

**TRABAJO FINAL**

**CUBIERTAS VERDES EXTENSIVAS: CARACTERIZACIÓN DE  
SUSTRATOS PARA ESPECIES ADAPTADAS A LA CIUDAD DE  
BUENOS AIRES**

FEDERICO AGUSTÍN MUÑOZ

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Ambiental

Director: Arq. Sebastián Miguel

Universidad de Flores

Mayo 2021

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director de trabajo final, el Arq. Sebastián Miguel, por ser principal impulsor y por haber estado presente en todo momento.

Al Laboratorio Bio-Ambiental de Diseño de la Universidad de Flores y a todos sus integrantes, por haberme brindado sus instalaciones y herramientas para llevar a cabo este trabajo.

Al Laboratorio de Análisis de Sustratos y Aguas de las Cátedras de Floricultura y Jardinería de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires y en especial a la Ingeniera Lilia B. Vence por el tiempo dedicado, los conocimientos compartidos y su colaboración, sin la cual no se podría haber realizado este trabajo, así como también a Andrea P. Seoane por haber compartido sus experiencias en investigación y trabajos relacionados. También por haberme donado los ejemplares de la especie *Portulaca gilliesii*.

Al Museo Argentino de Ciencias Naturales del CONICET y en particular al Dr. Gabriel O. Basílico por su predisposición y por haber realizado las determinaciones de los sustratos.

A la empresa Metalcris, sus directores, colaboradores y en particular, al sector de matricería por su aporte en la fabricación y donación de los cilindros metálicos portamuestras utilizados.

A mi hermano Martín por su constante colaboración técnica y aporte de materiales y herramientas de trabajo.

A toda mi familia y en especial, a mi madre por su incondicional apoyo en la realización de este trabajo y en el camino de la vida.

**ÍNDICE GENERAL**

<b>1</b>	<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>PLANTEO DEL PROBLEMA: .....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>JUSTIFICACIÓN: .....</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>OBJETIVOS:.....</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>OBJETIVO GENERAL: .....</b>	<b>13</b>
<b>9</b>	<b>ANTECEDENTES: .....</b>	<b>13</b>
<b>10</b>	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO:.....</b>	<b>21</b>
	<b>10.1 Selección de elementos para conformación de sustratos.....</b>	<b>21</b>
	<b>10.2 Determinación de capacidad de retención de agua (CRA) .....</b>	<b>23</b>
	<b>10.3 Conformación de mezcla de sustratos: .....</b>	<b>24</b>
	<b>10.4 Determinación de capacidad de retención de agua (CRA), densidad de sustrato seco (DSs), densidad de sustrato húmedo (DSh), pH, conductividad eléctrica (CE) y costo económico de los cuatro sustratos mezcla:.....</b>	<b>24</b>
<b>11</b>	<b>PLANTACIÓN DE ESPECIES.....</b>	<b>28</b>
<b>12</b>	<b>DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA): .....</b>	<b>33</b>
	<b>12.1 Construcción del sistema de lecho de arena: .....</b>	<b>34</b>
	<b>12.2 Procedimiento de construcción de cilindros portamuestras .....</b>	<b>38</b>
	<b>12.3 Preparación de material y medición de CRA .....</b>	<b>39</b>
	<b>12.4 Conformación de sustratos: .....</b>	<b>43</b>
	<b>12.5 Preparación de bandejas de plantación.....</b>	<b>47</b>
<b>13</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
	<b>13.1 Capacidad de retención de agua .....</b>	<b>51</b>
	<b>13.2 Densidad de sustrato seco (DSs), densidad de sustrato húmedo (DSh), pH y conductividad eléctrica: .....</b>	<b>55</b>
	<b>13.3 Crecimiento de especies.....</b>	<b>57</b>
<b>14</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>59</b>
<b>15</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>63</b>
<b>16</b>	<b>ANEXO I.....</b>	<b>66</b>
<b>17</b>	<b>ANEXO II.....</b>	<b>69</b>
<b>18</b>	<b>ANEXO III.....</b>	<b>73</b>
<b>19</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>79</b>

