

# **TECNOLOGÍA DE AGRICULTURA URBANA PARA LAPRODUCCIÓN DE ALIMENTOS**

Clave: RD1315.1

Ing. Armando De Los Santos García  
M.C. Pedro Pacheco Hernández  
M.C. Juan Carlos Herrera Ponce  
M. Sc. Unland Weiss Helene E. K.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| 1. GUÍAS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y PRODUCCIÓN DE TRES MODELOS FÍSICOS DE AGRICULTURA URBANA ..... | 15 |
| 1.1. <i>Modelo de Producción Vertical en Tubos de P.V.C.</i> .....                             | 15 |
| 1.1.1. Descripción .....   | 15 |
| 1.1.2. Dispositivo Utilizado .....   | 15 |
| 1.1.3. Sustrato .....  | 17 |
| 1.1.3.1. Llenado del dispositivo .....   | 17 |
| 1.1.3.2. Desinfección del sustrato .....   | 19 |
| 1.1.4. Producción de los Cultivos.....   | 20 |
| 1.1.4.1. Cultivos utilizados .....   | 20 |
| 1.1.4.2. Trasplante .....  | 23 |
| 1.1.4.3. Riegos.....   | 24 |
| 1.1.4.4. Fertilización.....  | 26 |
| 1.1.4.5. Control de plagas y enfermedades .....  | 28 |
| 1.1.4.6. Cosecha .....   | 30 |
| 1.1.4.7. Resultados .....  | 34 |
| 1.1.5. Diseño Experimental de Producción en Tubo Vertical de P.V.C.....                        | 37 |
| 1.2. <i>Modelo de Producción en Capas</i> .....  | 41 |
| 1.2.1. Descripción .....   | 41 |
| 1.2.2. Dispositivo .....   | 41 |
| 1.2.3. Sustrato y Macetas Utilizados .....   | 43 |
| 1.2.3.1. Macetas .....   | 43 |
| 1.2.3.2. Sustrato.....   | 43 |
| 1.2.3.3. Llenado de macetas.....   | 45 |
| 1.2.3.4. Desinfección del sustrato en las macetas .....  | 46 |
| 1.2.4. Producción de Cultivos .....  | 47 |
| 1.2.4.1. Cultivos producidos .....   | 47 |
| 1.2.4.2. Trasplante .....  | 50 |
| 1.2.4.3. Siembra .....   | 51 |
| 1.2.4.4. Riegos y Fertilización .....  | 52 |
| 1.2.4.5. Control de plagas y enfermedades .....  | 54 |
| 1.2.4.6. Cosecha .....   | 55 |
| 1.2.4.7. Resultados .....  | 59 |
| 1.2.5. Diseño Experimental Dispositivos en Capas.....  | 63 |
| 1.3. <i>Módulo de Producción Hidropónica en Tubos de P.V.C.</i> .....                          | 65 |
| 1.3.1 Descripción .....  | 65 |
| 1.3.2. Revisión Bibliográfica .....  | 65 |
| 1.3.2.1. Hidroponía.....   | 65 |
| 1.3.2.2. Ventajas y desventajas .....  | 65 |

|   |            |
|---|------------|
| 1.3.2.3. Solución nutritiva.....  | 66         |
| 1.3.2.4. Técnica de la película nutriente (NFT por sus siglas en inglés).....             | 67         |
| 1.3.2.5. Flujo de la solución nutritiva.....  | 67         |
| 1.3.2.6. Oxigenación de la solución nutritiva.....  | 68         |
| 1.3.2.7. Pendiente de los canales.....  | 68         |
| 1.3.2.8. Duración y renovación de la solución nutritiva.....                              | 68         |
| 1.3.2.9. Manejo de cultivos en el sistema "NFT": lechuga.....                             | 69         |
| 1.3.3. Dispositivo hidropónico.....   | 69         |
| 1.3.3.1. Construcción del sistema de soporte.....   | 70         |
| 1.3.3.2. Construcción del sistema de conducción.....                                      | 74         |
| 1.3.4. Producción del Cultivo.....  | 83         |
| 1.3.4.1. Cultivo utilizado.....   | 83         |
| 1.3.4.2. Desinfección.....  | 86         |
| 1.3.4.3. Trasplante.....  | 87         |
| 1.3.4.4. Riego y fertilización.....   | 90         |
| 1.3.4.5. Plagas y enfermedades.....   | 96         |
| 1.3.4.6. Desordenes fisiológicos.....   | 98         |
| 1.3.4.7. Desarrollo del cultivo.....  | 99         |
| 1.3.4.8. Cosecha.....   | 102        |
| 1.3.4.9. Resultados.....  | 105        |
| 1.3.5. Diseño experimental.....   | 108        |
| <b>2. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS Y DE PROMOCIÓN PARA LA AGRICULTURA URBANA.....</b>      | <b>112</b> |
| 2.1. <i>Manejo de la Fertilidad en Macetas y Contenedores Individuales (en piso).....</i> | <i>112</i> |
| 2.1.1. Desarrollo.....  | 112        |
| 2.1.2. Sustratos.....   | 113        |
| 2.1.2.1 Lombricomposta.....   | 113        |
| 2.1.2.2. Mezcla de sustratos.....   | 114        |
| 2.1.2.3. Concentración de vermicomposta utilizada.....                                    | 114        |
| 2.1.3. Contenedores.....  | 115        |
| 2.1.4. Producción de cultivos.....  | 116        |
| 2.1.4.1. Trasplante.....  | 116        |
| 2.1.4.2. Siembra.....   | 117        |
| 2.1.4.3. Riegos y fertilización.....  | 119        |
| 2.1.4.4. Control de plagas y enfermedades.....  | 121        |
| 2.1.4.5. Cosecha.....   | 122        |
| 2.1.4.6. Resultados.....  | 125        |
| 2.1.5. Conclusiones.....  | 128        |
| 2.2. <i>Control de Plagas y Enfermedades.....</i>   | <i>129</i> |
| 2.2.1. Desarrollo de los cultivos.....  | 129        |
| 2.2.1.1. Sustratos.....   | 129        |
| 2.2.1.2. Macetas.....   | 131        |

|   |            |
|---|------------|
| 2.2.1.3. Llenado de macetas.....  | 132        |
| 2.2.1.4. Especies vegetales utilizadas.....                                     | 133        |
| 2.2.1.5. Trasplante.....  | 134        |
| 2.2.1.6. Riegos y fertilización.....  | 137        |
| 2.2.1.7. Control de Malezas.....  | 137        |
| 2.2.1.8. Control de plagas y enfermedades.....                                  | 138        |
| 2.2.1.9. Cosecha.....   | 142        |
| 2.2.1.10. Resultados.....   | 145        |
| 2.2.2. Conclusiones.....  | 147        |
| <b>2.3. Validación de un Composteador.....</b>                                  | <b>149</b> |
| <b>2.4. Asesoría Para implementación de Agricultura Urbana.....</b>             | <b>151</b> |
| 2.4.1. Metodología.....   | 151        |
| 2.4.2. Toma de video.....   | 151        |
| 2.4.3. Plática a alumnos de la Facultad de Horticultura de ðLa UNAMö.....       | 152        |
| <b>2.4.4. Curso de Agricultura Urbana.....</b>                                  | <b>154</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>  | <b>157</b> |
| 1. Análisis Químico Del Agua Utilizada Para El Riego.....                       | 160        |
| 2. Análisis Estadístico Del Modelo De Producción Vertical Hecho Con SAS.....    | 161        |
| 3. Análisis Estadístico Del Modelo De Producción En Capas Hecho Con SAS.....    | 164        |
| 4. Análisis Estadístico Del Módulo De Producción Hidropónica Hecho Con SAS..... | 169        |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Diseño de dispositivo. ....   | 15 |
| Figura 2. Dispositivo utilizado.....  | 16 |
| Figura 3. Membrana plástica en la base de cada tubo utilizado.....              | 16 |
| Figura 4. Mallas y varillas utilizadas. ....                                    | 16 |
| Figura 5. Muestra de mallas dentro del tubo. ....                               | 17 |
| Figura 6. Mezcla de sustrato utilizada. ....                                    | 17 |
| Figura 7. Orificios de producción tapados. ....                                 | 18 |
| Figura 8. Llenado de los tubos de P.V.C. ....                                   | 18 |
| Figura 9. Colocación de las mallas metálicas en los tubos de P.V.C. ....        | 18 |
| Figura 10. Inicio del humedecimiento del sustrato con agua.....                 | 19 |
| Figura 11. Preparación de la solución desinfectante. ....                       | 19 |
| Figura 12. Aplicación del desinfectante al sustrato en los tubos de P.V.C. .... | 20 |
| Figura 13. Fresas. ....   | 20 |
| Figura 14. Plántulas de Albahaca.....   | 21 |
| Figura 15. Plántulas de acelga utilizadas. ....                                 | 21 |
| Figura 16. Acelga adulta.....   | 22 |
| Figura 17. Lechuga. ....  | 22 |
| Figura 18. Producción de lechugas. ....   | 22 |
| Figura 19. Trasplante de los cultivos al tubo de P.V.C.....                     | 23 |
| Figura 20. Trasplante terminado. ....   | 23 |
| Figura 21. Tamaño del cepellón. ....  | 24 |
| Figura 22. Plántulas utilizadas.....  | 24 |
| Figura 23. Llenado del contenedor de riego. ....                                | 25 |
| Figura 24. Bote de plástico.....  | 25 |
| Figura 25. Tubín. ....  | 25 |
| Figura 26. Humedad en el sustrato. ....   | 26 |
| Figura 27. Tina de captación. ....  | 26 |
| Figura 28. Forma y color de los fertilizantes.....                              | 27 |
| Figura 29. Pesaje de los fertilizantes.....                                     | 27 |
| Figura 30. Disolución de fertilizante. ....                                     | 27 |
| Figura 31. Aplicación de la disolución de fertilizante al agua de riego. ....   | 28 |
| Figura 32. Daños de gusanos en hojas de albahaca. ....                          | 29 |
| Figura 33. Presencia de minadores en hojas. ....                                | 29 |
| Figura 34. Preparación de la solución en la bomba de aspersión. ....            | 29 |
| Figura 35. Aplicación de los agroquímicos a los cultivos.....                   | 30 |
| Figura 36. Fresas en proceso de maduración. ....                                | 30 |
| Figura 37. Productos cosechados. ....   | 31 |
| Figura 38. Lechuga antes de ser cosechada.....                                  | 31 |
| Figura 39. Lechugas cosechadas.....   | 31 |
| Figura 40. Albahaca cosechada. ....   | 32 |
| Figura 41. Brotes nuevos a partir de un punto de corte. ....                    | 32 |
| Figura 42. Colecta de Acelga. ....  | 33 |
| Figura 43. Acelga cosechada. ....   | 33 |
| Figura 44. Fresas lista para la cosecha.....                                    | 33 |
| Figura 45. Pesaje de fresas.....  | 34 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 46. Rendimientos obtenidos del tubo No. 1.....                   | 35 |
| Figura 47. Rendimientos obtenidos del tubo No. 2.....                   | 35 |
| Figura 48. Comparación de la producción de ambos tubos. ....            | 36 |
| Figura 49. Porcentaje de cada cultivo del tubo No.1. ....               | 36 |
| Figura 50. Porcentaje de cada cultivo del tubo No.2. ....               | 37 |
| Figura 51. Diseño de dispositivo utilizado. ....                        | 41 |
| Figura 52. De izquierda a derecha: Dispositivo 3, 2 y 1. ....           | 42 |
| Figura 53. Dispositivo terminado. ....                                  | 42 |
| Figura 54. Dispositivos en uso. ....                                    | 42 |
| Figura 55. Macetas de 10+y macetas de 7+.....                           | 43 |
| Figura 56. Sustratos utilizados. ....                                   | 44 |
| Figura 57. Realización de la mezcla de los sustratos.....               | 44 |
| Figura 58. Mezcla final. ....   | 44 |
| Figura 59. Llenado de macetas. ....                                     | 45 |
| Figura 60. Punto máximo de llenado.....                                 | 45 |
| Figura 61. Macetas llenas de sustrato.....                              | 46 |
| Figura 62. Disolución del fungicida en agua.....                        | 46 |
| Figura 63. Aplicación del producto en el sustrato de las macetas.....   | 47 |
| Figura 64. Chile jalapeño.....  | 49 |
| Figura 65. Orégano. ....  | 49 |
| Figura 66. Epazote. ....  | 50 |
| Figura 67. Trasplante de Chile jalapeño.....                            | 50 |
| Figura 68. Trasplante de orégano. ....                                  | 51 |
| Figura 69. Semilla de epazote utilizada.....                            | 51 |
| Figura 70. Siembra de semilla.....                                      | 52 |
| Figura 71. Macetas colocadas en sus respectivos lugares. ....           | 52 |
| Figura 72. Aplicación del riego. ....                                   | 53 |
| Figura 73. Obtención de la cantidad de fertilizante a utilizar. ....    | 53 |
| Figura 74. Disolución del fertilizante en agua.....                     | 53 |
| Figura 75. Vaciado de la solución en un recipiente plástico.....        | 54 |
| Figura 76. Solución de fosfato monopotásico lista. ....                 | 54 |
| Figura 77. Aplicaciones preventivas.....                                | 55 |
| Figura 78. Bomba manual de aspersion.....                               | 55 |
| Figura 79. Cosecha de orégano.....                                      | 56 |
| Figura 80. Pesaje de orégano. ....                                      | 56 |
| Figura 81. Cosecha de Epazote.....                                      | 57 |
| Figura 82. Brotes nuevos en epazote.....                                | 57 |
| Figura 83. Pesaje de epazote.....                                       | 57 |
| Figura 84. Manojos de epazote. ....                                     | 58 |
| Figura 85. Chiles con estrías.....                                      | 58 |
| Figura 86. Pesaje de chiles. ....                                       | 58 |
| Figura 87. Productos obtenidos.....                                     | 59 |
| Figura 88. Repartición del producto obtenido al personal del IMTA. .... | 59 |
| Figura 89. Producción en el dispositivo No. 1. ....                     | 61 |
| Figura 90. Producción en el dispositivo No. 2. ....                     | 61 |
| Figura 91. Producción en el dispositivo No. 3. ....                     | 62 |
| Figura 92. Comparación de la producción total.....                      | 62 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 93. Dispositivo hidropónico. ....  | 70 |
| Figura 94. PTR usado en la construcción de la base de herrería.....             | 70 |
| Figura 95. Base de herrería.....  | 71 |
| Figura 96. Dimensiones de la base. ....   | 71 |
| Figura 97. Dimensiones de los postes de la base. ....                           | 71 |
| Figura 98. Dimensiones de cada escuadra. ....                                   | 72 |
| Figura 99. Distancia entre escuadra y escuadra. ....                            | 72 |
| Figura 100. Pendiente de la tubería. ....                                       | 73 |
| Figura 101. Construcción de la base metálica.....                               | 73 |
| Figura 102. Vista lateral de escuadras. ....                                    | 74 |
| Figura 103. Sistema de soporte finalizado. ....                                 | 74 |
| Figura 104. Vista superior del sistema de conducción del dispositivo.....       | 75 |
| Figura 105. Medidas del sistema de conducción.....                              | 75 |
| Figura 106. Materiales utilizados en el ensamble del sistema de conducción..... | 76 |
| Figura 107. Segado de los tubos de P.V.C. ....                                  | 76 |
| Figura 108. Tubos de P.V.C., cortados a 2 m. ....                               | 76 |
| Figura 109. Distancia entre orificio y orificio.....                            | 77 |
| Figura 110. Broca con sacabocado utilizados.....                                | 77 |
| Figura 111. Realización de los orificios en los tubos. ....                     | 77 |
| Figura 112. Rebabas en cortes y perforaciones.....                              | 78 |
| Figura 113. Eliminación de las rebabas.....                                     | 78 |
| Figura 114. Cortes y perforaciones sin rebabas.....                             | 78 |
| Figura 115. Líquido limpiador para P.V.C., y trapo.....                         | 79 |
| Figura 116. Limpieza de piezas de P.V.C. ....                                   | 79 |
| Figura 117. Aplicación de una capa de pintura color negro.....                  | 79 |
| Figura 118. Aplicación de una capa de pintura color blanco. ....                | 80 |
| Figura 119. Codos de 90° y tubo de P.V.C., utilizados.....                      | 80 |
| Figura 120. Pegamento utilizado en el ensamble de las piezas de P.V.C.....      | 81 |
| Figura 121. Aplicación del pegamento en las áreas a unir. ....                  | 81 |
| Figura 122. Unión de las piezas de P.V.C.....                                   | 81 |
| Figura 123. Nivelación del dispositivo. ....                                    | 82 |
| Figura 124. Pruebas en el dispositivo.....                                      | 82 |
| Figura 125. Vista superior del dispositivo. ....                                | 83 |
| Figura 126. Dispositivo hidropónico terminado.....                              | 83 |
| Figura 127. Plántulas de lechuga utilizadas. ....                               | 84 |
| Figura 128. Lechuga Variedad %Romana+.....                                      | 85 |
| Figura 129. Lechuga Variedad %Francesa+.....                                    | 85 |
| Figura 130. Lechuga Variedad %Francesa roja+.....                               | 85 |
| Figura 131. Lechuga Variedad %Lolo rosa+.....                                   | 86 |
| Figura 132. Utilización de cloro para la desinfección del dispositivo. ....     | 86 |
| Figura 133. Aplicación de fungicida preventivo. ....                            | 87 |
| Figura 134. Vaso del número %0+.....  | 87 |
| Figura 135. Eliminación del fondo en los vasos de plástico. ....                | 88 |
| Figura 136. Seccionado de las paredes de los vasos. ....                        | 88 |
| Figura 137. Servilletas %Magitela+.....   | 88 |
| Figura 138. Tramos cortados. ....   | 89 |
| Figura 139. Plántulas envueltas en %magitela+.....                              | 89 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 140. Preparación de plántulas para el trasplante. ....              | 89  |
| Figura 141. Realización del trasplante al dispositivo. ....                | 90  |
| Figura 142. Recipiente hidropónico. ....                                   | 90  |
| Figura 143. Tapa del contenedor. ....                                      | 91  |
| Figura 144. Bomba sumergible utilizada. ....                               | 91  |
| Figura 145. Agua de riego en el contenedor. ....                           | 92  |
| Figura 146. Flujo entrante al sistema de conducción. ....                  | 92  |
| Figura 147. Temporizador utilizado. ....                                   | 92  |
| Figura 148. Obtención de los gramos necesarios de cada fertilizante. ....  | 94  |
| Figura 149. Medición del volumen a utilizar. ....                          | 94  |
| Figura 150. Fertilizantes ya pesados. ....                                 | 95  |
| Figura 151. Disolución de los fertilizantes. ....                          | 95  |
| Figura 152. Vaciado de la solución nutritiva al bote de plástico. ....     | 95  |
| Figura 153. Pesaje del producto para cada aplicación. ....                 | 96  |
| Figura 154. Disolución del producto en agua. ....                          | 96  |
| Figura 155. Bomba aspersora. ....  | 97  |
| Figura 156. Aplicación de insecticidas y fungicidas. ....                  | 97  |
| Figura 157. Aplicación de fungicida en riego. ....                         | 97  |
| Figura 158. Deficiencia de hierro; presentada en la segunda semana. ....   | 98  |
| Figura 159. Elongación del tallo; presentada en la tercera semana. ....    | 98  |
| Figura 160. Decoloración de lechugas; a partir de la cuarta semana. ....   | 99  |
| Figura 161. Primera semana después del trasplante. ....                    | 99  |
| Figura 162. Desarrollo del sistema radical. ....                           | 100 |
| Figura 163. Dos semanas después del trasplante. ....                       | 100 |
| Figura 164. Tres semanas después del trasplante. ....                      | 100 |
| Figura 165. Cuatro semanas después del trasplante. ....                    | 101 |
| Figura 166. Cinco semanas después del trasplante. ....                     | 101 |
| Figura 167. Seis Semanas después del trasplante. ....                      | 101 |
| Figura 168. Siete Semanas después del trasplante (semana de cosecha). .... | 102 |
| Figura 169. Extracción de lechugas. ....                                   | 102 |
| Figura 170. Eliminación de raíces. ....                                    | 103 |
| Figura 171. Pesaje de lechugas. ....                                       | 103 |
| Figura 172. Lechugas cosechadas. ....                                      | 103 |
| Figura 173. Distribución de lechugas con el personal del IMTA. ....        | 104 |
| Figura 174. Variedad %Romana+. ....  | 104 |
| Figura 175. Variedad %Francesa+. ....                                      | 104 |
| Figura 176. Variedad %Francesa roja+. ....                                 | 105 |
| Figura 177. Variedad %Lolo Rosa+. ....                                     | 105 |
| Figura 178. Promedio de planta por variedad. ....                          | 107 |
| Figura 179. Rendimiento por variedad. ....                                 | 107 |
| Figura 180. Porcentaje de la producción por variedad. ....                 | 107 |
| Figura 181. Cajas plásticas y sustrato. ....                               | 112 |
| Figura 182. Lombricomposta utilizada. ....                                 | 113 |
| Figura 183. Peso por litro de lombricomposta. ....                         | 113 |
| Figura 184. Mezcla de sustratos. ....                                      | 114 |
| Figura 185. Sustrato con 10 % de vermicomposta. ....                       | 115 |
| Figura 186. Sustrato con 20 % de vermicomposta. ....                       | 115 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 187. Caja plástica modelo A.....  | 116 |
| Figura 188. Caja plástica modelo B.....  | 116 |
| Figura 189. Raíces de té limón sin sustrato. ....                                  | 117 |
| Figura 190. Planta de té limón trasplantada.....                                   | 117 |
| Figura 191. Semillas de cilantro. ....   | 118 |
| Figura 192. Siembra de cilantro. ....  | 118 |
| Figura 193. Aplicación de una capa de sustrato.....                                | 119 |
| Figura 194. Primeras hojas verdaderas de plantas de cilantro.....                  | 119 |
| Figura 195. Aplicación de los riegos en los cultivos. ....                         | 120 |
| Figura 196. Fertilizantes disueltos aportados en el experimento.....               | 121 |
| Figura 197. Agroquímicos aplicados. ....   | 121 |
| Figura 198. Aplicaciones preventivas.....  | 122 |
| Figura 199. Cosecha de cilantro.....   | 122 |
| Figura 200. Pesaje de cilantro.....  | 123 |
| Figura 201. Manojos de cilantro. ....  | 123 |
| Figura 202. Coloración marrón en puntas de las hojas de Té limón. ....             | 124 |
| Figura 203. Cosecha de Té limón. ....  | 124 |
| Figura 204. Pesaje de Té limón.....  | 124 |
| Figura 205. Manojos de té limón. ....  | 125 |
| Figura 206. Rafia utilizada.....   | 125 |
| Figura 207. Rendimiento total de Té limón por tratamiento.....                     | 126 |
| Figura 208. Rendimiento de Té limón en porcentaje.....                             | 127 |
| Figura 209. Rendimiento total de Cilantro por tratamiento. ....                    | 127 |
| Figura 210. Rendimiento de Cilantro en porcentaje. ....                            | 127 |
| Figura 211. Comparación entre ambos cultivos. ....                                 | 128 |
| Figura 212. Tierra de monte. ....  | 129 |
| Figura 213. Tierra de hoja. ....   | 130 |
| Figura 214. Gravilla de tezontle.....  | 130 |
| Figura 215. Mezcla parcial de sustratos. ....                                      | 130 |
| Figura 216. Mezcla final. ....   | 131 |
| Figura 217. Macetas utilizadas.....  | 131 |
| Figura 218. Identificación de macetas a utilizar con el tratamiento número 2. .... | 132 |
| Figura 219. Macetas marcadas. ....   | 132 |
| Figura 220. Humedecimiento del sustrato en las macetas. ....                       | 133 |
| Figura 221. Sustrato humedecido. ....  | 133 |
| Figura 222. Aplicación del fungicida al sustrato. ....                             | 133 |
| Figura 223. Planta de hierbabuena. ....  | 134 |
| Figura 224. Plántulas utilizadas.....  | 134 |
| Figura 225. Realización de orificios en el sustrato. ....                          | 135 |
| Figura 226. Orificios en el sustrato de las macetas.....                           | 135 |
| Figura 227. Trasplante de plántulas. ....  | 135 |
| Figura 228. Trasplante de hierbabuena.....   | 136 |
| Figura 229. Macetas terminadas de trasplantar. ....                                | 136 |
| Figura 230. Macetas acomodadas para el desarrollo del cultivo.....                 | 136 |
| Figura 231. Inflorescencia y formación de frutos en plantas de chile. ....         | 137 |
| Figura 232. Aplicación del agua de riego. ....                                     | 137 |
| Figura 233. Presencia de maleza en las macetas.....                                | 138 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 234. Eliminación de hierbas en las macetas. ....                        | 138 |
| Figura 235. Medición del producto a utilizar. ....                             | 139 |
| Figura 236. Disolución de "aceite de Neem" y de sulfato de cobre. ....         | 139 |
| Figura 237. Vaciado de las soluciones a la bomba de aspersión. ....            | 139 |
| Figura 238. Aplicación a los cultivos. ....                                    | 140 |
| Figura 239. Sulfato de cobre y aceite de "Neem". ....                          | 140 |
| Figura 240. Obtención del extracto de "ajo". ....                              | 140 |
| Figura 241. Obtención del extracto de "Cola de caballo". ....                  | 141 |
| Figura 242. Extracto de "Cola de caballo". ....                                | 141 |
| Figura 243. Aplicación del "extracto de cola de caballo". ....                 | 141 |
| Figura 244. Hormiga arriera. ....  | 142 |
| Figura 245. Aplicación de insecticida para prevenir "la hormiga arriera". .... | 142 |
| Figura 246. Planta de acelga con hojas adecuadas para la cosecha. ....         | 143 |
| Figura 247. Planta de acelga después de la cosecha. ....                       | 143 |
| Figura 248. Cosecha de hierbabuena. ....                                       | 143 |
| Figura 249. Pesaje y anotación del rendimiento. ....                           | 144 |
| Figura 250. Obtención del rendimiento de acelga. ....                          | 144 |
| Figura 251. Cosecha de chiles. ....  | 145 |
| Figura 252. Pesaje de frutos de chile de cada planta. ....                     | 145 |
| Figura 253. Distribución de la cosecha al personal. ....                       | 145 |
| Figura 254. Rendimientos del tratamiento número 1. ....                        | 146 |
| Figura 255. Rendimientos del tratamiento número 2. ....                        | 147 |
| Figura 256. Comparación del rendimiento de cada cultivo. ....                  | 147 |
| Figura 257. Porcentaje de producción para cada cultivo. ....                   | 147 |
| Figura 258. Toma de video del módulo hidropónico. ....                         | 151 |
| Figura 259. Inspección de la toma de video. ....                               | 151 |
| Figura 260. Toma de video de las semillas de varios cultivos. ....             | 152 |
| Figura 261. Presentación del dispositivo. ....                                 | 152 |
| Figura 262. Exposición a cerca de la hidroponía. ....                          | 153 |
| Figura 263. Plática sobre la fertilización de los cultivos. ....               | 153 |
| Figura 264. Lista de asistencia. ....  | 153 |

