: Composta + Tezontle Negro; C + FC: Composta + Fibra de coco.

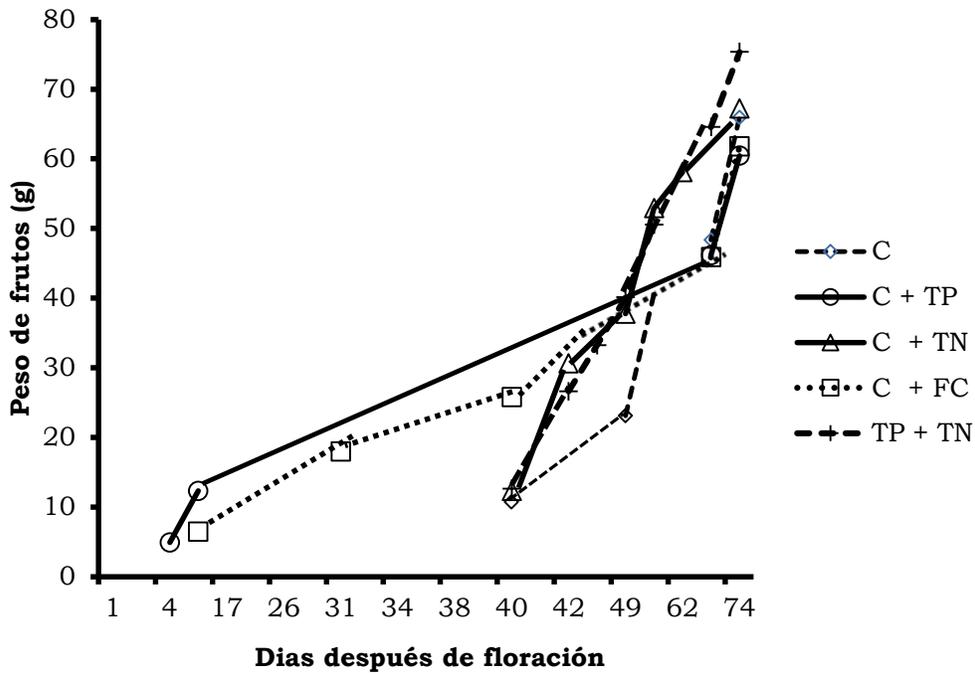


Figura 5A. Dinámica de crecimiento del peso del fruto en plantas de fresa cv. Festival regado con solución nutritiva. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra Pómez; C + TN: Composta + Tezontle Negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP + TN: Piedra pómez y tezontle negro.