## 1 RESUMEN

### **Cubiertas verdes extensivas: caracterización de sustratos para especies adaptadas a la Ciudad de Buenos Aires**

Los sistemas de cubiertas verdes extensivos son un tipo de cultivo horizontal que emplea un sustrato de altura baja (entre 6 y 8 cm en general) y son instalados en azoteas, terrazas o tejados de diferentes edificaciones. A diferencia del cemento, hormigón y otros materiales impermeables con los cuales se construyen las edificaciones, estos sistemas de cubiertas verdes presentan numerosos beneficios ambientales entre los cuales se destacan la capacidad de retención de agua de lluvia, la reducción del tiempo de escorrentía, el aislamiento térmico y acústico. A su vez, conforman un espacio que atrae insectos y pequeñas aves. Estos sistemas de cubiertas verdes representan una importante alternativa para mitigar la problemática ambiental presente en numerosas ciudades del mundo: las inundaciones. El aumento de espacios verdes y superficies absorbentes permiten que durante los períodos de lluvias el agua permanezca retenida en el sistema, lo que ayuda a que los drenajes y alcantarillados tengan mayor tiempo para evacuar el agua de lluvia. La capacidad de retención de agua depende de la composición del sustrato y sus propiedades físicas y químicas, de las cuales a su vez dependen las especies vegetales. Por otro lado, los sustratos son seleccionados para brindarle el mejor medio de crecimiento y soporte a las especies vegetales. En este sentido, su composición suele diferir dependiendo de múltiples variables, entre las cuales se pueden mencionar: Tipo de especie a cultivar, tamaño y forma del recipiente contenedor, ubicación geográfica, condiciones climáticas del lugar, incidencia solar y precipitaciones, sistema de riego y de drenaje.

En este trabajo se buscó comparar y determinar la composición de sustratos que presenten buena capacidad de retención de agua y que permitan el normal crecimiento de especies vegetales. Se utilizaron cuatro componentes altamente empleados en sustratos (perlita agrícola, compost orgánico, tierra fértil y turba rubia de musgo *Sphagnum*) y un componente alternativo (zeolita mineral) sin mayores evidencias de uso como tal, realizándose un cálculo económico estimado en el mercado actual para comparar el precio de cada componente utilizado. Se empleó un reconocido método para determinar la capacidad de retención de agua (CRA) de cada componente y basándose en ello, se conformaron 4 sustratos para evaluar cómo responderían las especies vegetales al ser cultivadas en estos medios. Se calcularon parámetros característicos tales como densidad de sustrato seco (DSs) y densidad de sustrato húmedo (DSh), pH y conductividad eléctrica (CE), los cuales permiten conocer las propiedades del sustrato como medio de crecimiento de especies vegetales. Mediante secuencia fotográfica y herramientas digitales se calculó el crecimiento las especies *Sedum mexicanum*, *Delosperma ecklonis* y *Portulaca gilliesii*, durante el tiempo de estudio.

Se pudo comprobar la diferencia en el comportamiento de las especies en relación al tipo de sustrato en el que son cultivadas, así como la variación en la capacidad de retención de agua de cada uno de ellos. El sustrato N° 1 fue el que mayor capacidad de retención de agua alcanzó, y a su vez, el que mejor medio de crecimiento representó, lo que permite clasificarlo como óptimo para los sistemas de cubiertas verdes extensivos. El *Sedum mexicanum* fue de las especies empleadas, la que mejor porcentaje de crecimiento evidenció, alcanzando una cobertura mayor al 60% de la bandeja de cultivo y habiendo partido de un 10% al inicio del estudio.

## 2 ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1.:</b> Esquema de composición de sustratos mezcla según valores de CRA. .....	<b>24</b>
<b>Tabla N° 2.:</b> Valores de peso húmedo y peso seco de elementos para sustratos. ....	<b>43</b>
<b>Tabla N° 3.:</b> Resultados de capacidad de retención de agua, en $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ , obtenidos en materiales y aplicando la metodología descrita por De Boodt et al. ....	<b>51</b>
<b>Tabla N° 4.:</b> Propiedades de materiales que conforman los sustratos mezcla. ....	<b>53</b>
<b>Tabla N° 5.:</b> Resultados de capacidad de retención de agua, en $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ , obtenidos en sustratos mezcla y aplicando la metodología descrita por De Boodt et al. Valores promedio de crecimiento de cobertura en cada sustrato evaluado. ....	<b>54</b>
<b>Tabla N° 6.:</b> Costo económico de los componentes de los sustratos conformados. ....	<b>55</b>
<b>Tabla N° 7.:</b> Resultados de pH y conductividad eléctrica (CE) de los sustratos mezcla conformados. ....	<b>56</b>
<b>Tabla N° 8.:</b> Resultados de crecimiento de cobertura de especies vegetales en los sustratos obtenidos mediante el uso del programa ImageJ. ....	<b>57</b>
<b>Tabla N° 9.:</b> Crecimiento promedio de especies por sustrato. ....	<b>59</b>