## INDICE DE CUADROS

|   |     |
|---|-----|
| Cuadro 1. Fórmula de fertilización.....                                       | 28  |
| Cuadro 2. Rendimientos del tubo No. 1.....                                    | 34  |
| Cuadro 3. Rendimientos del tubo No. 2.....                                    | 35  |
| Cuadro 4. Diseño experimental bloques al azar.....                            | 37  |
| Cuadro 5. Localización de cada tratamiento.....                               | 38  |
| Cuadro 6. Rendimiento de cada bloque.....                                     | 38  |
| Cuadro 7. Rendimiento de cada tratamiento.....                                | 38  |
| Cuadro 8. Análisis estadístico.....   | 38  |
| Cuadro 9. Promedios de producción de lechuga.....                             | 38  |
| Cuadro 10. Promedios en orden decreciente.....                                | 39  |
| Cuadro 11. Características por dispositivo.....                               | 42  |
| Cuadro 12. Fórmula de fertilización.....                                      | 54  |
| Cuadro 13. Resultados del dispositivo 1.....                                  | 60  |
| Cuadro 14. Resultados del dispositivo 2.....                                  | 60  |
| Cuadro 15. Resultados del dispositivo 3.....                                  | 60  |
| Cuadro 16. Promedios de los rendimientos obtenidos en cada cultivo.....       | 64  |
| Cuadro 17. Tabla de análisis de varianza.....                                 | 64  |
| Cuadro 18. Posicionamiento de las escuadras en cada poste en diagonal.....    | 73  |
| Cuadro 19. Características de variedades de lechuga utilizadas.....           | 86  |
| Cuadro 21. Horario de encendido y apagado de la bomba sumergible.....         | 93  |
| Cuadro 22. Solución nutritiva empleada.....                                   | 93  |
| Cuadro 23. Rendimiento por planta producida.....                              | 106 |
| Cuadro 24. Promedio del rendimiento por planta.....                           | 106 |
| Cuadro 25. Rendimiento por repetición.....                                    | 106 |
| Cuadro 26. Rendimiento por variedad.....                                      | 106 |
| Cuadro 31. Tratamientos utilizados en el experimento.....                     | 108 |
| Cuadro 32. Mapa de localización de tratamientos y repeticiones aplicados..... | 108 |
| Cuadro 33. Datos de cosecha de lechuga.....                                   | 109 |
| Cuadro 34. Análisis de varianza.....  | 109 |
| Cuadro 35. Promedios de producción de lechuga.....                            | 109 |
| Cuadro 36. Promedios en orden decreciente.....                                | 109 |
| Cuadro 41. Dimensiones de las cajas de plástico.....                          | 115 |
| Cuadro 42. Fórmula de fertilización.....                                      | 120 |
| Cuadro 43. Rendimiento obtenido en la producción de Té limón.....             | 126 |
| Cuadro 44. Rendimiento obtenido en la producción de Cilantro.....             | 126 |
| Cuadro 45. Productos utilizados.....  | 138 |
| Cuadro 46. Distribución de cultivos para su producción.....                   | 146 |
| Cuadro 47. Rendimientos obtenidos.....  | 146 |





# 1. GUÍAS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y PRODUCCIÓN DE TRES MODELOS FÍSICOS DE AGRICULTURA URBANA

## 1.1. Modelo de Producción Vertical en Tubos de P.V.C.

### 1.1.1. Descripción

Se realizó un experimento en el que se aplicaron 4 tratamientos, los tratamientos consistieron en 4 diferentes cultivos (lechuga, albahaca, acelga y fresa), estos cultivos fueron producidos en un tubo de P.V.C., colocado de forma vertical, cada tratamiento tuvo 4 repeticiones, y cada repetición estuvo compuesta por una sola planta.

### 1.1.2. Dispositivo Utilizado

El dispositivo utilizado en este experimento fue un tubo de P.V.C., de 8+ de diámetro interno, que mide 1.6 m de largo, y está seccionado a lo largo en seis secciones iguales, en cada sección se realizaron a los costados 4 perforaciones de 2+ de diámetro. En la parte inferior del tubo se colocó una cubierta plástica la cual está sujeta con unas varillas (figuras 1 a 3).

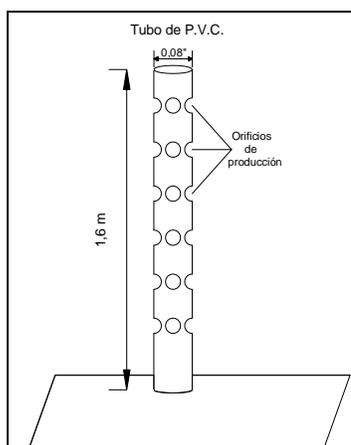


Figura 1. Diseño de dispositivo.



Figura 2. Dispositivo utilizado.



Figura 3. Membrana plástica en la base de cada tubo utilizado.

En los costados de los tubos, fueron realizados pequeños orificios circulares en los cuales fueron colocadas dos mallas metálicas sujetadas por dos varillas cada uno, estas mallas estuvieron ubicadas a un tercio y a dos tercios de la longitud del tubo de P.V.C., (figuras 4 y 5). Las mallas fueron colocadas para evitar que el sustrato se compactara.

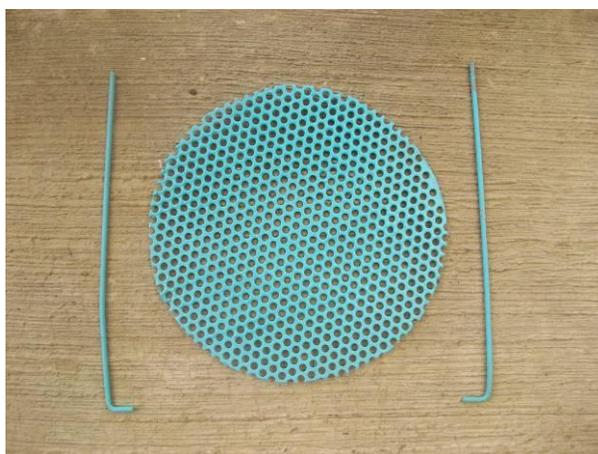


Figura 4. Mallas y varillas utilizadas.

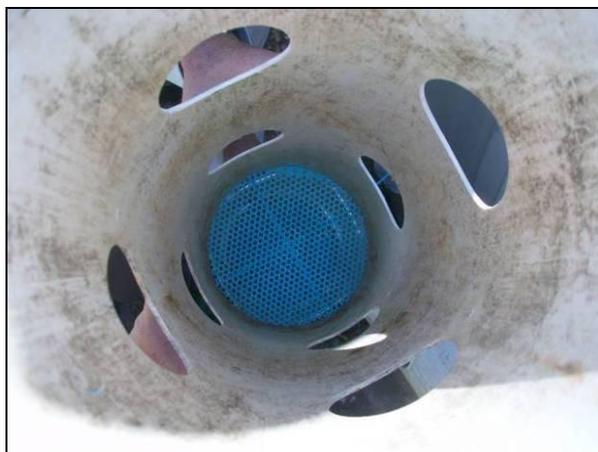


Figura 5. Muestra de mallas dentro del tubo.

### 1.1.3. Sustrato

El sustrato utilizado para desarrollar los cultivos en el experimento fue una mezcla hecha con tierra de hoja, tierra de monte, y gravilla de tezontle en una proporción de 40, 40 y 20 % respectivamente (figura 6).



Figura 6. Mezcla de sustrato utilizada.

#### 1.1.3.1. Llenado del dispositivo

Antes de introducir el sustrato al interior de los tubos de P.V.C., cada orificio de producción de ambos tubos fue tapado con cinta aislante para impedir que el sustrato saliera del tubo a la hora de llenarse (figura 7).



Figura 7. Orificios de producción tapados.

Con el sustrato antes mencionado, fueron llenados ambos tubos de P.V.C. El sustrato fue introducido a través de la parte superior de cada tubo (figura 8), después de haber llenado cada tercio del tubo, fueron introducidas y colocadas cada malla metálica (figura 9).



Figura 8. Llenado de los tubos de P.V.C.



Figura 9. Colocación de las mallas metálicas en los tubos de P.V.C.

### 1.1.3.2. Desinfección del sustrato

Como requisito para poder desinfectar el sustrato para prevenir presencia de enfermedades, todo el sustrato fue humedecido con agua (figura 10), esto con el fin de que el desinfectante penetrara más rápido y más fácilmente en el sustrato húmedo.



Figura 10. Inicio del humedecimiento del sustrato con agua.

Ya humedecido todo el sustrato, se realizó la desinfección aplicando una solución de biofanato metílico a una concentración de  $1 \text{ g/L}^{-1}$  de agua (figura 11), con el sustrato desinfectado podemos prevenir enfermedades fúngicas como pythium y rhizoctonia (figura 12).



Figura 11. Preparación de la solución desinfectante.



Figura 12. Aplicación del desinfectante al sustrato en los tubos de P.V.C.

#### 1.1.4. Producción de los Cultivos

##### 1.1.4.1. Cultivos utilizados

Los cuatro cultivos utilizados en este experimento fueron:

- Lechuga (*Lactuca sativa*).
- Albahaca (*Ocimum basilicum*).
- Acelga (*Veta vulgaris*).
- Fresa (*Fragaria vesca*).

##### a) Fresa

La fresa es una planta herbácea, y su órgano comestible es una inflorescencia la cual al crecer es color rojizo muy utilizado en la repostería y en la medicina tradicional (figura 13).

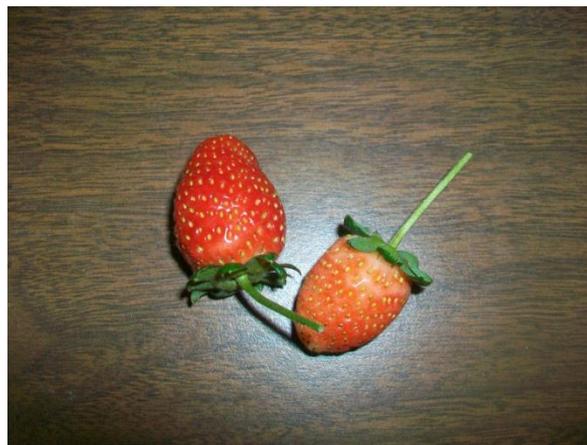


Figura 13. Fresas.

b) Albahaca

La albahaca (figura 14), es una planta herbácea originaria de Irán, la cual es muy utilizada en la gastronomía mediterránea.



Figura 14. Plántulas de Albahaca.

c) Acelga

Es una planta herbácea de hojas grandes color verde brillante, es originaria de Europa meridional (figura 15 y 16).



Figura 15. Plántulas de acelga utilizadas.



Figura 16. Acelga adulta.

#### d) Lechuga

La lechuga (figuras 17 y 18), es una planta anual de días largos y de un ciclo corto, puede ser consumida preferentemente en un estado fonológico joven, desarrolla una roseta de hojas enteras de diversos colores.



Figura 17. Lechuga.



Figura 18. Producción de lechugas.

#### 1.1.4.2. Trasplante

Con el sustrato desinfectado en cada tubo, fue realizado el trasplante de los cultivos, estos fueron plantados en los orificios de producción de cada tubo (figura 19 y 20), en la porción de sustrato de cada orificio, fue realizado un hueco del tamaño del cepellón de las plántulas (figura 21), en ese hueco fueron colocadas cada una de las especies vegetales utilizadas. Para facilitar el trasplante fueron utilizadas plántulas pequeñas (figura 22), de lo contrario el trasplante se dificulta.



Figura 19. Trasplante de los cultivos al tubo de P.V.C.



Figura 20. Trasplante terminado.



Figura 21. Tamaño del cepellón.



Figura 22. Plántulas utilizadas.

#### 1.1.4.3. Riegos

Cada riego fue aplicado utilizando un bote de plástico de 5 litros de capacidad, dentro de este bote era depositada el agua de riego (figura 23), posteriormente el bote era colgado de un alambre (figura 24) y de ahí el agua pasaba del recipiente a la parte superior del tubo por medio de un tubín (figura 25), la humedad descendía a través del sustrato (figura 26), desde la parte más alta hasta la parte inferior, donde el exceso era retenido en una tina de plástico (figura 27).



Figura 23. Llenado del contenedor de riego.



Figura 24. Bote de plástico.



Figura 25. Tubín.



Figura 26. Humedad en el sustrato.



Figura 27. Tina de captación.

#### 1.1.4.4. Fertilización

La fertilización fue aplicada a estos dispositivos por medio del fertirriego, es decir que en el agua de riego aplicada eran disueltos todos los fertilizantes útiles para el crecimiento y el desarrollo de los cultivos. Todas las sales nutritivas utilizadas eran solubles, en diversas formas y colores (figura 28).



Figura 28. Forma y color de los fertilizantes.

Cada nutriente fue pesado en una báscula digital (figura 29), después de pesados, cada fertilizante fue disuelto en una cantidad conocida de agua (figura 30), la cual era vaciada a un contenedor de plástico para poder realizar una Solución Nutritiva (SN) (figura 31).



Figura 29. Pesaje de los fertilizantes.



Figura 30. Disolución de fertilizante.



Figura 31. Aplicación de la disolución de fertilizante al agua de riego.

Al tener una producción de varios cultivos diferentes, fue utilizada una fórmula de fertilización general, la cual tiene las cantidades necesarias de iones para nutrir a los 4 cultivos utilizados (cuadro 1).

Cuadro 1. Fórmula de fertilización.

| No. | Parámetro                                   | Cantidad<br>(mmol/L <sup>-1</sup> )<br>o Valor* |
|-----|---|---|
| 1   | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | 10.0  |
| 2   | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | 1.0   |
| 3   | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>               | 4.0   |
| 4   | K <sup>+</sup>                              | 6.0   |
| 5   | Ca <sup>++</sup>                            | 6.0   |
| 6   | Mg <sup>++</sup>                            | 3.0   |
| 7   | pH  | 6.0*  |
| 8   | C.E.  | 2.0*  |

#### 1.1.4.5. Control de plagas y enfermedades

Fueron realizadas varias aplicaciones para prevenir la presencia de plagas y enfermedades, aun así se presentaron problemas de gusanos y minadores (figuras 32 y 33), las aplicaciones de los productos agroquímicos fue realizada utilizando una bomba de aspersion manual (figura 34), en esta bomba eran preparados 4 litros de producto, y éste era asperjado al follaje de los cultivos presentes en el tubo (figura 35).



Figura 32. Daños de gusanos en hojas de albahaca.



Figura 33. Presencia de minadores en hojas.



Figura 34. Preparación de la solución en la bomba de aspersión.



Figura 35. Aplicación de los agroquímicos a los cultivos.

#### 1.1.4.6. Cosecha

La cosecha fue realizada cuando los cultivos producidos bajo este esquema presentaban varios órganos de interés (frutos, hojas, tallos o raíces) listos para el consumo (figura 36 y 37). En el caso de las fresas el órgano de interés fueron las inflorescencias o frutillas, para la acelga, albahaca y lechuga el órgano de interés fueron las hojas.



Figura 36. Fresas en proceso de maduración.



Figura 37. Productos cosechados.

En el caso de la lechuga, para realizar la cosecha, era retirada toda la cabeza, retirando las raíces y pesando sólo la parte de interés para el consumidor (figuras 38 y 39).

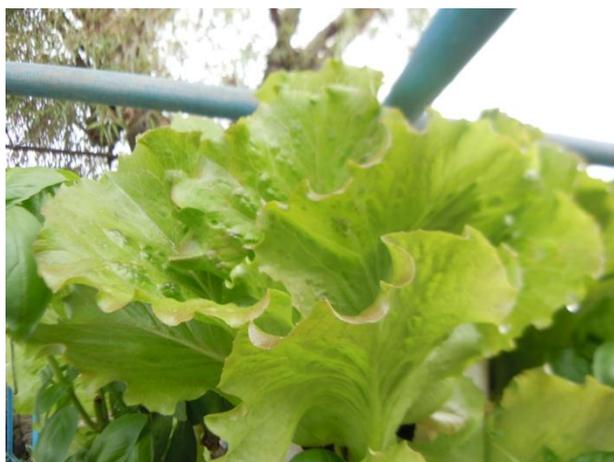


Figura 38. Lechuga antes de ser cosechada.



Figura 39. Lechugas cosechadas.

La albahaca era cosechada cortando con unas tijeras, los tallos más desarrollados y maduros (figura 40), debajo del punto de corte eran dejadas dos yemas axilares para asegurar en el futuro más tallos para cosechar (figura 41).



Figura 40. Albahaca cosechada.



Figura 41. Brotes nuevos a partir de un punto de corte.

Para cosechar la acelga, individualmente, cada hoja era arrancada de la planta (figura 42), para después pesar el total de las hojas obtenidas. Las hojas cosechadas eran totalmente maduras sin importar el tamaño de estas (figura 43).



Figura 42. Colecta de Acelga.



Figura 43. Acelga cosechada.

Las fresas eran recogidas de las plantas cuando presentaban una coloración rojiza (figura 44), característica de madurez del órgano de interés (la inflorescencia), los frutos enseguida de cortarlos eran pesados (figura 45), para anotar el rendimiento y el origen de cada fruto cosechado.



Figura 44. Fresas lista para la cosecha.



Figura 45. Pesaje de fresas.

#### 1.1.4.7. Resultados

Los resultados obtenidos de cada cosecha realizada en cada cultivo, fueron anotados para poder realizar una comparación, estos datos son mostrados en los cuadros 2 y 3, y en las figuras 46 y 47, y en ellos se puede apreciar que el cultivo de acelga es el cultivo que mejor rendimiento en la producción vertical.

Cuadro 2. Rendimientos del tubo No. 1.

| Cultivo          | Repetición | Rendimiento Por Repetición (g) | Total (g)   |
|------------------|------------|--------------------------------|-------------|
| Lechuga          | 1          | 587                            | 1800        |
|                  | 2          | 450                            |             |
|                  | 3          | 366                            |             |
|                  | 4          | 397                            |             |
| Albahaca         | 1          | 358                            | 1080        |
|                  | 2          | 253                            |             |
|                  | 3          | 245                            |             |
|                  | 4          | 224                            |             |
| Acelga           | 1          | 448                            | 1479        |
|                  | 2          | 451                            |             |
|                  | 3          | 217                            |             |
|                  | 4          | 363                            |             |
| Fresa            | 1          | 79                             | 166         |
|                  | 2          | 13                             |             |
|                  | 3          | 74                             |             |
|                  | 4          | 0                              |             |
| <b>Total (g)</b> |            |                                | <b>4525</b> |

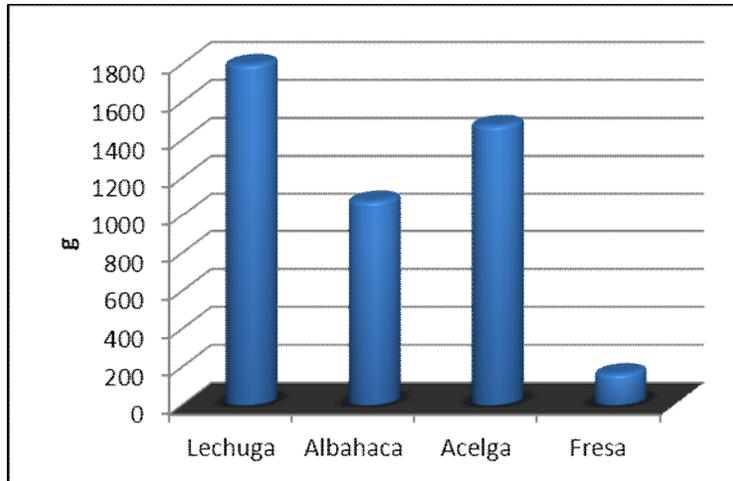


Figura 46. Rendimientos obtenidos del tubo No. 1.

Cuadro 3. Rendimientos del tubo No. 2.

| Cultivo          | Repetición | Rendimiento Por Repetición (g) | Total (g) |
|------------------|------------|--------------------------------|-----------|
| Lechuga          | 1          | 581                            | 2108      |
|                  | 2          | 604                            |           |
|                  | 3          | 366                            |           |
|                  | 4          | 557                            |           |
| Albahaca         | 1          | 299                            | 722       |
|                  | 2          | 137                            |           |
|                  | 3          | 112                            |           |
|                  | 4          | 174                            |           |
| Acelga           | 1          | 381                            | 1711      |
|                  | 2          | 811                            |           |
|                  | 3          | 267                            |           |
|                  | 4          | 252                            |           |
| Fresa            | 1          | 78                             | 174       |
|                  | 2          | 0                              |           |
|                  | 3          | 96                             |           |
|                  | 4          | 0                              |           |
| <b>Total (g)</b> |            | 1026                           | 4715      |

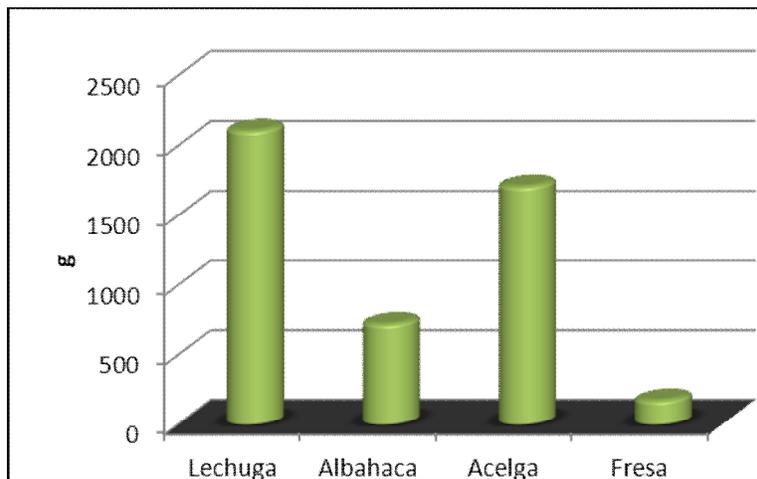


Figura 47. Rendimientos obtenidos del tubo No. 2.

Al hacer la comparación de la producción de ambos tubos, los resultados muestran que en ambos casos el cultivo de lechuga produce los rendimientos más altos, a pesar de haber realizado una cosecha cada 50 días, en comparación con el cultivo de fresa (cultivo con menos rendimiento), en este cultivo las cosechas comenzaron 3 meses después de haber iniciado con los otros cultivos (figuras 48 a 50).

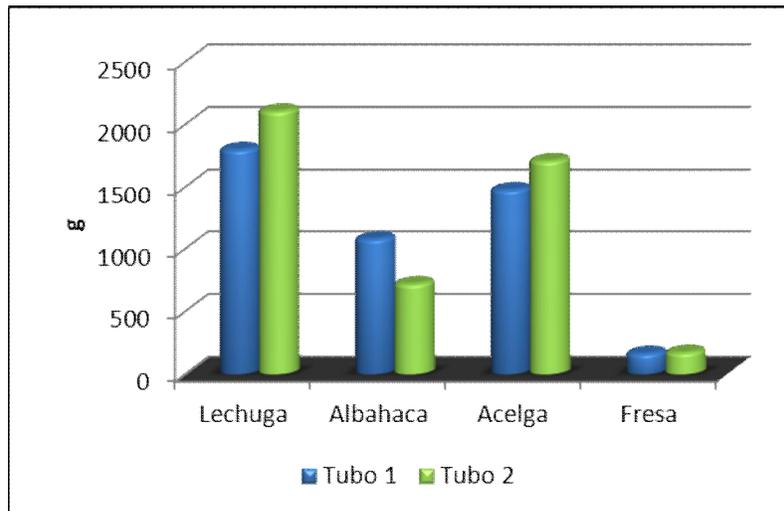


Figura 48. Comparación de la producción de ambos tubos.

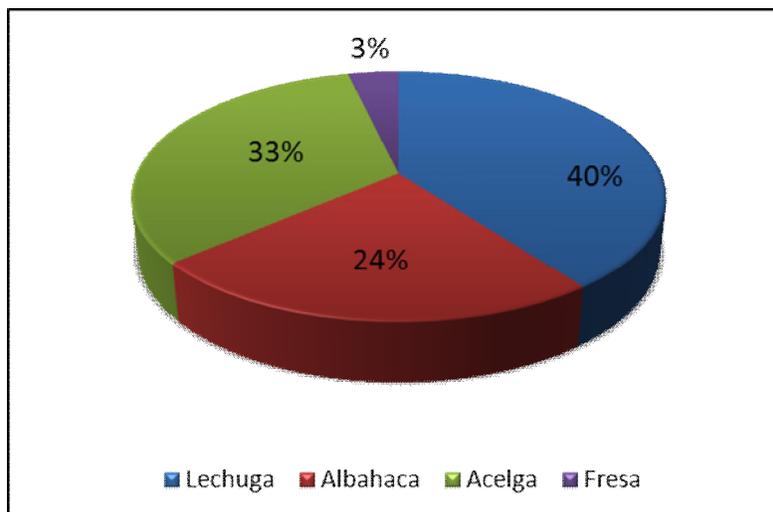


Figura 49. Porcentaje de cada cultivo del tubo No.1.