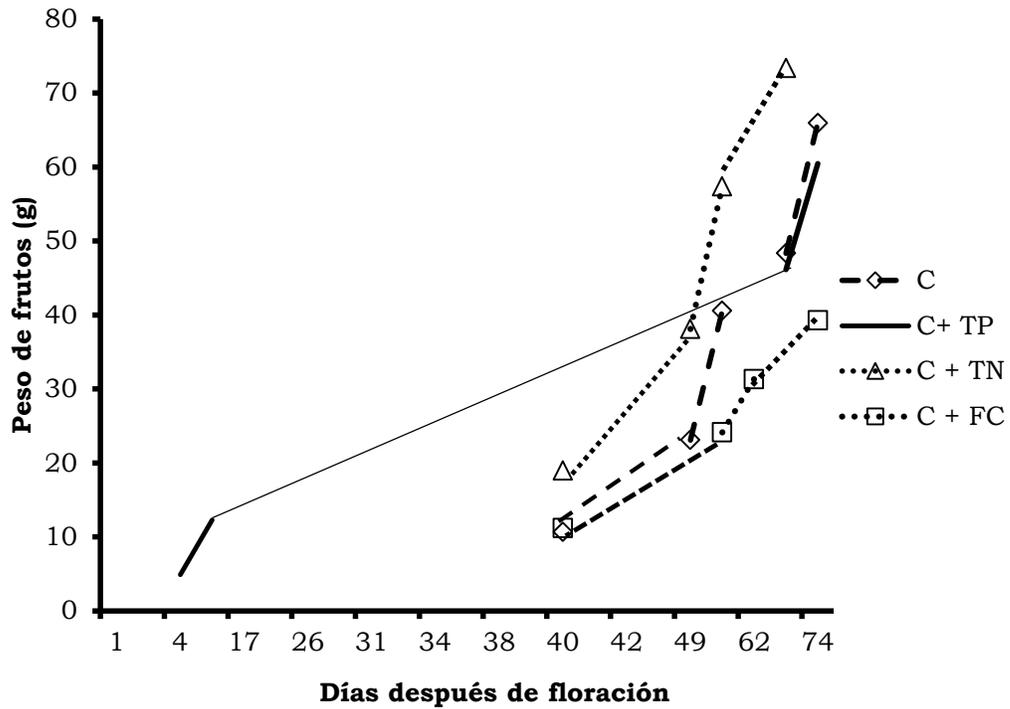


Figura 6A. Dinámica de crecimiento del peso de fruto en plantas de fresa cv. Festival regado con agua. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra Pómez; C + TN: Composta + Tezontle Negro; C + FC: Composta + Fibra de coco.

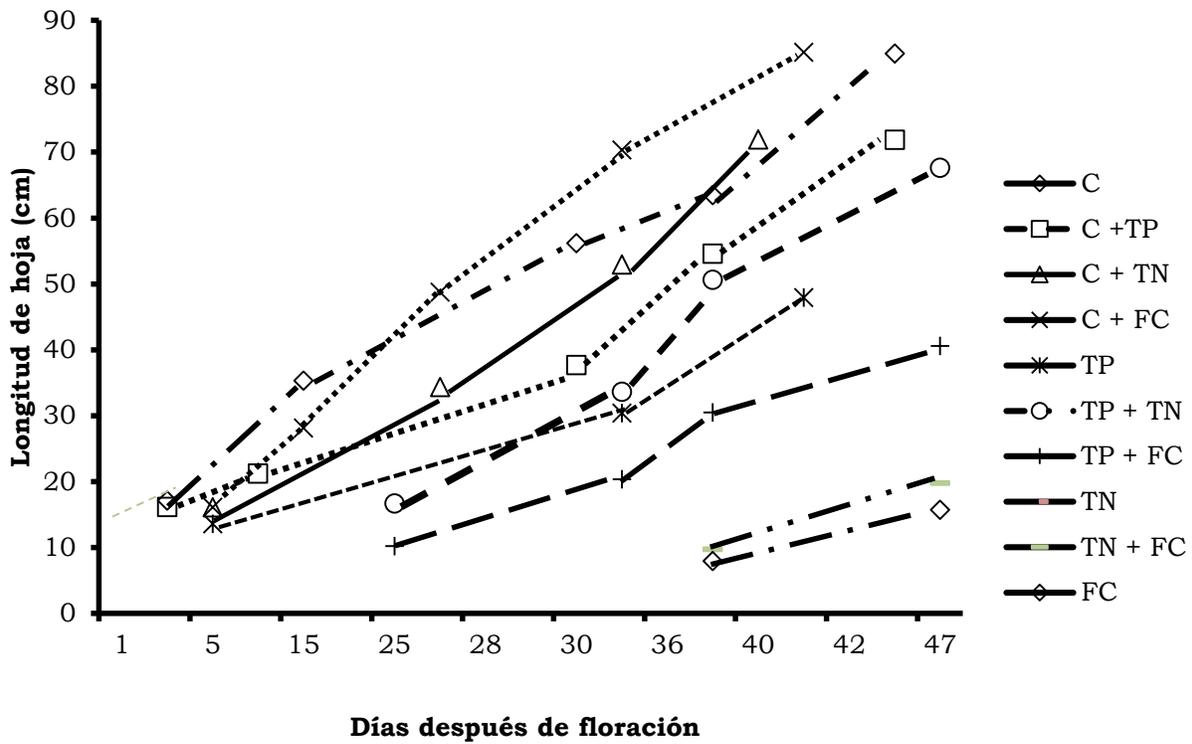


Figura 7A. Dinámica de crecimiento de la longitud de hoja en fresa cv. Festival regado con solución nutritiva. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TP + FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TN: Tezontle negro; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; FC: Fibra de coco.