### 3 ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico N° 1.:</b> Resultados de capacidad de retención de agua de los cinco materiales evaluados. ....	<b>51</b>
<b>Gráfico N° 2.:</b> Composición los cuatro sustratos mezcla conformados. ....	<b>52</b>
<b>Gráfico N° 3.:</b> Resultados de capacidad de retención de agua de los cuatro sustratos mezcla evaluados. ....	<b>54</b>
<b>Gráfico N° 4.:</b> Valores de densidad del sustrato obtenidos en condiciones de sequía, sin contenido alguno de humedad. ....	<b>55</b>
<b>Gráfico N° 5.:</b> Valores de densidad del sustrato húmedo obtenidos cuando el mismo se encuentra saturado en agua y luego del tensionado a 10 hPa. ....	<b>55</b>
<b>Gráfico N° 6.:</b> Variación del crecimiento de las especies según sustrato en el que se plantaron. ....	<b>58</b>

### 4 ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1.:</b> Mapa georeferenciado de techos verdes en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.....	<b>10</b>
<b>Figura N° 2.:</b> Perlita agrícola. ....	<b>17</b>
<b>Figura N° 3.:</b> Turba rubia de musgo <i>Sphagnum</i> . ....	<b>17</b>
<b>Figura N° 4.:</b> Zeolita mineral. ....	<b>18</b>
<b>Figura N° 5.:</b> Compost orgánico. ....	<b>19</b>
<b>Figura N° 6.:</b> Tierra fértil. ....	<b>20</b>
<b>Figura N° 7.:</b> <i>Sedum mexicanum</i> . ....	<b>29</b>
<b>Figura N° 8.:</b> <i>Portulaca gilliesii</i> . ....	<b>30</b>
<b>Figura N° 9.:</b> <i>Delosperma ecklonis</i> . ....	<b>30</b>
<b>Figura N° 10.:</b> Aspersor de riego en funcionamiento. Especie de la fotografía: <i>Sedum mexicanum</i> . ....	<b>31</b>
<b>Figura N° 11.:</b> Bomba centrífuga utilizada para el sistema de riego. ....	<b>31</b>

<b>Figura N° 12.:</b> Dispositivo para tomar fotos con demarcación en color rojo para la cámara fotográfica. ....	<b>32</b>
<b>Figura N° 13.:</b> Dispositivo para tomar fotos en posición de utilización. ....	<b>32</b>
<b>Figura N° 14.:</b> Altura del recipiente plástico. ....	<b>34</b>
<b>Figura N° 15.:</b> Diámetro de la perforación del recipiente plástico. ....	<b>34</b>
<b>Figura N° 16.:</b> Perforaciones de la manguera tubo demarcada. ....	<b>35</b>
<b>Figura N° 17.:</b> Prueba hidráulica realizada a la manguera tubo. ....	<b>35</b>
<b>Figura N° 18.:</b> Manguera tubo envuelta en tela anti-helada y ajustada con tanza. ....	<b>36</b>
<b>Figura N° 19.:</b> Interior del recipiente plástico con manguera tubo colocada. ....	<b>36</b>
<b>Figura N° 20.:</b> Lecho de arena preparado en recipiente plástico, con manguera de drenaje recubierta con masilla. ....	<b>37</b>
<b>Figura N° 21.:</b> Lecho de arena con drenaje instalado. ....	<b>37</b>
<b>Figura N° 22.:</b> Cilindro metálico de 4 cm de altura sobre la base de tela de voile. ....	<b>38</b>
<b>Figura N° 23.:</b> Pesada del cilindro metálico portamuestras. ....	<b>38</b>
<b>Figura N° 24.:</b> Conjunto portamuestras metálico ya armado. ....	<b>39</b>
<b>Figura N° 25.:</b> Tamizado del material a muestrear. Fotografía de turba rubia de musgo <i>Sphagnum</i> . ....	<b>39</b>
<b>Figura N° 26.:</b> Humectación del material. Fotografía turba rubia de musgo <i>Sphagnum</i> . ....	<b>39</b>
<b>Figura N° 27.:</b> llenado de cilindro portamuestra con turba rubia de musgo <i>Sphagnum</i> . ....	<b>40</b>
<b>Figura N° 28.:</b> Colocación del conjunto de cilindros sobre rejilla en batea con agua. ....	<b>40</b>
<b>Figura N° 29.:</b> Conjuntos portamuestras sumergidos en baño saturación. ....	<b>41</b>
<b>Figura N° 30.:</b> Desarme de conjunto portamuestras. ....	<b>42</b>
<b>Figura N° 31.:</b> Pesada de material saturado de agua.....	<b>42</b>
<b>Figura N° 32.:</b> Colocación de muestras en sistema de secado a temperatura mínima. ....	<b>42</b>
<b>Figura N° 33.:</b> Colocación de muestras en sistema de secado a temperatura máxima. ....	<b>42</b>