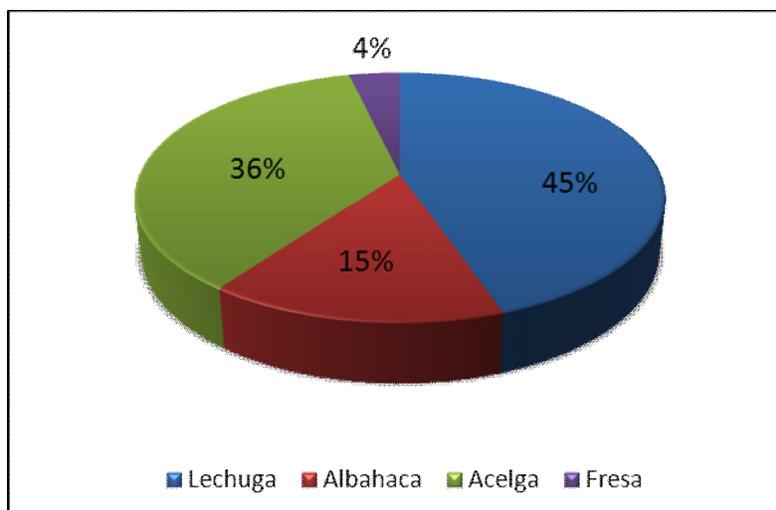


Figura 50. Porcentaje de cada cultivo del tubo No.2.

### 1.1.5. Diseño Experimental de Producción en Tubo Vertical de P.V.C.

Se realizó un experimento para determinar qué cultivo de los cuatro producidos en un tubo de P.V.C., de 8+colocado de forma vertical produce el mayor rendimiento. Fueron aplicados cuatro tratamientos (cultivos), estos son:

1. Lechuga.
2. Albahaca.
3. Acelga.
4. Fresa

Fue utilizado un diseño experimental Bloques al azar (cuadro 4), por lo que cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones.

Cuadro 4. Diseño experimental bloques al azar.

| No. De tratamiento | Tratamiento | Bloques |    |
|--------------------|-------------|---------|----|
|                    |             | 1       | 2  |
| 1                  | Lechuga     | --      | -- |
| 2                  | Albahaca    | --      | -- |
| 3                  | Acelga      | --      | -- |
| 4                  | Fresa       | --      | -- |

Con los rendimientos obtenidos de cada cultivo (cuadros 5 a 7) fue realizado un análisis de varianza (cuadro 8) para determinar si alguno de los tratamientos implementados tiene una tendencia diferente al resto, también fueron propuestas dos hipótesis:

*H<sub>0</sub>*: Los tratamientos producen iguales rendimientos.

*H<sub>a</sub>*: Al menos uno de los tratamientos produce diferente rendimiento.

Los tratamientos y sus repeticiones fueron asignados al dispositivo vertical de la siguiente manera:

Cuadro 5. Localización de cada tratamiento.

| Bloque   |          |
|----------|----------|
| 1        | 2        |
| Lechuga  | Lechuga  |
| Albahaca | Albahaca |
| Acelga   | Acelga   |
| Fresa    | Fresa    |

Cuadro 6. Rendimiento de cada bloque.

| No. De tratamiento | Tratamiento | Rendimiento (Kg)/bloque |       |
|--------------------|-------------|-------------------------|-------|
|                    |             | 1                       | 2     |
| 1                  | Lechuga     | 1.800                   | 2.108 |
| 2                  | Albahaca    | 1.080                   | 0.722 |
| 3                  | Acelga      | 1.479                   | 1.711 |
| 4                  | Fresa       | 0.166                   | 0.174 |

Cuadro 7. Rendimiento de cada tratamiento.

| No. | Tratamiento | Rendimiento total (Kg) |
|-----|-------------|------------------------|
| 1   | Lechuga     | 3.908                  |
| 2   | Albahaca    | 1.802                  |
| 3   | Acelga      | 3.190                  |
| 4   | Fresa       | 0.340                  |

Cuadro 8. Análisis estadístico.

| Fuente de variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F Calculada | F Tabulada* | Significancia |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------|-------------|---------------|
| Tratamientos        | 3                  | 3.733             | 1.244            | 27.873      | 5.05        | Si            |
| Bloques             | 1                  | 0.005             | 0.005            | 0.101       | 6.61        | Si            |
| Error               | 3                  | 0.134             | 0.045            | --          | --          | --            |
| Total               | 7                  | 3.872             | --               | --          | --          | --            |

\* Datos obtenidos de Tablas de Distribución F, Montgomery (2003).

Con un nivel de significancia del 5% se concluye que:

- No todos los Tratamientos (cultivos) aplicados tuvieron la misma tendencia.
- Las tendencias de ambos bloques utilizados tuvieron una tendencia .

Al existir diferencias entre los tratamientos aplicados, se aplicó una Prueba de Comparación de Medias a los promedios de cada tratamiento utilizando la prueba de Tukey (cuadros 9 y 10).

Cuadro 9. Promedios de producción de lechuga.

| Tratamiento | Bloque 1 | Bloque 2 | Promedios |
|-------------|----------|----------|-----------|
| Lechuga     | 1800     | 2108     | 1954      |
| Albahaca    | 1080     | 722      | 901       |
| Acelga      | 1479     | 1711     | 1595      |
| Fresa       | 166      | 174      | 170       |

Cuadro 10. Promedios en orden decreciente.

| No. | Tratamiento | Promedios |
|-----|-------------|-----------|
| 1   | Lechuga     | 1954      |
| 3   | Acelga      | 1595      |
| 2   | Albahaca    | 901       |
| 4   | Fresa       | 170       |

Calculo de la Diferencia Mínima Significativa (DMS):

$$DMS = qS$$

$$q = q_{GL(E),t}$$

$$q = q_{3,4,0.05} = 6.83$$

$$S = \sqrt{\frac{44648.500}{2}} = 149.413$$

$$DMS = (6.83)(149.413) = 1,020.491$$

Comparación:

$$T1 \text{ VS } T3 = 1954 - 1595 = 490.5 < 1,020.5$$

$$T1 \text{ VS } T2 = 1954 - 901 = 649.0 < 1,020.5$$

$$T1 \text{ VS } T4 = 1954 - 170 = 993.0 < 1,020.5$$

$$T3 \text{ VS } T2 = 1595 - 901 = 158.5.0 < 1,020.5$$

$$T3 \text{ VS } T4 = 1595 - 170 = 502.5.0 < 1,020.5$$

$$T2 \text{ VS } T4 = 901 - 170 = 344.0 < 1,020.5$$

Conclusión:

Las diferencias resultantes de las comparaciones de las medias con la DMS, indican que el cultivo de lechuga y el cultivo de acelga son estadísticamente idénticos, pero del que podemos obtener un mayor rendimiento es del cultivo de lechuga.



## 1.2. Modelo de Producción en Capas

### 1.2.1. Descripción

Se realizó un experimento para determinar qué distanciamiento entre plantas, y qué nivel de luminosidad son suficientes para cultivar tres distintos cultivos en condiciones semi-urbanas. Los cultivos utilizados fueron: chile jalapeño, orégano y epazote. Estos cultivos fueron desarrollados en macetas de dos tamaños desiguales y éstas fueron colocadas en tres diferentes estructuras metálicas (dispositivos), cada una con tres niveles de producción, y cada una con un solo distanciamiento entre macetas.

### 1.2.2. Dispositivo

Fueron diseñados tres dispositivos con aplicación en la agricultura urbana, están hechos de metal y son capaces de sustentar 27 macetas de un solo tamaño cada uno; verticalmente están divididos en tres niveles (arriba, en medio y abajo), y en cada nivel pueden colocarse nueva macetas. Estos dispositivos en promedio tienen una altura de 1.7 m, ocupa un área de  $0.52 \text{ m}^2$ , tiene una separación de 0.7 m entre nivel y nivel, entre el suelo y el primer nivel hay una separación de 0.3 m (figura 51).

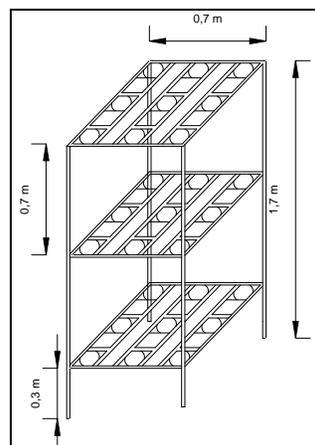


Figura 51. Diseño de dispositivo utilizado.

El cuadro 11 y las figuras 52 a 54 muestran algunos detalles de cada dispositivo utilizado en este experimento.

Cuadro 11. Características por dispositivo.

| Dispositivo | Número de niveles | Número de macetas por nivel | Número total de macetas | Dimensiones (cm) | Área ocupada (m <sup>2</sup> ) | Espacio (horizontal) entre macetas (cm) |
|-------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|---|
| 1           | 3                 | 9                           | 27                      | 80.5 X 80.5      | 0.65                           | 1.0                                     |
| 2           |                   |                             |                         | 72 X 72          | 0.52                           | 8.5                                     |
| 3           |                   |                             |                         | 62.5 X 62.5      | 0.39                           | 4.0                                     |

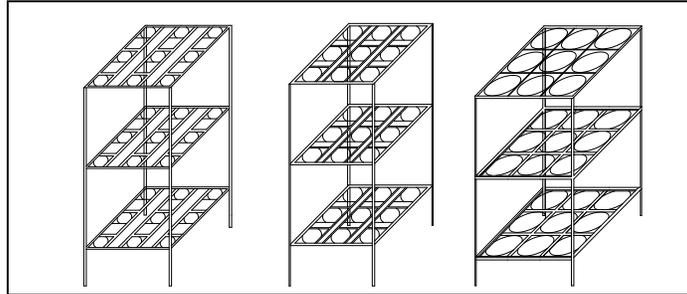


Figura 52. De izquierda a derecha: Dispositivo 3, 2 y 1.



Figura 53. Dispositivo terminado.



Figura 54. Dispositivos en uso.

### 1.2.3. Sustrato y Macetas Utilizados

#### 1.2.3.1. Macetas

Las macetas utilizadas en este experimento fueron macetas plásticas color negro de 10+ y de 7.5+ (figura 55), fueron utilizadas en total 27 macetas de 10+ y 54 macetas de 7.5+. Las macetas de 10+ tienen una capacidad de 5.5 litros y las de 7.5 tienen una capacidad de 2.5 litros.



Figura 55. Macetas de 10+ y macetas de 7.5+

Todas estas macetas fueron conseguidas en un lugar establecido en Jiutepec, Morelos (CIVAC), dedicado a la venta de enseres plásticos para jardinería y agricultura.

#### 1.2.3.2. Sustrato

El sustrato o medio de crecimiento utilizado fue una mezcla de tres materiales; tezontle, tierra de hoja, y tierra de monte, en una proporción de 20, 40 y 40 % respectivamente (figura 56), los tres sustratos fueron mezclados (figura 57) para poder obtener un sustrato que aportará a las plantas una buena retención de humedad, y que también proporcione oxígeno (figura 58).



Figura 56. Sustratos utilizados.



Figura 57. Realización de la mezcla de los sustratos.



Figura 58. Mezcla final.

### 1.2.3.3. Llenado de macetas

Todas las macetas fueron llenadas con el sustrato seco, cabe mencionar que el llenado de macetas se hace con el sustrato seco, de lo contrario el llenado tiende a volverse un poco complicado y tedioso, además de que el sustrato húmedo tiende a compactarse (figura 59) Las macetas son llenadas hasta el cuello de las macetas (figura 60), posteriormente cada maceta fue acomodada para realizar la desinfección del medio de crecimiento en las macetas (figura 61).



Figura 59. Llenado de macetas.



Figura 60. Punto máximo de llenado.



Figura 61. Macetas llenas de sustrato.

#### 1.2.3.4. Desinfección del sustrato en las macetas

La desinfección del sustrato se realizó para prevenir la presencia de enfermedades que pudieran atacar y dañar las raíces de las plantas cultivadas. Esta desinfección se hizo utilizando productos de origen químico.

Antes de haber realizado la desinfección del sustrato, todas las macetas fueron humedecidas únicamente con agua. Después de haber humedecido el sustrato, se realizó la desinfección, ésta se hizo utilizando  $\% \text{pintozeno} + \text{a}$  a una concentración de 2 ml/litro de agua, este producto color rosa fue disuelto en agua (figura 62), y enseguida fue aplicado en el sustrato de todas las macetas a utilizar en el experimento (figura 63).



Figura 62. Disolución del fungicida en agua.



Figura 63. Aplicación del producto en el sustrato de las macetas.

## 1.2.4. Producción de Cultivos

### 1.2.4.1. Cultivos producidos

#### a) Chile jalapeño

El chile jalapeño tiene su centro de origen en México. Pertenece al género *Capsicum* y la especie *annuum* es considerada como la más conocida y difundida en el mundo (Laborde y Pozo, 1982).

El chile necesita para su desarrollo óptimo una temperatura ambiente durante el día de 18 a 26°C y durante la noche de 15 a 18°C. A temperaturas menores de 10°C el chile puede presentar aborto de flores y a menos de 15°C comienza a detener su crecimiento. Las temperaturas de 32 a 35°C provocan que el pistilo se desarrolle más largo que los estambres y antes que hayan abierto las anteras, fenómeno que origina la polinización cruzada. Las temperaturas extremadamente altas pueden provocar caída de flores y frutos (Valadez, 1989).

#### b) Orégano

El orégano es una planta herbácea, rústica, perenne. Tiene su origen en la región mediterránea de Europa.

Este cultivo se adecua a cualquier tipo de suelo que no sea salino, los mejores rendimientos se obtienen en suelos franco-arenosos y francos.

El orégano es una especie con amplia tolerancia en altitudes y temperaturas. Sin embargo el mayor porcentaje de aceites esenciales se logran en zonas con temperaturas frías (ficha No. 7).

### ***Densidad de siembra y distanciamiento***

La densidad de siembra varía entre 70,000 a 90,000 golpes de tres ramas o esquejes por hectárea que en kilos representa entre 600 a 660. Es muy importante calcular el requerimiento de esquejes a sembrar para evitar esquejes excedentes y correr el riesgo de perderlos. El distanciamiento adecuado entre surco y surco es de 35 a 45 cm. y el distanciamiento entre planta de 30 a 35 cm (ficha No. 7).

### **Plantación**

Colocar 3 a 4 esquejes por golpe a costilla de surco en forma de  enterrando bajo tierra 5 a 10 cm de las ramas. Previamente se deben retirar con cuidado las hojas de la parte inferior más o menos a 10 cm. del final de los esquejes, esto ayudará al enraizamiento (ficha No. 7).

### **c) Epazote**

*Chenopodium ambrosioides* L., familia *Chenopodiace* (sinon.: *C. anthermanticum* A. Gray., *Botrys ambrosioides* L., *Blitum ambrosioides* L.), es conocida en México como epazote o hierba del zorrillo (Nascimento et al., 2006).

Es una planta aromática, perenne, más o menos pubescente, con el tallo usualmente postrado, olor fuerte, de aproximadamente 40 cm de altura; las hojas son oblongo-lanceoladas y serradas, de entre 4 cm de longitud y 1 cm de ancho, con pequeñas flores verdes en panículos terminales densos, cada uno con cinco sépalos; el cáliz persistente circunda al fruto, y las semillas son negras y no mayores a 0.8 mm de longitud (Gadano et al., 2006, Jamali et al., 2006).

Las infusiones y decocciones de las hojas, raíces e inflorescencias de *C. ambrosioides* se han utilizado por siglos de manera tradicional por varias poblaciones nativas de América Latina y el Caribe como condimento y en medicina étnica (Nascimento et al., 2006).

### **d) Producción en el experimento**

El chile jalapeño (figura 64) es originario de América central y su fruto color verde (estado inmaduro) y rojo (en estado de madurez) es una baya la cual es utilizada normalmente como condimento.



Figura 64. Chile jalapeño.

El orégano (figura 65) tiene su origen en la zona mediterránea y es utilizado como condimento, ya sea en fresco o seco y molido.



Figura 65. Orégano.

El epazote (figura 66) es una planta originaria de México y América Central. En las culturas prehispánicas fue utilizada por sus propiedades medicinales: los nahuas lo llamaban "epazotl" y los mixtecos "miino". Los españoles lo usaron para darle sabor a su té.



Figura 66. Epazote.

#### 1.2.4.2. Trasplante

El trasplante fue realizado 48 horas después de haber hecho la desinfección del sustrato, ya que el fungicida aplicado puede ocasionar intoxicación a los cultivos si es aplicado en su presencia.

Sólo fueron trasplantadas las plántulas de chile jalapeño y las plantas de orégano, para trasplantar el chile jalapeño, en el centro del sustrato de cada maceta, se realizó un hueco del tamaño del cepellón, y allí fueron colocadas cada una de las plántulas utilizadas (figura 67). Para poder realizar el trasplante de las plantas de orégano, primero en cada maceta se retiró la mitad del sustrato de cada maceta, enseguida fueron colocadas las plantas, posteriormente a cada maceta se colocó el sustrato necesario para llenar las macetas (figura 68).



Figura 67. Trasplante de Chile jalapeño.



Figura 68. Trasplante de orégano.

#### 1.2.4.3. Siembra

La siembra fue utilizada únicamente para el cultivo de epazote, ya que esta especie puede reproducirse fácilmente por medio de semillas (figura 69). Estas semillas fueron conseguidas en un local de venta de agroinsumos en el municipio de Cuernavaca.



Figura 69. Semilla de epazote utilizada.

A las macetas ya desinfectadas y humedecidas, fueron colocadas varias semillas del cultivo (1 g de semillas para macetas de 10+, y 0.5 g para macetas de 7+), estas semillas fueron después tapadas por una ligera capa de sustrato seco y se dio un ligero riego con agua limpia (figura 70).



Figura 70. Siembra de semilla.

Enseguida de haber realizado el trasplante y la siembra de cada planta en cada maceta, estas fueron colocadas en los dispositivos correspondientes para comenzar a producir los cultivos (figura 71).



Figura 71. Macetas colocadas en sus respectivos lugares.

#### 1.2.4.4. Riegos y Fertilización

El agua de riego fue aplicada utilizando una bandeja plástica, estos riegos fueron realizados cada dos días (figura 72).



Figura 72. Aplicación del riego.

Con el agua de riego también eran aplicados los nutrientes esenciales para los cultivos (N, P, K, Ca, Mg, S, etc.), los nutrientes en forma de fertilizante eran disueltos en el agua de riego, y esta agua era con la que se regaba a los cultivos utilizados en este experimento (figuras 73 a 76).



Figura 73. Obtención de la cantidad de fertilizante a utilizar.



Figura 74. Disolución del fertilizante en agua.



Figura 75. Vaciado de la solución en un recipiente plástico.



Figura 76. Solución de fosfato monopotásico lista.

Los fertilizantes y las cantidades utilizados son mostradas en el cuadro 12, las cantidades fueron calculadas según la cantidad de sales que presenta el agua utilizada para regar (Anexo 1).

Cuadro 12. Fórmula de fertilización.

| NO. | Ión   | Cantidad mmol/L <sup>-1</sup> |
|-----|---|-------------------------------|
| 1   | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | 9.0                           |
| 2   | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | 1.0                           |
| 3   | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                | 3.5                           |
| 4   | K <sup>+</sup>                              | 7.0                           |
| 5   | Ca <sup>++</sup>                            | 4.5                           |
| 6   | Mg <sup>++</sup>                            | 2.0                           |
| 7   | pH  | 5.8                           |
| 8   | C.E.  | 2.5                           |

#### 1.2.4.5. Control de plagas y enfermedades

Se realizaron aplicaciones foliares de soluciones de agroquímicos sobre los cultivos para prevenir plagas y enfermedades, las soluciones aplicadas están

compuestas por fungicidas e insecticidas además de otros compuestos como adherentes, dispersantes y surfactantes (figura 77).



Figura 77. Aplicaciones preventivas.

Para la aplicación de las soluciones agroquímicas se utilizó una bomba manual de aspersión de 4 litros de capacidad (figura 78).



Figura 78. Bomba manual de aspersión.

#### 1.2.4.6. Cosecha

La cosecha era realizada cuando los órganos de interés del orégano, epazote y chile estaban aptos para el consumo, los días entre corte y corte variaban según la especie cultivada.

En el caso del orégano, el órgano de interés fueron las hojas y los tallos tiernos, por lo tanto de cada maceta sólo eran cortados los tallos más largos y jóvenes, con las hojas más desarrolladas (figura 79), dejando por debajo del punto de corte varias yemas axilares, éstas al transcurrir el tiempo se desarrollaban y nos proveían de futuras cosechas.



Figura 79. Cosecha de orégano.

Después de realizar la cosecha, el producto obtenido por cada maceta era pesado en una báscula digital, y el rendimiento era anotado (figura 80), para después procesar los datos y con ellos obtener el rendimiento total.



Figura 80. Pesaje de orégano.

Con el epazote, la cosecha se hacía utilizando los dedos, las puntas de cada planta eran trozadas, dejando por debajo del punto de corte varias yemas axilares (figura 81), estas yemas axilares encontradas debajo del cada punto de corte darán en el futuro brotes nuevos los cuales ayudarán con el rendimiento del cultivo (figura 82).



Figura 81. Cosecha de Epazote.



Figura 82. Brotes nuevos en epazote.

Después de recolectar lo obtenido en cada planta de epazote, el producto era pesado para obtener el rendimiento de cada maceta (figura 83), y posteriormente con todo lo obtenido de epazote se hacían pequeños manojos (figura 84), los cuales eran repartidos entre el personal del IMTA.



Figura 83. Pesaje de epazote.



Figura 84. Manojos de epazote.

La cosecha del cultivo de chile se hizo cuando en cada maceta había chiles con **estrías** (figura 85). Después se obtenía el peso de los chiles correspondiente a cada maceta (figura 86).



Figura 85. Chiles con estrías.



Figura 86. Pesaje de chiles.

Todo lo obtenido en cada cosecha (figura 87), era repartido entre el personal laboral del IMTA las cuales seleccionaban los productos a llevar a sus hogares (figura 88).



Figura 87. Productos obtenidos.



Figura 88. Repartición del producto obtenido al personal del IMTA.

#### 1.2.4.7. Resultados

Los resultados obtenidos a partir de las cosechas realizadas en los 4 meses de producción (rendimientos totales), a los tres cultivos, son mostrados en los cuadros 13, 14 y 15.

Cuadro 13. Resultados del dispositivo 1.

| Cultivo  | Nivel    | Repetición |          |          |
|----------|----------|------------|----------|----------|
|          |          | 1<br>(g)   | 2<br>(g) | 3<br>(g) |
| Chile J. | Superior | 223        | 213      | 146      |
|          | Medio    | 22         | 133      | 104      |
|          | Inferior | 223        | 213      | 146      |
| Orégano  | Superior | 400        | 368      | 425      |
|          | Medio    | 348        | 370      | 456      |
|          | Inferior | 396        | 288      | 308      |
| Epazote  | Superior | 203        | 264      | 160      |
|          | Medio    | 307        | 274      | 291      |
|          | Inferior | 262        | 0        | 232      |

Cuadro 14. Resultados del dispositivo 2.

| Cultivo  | Nivel    | Repetición |          |          |
|----------|----------|------------|----------|----------|
|          |          | 1<br>(g)   | 2<br>(g) | 3<br>(g) |
| Chile J. | Superior | 171        | 129      | 86       |
|          | Medio    | 116        | 64       | 55       |
|          | Inferior | 25         | 0        | 52       |
| Orégano  | Superior | 211        | 176      | 177      |
|          | Medio    | 201        | 90       | 200      |
|          | Inferior | 130        | 189      | 182      |
| Epazote  | Superior | 141        | 119      | 101      |
|          | Medio    | 170        | 150      | 172      |
|          | Inferior | 189        | 192      | 106      |

Cuadro 15. Resultados del dispositivo 3.

| Cultivo  | Nivel    | Repetición |          |          |
|----------|----------|------------|----------|----------|
|          |          | 1<br>(g)   | 2<br>(g) | 3<br>(g) |
| Chile J. | Superior | 263        | 182      | 165      |
|          | Medio    | 187        | 157      | 188      |
|          | Inferior | 144        | 85       | 83       |
| Orégano  | Superior | 239        | 197      | 233      |
|          | Medio    | 216        | 258      | 206      |
|          | Inferior | 165        | 129      | 115      |
| Epazote  | Superior | 178        | 71       | 152      |
|          | Medio    | 167        | 144      | 0        |
|          | Inferior | 146        | 189      | 204      |

Con los datos mostrados en el cuadro número 13, puede observarse que el cultivo de orégano es el más rendidor de los tres cultivos en cada nivel de producción utilizado, siguiéndole el cultivo de chile, y al final el cultivo de epazote (figura 89).

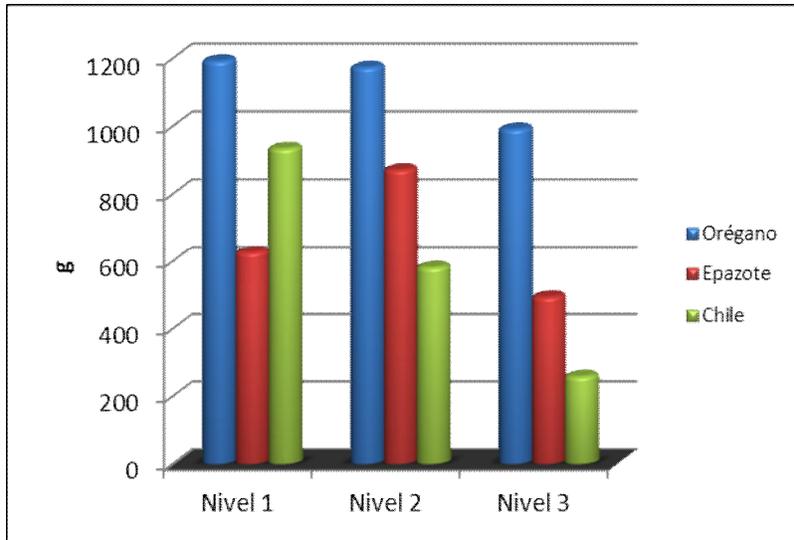


Figura 89. Producción en el dispositivo No. 1.

En el segundo dispositivo el orégano es el más redituable de los tres cultivos, siguiéndole epazote y al final el cultivo de chile (figura 90).

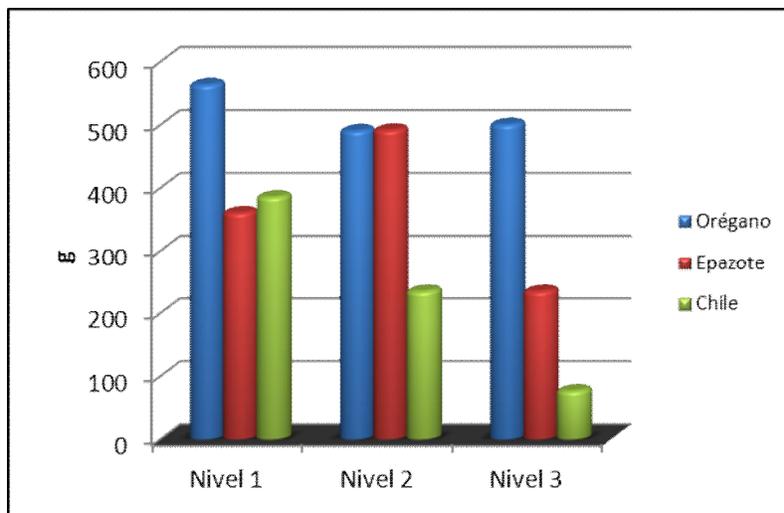


Figura 90. Producción en el dispositivo No. 2.