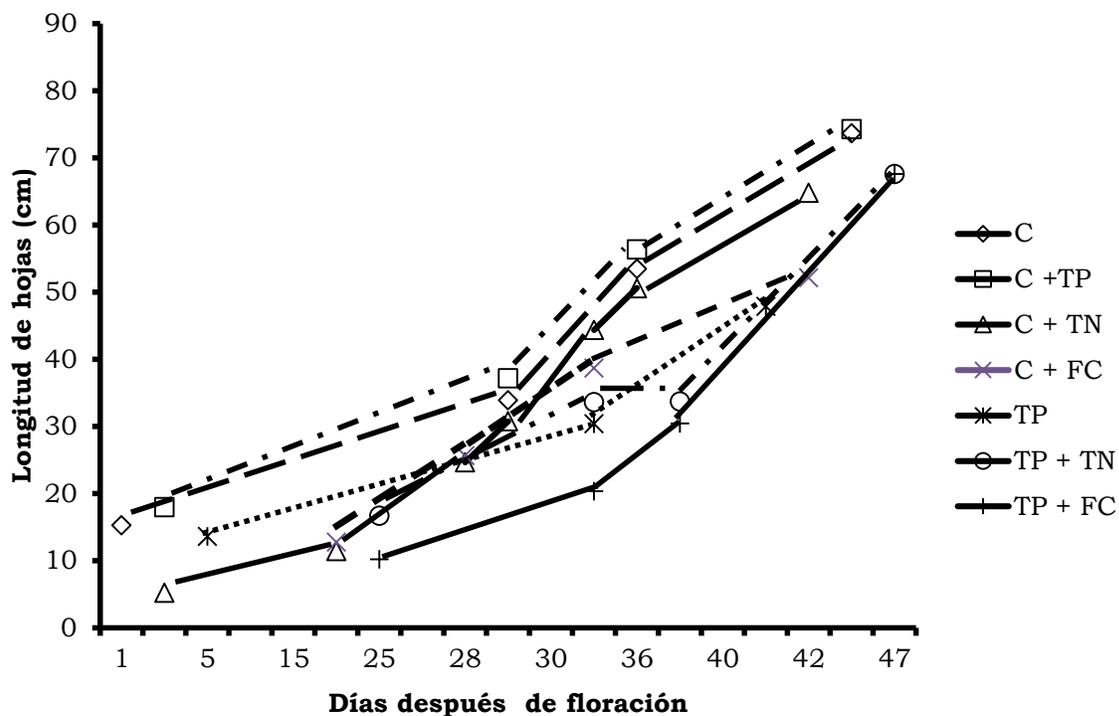


Figura 8A. Dinámica de crecimiento de la longitud de hoja en fresa cv Festival regado con agua. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TP + FC: Piedra pómez + Fibra de coco.