<b>Figura N° 34.:</b> Llenado de vaso de precipitado con material. Fotografía del material: Tierra Fértil. ....	<b>44</b>
<b>Figura N° 35.:</b> Llenado de vaso de precipitado con material. Fotografía del material: Turba de musgo <i>Sphagnum</i> . ....	<b>44</b>
<b>Figura N° 36.:</b> Llenado de matraz con material. Fotografía del material: Zeolita mineral. ....	<b>44</b>
<b>Figura N° 37.:</b> Agitación manual de contenedor mayor (balón de destilación) lleno. ....	<b>45</b>
<b>Figura N° 38.:</b> Homogenización y reducción equitativa de Sustrato N° 1 vertido sobre papel impermeable. ....	<b>46</b>
<b>Figura N° 39.:</b> Separación del sustrato en cuatro cuartos aproximadamente iguales. ....	<b>46</b>
<b>Figura N° 40.:</b> Bandeja plástica con división. ....	<b>47</b>
<b>Figura N° 41.:</b> Bandeja plástica con tela anti-helada en su base. ....	<b>48</b>
<b>Figura N° 42.:</b> Bandejas sin especies y con sistema de riego por aspersor colocado. ....	<b>48</b>
<b>Figura N° 43.:</b> Esquema utilizado para plantación en ½ bandeja. ....	<b>49</b>
<b>Figura N° 44.:</b> Fotografía de plantación según esquema. ....	<b>49</b>
<b>Figura N° 45.:</b> Esquema de distribución de especies y sustratos por bandeja. ....	<b>50</b>
<b>Figura N° 46.:</b> Fotografía d esquema de plantación definitivo.....	<b>50</b>
<b>Figura N° 47.:</b> Resultados de comparación de imágenes de crecimiento en <i>P. gilliesii</i> .....	<b>58</b>

## 5 PLANTEO DEL PROBLEMA:

El creciente deterioro ambiental en la Ciudad autónoma de Buenos Aires sigue la línea de lo acontecido en las grandes urbes de todo el mundo. El fenómeno global del cambio climático, desde sus orígenes en la revolución industrial, continúa variando las condiciones de la atmósfera, lo que inevitablemente repercute en los diferentes climas presentes en el planeta, generando efectos negativos que preocupan a la sociedad.

La conformación de ciudades y el aumento de las ya conformadas tienen un rol principal a la hora de evaluar las causas del fenómeno del cambio climático. Después de la Segunda Guerra Mundial la población se duplicó en sólo 50 años; el PIB global real aumentó 15 veces y el número de vehículos que utilizan combustible fósil, se incrementó cerca de 20 veces (Steffen et al 2007). Desde 1950, el consumo de petróleo por persona se triplicó, así como también las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, el principal gas catalogado como potenciador del efecto invernadero (Barros, 2010). Como consecuencia de este aumento en la producción de gases de efecto invernadero liberados a la atmósfera, se ha generado el fenómeno conocido como calentamiento global. Según Recalde et al. (2013) cuanto mayor es la concentración de gases de efecto invernadero, mayor es el calor, por lo tanto, habrá más evaporación y más nubes que pueden condensarse y precipitar. Entre otras, el cambio climático implica modificaciones en la circulación natural de la atmósfera, los cuales traen aparejados cambios en el régimen de precipitaciones, de forma que existen zonas con inundaciones más frecuentes y otras con recurrentes sequías. Los cambios en la precipitación observados en las últimas décadas en Argentina y en el Área de Buenos Aires en particular, muestran también una tendencia al aumento de eventos de precipitaciones extremas (Rusticucci, 2007). A medida que la urbanización avanza, se observan innumerables efectos como concentración de las actividades económicas en zonas céntricas, agrupamiento y desarrollo industrial y comercial, y gran generación de residuos sólidos urbanos, entre otros (Faggi, 2006).