En los resultados obtenidos del tercer dispositivo se aprecia que el cultivo de orégano fue el cultivo con el mayor rendimiento de los tres cultivos, siguiéndole el cultivo de chile y al final el cultivo de orégano (figura 91).

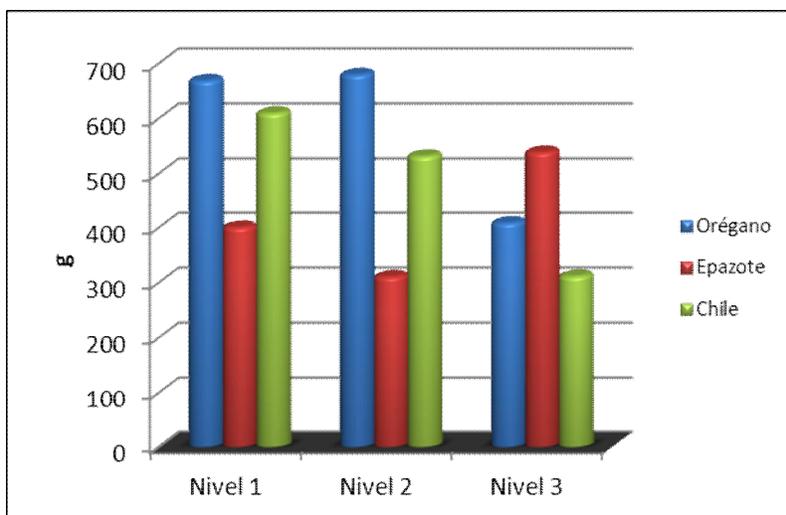


Figura 91. Producción en el dispositivo No. 3.

La figura 92 muestra el comportamiento de los tres cultivos producidos en el experimento en cada nivel de cada dispositivo. En la figura se puede apreciar que la producción de orégano fue la más rentable en comparación con los otros dos cultivos.

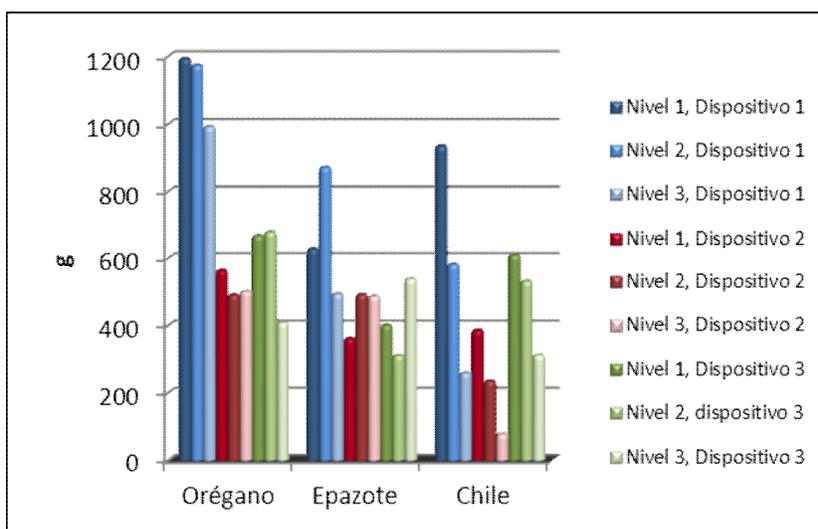


Figura 92. Comparación de la producción total.

Cabe mencionar que el rendimiento del cultivo de Chile disminuyó al reducir la incidencia de luz solar (nivel dos y nivel 3 de producción), lo que no ocurrió con las otras dos especies.

### 1.2.5. Diseño Experimental Dispositivos en Capas

Se realizó un experimento para determinar qué tratamiento (cultivo) de tres tiene más rendimiento cuando es producido en forma vertical y bajo dos fuentes de variación.

Los tratamientos implementados fueron tres:

1. Producción de epazote.
2. Producción de orégano.
3. Producción de chile serrano.

Las fuentes de variación son dos:

1. Distanciamiento entre maceta.

Serán utilizados tres dispositivos, los cuales alojan a 27 plantas cada uno, y cada dispositivo tiene una separación distinta entre maceta, cada maceta tiene una sola planta. Se determinará el mejor distanciamiento para la producción de cada cultivo.

2. Nivel de producción.

Cada dispositivo tiene tres niveles de producción en forma vertical (Arriba, en medio y abajo), en cada nivel incide una cantidad diferente de luz solar. Se determinará el nivel en el que los cultivos tienen un mejor rendimiento.

Fue utilizado un diseño experimental con Dos factores en Bloques al Azar, para determinar qué cultivo, qué cantidad de luz solar y qué dispositivo producen el mejor rendimiento. El modelo utilizado es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_k + \beta_i + \gamma_j + \delta_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Con los promedios de los rendimientos obtenidos de cada cosecha (cuadro 16) se realizó un análisis de varianza (cuadro 17) para determinar si la tendencia de algún tratamiento aplicado difiere de los otros tratamientos, además fueron propuestas las siguientes hipótesis:

*H<sub>0</sub>*: Todos los tratamientos producen el mismo efecto.

*H<sub>a</sub>*: Al menos uno de los tratamientos produce distinto rendimiento.

Cuadro 16. Promedios de los rendimientos obtenidos en cada cultivo.

| Promedio de Rendimientos<br>(g) |                            |                                       |         |         |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------|---------|
| Cultivo<br>(A)                  | Intensidad lumínica<br>(B) | Bloques<br>(Separación entre macetas) |         |         |
|                                 |                            | 1                                     | 2       | 3       |
| Epazote                         | 1                          | 627.000                               | 361.000 | 401.000 |
|                                 | 2                          | 872.000                               | 492.000 | 311.000 |
|                                 | 3                          | 494.000                               | 487.000 | 539.000 |
| Chile                           | 1                          | 935.000                               | 386.000 | 610.000 |
|                                 | 2                          | 582.000                               | 235.000 | 532.000 |
|                                 | 3                          | 259.000                               | 77.000  | 312.000 |
| Orégano                         | 1                          | 1193.000                              | 564.000 | 669.000 |
|                                 | 2                          | 1174.000                              | 491.000 | 680.000 |
|                                 | 3                          | 992.000                               | 501.000 | 409.000 |

Cuadro 17. Tabla de análisis de varianza.

| Fuente de variación     | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F Calculada | F* Tabulada | Significancia |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------|-------------|---------------|
| Bloques                 | 2                  | 753575.630        | 376787.815       | 15.924      | 3.63        | Sí            |
| Cultivo (A)             | 2                  | 456640.074        | 228320.037       | 9.649       | 3.63        | Sí            |
| Intensidad Lumínica (B) | 2                  | 171796.519        | 85898.259        | 3.630       | 3.63        | Sí            |
| A * B                   | 4                  | 170045.926        | 42511.481        | 1.797       | 3.01        | No            |
| Error                   | 16                 | 378588.370        | 23661.773        | --          | --          | --            |
| Total                   | 26                 | 1930646.519       | --               | --          | --          | --            |

\* Datos obtenidos de Tablas de Distribución F, Montgomery (2003).

Con un nivel de significancia del 5 % se concluye que:

- Que al menos uno de los bloques tiene una tendencia distinta a los demás.
- Que al menos un nivel de **A** produce un efecto distinto al resto.
- Al menos un nivel de **B** tiene una tendencia diferente al resto.
- Todas las combinaciones de A\*B siguen la misma tendencia.

### **1.3. Módulo de Producción Hidropónica en Tubos de P.V.C.**

#### **1.3.1 Descripción**

Se realizó un experimento en el que fue utilizado un dispositivo hidropónico hecho de P.V.C., y herrería, allí fueron producidas 120 plantas de lechuga, de 4 variedades distintas de lechuga bajo condiciones hidropónicas (producción sin sustrato), de las cuales se determinó qué variedad es la que produce el mayor rendimiento de las 4 utilizadas.

#### **1.3.2. Revisión Bibliográfica**

##### 1.3.2.1. Hidroponía

Gilsanz (2007), indica que el vocablo hidroponía proviene de dos palabras griegas *HYDRO* que significa agua y *PONOS* que significa trabajo. Concibiéndose a la hidroponía como una serie de sistemas de producción en donde los nutrientes llegan a la planta a través del agua.

Alvarado *et al* (2001), mencionan que la hidroponía (*hidro=* agua y *ponos=* trabajo o actividad) es traducido literalmente como trabajo del agua y es una técnica de producción de cultivos sin suelo. Éste es remplazado por el agua con los nutrientes esenciales disueltos en ella. La producción sin suelo permite obtener hortalizas de excelente calidad y asegurar un uso más eficiente del agua y de los fertilizantes. Los rendimientos por unidad del área cultivada son altos, por la mayor densidad y la elevada producción por planta, lográndose mayores cosechas por año.

##### 1.3.2.2. Ventajas y desventajas

###### a) Ventajas

Las ventajas que se establecen dentro de una producción bajo el esquema de hidroponía son las siguientes (Espinosa y Espinosa):

- Mayor eficiencia en la regulación de la nutrición.
- Utilización más eficiente del agua y los fertilizantes.
- Bajo costo en la desinfección del medio de cultivo.
- Mayor densidad de plantas
- Mayor producción por unidad de superficie y mayor intensidad del uso del terreno.
- Generación de empleo utilizando la mano de obra de la región.

- Aprovechamiento de pequeñas superficie en el traspatio para la producción de alimentos.

#### b) Desventajas

Gilsanz (2007), indica una serie de desventajas las cuales son descritas a continuación:

- Costo inicial alto.
- Se requieren conocimientos de fisiología vegetal y nutrición.
- Los desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo.
- Se requiere agua de buena calidad.

#### 1.3.2.3. Solución nutritiva

Una solución nutritiva (SN) consta de agua con oxígeno y de todos los nutrientes esenciales en forma iónica y, eventualmente, de algunos compuestos orgánicos tales como los quelatos de fierro y de algún otro micronutriente que puede estar presente (Steiner, 1968).

En hidroponía, los elementos minerales nutritivos esenciales son aportados exclusivamente en la solución nutritiva, a través de las sales fertilizantes que se disuelven en agua. Por esta razón, la formulación y control de la solución junto a una adecuada elección de las fuentes de las sales minerales solubles, se constituyen en una de las bases para el éxito del cultivo hidropónico. En el sistema "NFT" este aspecto es de suma importancia (Carrasco, 1996).

#### a) Potencial de hidrogeno (pH)

Baixauli & Aguilar (2002), indican que el pH de una solución nutritiva nos marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones.

En general, nuestras aguas tienen un pH básico, o sea un pH superior a 7, pudiéndose dar en dichas condiciones insolubilidades y precipitados, ello evita la buena nutrición y provoca la obturación de los goteros en nuestra instalación.

La mayor parte de las plantas trabajan bien en soluciones nutritivas con pH's comprendidos entre 5 y 7, en los cultivos hidropónicos generalmente se trabaja con pH de 5.5 a 5.8, puesto que en dicho rango de pH se encuentran mejor disueltos los iones, especialmente el fósforo y los microelementos.

El pH actúa manteniendo los iones solubles para la planta y por tanto, mejorando la nutrición. Valores extremos pueden provocar la precipitación de los iones. Con un pH superior a 7.5 puede verse afectada la absorción de fósforo, de hierro y de manganeso, la corrección del pH puede evitar los estados carenciales.

#### b) Conductividad eléctrica (CE)

Baixauli & Aguilar (2002), mencionan que la conductividad eléctrica (CE) mide la concentración de sales (iones) disueltas en el agua y el valor se expresa en mS/cm, este valor multiplicado por un factor de corrección 0.7 ó 0.9 en función de la calidad del agua, nos permite conocer de forma aproximada la cantidad de sales disueltas en g/l. La CE expresa la capacidad para conducir la corriente eléctrica.

En general, podemos decir que un agua es de buena calidad cuando su valor de CE es inferior a 0.75 mS/cm, permisible con valores de 0.75 a 2 mS/cm, dudosa con valores entre 2 y 3 mS/cm, e inadecuada cuando la CE es superior a 3 mS/cm. Por otra parte, los cultivos hortícolas son más o menos resistentes a la salinidad y así tenemos que: el tomate, el melón, la sandía, la berenjena son cultivos medianamente tolerantes a la salinidad; el fresón y la judía son sensibles.

Los iones disueltos están formados por: aniones, que son los iones de carga negativa y los cationes, que son los de carga positiva. Puesto que la electronegatividad de la solución nutritiva se mantiene siempre, el sumatorio de las concentraciones de aniones y cationes expresadas en meq/l., deben ser 0 ó <5%. La relación entre la CE y la suma de aniones o cationes en meq/l. debe ser aproximadamente 10. Esta relación es más baja en aguas que predominan los sulfatos y/o bicarbonatos y mayor de 10 cuando predominan los cloruros.

#### 1.3.2.4. Técnica de la película nutriente (NFT por sus siglas en inglés)

Nutrient Film Technique: desarrollado por Cooper en los años 70 en Inglaterra, en el que se recircula la solución nutritiva de forma continua para conseguir la adecuada oxigenación del sistema radicular de la planta. El agua circula por unos canales poco profundos de plástico, que apoyados sobre el suelo y con una correcta pendiente, para evitar encharcamiento, permite el movimiento continuo del agua. Esos canales quedan cerrados por la parte superior con plásticos flexibles o rígidos e incluso con cubiertas móviles que permiten el desplazamiento a lo largo del invernadero de las plantas, permitiendo la mecanización de la recolección en cultivos como lechuga (Baixauli & Aguilar, 2002).

#### 1.3.2.5. Flujo de la solución nutritiva

Para el logro y mantención de la lámina de solución nutritiva recirculante, es recomendable ajustar su flujo en aproximadamente 2 litros por minuto. Este caudal permite que las raíces de las plantas posean una oferta adecuada de oxígeno, agua y nutrientes. Sin embargo, a través del período de crecimiento del cultivo, el flujo de la solución puede aumentarse, para favorecer el contacto íntimo de la solución con las raíces, ya que éstas crecen en tal magnitud que se entrecruzan originando un conglomerado, que comúnmente se denomina "colchón de raíces". Este "colchón" es un impedimento para el libre paso de la solución nutritiva y su absorción. Además, se forman "bolsones" de solución al interior de éste, los cuales favorecen no sólo la acumulación de sales, sino también la muerte

sectorizada de raíces al no recibir solución nutritiva. Por esta razón, para especies de gran desarrollo radical (tomate, pepino por ejemplo) se hace necesario, desde el momento que se forma el "colchón de raíces" hasta el fin del cultivo, aumentar la tasa de flujo sobre los 2 litros por minuto hasta visualizar que las raíces son efectivamente alcanzadas por la solución nutritiva (Carrasco, 1996).

#### 1.3.2.6. Oxigenación de la solución nutritiva

La solución nutritiva se oxigena no solamente por su circulación a través de los canales de cultivo, sino principalmente, al caer abruptamente sobre el remanente de solución en el estanque colector, donde se produce turbulencia y por lo tanto su aireación. De esta forma es aconsejable dejar la mayor distancia posible entre la desembocadura de la tubería colectora y el nivel de solución en el estanque para facilitar la aireación de ésta. Es aconsejable considerar al menos 50 cm de altura (Carrasco, 1996).

#### 1.3.2.7. Pendiente de los canales

Para que la solución nutritiva fluya constantemente en el sistema, se requiere que ésta sea impulsada desde el estanque hacia la parte elevada de los canales de cultivo, y luego descienda a través de ellos por gravedad. Este descenso se produce gracias a la pendiente longitudinal de los canales de cultivo. En general, se recomienda que esta inclinación sea de alrededor de un 2 %. Pendientes superiores a 4%, dificultan la absorción de agua y nutrientes por las raíces del cultivo; en cambio las pendientes menores a 2%, no facilitan el adecuado retorno de la solución al estanque colector, ni tampoco la mantención de la altura de la lámina de solución nutritiva (Carrasco, 1996).

#### 1.3.2.8. Duración y renovación de la solución nutritiva

La duración de la solución nutritiva está en función de su formulación y los cuidados en su mantención. Si la fórmula contiene altas concentraciones de iones indeseados (sulfatos, carbonatos) la cantidad de elementos nutritivos esenciales puede estimarse a través de la conductividad eléctrica por un período extenso de uso (Carrasco, 1996).

La manutención de la solución no sólo se basa en las correcciones diarias de ajuste de volumen de agua, conductividad eléctrica y pH, sino también, que debe encontrarse limpia y en la oscuridad, condición que se logra al mantener permanentemente el estanque colector y los tubos colectores cubiertos. De esta forma se reduce la proliferación de algas y la evaporación de la solución, como también la inclusión de animales (Carrasco, 1996).

### 1.3.2.9. Manejo de cultivos en el sistema "NFT": lechuga

La lechuga es considerada la hortaliza de hoja por excelencia, dada su alta calidad culinaria como ensalada fresca. Perteneció a la familia de las Compuestas. Se cultiva en todo el mundo bajo diferentes sistemas de cultivo, al aire libre, bajo invernadero, en suelo y también en hidroponía. Es la principal especie de hoja cultivada en el sistema "NFT", ya que es posible obtener lechugas de alta calidad en varias cosechas al año (Carrasco, 1996).

Entre los diferentes tipos de lechuga, las "butterhead" o "mantecosas" son las más cultivadas en este sistema hidropónico, ya que destaca su mejor calidad en relación a las cultivadas en suelo y al aire libre. Las lechugas "mantecosas" forman una cabeza central, sus hojas son de textura suave de alta palatabilidad; son precoces en relación a otros tipos de lechuga existiendo variedades de otoño-invierno y primavera-verano (Carrasco, 1996).

Las lechugas tipo "cos" o "romana" se caracterizan por sus hojas de mayor altura y forma oblonga. Se cultivan en menor escala en "NFT" por la dificultosa sujeción de las plantas en los días previos a la cosecha debido a su gran altura. Las lechugas de hoja arrepollada mal denominadas "escarolas", presentan grandes cabezas de hojas crespas, mayor resistencia a la emisión del tallo floral ("florecimiento o "subida") comparada a las "mantecosas". Cuando se cultivan este tipo de lechugas en "NFT", se deben cuidar las condiciones de temperatura, humedad y luminosidad del invernadero, para así obtener una lechuga de cabeza firme y alto valor comercial. La temperatura óptima para la formación de la cabeza es de alrededor de 20°C. Para la obtención de lechugas de mayor cabeza se requiere un mayor número de hojas por lo que se debe mantener mayor tiempo el cultivo, lo que debiera ser analizado económicamente (Carrasco, 1996).

### 1.3.3. Dispositivo hidropónico

Este dispositivo (figura 93), consta de dos sistemas, el sistema de soporte y el sistema de conducción. El sistema de soporte es únicamente una base hecha de herrería y es la que sostiene al sistema de conducción de una forma elevada, y con una ligera pendiente. El sistema de conducción está hecho con tubos y codos de P.V.C., y es el que guía a la solución nutritiva, y además es en donde se desarrolla el cultivo.

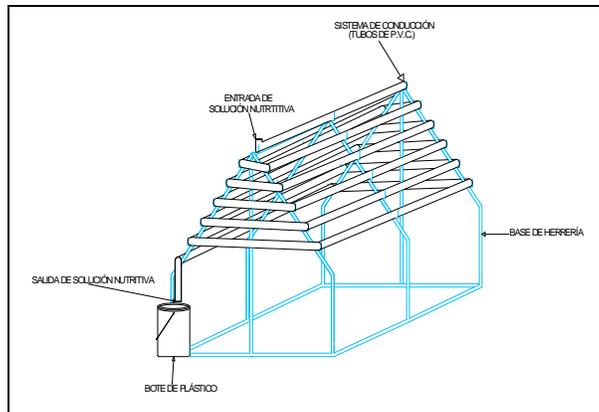


Figura 93. Dispositivo hidropónico.

### 1.3.3.1. Construcción del sistema de soporte

Para construir la base metálica, se utilizó PTR de pulgada y media (figura 94), este tubo fue cortado y luego fue soldado para realizar las uniones y construir la base de herrería (figura 95).

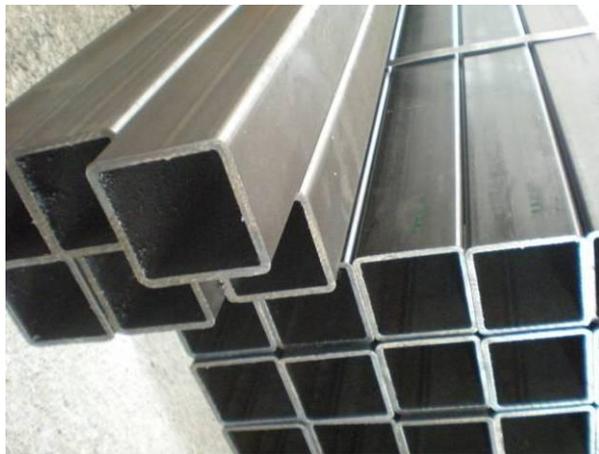


Figura 94. PTR usado en la construcción de la base de herrería.

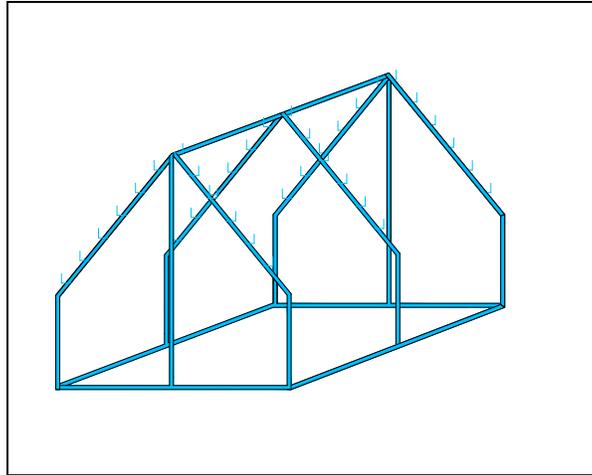


Figura 95. Base de herrería.

Con una altura de 1.5 metros y un ancho de 1.5 metros (figura 96) esta base ocupa un área de  $2.25 \text{ m}^2$ , la base cuenta con 6 postes principales, cada poste tiene 1.2 m en forma diagonal y 0.6 m en forma recta, y dos postes secundarios de 1.5 m de alto (figura 97).

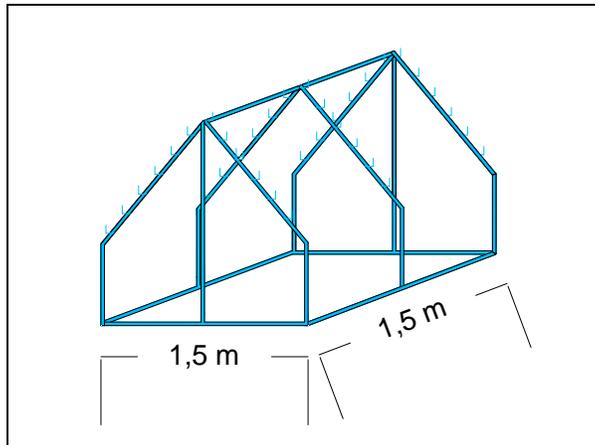


Figura 96. Dimensiones de la base.

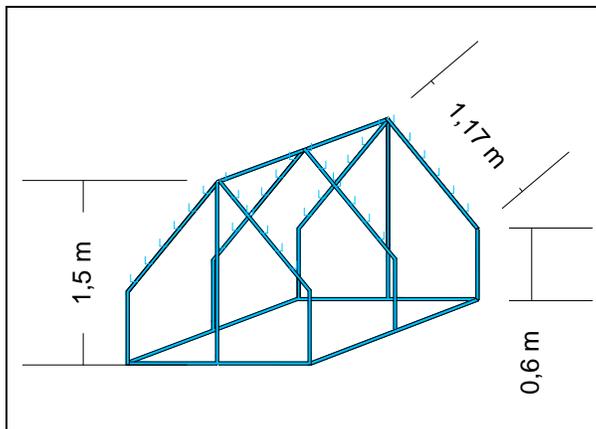


Figura 97. Dimensiones de los postes de la base.

En cada poste principal fueron colocadas 6 escuadras de 0.06 m por 0.06 m (figura 98), éstas se encuentran ubicadas a cada 14.4 cm de distancia entre escuadra y escuadra de un sólo poste (figura 99), ya que el sistema de conducción es tipo helicoidal, el desnivel total que forman todas las escuadras es del 2%. Estas escuadras sirven para sostener y mantener en su lugar al sistema de conducción, el cuadro 18 muestra la ubicación de cada escuadra en cada poste colocado de forma diagonal.

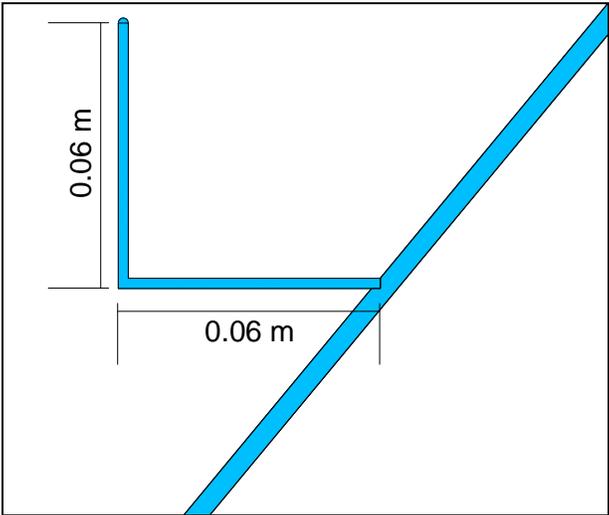


Figura 98. Dimensiones de cada escuadra.