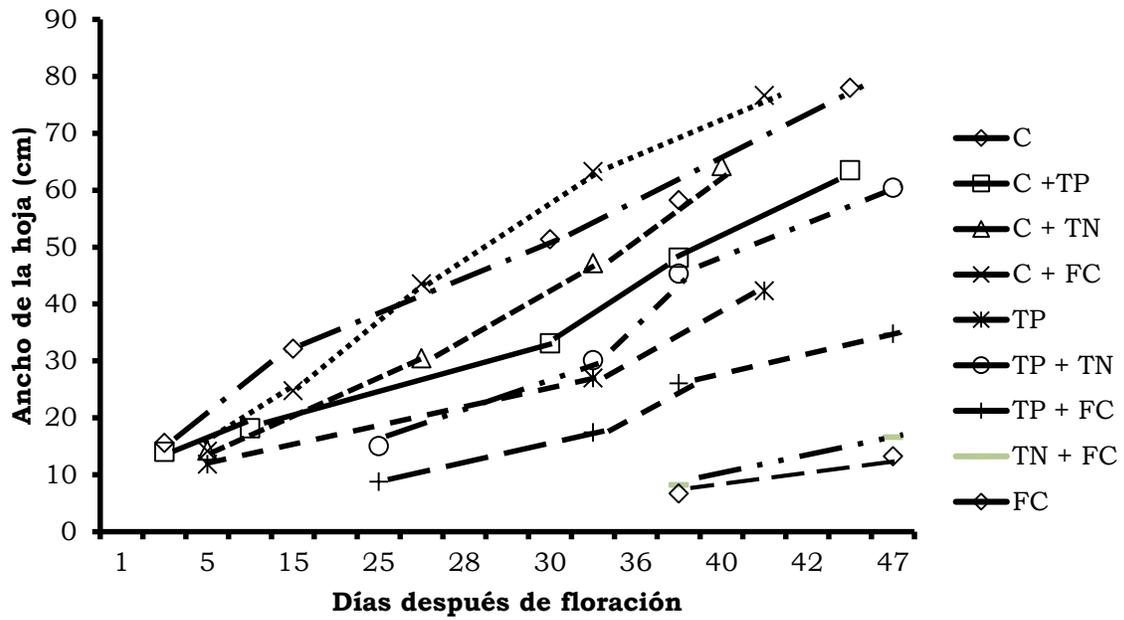


Figura 9A. Dinámica de crecimiento del ancho de hoja en fresa cv Festival regado con solución nutritiva. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TP + FC: Piedra pómez + Fibra de coco; TN: Tezontle negro; TN + FC: Tezontle negro + Fibra de coco; FC: Fibra de coco.

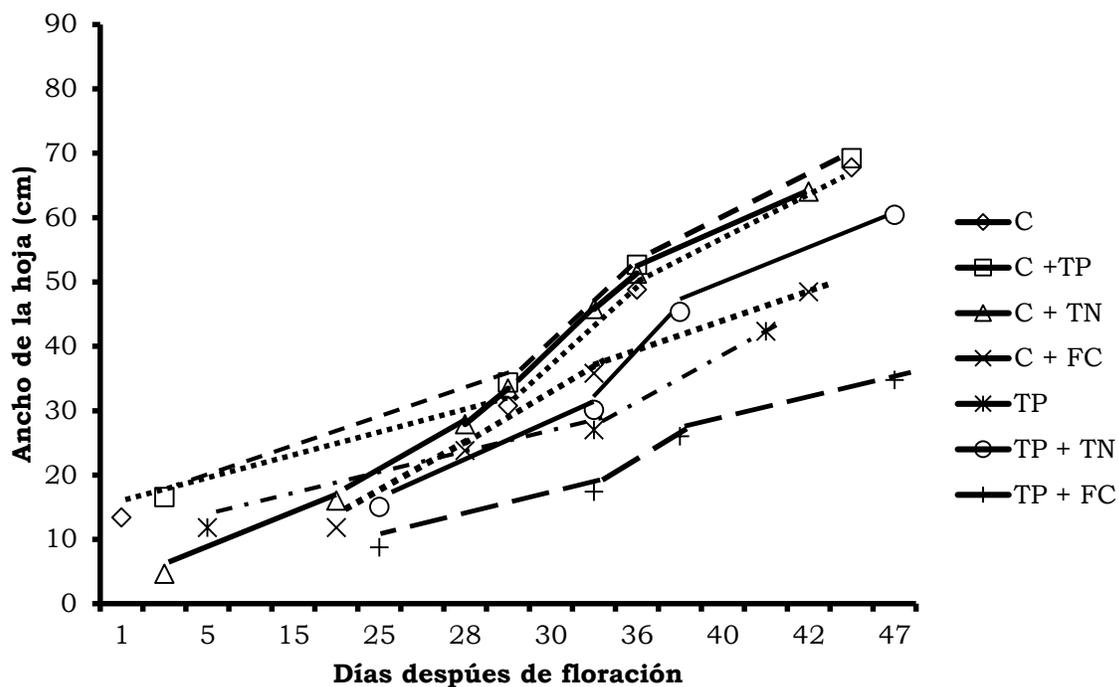


Figura 10A. Dinámica de crecimiento del ancho de hoja en fresa *cv* Festival regado con agua. C: Composta; C + TP: Composta + Piedra pómez; C + TN: Composta + Tezontle negro; C + FC: Composta + Fibra de coco; TP: Piedra pómez; TP + TN: Piedra pómez + Tezontle negro; TP + FC: Piedra pómez + Fibra de coco.