A su vez y como consecuencia del fenómeno de la densificación urbana los espacios verdes han ido disminuyendo en la medida en que fueron avanzando los pavimentados y las edificaciones. A causa de esto, el porcentaje total comprendido por superficies absorbentes fue en decrecimiento, mientras se produjo un aumento en la aplicación de materiales impermeables, los cuales conforman una gran superficie impermeable, cuya respuesta frente a las lluvias es el escurrimiento del agua hasta los cursos fluviales, atravesando la red de agua por las alcantarillas.

Por el contrario, los espacios verdes donde se incluyen plazas, parques, plazoletas, techos verdes, etc., se caracterizan por retener el agua durante los episodios de lluvia, a causa de la composición física del sustrato o suelo natural, el cual es un medio poroso que permite el paso del agua en forma prolongada en el tiempo. Esta capacidad de retención que presentan los espacios verdes retarda el escurrimiento del agua durante las condiciones de lluvia, dando el tiempo necesario, tanto a la red de alcantarillado pluvial como a los cursos fluviales, a desagotar el exceso de caudal generado en tales condiciones. Por tal motivo, el porcentaje de espacios verdes de un asentamiento urbano conforma un



En función de estas problemáticas y ante la oportunidad de implementar cubiertas verdes como solución mitigante a los efectos negativos que afectan a la calidad de vida de la población e incluso aumentar el índice de espacio verde por habitante, el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires sancionó en el año 2012 la Ley N° 4.428 de “Techos y Terrazas verdes”. Según esta normativa, se entiende por cubierta verde vegetal a una superficie cubierta de vegetación cuyo objetivo es contribuir de manera sustentable con el ambiente urbano. La ley mencionada no define parámetros de construcción del sustrato ni especies a utilizar, tampoco sugiere indicadores ni variables con funcionamiento óptimo analizados en diferentes estudios.

Un techo verde es un sistema que permite el crecimiento de vegetación en la parte superior de una estructura impermeable de techos, terrazas o azoteas de edificios (Leveratto et al., 2014). Este sistema se denomina también “cubierta naturada”, la cual involucra la construcción de espacios verdes "contenidos" encima de una estructura hecha por el hombre. Este espacio verde puede estar sobre el nivel del piso o en diferentes posiciones, pero en todos los casos la vegetación no es plantada en el "suelo natural" (Rosatto et al., 2015). Algunos autores definen una cubierta verde como un sistema que integra diferentes variables. Esto puede explicarse debido a que dependiendo del espesor del sustrato utilizado para el crecimiento de las especies vegetales, se identifican en general dos tipos de cubiertas verdes: las de tipo intensivo (sustrato de mayor profundidad y amplia diversidad de especies que en su mayoría requieren riego y alto mantenimiento) y las de tipo extensivo (sustrato de menor profundidad que presenta bajo mantenimiento, no requiere de riego y posee una cantidad más acotada de diferentes especies vegetales) (Villalba et al., 2016).

Hasta el momento no se cuenta con documentación integral que especifique las características propias de los sistemas de cubiertas verdes, tales como el peso total, los materiales utilizados, las proporciones elegidas para componer el sustrato o las especies que puedan adaptarse a diferentes climas. Por tal motivo, en el presente trabajo se busca determinar unificadamente las características del sustrato que mejores respuestas brinde, para ser utilizado en el marco de la normativa ambiental vigente, aportándole a la misma, composiciones, porcentajes y datos técnicos para enriquecer y facilitar su aplicación. En este contexto, se hace foco en las cubiertas vegetadas de tipo extensivas, pudiendo determinar cuáles son los sustratos que logan absorber mayor cantidad de agua, poseen el mayor tiempo de retención y permiten un adecuado desarrollo de especies en las condiciones climáticas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

## **6 JUSTIFICACIÓN:**

Los techos verdes conforman una alternativa efectiva para recobrar los espacios verdes perdidos y aprovechar los beneficios ambientales que su instalación conlleva.