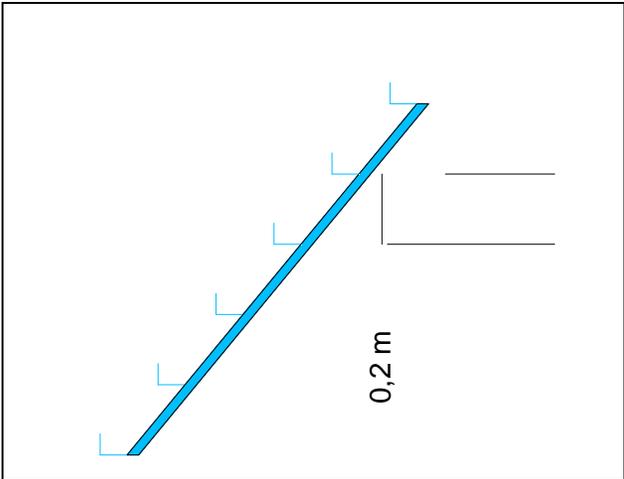


Figura 99. Distancia entre escuadra y escuadra.

Cuadro 18. Posicionamiento de las escuadras en cada poste en diagonal.

| Nivel | Postes<br>(cm) |     |     |     |    |    |
|-------|----------------|-----|-----|-----|----|----|
|       | 1              | 2   | 3   | 4   | 5  | 6  |
| 1     | 120            | 118 | 116 | 100 | 98 | 96 |
| 2     | 94             | 92  | 90  | 84  | 82 | 80 |
| 3     | 74             | 72  | 70  | 64  | 62 | 60 |
| 4     | 54             | 52  | 50  | 44  | 42 | 40 |
| 5     | 34             | 32  | 30  | 24  | 22 | 20 |
| 6     | 14             | 12  | 10  | 4   | 2  | 0  |

Las escuadras están colocadas de tal manera que cuando la tubería esté colocada la pendiente que forme sea del 2% (figura 100).

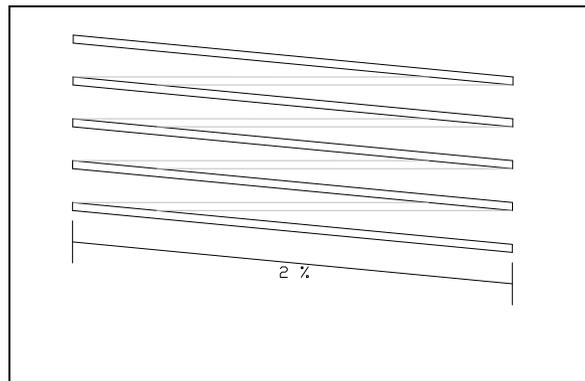


Figura 100. Pendiente de la tubería.

Todo el ensamblado del sistema de soporte (medición, cortes y soldado) fue realizado dentro de las instalaciones del IMTA (figuras 101 a 103).



Figura 101. Construcción de la base metálica.



Figura 102. Vista lateral de escuadras.



Figura 103. Sistema de soporte finalizado.

#### 1.3.3.2. Construcción del sistema de conducción

Este sistema fue diseñado para construirse con diversos materiales de P.V.C., hidráulico de 2+ (tubos, codos, reducciones Bushing), el sistema ya ensamblado tiene la forma de un espiral; cuenta con una entrada y una salida para la solución nutritiva y a lo largo del sistema habrá 120 orificios (orificios de producción) en los cuales serán colocadas todas las plantas a producir (figura 104). El sistema armado mide 2.1 m de largo X 1.5 m de ancho (figura 105).

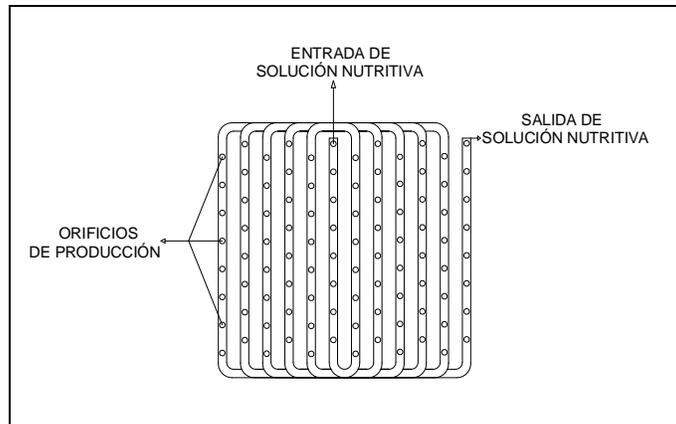


Figura 104. Vista superior del sistema de conducción del dispositivo.

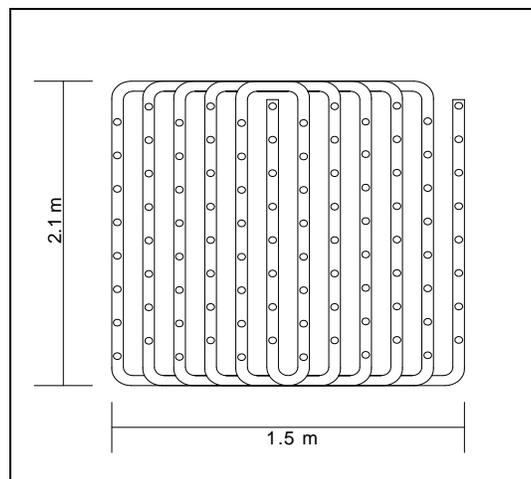


Figura 105. Medidas del sistema de conducción.

Para construir el sistema de conducción fueron necesarios 30 m de tubo hidráulico de 2+ de P.V.C., 24 codos de 90° del mismo material y del mismo tipo, pegamento para P.V.C., un taladro, un sacabocados con broca, un arco con segueta, lija, limpiador para P.V.C., un flexómetro, pintura color negro, pintura color blanco y un marcador de aceite (figura 106).



Figura 106. Materiales utilizados en el ensamble del sistema de conducción.

Para iniciar con el ensamble del sistema de conducción, primero, utilizando un arco con segueta fueron cortados 12 tramos de tubo de P.V.C., de 2 metros de largo cada uno (figuras 107 y 108).



Figura 107. Segado de los tubos de P.V.C.



Figura 108. Tubos de P.V.C., cortados a 2 m.  
En cada tramo de tubo fueron realizados 10 orificios de pulgada y media de diámetro, dejando 20 cm entre orificio y orificio, (figuras 109 a 111).



Figura 109. Distancia entre orificio y orificio.



Figura 110. Broca con sacabocado utilizados.



Figura 111. Realización de los orificios en los tubos.

En las superficies de los tubos donde se realizaron cortes y perforaciones quedaron rebabas (figura 112), estas fueron eliminadas utilizando un trozo de lija (figuras 113 y 114).



Figura 112. Rebabas en cortes y perforaciones.



Figura 113. Eliminación de las rebabas.

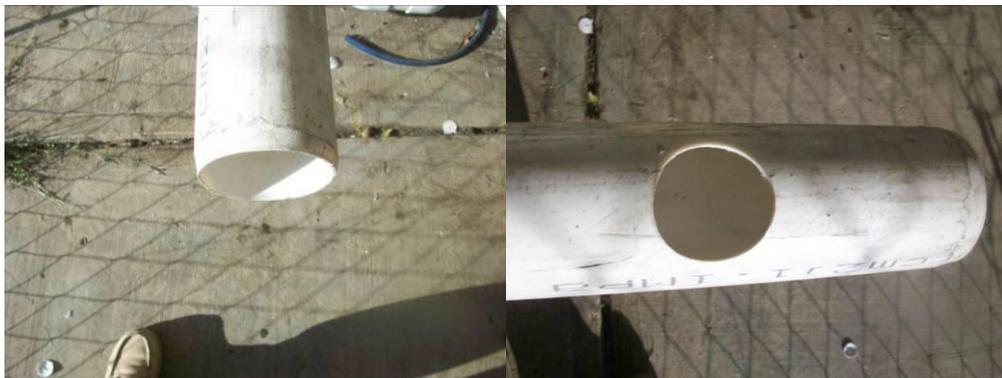


Figura 114. Cortes y perforaciones sin rebabas.

Posteriormente cada tubo de P.V.C., fue limpiado con un trapo humedecido de limpiador para P.V.C., (figura 115), el trapo fue pasado varias veces sobre la superficie de cada tubo para eliminar polvo, grasa y otros materiales, y de esta forma facilitar su unión con otras piezas de P.V.C., (figura 116).



Figura 115. Líquido limpiador para P.V.C., y trapo.



Figura 116. Limpieza de piezas de P.V.C.

Cuando los tubos ya estaban limpios, cada uno fue pintado con pintura color negro, esto con el fin de eliminar la entrada de luz solar al interior de los tubos y evitar que haya una proliferación de algas en el medio de crecimiento (figura 117).



Figura 117. Aplicación de una capa de pintura color negro.

Después de que la pintura negro secó, los tubos fueron pintados de color blanco (figura 118), para reflejar parte de la luz solar y evitar que los tubos se calentaran demasiado en la producción.



Figura 118. Aplicación de una capa de pintura color blanco.

Fueron utilizados codos de 90° de P.V.C., hidráulico de 2+ de diámetro interior y tramos de tubo de P.V.C., hidráulico de 2+ de diámetro interior de distintas longitudes (figura 119), además de los 12 tramos de tubo antes cortados.



Figura 119. Codos de 90° y tubo de P.V.C., utilizados.

Las piezas de P.V.C., fueron unidas utilizando un pegamento para P.V.C., (figura 120), éste fue untado sobre las superficies a unir (figura 121), para después unir cada segmento (figura 122), e ir ensamblando el dispositivo.



Figura 120. Pegamento utilizado en el ensamble de las piezas de P.V.C.



Figura 121. Aplicación del pegamento en las áreas a unir.



Figura 122. Unión de las piezas de P.V.C.

Después de haber cortado, perforado, limpiado, pintado y unido cada pieza de P.V.C., el sistema de conducción quedó ensamblado, sin embargo fue necesario realizar una nivelación de ambos sistemas (soporte y conducción) para asegurar su correcto funcionamiento y que existiera un desnivel natural del sistema de conducción del 2% (figura 123).



Figura 123. Nivelación del dispositivo.

Antes de haber realizado el trasplante fueron realizadas algunas pruebas de funcionamiento, para asegurarnos que el agua fluyera sin ningún problema evitando su estancamiento o su fuga en algún sitio del sistema (figura 124).



Figura 124. Pruebas en el dispositivo.

El dispositivo ya terminado (figuras 125 y 126), ocupa un área de  $3.15 \text{ m}^2$ , tiene una capacidad para producir 120 plantas a la vez, la longitud total del sistema de conducción es de 34.4 metros, y el agua que entra desde el inicio tarda en recorrer todo el sistema un minuto y ocho segundos (sin plantas).



Figura 125. Vista superior del dispositivo.



Figura 126. Dispositivo hidropónico terminado.

### 1.3.4. Producción del Cultivo

#### 1.3.4.1. Cultivo utilizado

##### a) Lechuga

La lechuga es la planta más importante del grupo de las hortalizas de hoja; se consume en ensaladas, es ampliamente conocida y se cultiva en casi todos los países del mundo (Alvarado, *et al.* 2001).

Es originaria de Asia, probablemente procede de Asia menor. La lechuga tipo cabeza empezó a aparecer hacia el año 1500 de nuestra era.

Pertenece a la familia botánica Compositae y su nombre científico es *Lactuca sativa* L.

## b) Aspectos de producción

Alvarado (*et al.* 2001) indican que en lo que se refiere a siembra indirecta o de trasplante, que es lo más utilizado comercialmente, si se realiza a campo abierto se recomienda un almacigo de 50 m<sup>2</sup>, distribuyendo de 200 a 300 g de semilla, la cual proporciona suficientes plantas para una hectárea comercial. El tiempo que tardan las plantitas en almacigo es de 5 a 7 semanas, y se trasplantan cuando tienen de 4 a 6 hojas verdaderas.

En siembras comerciales de lechuga se puede obtener poblaciones de 66,000 a 72,000 plantas por hectárea.

Densidad de siembra: 300-400g/ha Almacigo 2 kg/ha.

Siembra directa (distancia entre surcos): 92 cm.

Doble hilera (distancia entre plantas): 30 cm

Población: 36,232 plantas/ha.

El rango de temperatura para su desarrollo es de 13 a 25 °C, siendo la óptima entre los 16 y 22°C (Alvarado, *et al.* 2001).

En cuanto a intensidad luminosa, mencionan que estas plantas exigen mucha luz, pues se ha comprobado que la escasez de ésta provoca que las hojas sean delgadas y que en múltiples ocasiones las cabezas se suelten (Alvarado, *et al.* 2001).

## c) Producción en el experimento

En este experimento fueron producidas 120 lechugas de 4 cuatro variedades, es decir primero fueron producidas 120 lechugas y después otras 120 lechugas, fueron utilizadas plántulas de lechuga con una edad de 21 días (figura 127). Las plántulas fueron conseguidas en un vivero hortícola ubicado al norte de la Ciudad de Cuernavaca. Este cultivo fue utilizado por su maleabilidad en el manejo hidropónico.



Figura 127. Plántulas de lechuga utilizadas.

Las cuatro variedades producidas fueron: %Romana+, %Francesa+, %Francesa roja+, y %Culo rosa+ (figuras 128 a 131). Aunque son el mismo cultivo, las variedades

utilizadas muestran algunas diferencias entre sí. El cuadro 19 muestra ciertas diferencias entre las variedades utilizadas.



Figura 128. Lechuga Variedad %Romana+



Figura 129. Lechuga Variedad %Francesa+



Figura 130. Lechuga Variedad %Francesa roja+



Figura 131. Lechuga Variedad Lolo rosa+

Cuadro 19. Características de variedades de lechuga utilizadas.

| No. | Variedad      | Color        | Tamaño        | Borde de las hojas | Ciclo (ddt*) |
|-----|---------------|--------------|---------------|--------------------|--------------|
| 1   | Romana        | Verde        | Compacto      | Aserrado           | 50           |
| 2   | Francesa      | Verde        | Semi compacto | Liso               | 50           |
| 3   | Francesa roja | Rojo intenso | Semi compacto | Liso               | 49           |
| 4   | Lolo Rosa     | Verde/Rojo   | Compacto      | Aserrado           | 55           |

\* Días después del trasplante.

#### 1.3.4.2. Desinfección

Antes de haber realizado el trasplante de las plántulas al dispositivo, éste último fue desinfectado con una solución de agua y cloro al 10 % (figura 132). La solución fue introducida al sistema de conducción para eliminar hongos y bacterias.



Figura 132. Utilización de cloro para la desinfección del dispositivo.

A la par de la desinfección del dispositivo, a las plántulas se dio un tratamiento para prevenir la presencia de hongos, a las plántulas fue aplicado un fungicida sistémico (Cercobin) para el control y prevención de hongos en las raíces, este

fungicida fue aplicado a una concentración de  $0.5 \text{ g/L}^{-1}$  de agua, la aplicación fue realizada en **branch** (figura 133).



Figura 133. Aplicación de fungicida preventivo.

#### 1.3.4.3. Trasplante

Transcurridas 12 horas de la desinfección, se dio inicio con el trasplante, para ello se utilizó vaso de plástico del número **0+** (figura 134), a estos vasos se eliminó el fondo (figura 135), y las paredes fueron seccionadas (figura 136) para permitir el óptimo desarrollo de raíces de las plantas.



Figura 134. Vaso del número **0+**.



Figura 135. Eliminación del fondo en los vasos de plástico.



Figura 136. Seccionado de las paredes de los vasos.

También fueron cortados 120 tramos de 29.0 cm x 4.25 cm de tela para limpieza Magitela+ con el fin de utilizarlos para envolver las raíces de las plántulas y proporcionar humedad al inicio del desarrollo de las raíces (figuras 137 y 138).



Figura 137. Servilletas Magitela+.



Figura 138. Tramos cortados.

Cada plántula utilizada en experimento fue envuelta en un pliego de Magitela+ (figura 139), cuidando en no dañar a las raíces del cultivo, y enseguida las plántulas envueltas fueron colocadas en los vasos cortados (figura 140), para después ser colocadas en el dispositivo (figura 141).



Figura 139. Plántulas envueltas en Magitela+.



Figura 140. Preparación de plántulas para el trasplante.



Figura 141. Realización del trasplante al dispositivo.

#### 1.3.4.4. Riego y fertilización

##### a) Riego

Al ser el sistema de conducción del dispositivo hidropónico un circuito cerrado, sólo fue utilizado un solo contenedor. Este recipiente es un bote de plástico de 50 litros de capacidad color negro (figura 142), en la parte superior tiene una tapa, ésta tiene dos perforaciones, en una entra la solución que viene del sistema y en otra sale hacia el sistema (figura 143).



Figura 142. Recipiente hidropónico.



Figura 143. Tapa del contenedor.

Para hacer llegar el agua hasta la parte más alta del dispositivo (entrada de agua al sistema de conducción) fue utilizada una bomba eléctrica sumergible de  $\frac{1}{2}$  HP (figura 144), esta bomba trasladaba el agua a través de una manguera desde el contenedor hasta la entrada de la solución en el sistema de conducción.



Figura 144. Bomba sumergible utilizada.

La figura 145 muestra el líquido en el interior del recipiente utilizado, éste era llenado hasta su máxima capacidad (50 litros). El flujo de agua entrante al sistema de conducción era de 2.95 litros por minuto (figura 146).

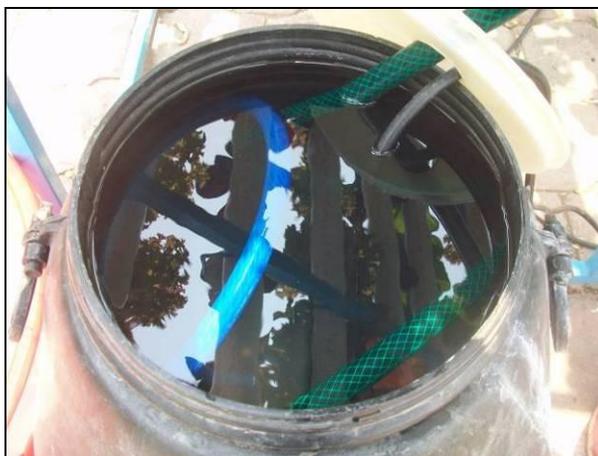


Figura 145. Agua de riego en el contenedor.



Figura 146. Flujo entrante al sistema de conducción.

Para encender y apagar la bomba sumergible fue utilizado un timer+ (temporizador digital de 8 eventos), este temporizador (figura 147) estuvo conectado durante todo el ciclo de producción a la toma de corriente eléctrica, y la bomba sumergible fue conectada al timer+.



Figura 147. Temporizador utilizado.

El horario programado en el temporizador para encender y apagar la bomba sumergible, es mostrado en el cuadro 21, los lapsos de  $\% \text{apagado} +$  son más extensos en horas nocturnas, y más cortos en horas diurnas.

Cuadro 21. Horario de encendido y apagado de la bomba sumergible.

| Evento | Encendido (horas) | Apagado (horas) |
|--------|-------------------|-----------------|
| 1      | 08:00             | 10:30           |
| 2      | 11:00             | 13:30           |
| 3      | 14:00             | 16:30           |
| 4      | 17:00             | 19:30           |
| 5      | 20:00             | 21:30           |
| 6      | 23:00             | 00:30           |
| 7      | 02:00             | 03:30           |
| 8      | 05:00             | 07:00           |

Antes de finalizar la producción de lechuga, la solución nutritiva entrante tardaba 11 minutos con seis segundos en recorrer todo el sistema de conducción, una diferencia de nueve minutos con 58 segundos con respecto al recorrido de la solución en el sistema sin la presencia de plantas (un minuto con ocho segundos).

### b) Fertilización

Al estar la producción del cultivo bajo un sistema hidropónico, la fertilización fue aplicada por medio de una solución nutritiva (cuadro 22), en ella estaban disueltos los fertilizantes útiles para el crecimiento y desarrollo del cultivo de lechuga.

Cuadro 22. Solución nutritiva empleada.

| No. | Ion   | mMol/L <sup>-1</sup> |
|-----|---|----------------------|
| 1   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>               | 0.5                  |
| 2   | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | 10.0                 |
| 3   | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>               | 2.5                  |
| 4   | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | 2.5                  |
| 5   | Ca <sup>++</sup>                            | 5.0                  |
| 6   | Mg <sup>+</sup>                             | 2.5                  |
| 7   | K <sup>+</sup>                              | 6.0                  |
| 8   | Ce  | 2.0                  |
| 9   | Ph  | 5.9                  |

La solución nutritiva fue preparada de la siguiente manera:

En una báscula se pesaba la cantidad necesaria de cada fertilizante (figura 148), cabe mencionar que en algunos casos los fertilizantes eran líquidos y por lo tanto se utilizó una probeta para medir el volumen a utilizar (figura 149), cada fertilizante era medido por separado.



Figura 148. Obtención de los gramos necesarios de cada fertilizante.



Figura 149. Medición del volumen a utilizar.

La cantidad de nutrientes ya pesada, o medida era disuelta en un volumen conocido de agua (figura 150 y 151), cada fertilizante fue disuelto por separado, fue utilizado un litro para diluir macronutrientes y medio litro para diluir micronutrientes. Las soluciones resultantes eran vaciadas al contenedor hidropónico (figura 152), de ahí el agua era bombeada al dispositivo de hidroponía.



Figura 150. Fertilizantes ya pesados.



Figura 151. Disolución de los fertilizantes.



Figura 152. Vaciado de la solución nutritiva al bote de plástico.

#### 1.3.4.5. Plagas y enfermedades

Los productos utilizados para el control de plagas y enfermedades presentes en el cultivo de lechuga fueron medidos o pesados (figura 153), después disueltos en una cantidad conocida de agua (figura 154), posteriormente la solución preparada fue vaciada a una bomba de aspersión de 4 litros de capacidad (figura 155), las aplicaciones fueron dirigidas al follaje de las lechugas (figura 156).

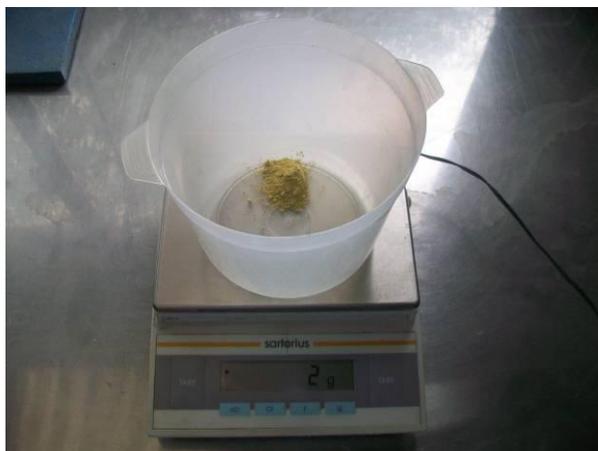


Figura 153. Pesaje del producto para cada aplicación.

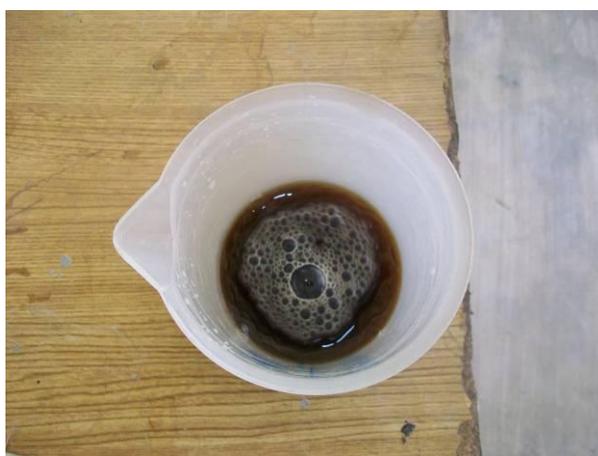


Figura 154. Disolución del producto en agua.



Figura 155. Bomba aspersora.



Figura 156. Aplicación de insecticidas y fungicidas.

Para prevenir la presencia de enfermedades fúngicas en las raíces de las lechugas, también se realizaron aplicaciones de productos agroquímicos, pero en este caso se realizaron forma de  $\% \text{drench}$  utilizando el sistema de riego (figura 157).



Figura 157. Aplicación de fungicida en riego.

#### 1.3.4.6. Desordenes fisiológicos

Durante el proceso de producción del cultivo de lechuga se presentaron distintos desordenes fisiológicos, los cuales disminuyen la calidad final del producto. Algunas fisiopatías presentadas en el desarrollo fueron: Deficiencias de nutrimentos (figura 158) estas fueron resueltas durante el desarrollo del cultivo; Elongación del tallo (figura 159), ésta se dio por una iluminación incorrecta (hubo déficit); Decoloración (figura 160), algunas plantas (principalmente de variedades color rojo) no presentaron su color natural (rojo o rojizo), sino que presentaron una ausencia del color, desarrollando mayoritariamente un color verduzco. Esta decoloración fue provocada por una escasa iluminación.



Figura 158. Deficiencia de hierro; presentada en la segunda semana.



Figura 159. Elongación del tallo; presentada en la tercera semana.



Figura 160. Decoloración de lechugas; a partir de la cuarta semana.

#### 1.3.4.7. Desarrollo del cultivo

El trasplante del cultivo de lechugas se realizó el día 2 de abril del 2013, trasplantándose 120 plántulas de 4 variedades distintas, el ciclo de crecimiento y desarrollo duró 50 días, hasta completar su estado de consumo, cada variedad presentó diversas características en cuanto a color, forma, tamaño, y adaptación al sistema hidropónico (figuras 161 a 168).



Figura 161. Primera semana después del trasplante.



Figura 162. Desarrollo del sistema radical.



Figura 163. Dos semanas después del trasplante.



Figura 164. Tres semanas después del trasplante.



Figura 165. Cuatro semanas después del trasplante.



Figura 166. Cinco semanas después del trasplante.



Figura 167. Seis Semanas después del trasplante.



Figura 168. Siete Semanas después del trasplante (semana de cosecha).

#### 1.3.4.8. Cosecha

La cosecha fue realizada el día 22 de mayo (50 días después del trasplante). Llegado el día de la cosecha, del dispositivo hidropónico fueron extraídas todas las piezas de lechuga (figura 169), enseguida fueron eliminadas las raíces de cada pieza de lechuga (figura 170), para después pesarlas y anotar el rendimiento (figura 171), posteriormente distribuir las entre el personal del IMTA (figuras 172 y 173).



Figura 169. Extracción de lechugas.



Figura 170. Eliminación de raíces.

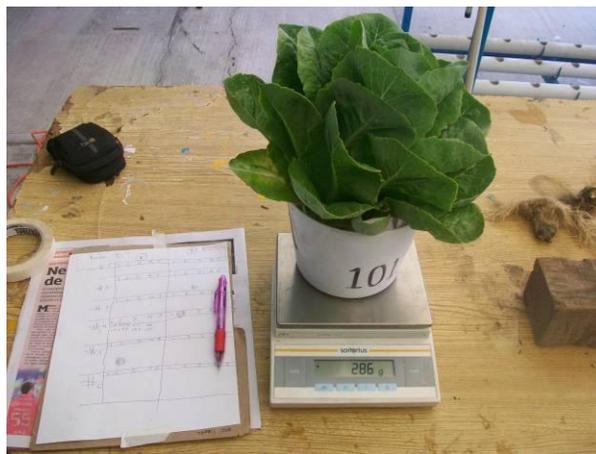


Figura 171. Pesaje de lechugas.



Figura 172. Lechugas cosechadas.



Figura 173. Distribución de lechugas con el personal del IMTA.

De la figura 174 a la figura 177 son mostradas algunas plantas de cada variedad producida y cosechada.



Figura 174. Variedad Romana+



Figura 175. Variedad Francesa+



Figura 176. Variedad %Francesa roja+



Figura 177. Variedad %Culo Rosa+

#### 1.3.4.9. Resultados

Los resultados obtenidos en la cosecha del cultivo de lechuga de cada variedad son mostrados en los cuadros 23 a 26, y en las figuras 178 a 180. En ellos se muestra un comportamiento muy distinto del rendimiento entre cada variedad, según muestran los datos, la variedad %Romana+es la variedad que más rindió en este experimento, y la variedad %Culo rosa+fue la que produjo el menor de los rendimientos de las cuatro variedades utilizadas en el experimento.

Cuadro 23. Rendimiento por planta producida.

| Variedad      | Repetición | Rendimiento por planta (g) |     |     |     |     |
|---------------|------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|
|               |            | 1                          | 2   | 3   | 4   | 5   |
| Romana        | 1          | 158                        | 211 | 186 | 97  | 193 |
|               | 2          | 161                        | 194 | 167 | 287 | 264 |
|               | 3          | 90                         | 174 | 180 | 193 | 271 |
|               | 4          | 117                        | 53  | 94  | 173 | 151 |
|               | 5          | 122                        | 172 | 107 | 102 | 126 |
|               | 6          | 108                        | 248 | 219 | 115 | 147 |
| Francesa      | 1          | 107                        | 173 | 197 | 81  | 215 |
|               | 2          | 37                         | 161 | 121 | 111 | 105 |
|               | 3          | 154                        | 179 | 202 | 116 | 172 |
|               | 4          | 134                        | 145 | 152 | 107 | 84  |
|               | 5          | 43                         | 84  | 89  | 58  | 69  |
|               | 6          | 18                         | 155 | 148 | 156 | 112 |
| Francesa roja | 1          | 83                         | 75  | 64  | 88  | 73  |
|               | 2          | 58                         | 115 | 70  | 37  | 79  |
|               | 3          | 67                         | 84  | 68  | 53  | 62  |
|               | 4          | 73                         | 61  | 75  | 54  | 70  |
|               | 5          | 26                         | 25  | 34  | 39  | 48  |
|               | 6          | 50                         | 53  | 75  | 51  | 58  |
| Lolo Rosa     | 1          | 63                         | 63  | 26  | 11  | 8   |
|               | 2          | 32                         | 51  | 44  | 24  | 39  |
|               | 3          | 87                         | 71  | 61  | 70  | 67  |
|               | 4          | 86                         | 70  | 56  | 87  | 145 |
|               | 5          | 61                         | 25  | 23  | 28  | 61  |
|               | 6          | 109                        | 51  | 51  | 51  | 40  |

Cuadro 24. Promedio del rendimiento por planta.

| Variedad      | g      |
|---------------|--------|
| Romana        | 162.67 |
| Francesa      | 122.83 |
| Francesa roja | 62.27  |
| Lolo Rosa     | 55.37  |

Cuadro 25. Rendimiento por repetición.

| Repetición | Variedad   |              |                   |               |
|------------|------------|--------------|-------------------|---------------|
|            | Romana (g) | Francesa (g) | Francesa roja (g) | Lolo rosa (g) |
| 1          | 845        | 773          | 383               | 171           |
| 2          | 1073       | 535          | 359               | 190           |
| 3          | 908        | 823          | 334               | 356           |
| 4          | 588        | 622          | 333               | 444           |
| 5          | 629        | 343          | 172               | 198           |
| 6          | 837        | 589          | 287               | 302           |

Cuadro 26. Rendimiento por variedad.

| Variedad          | Total (kg)   |
|-------------------|--------------|
| Romana            | 4.88         |
| Francesa          | 3.69         |
| Francesa roja     | 1.87         |
| Lolo Rosa         | 1.66         |
| <b>Total (kg)</b> | <b>12.09</b> |

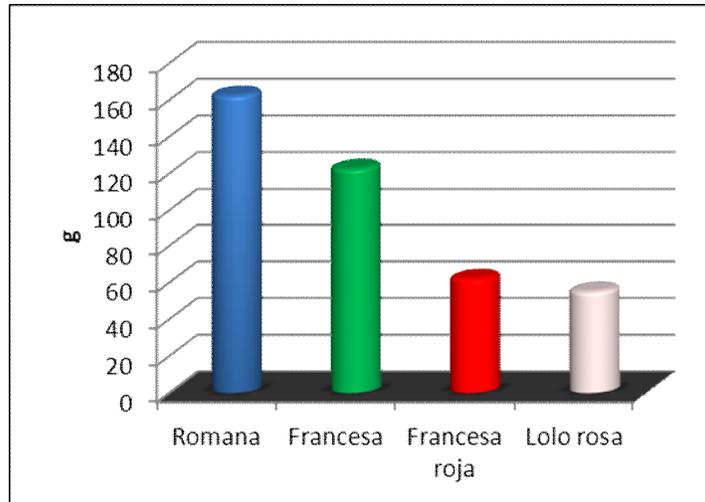


Figura 178. Promedio de planta por variedad.

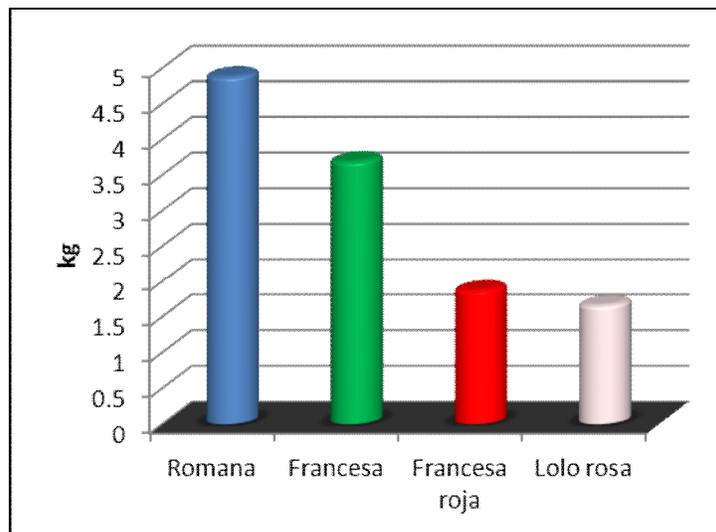


Figura 179. Rendimiento por variedad.

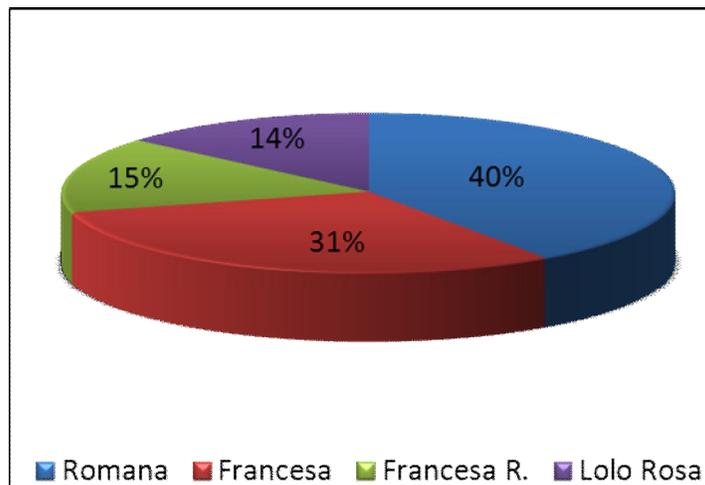


Figura 180. Porcentaje de la producción por variedad.

### 1.3.5. Diseño experimental

Se realizó un experimento para determinar qué variedad de lechuga se adapta mejor al dispositivo hidropónico, y por lo tanto qué variedad produce el mayor rendimiento de cuatro variedades probadas.

Para ello fue utilizado un Diseño Experimental Completamente al Azar, donde fueron implementados 4 tratamientos, cada tratamiento consistió en una variedad distinta de lechuga (cuadro 31).

Cuadro 31. Tratamientos utilizados en el experimento.

| Tratamiento | Variedad      |
|-------------|---------------|
| 1           | Romana        |
| 2           | Francesa      |
| 3           | Francesa roja |
| 4           | Lolo rosa     |

Cada tratamiento tuvo 6 repeticiones, y cada repetición estuvo compuesta por 5 plantas de una sola variedad, estas fueron colocadas en el dispositivo de forma aleatoria (cuadro 32), además fueron propuestas las siguientes hipótesis:

*H<sub>0</sub>*: Las variedades son igualmente productivas.

*H<sub>a</sub>*: Al menos una variedad produce distintos rendimiento que las demás.

Cuadro 32. Mapa de localización de tratamientos y repeticiones aplicados.

| Nivel                               | Dispositivo hidropónico |            |            |            |
|-------------------------------------|-------------------------|------------|------------|------------|
| 1                                   | T:4<br>R:2              | T:1<br>R:3 | T:3<br>R:3 | T:1<br>R:2 |
| 2                                   | T:4<br>R:4              | T:4<br>R:5 | T:1<br>R:6 | T:4<br>R:1 |
| 3                                   | T:4<br>R:6              | T:3<br>R:4 | T:1<br>R:5 | T:4<br>R:4 |
| 4                                   | T:3<br>R:2              | T:1<br>R:4 | T:4<br>R:6 | T:4<br>R:3 |
| 5                                   | T:1<br>R:1              | T:4<br>R:5 | T:3<br>R:1 | T:4<br>R:3 |
| 6                                   | T:3<br>R:5              | T:<br>R:1  | T:4<br>R:2 | T:3<br>R:6 |
| T = Tratamiento.<br>R = Repetición. |                         |            |            |            |

Con los rendimientos obtenidos de cada variedad de lechuga cosechada en el dispositivo hidropónico (cuadro 33), fue realizado un Análisis de Varianza para determinar si existe al menos un tratamiento que tenga una tendencia diferente al resto de los tratamientos aplicados (cuadro 34).

Cuadro 33. Datos de cosecha de lechuga.

| Repetición | Rendimiento/Varietal<br>(kg) |          |               |           |
|------------|------------------------------|----------|---------------|-----------|
|            | Romana                       | Francesa | Francesa Roja | Lolo Rosa |
| 1          | 0.845                        | 0.773    | 0.383         | 0.171     |
| 2          | 1.073                        | 0.535    | 0.359         | 0.190     |
| 3          | 0.908                        | 0.823    | 0.334         | 0.356     |
| 4          | 0.588                        | 0.622    | 0.333         | 0.444     |
| 5          | 0.629                        | 0.343    | 0.172         | 0.198     |
| 6          | 0.837                        | 0.589    | 0.287         | 0.302     |

Cuadro 34. Análisis de varianza.

| Fuente de variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F Calculada | F Tabulada* | Significancia |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------|-------------|---------------|
| Tratamientos        | 3                  | 1.179             | 0.393            | 19.643      | 3.098       | Sí existe     |
| Error               | 20                 | 0.400             | 0.020            | --          | ---         | ---           |
| Total               | 23                 | 1.580             | --               | --          | ---         | ---           |

\* Datos obtenidos de Tablas de Distribución F, Montgomery (2003).

Con un nivel de significancia del 5 % y con los datos recabados en la cosecha de lechugas se concluye que:

Si existen diferencias entre los tratamientos aplicados en la producción de lechuga hidropónica, por lo tanto al menos un tratamiento difiere de los demás tratamientos aplicados.

Al existir diferencias entre los tratamientos aplicados, se aplicó una Prueba de Comparación de Medias a los promedios de cada tratamiento utilizando la prueba de Tukey (cuadros 35 y 36).

Cuadro 35. Promedios de producción de lechuga.

| Repetición | Tratamientos<br>(Promedio del rendimiento en g) |       |       |       |
|------------|---|-------|-------|-------|
|            | 1   | 2     | 3     | 4     |
| 1          | 845   | 773   | 383   | 171   |
| 2          | 1073  | 535   | 359   | 190   |
| 3          | 908   | 823   | 334   | 356   |
| 4          | 588   | 622   | 333   | 444   |
| 5          | 629   | 343   | 172   | 198   |
| 6          | 837   | 589   | 287   | 302   |
| Promedio   | 813.3   | 614.2 | 311.3 | 276.8 |

Cuadro 36. Promedios en orden decreciente.

| Promedios en orden decreciente | Tratamiento | Varietal      |
|--------------------------------|-------------|---------------|
| 813.3                          | 1           | Romana        |
| 614.2                          | 2           | Francesa      |
| 311.3                          | 3           | Francesa roja |
| 276.8                          | 4           | Lolo rosa     |

### Calculo de la DHS:

$$DHS = q_s \quad q = q_{GL(E),t}$$

$$s = \sqrt{\frac{CM(E)}{r}} = \sqrt{\frac{0.241}{6}} = 0.2$$

$$q_s \text{ Para comparar 4 tratamientos} \quad \begin{aligned} t &= t_{GL(E)} = t_{20,4,0.05} = 3.96 \\ q_s &= 0.2 \times 3.96 = 0.792 \end{aligned}$$

$$q_s \text{ Para comparar 3 tratamientos} \quad \begin{aligned} t &= t_{GL(E)} = t_{20,3,0.05} = 3.58 \\ q_s &= 0.2 \times 3.58 = 0.716 \end{aligned}$$

$$q_s \text{ Para comparar 2 tratamientos} \quad \begin{aligned} t &= t_{GL(E)} = t_{20,2,0.05} = 2.95 \\ q_s &= 0.2 \times 2.95 = 0.59 \end{aligned}$$

### Comparación:

$$\begin{aligned} T1 \text{ VS } T2 &= 813.3 - 614.2 = 199.1 > 0.59. \\ T1 \text{ VS } T3 &= 813.3 - 311.3 = 502 > 0.716. \\ T1 \text{ VS } T4 &= 813.3 - 276.8 = 536.5 > 0.792. \\ T2 \text{ VS } T3 &= 614.2 - 311.3 = 302.9 > 0.59. \\ T2 \text{ VS } T4 &= 614.2 - 276.8 = 337.4 > 0.716. \\ T3 \text{ VS } T4 &= 311.3 - 276.8 = 34.5 > 0.59. \end{aligned}$$

### Conclusión:

Al ser las diferencias resultantes de las comparaciones del tratamiento uno con los demás tratamientos mayores a las  $q_s$  determinadas, se concluye que el mejor tratamiento para producir lechugas bajo un esquema de hidroponía es el tratamiento número uno.



## 2. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS Y DE PROMOCIÓN PARA LA AGRICULTURA URBANA

### 2.1. Manejo de la Fertilidad en Macetas y Contenedores Individuales (en piso)

#### 2.1.1. Desarrollo

Se realizó un experimento para determinar qué concentración de vermicomposta es la más óptima para el desarrollo y producción de tres cultivos distintos.

Las concentraciones de humus utilizadas fueron:

- 0 % de vermicomposta.
- 10 % de vermicomposta.
- 20 % de vermicomposta.

Los cultivos utilizados en el experimento fueron:

- Cilantro.
- Té limón.

En el interior de las cajas plásticas (figura 181), fue colocado una mezcla de sustrato hecha con tierra de hoja y tierra de monte, en esas cajas fueron producidos los tres cultivos distintos ya mencionados.

Cada cultivo fue producido bajo tres distintas fertilizaciones:

- Fertilización a base de fertilizantes químicos.
- Fertilización utilizando humus de lombriz al 10%.
- Fertilización utilizando humus de lombriz al 20 %.



Figura 181. Cajas plásticas y sustrato.

## 2.1.2. Sustratos

### 2.1.2.1 Lombricomposta

Ruiz Mariana (2011), define a la lombricomposta+ (humus de lombriz) como: material similar a la tierra, producido a partir de residuos orgánicos, es rico en nutrientes y utilizado comúnmente como mejorador de suelos o sustituto de fertilizantes.

La lombricomposta utilizada en este experimento (figura 182), fue conseguida en el municipio de Tlayacapan Morelos, en una procesadora dedicada a la elaboración de compostas, lombricompostas y sus derivados.



Figura 182. Lombricomposta utilizada.

La lombricomposta utilizada tiene una textura gruesa, retiene fácilmente la humedad y es un sustrato color café oscuro, además tiene un peso de 700 g por cada litro (figura 183).



Figura 183. Peso por litro de lombricomposta.

### 2.1.2.2. Mezcla de sustratos

El sustrato utilizado en el experimento fue una mezcla hecha con tres distintos materiales: tierra de monte o tierra de banco, de tierra de hoja, y arena de tezontle, en una proporción de 40, 40 y 20 % respectivamente. Estos tres materiales fueron mezclados para realizar una mezcla homogénea (figura 184), y en ella poder producir los cultivos seleccionados.



Figura 184. Mezcla de sustratos.

### 2.1.2.3. Concentración de vermicomposta utilizada

Las concentraciones de vermicomposta determinadas para el desarrollo de los cultivos son:

- 0 %.
- 10 %.
- 20 %.

Las proporciones de vermicomposta fueron adicionadas a la mezcla de sustrato (figuras 185 y 186) con el fin de determinar si es posible fertilizar a los cultivos de manera natural, en el caso de 0%, la fertilización se hará con sales químicas como el nitrato de potasio o el ácido nítrico.



Figura 185. Sustrato con 10 % de vermicomposta.



Figura 186. Sustrato con 20 % de vermicomposta.

Después de haber colocado la cantidad de humus de composta en su respectivo recipiente, fue realizada una revoltura para homogenizar todos los materiales.

### 2.1.3. Contenedores

Los contenedores utilizados en el experimento fueron cajas de plástico, las cuales tienen características distintas (cuadro 41), Se utilizaron dos tipos de caja (figuras 187 y 188) las cuales tienen una capacidad de volumen distinta, esta característica favoreció la producción del cultivo desarrollado en cada caja.

Cuadro 41. Dimensiones de las cajas de plástico.

| Tipo de caja | Largo (cm) | Ancho (cm) | Altura (cm) | Peso (kg) | Color   |
|--------------|------------|------------|-------------|-----------|---------|
| A            | 72.0       | 43.0       | 21.5        | 2.40      | Naranja |
| B            | 55.0       | 37.5       | 32.0        | 2.42      | Verde   |



Figura 187. Caja plástica modelo A.



Figura 188. Caja plástica modelo B.

En la caja tipo **A** fue producido únicamente el cultivo de cilantro, y en la caja tipo **B** fue producido el cultivo de té limón.

#### **2.1.4. Producción de cultivos**

##### **2.1.4.1. Trasplante**

El trasplante fue utilizado para el cultivo de Té limón, este se hizo primero, eliminando la tierra en sus raíces, posteriormente en cada caja utilizada fue colocada una capa de sustrato, en seguida cada mata fue trasplantada al recipiente correspondiente, y a continuación las raíces de las plantas fueron tapadas con más sustrato (figuras 189 y 190).



Figura 189. Raíces de té limón sin sustrato.



Figura 190. Planta de té limón trasplantada.

#### 2.1.4.2. Siembra

En el caso del cultivo de cilantro, no se realizó un trasplante de plántulas o plantas adultas, sino que se recurrió a la siembra, ya que el cultivo de cilantro se reproduce principalmente por semillas (figura 191).



Figura 191. Semillas de cilantro.

En las cajas utilizadas para el cultivo de cilantro, primero fue colocada una capa del sustrato correspondiente, enseguida, fueron esparcidas para la siembra aproximadamente 26 g de semilla por caja, estas fueron esparcidas en todo el interior de las cajas (figura 192) y posteriormente fue aplicada una capa más del sustrato utilizado para tapar las semillas (figura 193). A los diez días después de la siembra (dds) las semillas comenzaron a emerger, y a los 13 días dds las plantas de cilantro comenzaron a emitir sus primeras hojas verdaderas (figura 194).



Figura 192. Siembra de cilantro.



Figura 193. Aplicación de una capa de sustrato.



Figura 194. Primeras hojas verdaderas de plantas de cilantro.

#### 2.1.4.3. Riegos y fertilización

##### a) **Riegos**

Cada riego se hizo utilizando una bandeja de plástico (figura 195). En promedio era aplicada una lámina de 1.0 cm. Los riegos fueron realizados cada dos días, aunque a veces los riegos se extendieron hasta tres o cuatro días ya que hubo la presencia de lluvia.



Figura 195. Aplicación de los riegos en los cultivos.

## b) Fertilización

A las plantas que fueron producidas con sustrato mezclado con algún porcentaje de vermicomposta no se aplicó ningún tipo de fertilizante, ya que el objetivo en este experimento fue observar si la vermicomposta puede sustituir a la aplicación de fertilizantes, y de esta manera producir sin fertilizantes.

A las plantas que no fueron producidas con algún porcentaje de vermicomposta se aplicaron los fertilizantes mostrados en el cuadro 42.

Cuadro 42. Fórmula de fertilización.

| NO. | Ión   | Cantidad<br>mmol/L <sup>-1</sup> |
|-----|---|----------------------------------|
| 1   | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | 9.0                              |
| 2   | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | 1.0                              |
| 3   | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>               | 3.5                              |
| 4   | K <sup>+</sup>                              | 7.0                              |
| 5   | Ca <sup>+2</sup>                            | 4.5                              |
| 6   | Mg <sup>+2</sup>                            | 2.0                              |
| 7   | pH  | 5.8                              |
| 8   | C.E.  | 2.5                              |

Todos los fertilizantes utilizados en la producción de este experimento fueron sales solubles (figura 196), es decir fertilizantes químicos que se solubilizan en agua, de esta manera en cada riego eran aportados los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.



Figura 196. Fertilizantes disueltos aportados en el experimento.

#### 2.1.4.4. Control de plagas y enfermedades

Al ser la producción de los tres cultivos a cielo abierto, las plantas no tuvieron una protección artificial ni natural (mallas antifidos, plásticos o barreras naturales), salvo la aplicación agroquímicos (figura 197). Estos fueron aplicados una vez por semana, las aplicaciones eran dadas de forma preventiva, es decir las dosis de aplicación eran bajas comparadas con las dosis curativas+(198).



Figura 197. Agroquímicos aplicados.



Figura 198. Aplicaciones preventivas.

Las aplicaciones realizadas fueron para prevenir la presencia de plagas como gusanos, minadores, moyotes, mosquita blanca y áfidos, también para prevenir la presencia de enfermedades como botrytis o cenicilla.

#### 2.1.4.5. Cosecha

En el caso de cilantro la cosecha se realizó arrancando todas las plantas, incluso la raíz del sustrato, esto se hizo en los tres tratamientos aplicados (figura 199).



Figura 199. Cosecha de cilantro.

Después de haber cosechado todas las plantas de cada caja de cada tratamiento, se realizó el pesaje del total de las plantas por tratamiento (figura 200).



Figura 200. Pesaje de cilantro.

Ya obtenido el rendimiento del cilantro, con las plantas cosechadas, se hicieron varios manojos de aproximadamente 50 g cada uno (figura 201), estos manojos fueron distribuidos entre el personal del IMTA para su aprovechamiento.



Figura 201. Manojos de cilantro.

Para recolectar el té limón fue necesario identificar que las hojas adultas comenzarán a tornarse de un color marrón (característica de madurez) para poderse cosechar (figura 202). La cosecha se realizó tomando con una mano el manojos de hojas a cortar y con la otra unas tijeras (figura 203).



Figura 202. Coloración marrón en puntas de las hojas de Té limón.



Figura 203. Cosecha de Té limón.

Ya cosechadas las hojas, fueron colocadas en una báscula para determinar el peso obtenido en cada tratamiento (figura 204).



Figura 204. Pesaje de Té limón.

Posteriormente con todo el producto obtenido de los tres tratamientos, se realizaron manojos (figura 205), estos manojos se hicieron de aproximadamente 60 gramos cada uno, los cuales fueron repartidos entre el personal del IMTA.



Figura 205. Manojos de té limón.

Cada manajo hecho de los distintos cultivos producidos, fueron sujetos con rafia plástica (figura 206) para impedir que los manojos se deshicieran, esta rafia fue conseguida en una tlapalería de Jiutepec Morelos.



Figura 206. Rafia utilizada.

#### 2.1.4.6. Resultados

Tras las cosechas realizadas a lo largo del desarrollo de los tres cultivos producidos con algún porcentaje de lombricomposta, los resultados obtenidos son mostrados en los cuadros 43 y 44.

Cuadro 43. Rendimiento obtenido en la producción de Té limón.

| Cortes Realizados | Rendimiento (g) |             |     |             |     |             |
|-------------------|-----------------|-------------|-----|-------------|-----|-------------|
|                   | 0%              | Fecha       | 10% | Fecha       | 20% | Fecha       |
| 1                 | 182             | 30 de abril | 170 | 30 de abril | 174 | 30 de abril |
| 2                 | 223             | 14 de mayo  | 183 | 14 de mayo  | 201 | 14 de mayo  |
| 3                 | 137             | 27 de mayo  | 136 | 27 de mayo  | 95  | 27 de mayo  |
| 4                 | 151             | 12 de junio | 180 | 12 de junio | 104 | 12 de junio |
| 5                 | 152             | 26 de junio | 143 | 26 de junio | 86  | 26 de junio |
| 6                 | 200             | 17 de julio | 186 | 17 de julio | 106 | 17 de julio |
| <b>Total</b>      | 1,045           | --          | 998 | --          | 766 | --          |

Cuadro 44. Rendimiento obtenido en la producción de Cilantro.

| Cortes Realizados | Rendimiento (g) |             |       |             |       |             |
|-------------------|-----------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
|                   | 0%              | Fecha       | 10%   | Fecha       | 20%   | Fecha       |
| 1                 | 345             | 9 de abril  | 400   | 9 de abril  | 611   | 9 de abril  |
| 2                 | 291             | 14 de mayo  | 317   | 14 de mayo  | 889   | 14 de mayo  |
| 3                 | 311             | 30 de junio | 321   | 30 de junio | 850   | 30 de junio |
| <b>Total</b>      | 947             | --          | 1,038 | --          | 2,350 | --          |

Las figuras 207 a 211 muestran los rendimientos en porcentaje de cada cultivo producido bajo el esquema de fertilización con humus de lombriz.

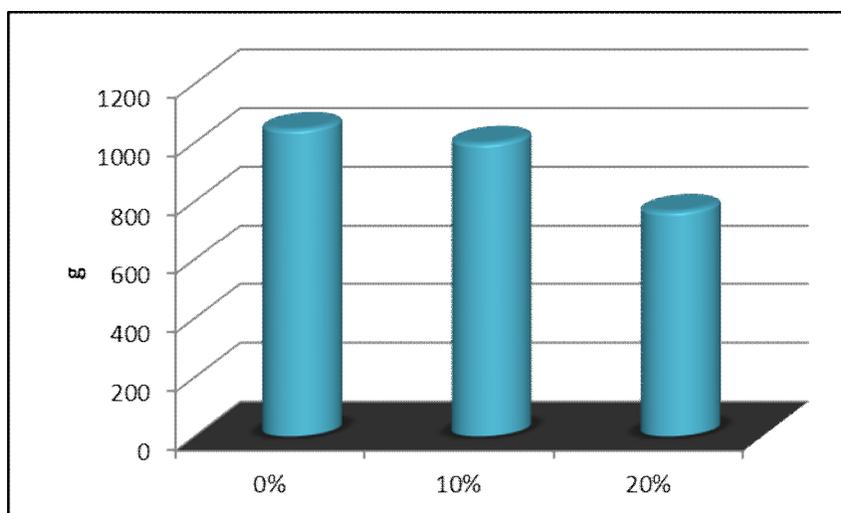


Figura 207. Rendimiento total de Té limón por tratamiento.

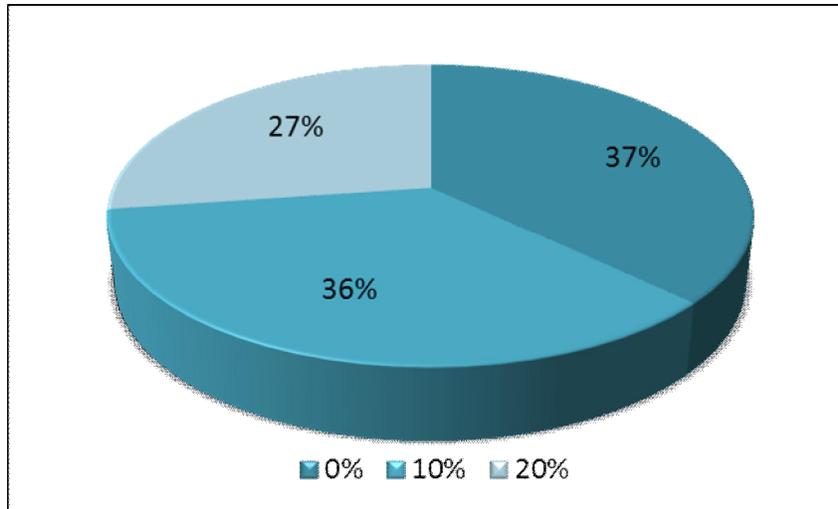


Figura 208. Rendimiento de Té limón en porcentaje

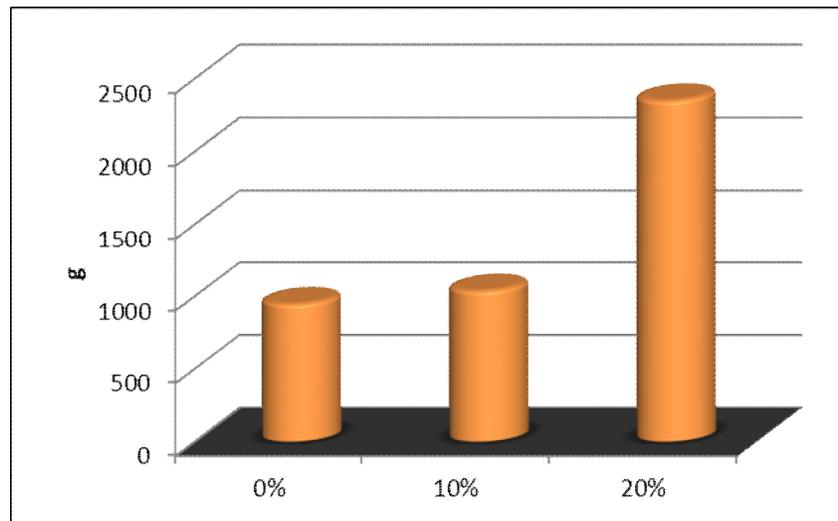


Figura 209. Rendimiento total de Cilantro por tratamiento.

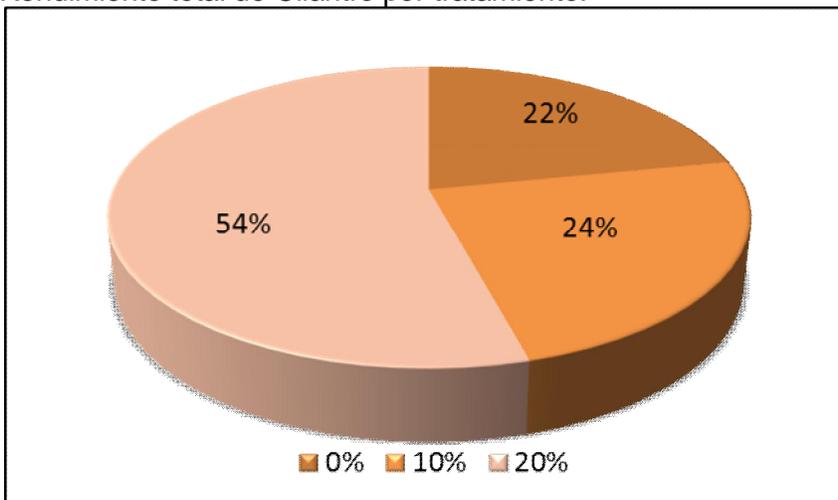


Figura 210. Rendimiento de Cilantro en porcentaje.

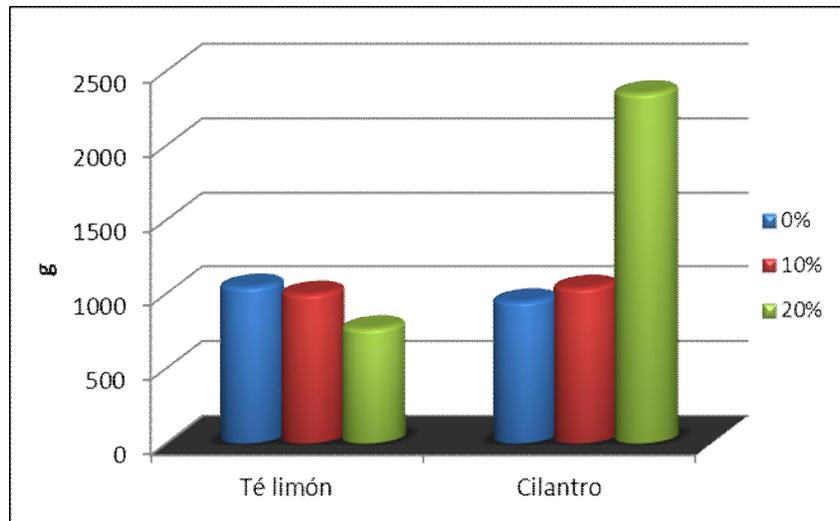


Figura 211. Comparación entre ambos cultivos.

### 2.1.5. Conclusiones

Ambos cultivos utilizados en esta prueba proyectaron distintos efectos en cuanto a rendimiento al utilizar varias dosis de humus de lombriz.

Altas dosis de vermicomposta reducen el rendimiento en el cultivo de Té Limón, mientras que en el cultivo de cilantro a mayores dosis de vermicomposta, mayor es el rendimiento obtenido.

Estos resultados no son globales, es necesario realizar más pruebas en otros cultivos para determinar el funcionamiento del humus de lombriz como un sustituto de la fertilización química.

## **2.2. Control de Plagas y Enfermedades**

Fue desarrollado un experimento para probar la efectividad de los productos naturales utilizados como plaguicidas, para ello fueron producidos tres cultivos diferentes, cada cultivo fue sujeto a dos tratamientos, cada unidad experimental tuvo tres repeticiones.

Los dos cultivos utilizados fueron:

1. Cilantro
2. Té limón

Los dos tratamientos para controlar plagas y enfermedades fueron:

1. Aplicación de productos naturales.
2. Aplicación productos agroquímicos.

### **2.2.1. Desarrollo de los cultivos**

#### **2.2.1.1. Sustratos**

El material utilizado como sustrato, fue una mezcla hecha con tierra de monte, tierra de hoja y gravilla de tezontle, en un porcentaje de 20, 20 y 10 % respectivamente (figuras 212 a 214). Estos materiales fueron elegidos para proporcionar al sustrato retención de agua, aireación y un medio de anclaje.



Figura 212. Tierra de monte.



Figura 213. Tierra de hoja.



Figura 214. Gravilla de tezontle.

Estos materiales antes mencionados fueron mezclados en su totalidad (figura 215), para obtener una mezcla homogénea (figura 216), dicha mezcla fue la utilizada como medio de crecimiento de las plantas en este experimento.



Figura 215. Mezcla parcial de sustratos.



Figura 216. Mezcla final.

#### 2.2.1.2. Macetas

Como contenedores fueron utilizadas macetas de plástico de 10+ (figura 217), las cuales tienen una capacidad de 2.5 litros. En total se utilizaron 18 macetas, 9 para el tratamiento número uno y 9 para el tratamiento número dos. Las 9 macetas correspondientes al tratamiento número 2, fueron identificadas con una marca de pintura color azul (figura 218 y 219), de esta manera se distinguía entre los tratamientos aplicados.



Figura 217. Macetas utilizadas.



Figura 218. Identificación de macetas a utilizar con el tratamiento número 2.



Figura 219. Macetas marcadas.

#### 2.2.1.3. Llenado de macetas

Las 18 macetas utilizadas en el experimento fueron llenadas con el sustrato utilizado, ya llenas el sustrato fue humedecido únicamente con agua (figura 220 y 221), después de haber humedecido el sustrato, se aplicó un fungicida (Tiofanato metílico) a una concentración de  $2 \text{ g/L}^{-1}$  para prevenir enfermedades del suelo como Phithyum, o Rizhoctonia (figura 222).



Figura 220. Humedecimiento del sustrato en las macetas.



Figura 221. Sustrato humedecido.



Figura 222. Aplicación del fungicida al sustrato.

#### 2.2.1.4. Especies vegetales utilizadas

En este experimento fueron utilizadas plantas (adultas) de hierbabuena (*Mentha spicata*) (figura 223), esta especie fue comprada en un vivero en el municipio de Cuautla Morelos. También fueron utilizadas plántulas de acelga y chile jalapeño, estas dos últimas tenían una edad de 4 semanas después de haber sido sembradas y fueron compradas en un vivero localizado en Coacalco, municipio de Tepoztlán, Morelos (figura 224).



Figura 223. Planta de hierbabuena.



Figura 224. Plántulas utilizadas.

#### 2.2.1.5. Trasplante

Transcurridas 48 horas después de haber aplicado el fungicida, se procedió con el trasplante, para ello al centro de cada maceta en el sustrato se realizó un hueco correspondiente al tamaño del cepellón de las plántulas (figura 225 y 226), para después realizar el trasplante de plántulas y plantas adultas (figuras 227 y 228), y al final acomodar a las macetas según el tratamiento aplicado (figura 229 a 231).



Figura 225. Realización de orificios en el sustrato.



Figura 226. Orificios en el sustrato de las macetas.



Figura 227. Trasplante de plántulas.



Figura 228. Trasplante de hierbabuena.



Figura 229. Macetas terminadas de trasplantar.



Figura 230. Macetas acomodadas para el desarrollo del cultivo.



Figura 231. Inflorescencia y formación de frutos en plantas de chile.

#### 2.2.1.6. Riegos y fertilización

Para aplicar todos los riegos fue necesario utilizar una bandeja plástica (figura 232), con la cual de un recipiente lleno de agua era tomada ésta. Los riegos fueron realizados en promedio cada dos días (dependiendo del clima).



Figura 232. Aplicación del agua de riego.

Para fertilizar a los cultivos fueron empleados fertilizantes solubles, los cuales eran aplicados en el agua de riego, algunos fertilizantes utilizados fueron nitrato de calcio, nitrato de potasio, ácido nítrico, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, fosfato mono potásico y microelementos como hierro y zinc.

#### 2.2.1.7. Control de Malezas

En todas las macetas del experimento hubo la presencia de malas hierbas, las cuales tuvieron que eliminarse para reducir la competencia entre especies de una misma maceta. Las hierbas que más se presentaron fueron epazote, verdolaga y

otras dicotiledóneas (figura 233). Toda la maleza fue eliminada manualmente (figura 234).



Figura 233. Presencia de maleza en las macetas.



Figura 234. Eliminación de hierbas en las macetas.

#### 2.2.1.8. Control de plagas y enfermedades

El control de plagas y de enfermedades se realizó de dos maneras, la primera realizando aplicaciones foliares de productos de origen natural, y en la segunda fueron utilizados productos de tipo químico (cuadro 45).

Cuadro 45. Productos utilizados.

| Plaga/Enfermedad    | Tratamiento natural         |   | Tratamiento químico |   |
|---------------------|-----------------------------|---|---------------------|---|
|                     | Productos                   | Concentración/<br>L <sup>-1</sup> de Agua | Productos           | Concentración/<br>L <sup>-1</sup> de Agua |
| Mosquita blanca     | Aceite de Neem              | 5 ml/10                                   |                     |   |
| Pulgones            | Jabón potásico              | 15 ml                                     |                     |   |
| Araña roja          | Sulfato de cobre            | 1g  |                     |   |
| Hormiga arriera     | ---                         | ---                                       | Permetrina          | ---                                       |
| Gusanos             | Extracto de Ajo             | 4 ml                                      |                     |   |
| %Mancha de la hoja+ | Sulfato de cobre            | 1 g                                       |                     |   |
| %Alternaria+        | Cal agrícola                | 1 kg                                      |                     |   |
| %Botrytis+          | Extracto de Cola de caballo | 2.5 ml                                    |                     |   |

Los productos naturales fueron aplicados de la misma manera que los ingredientes químicos, es decir primero se midió el peso o volumen a utilizar de cada producto (figura 235), y luego fueron disueltos en agua (figura 236), para después ser vaciados a una bomba manual de aspersión, utilizada para realizar las aplicaciones (figura 237). Antes de realizar la aplicación de los productos, las macetas eran separadas para no aplicar productos químicos a macetas destinadas al control natural o viceversa (figura 238).



Figura 235. Medición del producto a utilizar.



Figura 236. Disolución de "aceite de Neem" y de sulfato de cobre.



Figura 237. Vaciado de las soluciones a la bomba de aspersión.



Figura 238. Aplicación a los cultivos.

Las imágenes 239 a 243 muestran los productos naturales utilizados en las aplicaciones para controlar plagas y enfermedades.



Figura 239. Sulfato de cobre y aceite de *Nem+*.



Figura 240. Obtención del extracto de *ajo+*.



Figura 241. Obtención del extracto de Cola de caballo+



Figura 242. Extracto de Cola de caballo+



Figura 243. Aplicación del extracto de cola de caballo+

En el caso de las hormigas arrieras+o+cuatalatas+(figura 244), el control utilizado fue preventivo, para el cual en el suelo fue aplicado permetrina en forma de polvo azul eléctrico, esto se hizo haciendo una barrera con el producto para impedir el paso de hormigas y así evitar que se comieran los cultivos producidos (figura 245).



Figura 244. Hormiga arriera.



Figura 245. Aplicación de insecticida para prevenir la hormiga arriera.

#### 2.2.1.9. Cosecha

La cosecha en el cultivo de acelga fue realizada cuando las hojas de cada planta tenían un tamaño adecuado y estaban completamente maduras (figura 246), la cosecha se hacía quitando del tallo las hojas seleccionadas, dejando en la maceta las hojas no inmaduras (figura 247).



Figura 246. Planta de acelga con hojas adecuadas para la cosecha.



Figura 247. Planta de acelga después de la cosecha.

En el cultivo de hierbabuena la recolección se realizó utilizando tijeras; se tomaba las puntas de la planta de hierbabuena y con ayuda de las tijeras se realizaba el corte, dejando por debajo del punto de corte los brotes necesarios para asegurar una futura cosecha (figura 248).



Figura 248. Cosecha de hierbabuena.

En todos los casos el pesaje se hacía individualmente, es decir que era pesado lo obtenido de cada planta a la vez. Para realizar los pesajes era utilizada una báscula digital, el valor señalado era anotado, y con este dato se realizaron las comparaciones de los cultivos utilizados en el experimento (figuras 249 y 250).



Figura 249. Pesaje y anotación del rendimiento.



Figura 250. Obtención del rendimiento de acelga.

La cosecha de los frutos de chile se hacía arrancando cada baya de cada planta (figura 251), cada chile era pesado en la báscula para obtener el rendimiento conseguido en cada corte (figura 252).



Figura 251. Cosecha de chiles.



Figura 252. Pesaje de frutos de chile de cada planta.

El total de lo obtenido en cada corte era repartido entre las personas que laboran aquí en el Instituto (figura 253), y así corroborar que en efecto hubo una producción de varios cultivos con su respectiva cosecha de cada uno.



Figura 253. Distribución de la cosecha al personal.

#### 2.2.1.10. Resultados

Los cultivos desarrollados bajo aplicaciones naturales VS., las plagas y enfermedades fueron ubicados como lo muestra el cuadro 46, los datos de los rendimientos obtenidos de las cosechas realizadas a los cultivos producidos son mostrados en el cuadro 47, y en las figuras 254 a 257.

Cuadro 46. Distribución de cultivos para su producción.

|  | Columna 1                         | Columna 2                   | Columna 3                         | Columna 4                         | Columna 5                    | Columna 6                         |
|--|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Fila 1</b>                                    | T = 2<br>C = Hierbabuena<br>R = 2 | T = 2<br>C = Chile<br>R = 1 | T = 1<br>C = Acelga<br>R = 3      | T = 1<br>C = Chile<br>R = 1       | T = 2<br>C = Acelga<br>R = 2 | T = 2<br>C = Hierbabuena<br>R = 1 |
| <b>Fila 2</b>                                    | T = 2<br>C = Chile<br>R = 3       | T = 1<br>C = Chile<br>R = 2 | T = 1<br>C = Hierbabuena<br>R = 3 | T = 2<br>C = Hierbabuena<br>R = 3 | T = 2<br>C = Acelga<br>R = 3 | T = 1<br>C = Hierbabuena<br>R = 2 |
| <b>Fila 3</b>                                    | T = 1<br>C = Acelga<br>R = 1      | T = 2<br>C = Chile<br>R = 2 | T = 1<br>C = Hierbabuena<br>R = 1 | T = 2<br>C = Acelga<br>R = 1      | T = 1<br>C = Chile<br>R = 3  | T = 1<br>C = Acelga<br>R = 2      |
| T = Tratamiento<br>C = Cultivo<br>R = Repetición |                                   |                             |                                   |                                   |                              |                                   |

Cuadro 47. Rendimientos obtenidos.

|               | Rendimiento (g) |           |           |           |           |           |
|---------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | Columna 1       | Columna 2 | Columna 3 | Columna 4 | Columna 5 | Columna 6 |
| <b>Fila 1</b> | 296             | 32        | 369       | 160       | 356       | 266       |
| <b>Fila 2</b> | 141             | 36        | 269       | 291       | 332       | 295       |
| <b>Fila 3</b> | 416             | 213       | 43        | 276       | 94        | 451       |

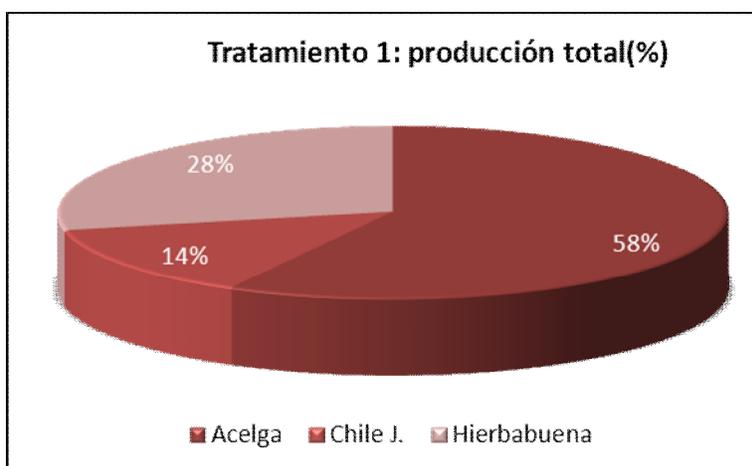


Figura 254. Rendimientos del tratamiento número 1.

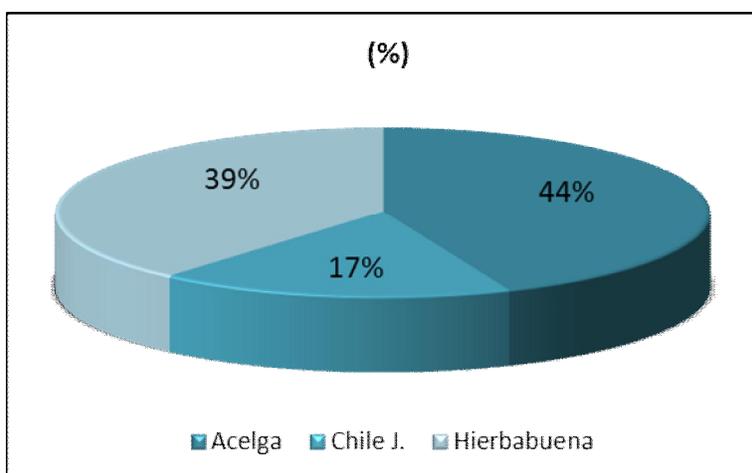


Figura 255. Rendimientos del tratamiento número 2.

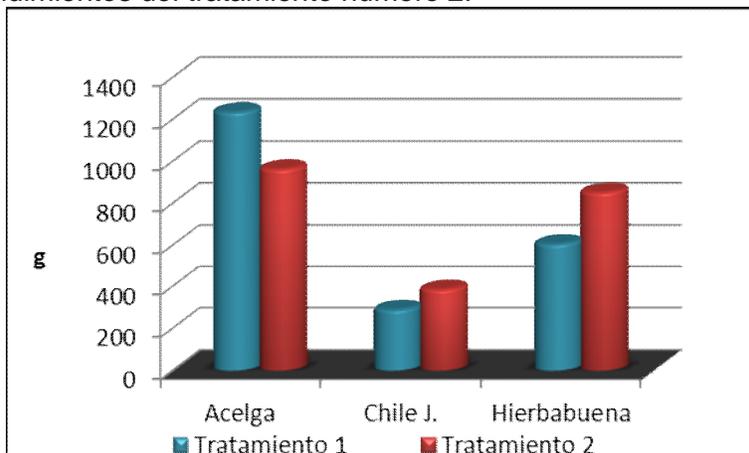


Figura 256. Comparación del rendimiento de cada cultivo.

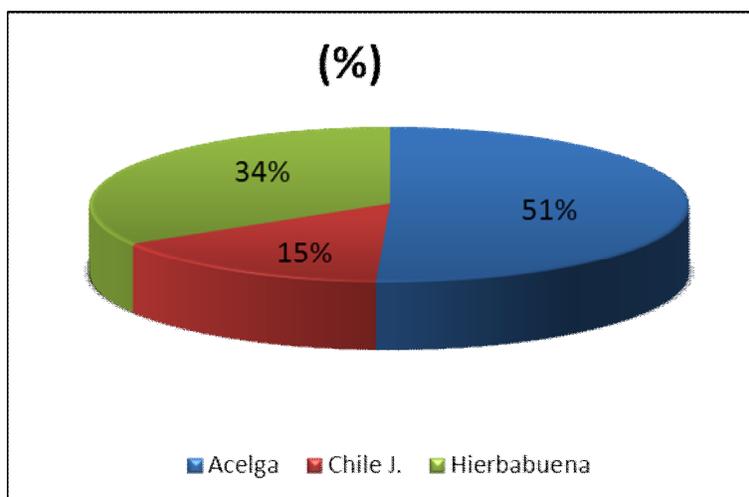


Figura 257. Porcentaje de producción para cada cultivo.

## 2.2.2. Conclusiones

Por los resultados obtenidos en la producción de cultivos bajo dos diferentes tipos de control de plagas y enfermedades las conclusiones son las siguientes:

- Salvo en el caso del cultivo de acelga, el rendimiento en hierbabuena y en chile fue superior utilizando productos químicos.
- Es fácil y muy práctico utilizar productos naturales, además de que no existe un riesgo por intoxicación al aplicarlos y al consumir los productos tratados.
- Los productos naturales utilizados en este estudio pueden ser encontrados con gran facilidad en cualquier mercado, en contra parte los agroquímicos son más difíciles de localizar.
- La utilización de productos químicos representan una mayor inversión que la utilización de productos naturales.



### **2.3. Validación de un Composteador**

Se validó un compostedor casero, para una familia tipo+integrada por cuatro personas.

El composteador consta de tres elementos:

- Una caja o vasija con tapa hermética con capacidad de cinco a diez litros, en la que se depositan los residuos de vegetales diariamente, la cual se ubica en la cocina.
- Un bidón con una capacidad de 50 litros, con tapa hermética, con orificios de ventilación y con mosquiteros, instalado en una estructura metálica y con una manivela que le permite girar para mezclar los materiales, al que se le adicionaron lombrices. En este bidón se depositan diariamente o cada dos días los residuos vegetales de la cocina y permanecen en el tres meses.
- Una caja de plástico rectangular, con capacidad para 50 litros, cubierta con mosquitero, en la cual se depositan cada tres meses la composta primaria proveniente del bidón, y en la cual se mezcla el material con una pala cada cinco a siete días.

Con este composteador se obtuvo en un periodo de seis meses 34 kg. de composta con muy buenas propiedades para su uso en la Agricultura urbana.



## **2.4. Asesoría Para implementación de Agricultura Urbana**

### **2.4.1. Metodología**

Se realizará una promoción en colegios, escuelas y a particulares, que estén interesados en una asesoría para la implementación de agricultura urbana.

### **2.4.2. Toma de video**

Fueron realizadas varias tomas de video por parte del personal del IMTA, con el fin de realizar a futuro promoción y divulgación con material digital sobre la producción urbana, hidroponía y modelos físicos de agricultura urbana (figuras 258 a 260).



Figura 258. Toma de video del módulo hidropónico.



Figura 259. Inspección de la toma de video.



Figura 260. Toma de video de las semillas de varios cultivos.

### 2.4.3. Plática a alumnos de la Facultad de Horticultura de Í La UNAMÍ

El día miércoles 17 de abril del año en curso (2013), se dio una plática sobre agricultura urbana e hidroponía a los alumnos de la facultad de estudios superiores de Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México+ (figuras 261 a 264). Los temas expuestos fueron:

- Hidroponía en sí.
- Ventajas y desventajas.
- Cultivos factibles de producir en hidroponía.
- Solución Nutritiva.
- Oxigenación de la solución nutritiva.
- Sustratos.
- Plagas y enfermedades.
- Agricultura urbana y vertical.
- Modelos de agricultura urbana.



Figura 261. Presentación del dispositivo.



Figura 262. Exposición a cerca de la hidroponía.



Figura 263. Plática sobre la fertilización de los cultivos.

UNAM - FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
 COORDINACIÓN DE HORTALICULTA, OBRAS Y EQUIPOS HORTALICOLAS  
 PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN AGRICULTURA UNAM CAMPUS MORELOS

UNAM - FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
 CÁTEDRA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
 30 ALUMNOS Y 4 PROFESORES (2 grupos de 17 personas)  
 Matrícula: 17 de abril de 2013

GRUPO 01

| No. | Nombre                           | Cuenta Electrónica   | Firma   |
|-----|----------------------------------|----------------------|---------|
| 1   | Aranda Rodríguez Jovanna         | yas5529@unam.mx      | [Firma] |
| 2   | Ortiz Rosas Néstor M             | rosas_nestor@unam.mx | [Firma] |
| 3   | Sosa González Esteban            | esteban@unam.mx      | [Firma] |
| 4   | Maldonado Aguilar Karina Beatriz | karina@unam.mx       | [Firma] |
| 5   | Cruz Moreno Nancy Patricia       | nancym@unam.mx       | [Firma] |
| 6   | Martínez Alonso H. Jesús         | jesus@unam.mx        | [Firma] |
| 7   | Tejeda Hernández Noémi           | noemi@unam.mx        | [Firma] |
| 8   | Alvarado García Alvaro           | alvaro@unam.mx       | [Firma] |
| 9   | Escobar Flores María             | maria@unam.mx        | [Firma] |
| 10  | Alvarado Pérez María             | maria@unam.mx        | [Firma] |
| 11  | Martínez Flores Antonia Beatriz  | antonia@unam.mx      | [Firma] |
| 12  | López V. María Beatriz           | maria@unam.mx        | [Firma] |
| 13  | Martínez Gómez G. Day            | day@unam.mx          | [Firma] |
| 14  |                                  |                      |         |

Figura 264. Lista de asistencia.

#### 2.4.4. Taller de Agricultura Urbana

Se impartió un taller sobre agricultura urbana, dirigido al personal del IMTA y sus familiares. Se realizó una presentación de tres horas en la cual se vieron los siguientes:



Figura 265. Inicio de la presentación.



Figura 266. Asistentes a la presentación.

## TEMARIO DEL TALLER DE AGRICULTURA URBANA

- 1.- Antecedentes
- 2.- Definiciones:
  - Agricultura urbana
  - Agricultura de traspatio
  - Agricultura periurbana
  - Hidroponía
- 3.- Los requerimientos de las plantas  
Suelo o sustrato, un espacio, luz, aire, agua, nutrimentos y cuidados
- 4.- Suelo o sustrato
- 5.- Macetas, contenedores y modelos de agricultura urbana
- 6.- Siembra o trasplante
- 7.- Riego
- 8.- Fertilización
- 9.- Prevención y control de plagas y enfermedades
- 10.- Corte o cosecha
- 11.- Composta casera
- 12.- Manejo de algunos cultivos
  - jitomate
  - pepino
  - chile
  - lechuga
  - cilantro

En seguida de la presentación, se traslado a los asistentes al área de Agricultura urbana+ donde se realizó una práctica que duró tres horas, en la cual se desarrollaron las actividades que presentan a continuación, para lo cual se dividió a los asistentes en cinco equipos de trabajo.

Aparte hubo una estación de trabajo sobre hidroponía que funciona con una bomba alimentada con un panel de energía solar y un dispositivo que optimiza el uso de la energía solar, a esta estación fueron pasando cada una de los equipos de trabajo por un periodo de 45 minutos.

## PRACTICA

- 1.- Preparar una solución nutritiva
- 2.- Preparar el substrato
- 3.- Preparar macetas o contenedores
- 4.- Preparar un almácigo
- 5.- Siembra directa
- 6.- Siembra en almasigo o semillero
- 7.- Trasplante de plantulas de hortalizas
- 8.- Trasplante de organos vegetativos (desahijar)
- 9.- Preparación de plantas para hidroponía
- 10.- Estación de Hidroponía que funciona con un bomba alimentada con un panel de energía sola con un **Dispositivo que optimiza el uso de la energía** .



Figura 267. Explicación del procedimiento al Inicio de da práctica.



Figura 268. Se integran cinco equipos y se asigna un monitor por cada equipo.



Figura 269. Materiales preparados para solución nutritiva.



Figura 270. Inicio de la práctica con la preparación de la solución nutritiva madre+



Figura 271. Otro aspecto en la preparación de la solución nutritiva madre+



Figura 272. Preparación del sustrato



Figura 273. Preparación del sustrato

## ANEXOS

### 1. Análisis Químico Del Agua Utilizada Para El Riego

Se mandó a analizar una muestra del agua utilizada para el riego al laboratorio Central Universitario ubicado en la Universidad Autónoma Chapingo para la cuantificación de Iones disueltos. Estos estudios fueron realizados el 14 de septiembre del 2012, y los resultados del análisis son mostrados en el siguiente cuadro:

| No. De Control | pH   | CE<br>dSm <sup>-1</sup> | Ca                  | Mg   | Na   | K    | CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | B    | N-NH <sub>4</sub> | N-NO <sub>3</sub>  | P    |
|----------------|------|-------------------------|---------------------|------|------|------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------|------|-------------------|--------------------|------|
|                |      |                         | meq L <sup>-1</sup> |      |      |      |                              |                               |                 |                              |      |                   | mg L <sup>-1</sup> |      |
| A-1781         | 7.80 | 0.28                    | 1.47                | 0.86 | 0.32 | 0.10 | ND                           | 1.62                          | 0.50            | 0.73                         | 0.05 | 0.42              | 0.60               | 0.13 |

ND = No detectado por el método empleado.

### Metodología:

|  |   |  |
|--|---|--|
| pH   | : | Potenciómetro.   |
| CE   | : | Puente de conductividad.   |
| Ca, Mg   | : | Espectrofotometría de absorción atómica.   |
| Na, K  | : | Espectrofotometría de emisión de flama.  |
| CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | : | Volumetría de Ácido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).                   |
| Cl <sup>-</sup>  | : | Volumetría de nitrato de plata (Ag NO <sub>3</sub> ).                              |
| SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                                 | : | Turbidimetría de cloruro de Bario (Ba Cl <sub>2</sub> ).                           |
| B  | : | Fotocolorimetría con azometina H.  |
| N-NH <sub>4</sub>  | : | Oxidación con oxido de magnesio y por arrastre de vapor Kjeldahl.                  |
| N-NO <sub>3</sub>  | : | Reducción con aleación de Devarda y determinado por arrastre de vapor de Kjeldahl. |
| P  | : | Fotocolorimetría por reducción con Molibdato de amonio.                            |

## 2. Análisis Estadístico Del Modelo De Producción Vertical Hecho Con SAS

### Editor:

```
DATA VERTI;  
INPUT Y TRA BLO;  
CARDS;  
1800 1 1  
2108 1 2  
1080 2 1  
722 2 2  
1479 3 1  
1711 3 2  
166 4 1  
174 4 2  
;  
PROC PRINT;  
PROC ANOVA;  
CLASS TRA BLO;  
MODEL Y= TRA BLO;  
MEANS TRA BLO/TUKEY;  
RUN;
```

### Log:

NOTA: Copyright (c) 2002 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.  
NOTA: SAS (r) Proprietary Software Version 9.00 (TS M0)  
Licensed to SUNY AT STONY BROOK, Site 0013402001.  
NOTA: Esta sesión se está ejecutando en una plataforma XP\_HOME .

NOTA: inicio de SAS utilizado:  
tiempo real 8.68 segundos  
tiempo de cpu 0.96 segundos

```
1 DATA BAHIDRO;  
2 INPUT Y TRA BLO;  
3 CARDS;
```

NOTA: EL conj. datos WORK.BAHIDRO tiene 8 observaciones y 3 variables.

NOTA: Sentencia DATA utilizado (Tiempo de proceso total):  
tiempo real 0.17 segundos  
tiempo de cpu 0.01 segundos

```
12 ;  
13 PROC PRINT;
```

NOTA: Se han leído 8 observaciones del conj. datos WORK.BAHIDRO.

NOTA: PROCEDIMIENTO PRINT utilizado (Tiempo de proceso total):  
tiempo real 0.15 segundos  
tiempo de cpu 0.01 segundos

```
14 PROC ANOVA;  
15 CLASS TRA BLO;  
16 MODEL Y= TRA BLO;  
17 MEANS TRA BLO/TUKEY;  
18 RUN;
```

## Salida:

Sistema SAS 19:56 Saturday, August 7, 2013 1

| Obs | Y    | TRA | BLO |
|-----|------|-----|-----|
| 1   | 1800 | 1   | 1   |
| 2   | 2108 | 1   | 2   |
| 3   | 1080 | 2   | 1   |
| 4   | 722  | 2   | 2   |
| 5   | 1479 | 3   | 1   |
| 6   | 1711 | 3   | 2   |
| 7   | 166  | 4   | 1   |
| 8   | 174  | 4   | 2   |

Sistema SAS 19:56 Saturday, August 7, 2013 2

Procedimiento ANOVA

Información del nivel de clase

| Clase | Niveles | Valores |
|-------|---------|---------|
| TRA   | 4       | 1 2 3 4 |
| BLO   | 2       | 1 2     |

Número de observaciones 8

Sistema SAS 19:56 Saturday, August 7, 2013 3

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: Y

| Fuente         | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|----------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| Modelo         | 4  | 3737996.500       | 934499.125           | 20.93   | 0.0158 |
| Error          | 3  | 133945.500        | 44648.500            |         |        |
| Total correcto | 7  | 3871942.000       |                      |         |        |

| R-cuadrado | Coef Var | Raiz MSE | Y Media  |
|------------|----------|----------|----------|
| 0.965406   | 18.29454 | 211.3019 | 1155.000 |

| Cuadrado de Fuente | DF | Anova SS    | la media    | F-Valor | Pr > F |
|--------------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| TRA                | 3  | 3733484.000 | 1244494.667 | 27.87   | 0.0108 |
| BLO                | 1  | 4512.500    | 4512.500    | 0.10    | 0.7714 |

Sistema SAS 19:56 Saturday, August 7, 2013 4

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| Alfa                                  | 0.05    |
| Error de grados de libertad           | 3       |
| Error de cuadrado medio               | 44648.5 |
| Valor crítico del rango estudentizado | 6.82453 |
| Diferencia significativa mínima       | 1019.7  |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Tukey Agrupamiento | Media  | N | TRA |
|--------------------|--------|---|-----|
| A                  | 1954.0 | 2 | 1   |
| A                  |        |   |     |
| B A                | 1595.0 | 2 | 3   |
| B                  |        |   |     |
| B C                | 901.0  | 2 | 2   |
| C                  |        |   |     |
| C                  | 170.0  | 2 | 4   |

Sistema SAS 19:56 Saturday, August 7, 2013 5

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| Alfa                                  | 0.05    |
| Error de grados de libertad           | 3       |
| Error de cuadrado medio               | 44648.5 |
| Valor crítico del rango estudentizado | 4.50067 |
| Diferencia significativa mínima       | 475.5   |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Tukey Agrupamiento | Media  | N | BLO |
|--------------------|--------|---|-----|
| A                  | 1178.8 | 4 | 2   |
| A                  |        |   |     |
| A                  | 1131.3 | 4 | 1   |

### 3. Análisis Estadístico Del Modelo De Producción En Capas Hecho Con SAS

Editor:

```
DATA MACETERO;
INPUT Y A B BLO;
CARDS;
627 1 1 1
361 1 1 2
401 1 1 3
872 1 2 1
492 1 2 2
311 1 2 3
494 1 3 1
487 1 3 2
539 1 3 3
935 2 1 1
386 2 1 2
610 2 1 3
582 2 2 1
235 2 2 2
532 2 2 3
259 2 3 1
77 2 3 2
312 2 3 3
1193 3 1 1
564 3 1 2
669 3 1 3
1174 3 2 1
491 3 2 2
680 3 2 3
992 3 3 1
501 3 3 2
409 3 3 3
;
PROC PRINT;
PROC ANOVA;
CLASS A B BLO;
MODEL Y= A B BLO A*B;
MEANS A B BLO A*B/TUKEY;
RUN;
```

Log:

```
NOTA: PROCEDIMIENTO ANOVA utilizado (Tiempo de proceso total):
      tiempo real          7:21.43
      tiempo de cpu       2.05 segundos
```

```
130 DATA BAHIDRO;
131 INPUT Y A B BLO;
132 CARDS;
```

```
NOTA: EL conj. datos WORK.BAHIDRO tiene 27 observaciones y 4 variables.
NOTA: Sentencia DATA utilizado (Tiempo de proceso total):
      tiempo real          0.01 segundos
      tiempo de cpu       0.01 segundos
```

```
160 ;
161 PROC PRINT;
```

```
NOTA: Se han leído 27 observaciones del conj. datos WORK.BAHIDRO.
NOTA: PROCEDIMIENTO PRINT utilizado (Tiempo de proceso total):
      tiempo real          0.01 segundos
      tiempo de cpu       0.01 segundos
```

```
162 PROC ANOVA;
163 CLASS A B BLO;
164 MODEL Y= A B BLO A*B;
165 MEANS A B BLO A*B/TUKEY;
166 RUN;
```

**Salida:**

Sistema SAS 19:56 Saturday, August 7, 2013 23

| Obs | Y    | A | B | BLO |
|-----|------|---|---|-----|
| 1   | 627  | 1 | 1 | 1   |
| 2   | 361  | 1 | 1 | 2   |
| 3   | 401  | 1 | 1 | 3   |
| 4   | 872  | 1 | 2 | 1   |
| 5   | 492  | 1 | 2 | 2   |
| 6   | 311  | 1 | 2 | 3   |
| 7   | 494  | 1 | 3 | 1   |
| 8   | 487  | 1 | 3 | 2   |
| 9   | 539  | 1 | 3 | 3   |
| 10  | 935  | 2 | 1 | 1   |
| 11  | 386  | 2 | 1 | 2   |
| 12  | 610  | 2 | 1 | 3   |
| 13  | 582  | 2 | 2 | 1   |
| 14  | 235  | 2 | 2 | 2   |
| 15  | 532  | 2 | 2 | 3   |
| 16  | 259  | 2 | 3 | 1   |
| 17  | 77   | 2 | 3 | 2   |
| 18  | 312  | 2 | 3 | 3   |
| 19  | 1193 | 3 | 1 | 1   |
| 20  | 564  | 3 | 1 | 2   |
| 21  | 669  | 3 | 1 | 3   |
| 22  | 1174 | 3 | 2 | 1   |
| 23  | 491  | 3 | 2 | 2   |
| 24  | 680  | 3 | 2 | 3   |
| 25  | 992  | 3 | 3 | 1   |
| 26  | 501  | 3 | 3 | 2   |
| 27  | 409  | 3 | 3 | 3   |

## Procedimiento ANOVA

## Información del nivel de clase

| Clase | Niveles | Valores |
|-------|---------|---------|
| A     | 3       | 1 2 3   |
| B     | 3       | 1 2 3   |
| BLO   | 3       | 1 2 3   |

Número de observaciones 27

## Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: Y

| Fuente         | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|----------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| Modelo         | 10 | 1552058.148       | 155205.815           | 6.56    | 0.0005 |
| Error          | 16 | 378588.370        | 23661.773            |         |        |
| Total correcto | 26 | 1930646.519       |                      |         |        |

|            |          |          |          |
|------------|----------|----------|----------|
| R-cuadrado | Coef Var | Raiz MSE | Y Media  |
| 0.803906   | 27.35096 | 153.8238 | 562.4074 |

| Fuente | DF | Anova SS    | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|--------|----|-------------|----------------------|---------|--------|
| A      | 2  | 456640.0741 | 228320.0370          | 9.65    | 0.0018 |
| B      | 2  | 171796.5185 | 85898.2593           | 3.63    | 0.0501 |
| BLO    | 2  | 753575.6296 | 376787.8148          | 15.92   | 0.0002 |
| A*B    | 4  | 170045.9259 | 42511.4815           | 1.80    | 0.1789 |

## Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| Alfa                                  | 0.05     |
| Error de grados de libertad           | 16       |
| Error de cuadrado medio               | 23661.77 |
| Valor crítico del rango estudentizado | 3.64914  |
| Diferencia significativa mínima       | 187.11   |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Tukey Agrupamiento | Media  | N | A |
|--------------------|--------|---|---|
| A                  | 741.44 | 9 | 3 |
| B                  | 509.33 | 9 | 1 |
| B                  |        |   |   |
| B                  | 436.44 | 9 | 2 |

## Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| Alfa                                  | 0.05     |
| Error de grados de libertad           | 16       |
| Error de cuadrado medio               | 23661.77 |
| Valor crítico del rango estudentizado | 3.64914  |
| Diferencia significativa mínima       | 187.11   |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Tukey Agrupamiento | Media  | N | B |
|--------------------|--------|---|---|
| A                  | 638.44 | 9 | 1 |
| A                  |        |   |   |
| A                  | 596.56 | 9 | 2 |
| A                  |        |   |   |
| A                  | 452.22 | 9 | 3 |

Sistema SAS

19:56 Saturday, August 7, 2013 28

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| Alfa                                  | 0.05     |
| Error de grados de libertad           | 16       |
| Error de cuadrado medio               | 23661.77 |
| Valor crítico del rango estudentizado | 3.64914  |
| Diferencia significativa mínima       | 187.11   |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Tukey Agrupamiento | Media  | N | BLO |
|--------------------|--------|---|-----|
| A                  | 792.00 | 9 | 1   |
| B                  | 495.89 | 9 | 3   |
| B                  | 399.33 | 9 | 2   |

Sistema SAS

19:56 Saturday, August 7, 2013 29

Procedimiento ANOVA

| Nivel de A | Nivel de B | N | Media      | Dev std    |
|------------|------------|---|------------|------------|
| 1          | 1          | 3 | 463.000000 | 143.429425 |
| 1          | 2          | 3 | 558.333333 | 286.322080 |
| 1          | 3          | 3 | 506.666667 | 28.219379  |
| 2          | 1          | 3 | 643.666667 | 276.044079 |
| 2          | 2          | 3 | 449.666667 | 187.580205 |
| 2          | 3          | 3 | 216.000000 | 123.259888 |
| 3          | 1          | 3 | 808.666667 | 336.957465 |
| 3          | 2          | 3 | 781.666667 | 352.667454 |
| 3          | 3          | 3 | 634.000000 | 313.431013 |

#### 4. Análisis Estadístico Del Módulo De Producción Hidropónica Hecho Con SAS

Log:

```
DATA HIDROS;  
INPUT Y TRA;  
CARDS;  
0.845 1  
1.073 1  
0.908 1  
0.588 1  
0.629 1  
0.837 1  
0.773 2  
0.535 2  
0.823 2  
0.622 2  
0.343 2  
0.589 2  
0.383 3  
0.359 3  
0.334 3  
0.333 3  
0.172 3  
0.287 3  
0.171 4  
0.190 4  
0.356 4  
0.444 4  
0.198 4  
0.302 4  
;  
PROC PRINT;  
PROC ANOVA;  
CLASS TRA;  
MODEL Y= TRA;  
MEANS TRA/TUKEY;  
RUN;
```

Input:

```
NOTA: PROCEDIMIENTO ANOVA utilizado (Tiempo de proceso total):  
tiempo real          2:40.46  
tiempo de cpu        2.43 segundos
```

```
404 DATA HIDROS;  
405 INPUT Y TRA;  
406 CARDS;
```

```
NOTA: EL conj. datos WORK.HIDROS tiene 24 observaciones y 2 variables.  
NOTA: Sentencia DATA utilizado (Tiempo de proceso total):  
tiempo real          0.00 segundos  
tiempo de cpu        0.00 segundos
```

```
431 ;  
432 PROC PRINT;
```

NOTA: Se han leído 24 observaciones del conj. datos WORK.HIDROS.

NOTA: PROCEDIMIENTO PRINT utilizado (Tiempo de proceso total):  
tiempo real 0.00 segundos  
tiempo de cpu 0.00 segundos

```
433 PROC ANOVA;  
434 CLASS TRA;  
435 MODEL Y= TRA;  
436 MEANS TRA/TUKEY;  
437 RUN;
```

### Salida:

Sistema SAS 19:56 Saturday, August 7, 2013 46

| Obs | Y     | TRA |
|-----|-------|-----|
| 1   | 0.845 | 1   |
| 2   | 1.073 | 1   |
| 3   | 0.908 | 1   |
| 4   | 0.588 | 1   |
| 5   | 0.629 | 1   |
| 6   | 0.837 | 1   |
| 7   | 0.773 | 2   |
| 8   | 0.535 | 2   |
| 9   | 0.823 | 2   |
| 10  | 0.622 | 2   |
| 11  | 0.343 | 2   |
| 12  | 0.589 | 2   |
| 13  | 0.383 | 3   |
| 14  | 0.359 | 3   |
| 15  | 0.334 | 3   |
| 16  | 0.333 | 3   |
| 17  | 0.172 | 3   |
| 18  | 0.287 | 3   |
| 19  | 0.171 | 4   |
| 20  | 0.190 | 4   |
| 21  | 0.356 | 4   |
| 22  | 0.444 | 4   |
| 23  | 0.198 | 4   |
| 24  | 0.302 | 4   |

Sistema SAS 19:56 Saturday, August 7, 2013 47

Procedimiento ANOVA

Información del nivel de clase

| Clase | Niveles | Valores |
|-------|---------|---------|
| TRA   | 4       | 1 2 3 4 |

Número de observaciones 24

Sistema SAS 19:56 Saturday, August 7, 2013 48

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: Y

| Fuente         | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|----------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| Modelo         | 3  | 1.17929350        | 0.39309783           | 19.64   | <.0001 |
| Error          | 20 | 0.40023633        | 0.02001182           |         |        |
| Total correcto | 23 | 1.57952983        |                      |         |        |

| R-cuadrado | Coef Var | Raiz MSE | Y Media  |
|------------|----------|----------|----------|
| 0.746610   | 28.07272 | 0.141463 | 0.503917 |

| Fuente | DF | Anova SS   | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|--------|----|------------|----------------------|---------|--------|
| TRA    | 3  | 1.17929350 | 0.39309783           | 19.64   | <.0001 |

## Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| Alfa                                  | 0.05     |
| Error de grados de libertad           | 20       |
| Error de cuadrado medio               | 0.020012 |
| Valor crítico del rango estudentizado | 3.95829  |
| Diferencia significativa mínima       | 0.2286   |

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

| Tukey Agrupamiento | Media   | N | TRA |
|--------------------|---------|---|-----|
| A                  | 0.81333 | 6 | 1   |
| A                  |         |   |     |
| A                  | 0.61417 | 6 | 2   |
| B                  | 0.31133 | 6 | 3   |
| B                  |         |   |     |
| B                  | 0.27683 | 6 | 4   |

## Bibliografía

1. Alvarado C., D.; Chávez C., F.; Wilhelmina, K. 2001. Seminario De Agronegocios: Lechugas Hidropónicas. Universidad del Pacifico. Lima, Perú. 95 pp.
2. Baixauli S., C.; Aguilar O., J. 2002. Cultivo Sin Suelo De Hortalizas: Aspectos Prácticos y Experiencias. Ed. Generalitat Valenciana. Valencia, España. 110 pp.
3. Carrasco, G.; Izquierdo, J. 1996. La Empresa Hidropónica De Mediana Escala: La Técnica De La Solución Nutritiva Recirculante ("NFT"). Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Universidad de Talca, Chile. 62 pp.
4. Espinosa R., P.; Espinosa M., L. Sistema De Agronegocios De Traspatio: Hidroponía Rustica. SAGARPA.
5. Ficha técnica No. 7. Cultivo del Orégano. Soluciones prácticas. ITDG. Lima Perú. pp 6.
6. Gadano, A. B., Gurni, A.A., Carballo, M.A., 2006. Argentine folk medicine: Genotoxic effects of Chenopodiaceae family. J. Ethnopharmacol., 103(3):246-251
7. Gilsanz J. 2007. Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Montevideo, Uruguay. 30 pp.
8. Jamali, A., Kouhila, M., Ait Mohamed, L., Jaouhari, J.T., Idlimam, A., Abdenouri, N. 2006. Sorption isotherms of *Chenopodium ambrosioides* leaves at three temperatures. J. Food Eng., 72(1):77-84.
9. Laborde C. J. A. y Pozo C. O. (Comp.). 1982. Presente y Pasado del Chile en México. Publicación especial nº 85. INIA. México. 80 p.
10. Montgomery D. 2003. Diseño y Análisis de Experimentos. 2da ed. Limusa Wiley. México D.F. pp 286.
11. Ruiz M; M. 2011. Taller de elaboración de lombricomposta. Universidad Latinoamericana, Biblioteca Francisco Xavier Clavijero. México D.F. Pp 23.
12. Steiner, A.A. 1968. Soilless culture. Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute. pp: 324-341.

13. Valadez L. A. 1989. Solanáceas. 185-222. In: Producción de hortalizas. Ed. LIMUSA. UTEHA NORIEGA EDITORES. México. 298 p.