Entre los principales factores ambientales en los que la implementación de sistemas de techos verdes incide, se puede mencionar el aislamiento acústico, la regulación del confort térmico, la fijación de gases y partículas contaminantes presentes en la atmósfera, la conformación de un valor estético visual, la constitución de un soporte para la biodiversidad (escasa en la ciudad), tanto de pequeñas y medianas aves, insectos, especialmente aquellos polinizadores, y las propias especies vegetales introducidas en la cubierta verde. Este tipo de sistemas contribuyen notablemente con la disminución del escurrimiento superficial de agua durante las lluvias así como de captación de un porcentaje de ella.

En este último aspecto propio de las cubiertas verdes se enfoca el presente trabajo, puesto que las mismas pueden reducir la cantidad de agua de lluvia que llega hasta el sistema de transporte de alcantarillado, sustituyendo un techo impermeable por un suelo poroso, con capacidad de retener y absorber el agua de lluvia, lo que trae como resultado escurrimientos reducidos para el sistema de drenaje de la ciudad (Rosatto et al., 2015).

Una de las variables determinantes para definir la capacidad de absorción de agua de un sistema de techo verde es el sustrato. El mismo puede estar compuesto por diferentes materiales y se pueden implementar sobre superficies o estructuras con diferente forma, lo que convierte los materiales y las proporciones a utilizar en un complejo sistema.

## **7 OBJETIVOS:**

Determinar los criterios de composición de sustratos y conocer sus características físicas y fisicoquímicas, de forma tal que resulten aptos para diversas especies vegetales adaptadas a las condiciones climáticas de la Ciudad de Buenos Aires. Estos sustratos deben responder de forma eficiente a los parámetros de retención de agua y drenaje hídrico, densidad de sustrato, pH, conductividad eléctrica y permitir el normal desarrollo de especies vegetales, conformando un sistema de techo verde o cubierta vegetal aplicable dentro de la normativa ambiental vigente, sirviéndole de soporte técnico a los interesados en implementar sistemas de cubiertas verdes en la ciudad.

Asimismo, se busca obtener resultados comparables y complementarios con trabajos anteriores y aportar información comprobable que permita unificar criterios y mejorar la elección del sustrato a emplear durante la instalación de una cubierta verde.

## **8 OBJETIVO GENERAL:**

Caracterizar la calidad de diferentes mezclas elaboradas para ser empleadas como sustratos, conformando el medio de crecimiento de especies con potencial para ser implantadas como cubiertas verdes en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Comparar para cada mezcla su comportamiento hídrico mediante la determinación de las variables: capacidad de retención de agua (CRA), densidad de sustrato seco y húmedo, pH, conductividad eléctrica, valorización económica y determinar mediante una comparativa de porcentajes de cobertura, el comportamiento de cada especie implantada.

## **9 ANTECEDENTES:**

En torno a la mitigación del Cambio Climático, diferentes ciudades del mundo han ido adaptando e incorporando a su legislación ambiental nuevas leyes, acuerdos y tratados, buscando minimizar el impacto de las construcciones civiles y de la urbanización.

La implementación de techos y terrazas verdes resulta en la actualidad una medida tomada como respuesta al cambio climático o directamente una adecuación a las normativas que obligan a incorporar ciertos porcentajes de coberturas verdes en las nuevas construcciones o incluso modificar las más antiguas. Pero la implementación de sistemas de cubiertas verdes en techos o azoteas no tiene su origen a causa de la problemática actual, sino que existe evidencia de la utilización de técnicas similares hace aproximadamente 100 años, aprovechando los beneficios ambientales que su uso posee. Algunos ejemplos de cubiertas verdes en la antigüedad fueron vistas sobre las casas de césped de las poblaciones en Estados Unidos y Canadá, donde en el sistema constructivo empleado, probablemente procedente de Europa del Norte y de los países escandinavos, la construcción del techo consistía en tirantes y estructuras con ramas, pasto de pradera y dos capas de terrones de césped (Minke, 1992). Los techos verdes cobraron importancia en los años 70, enfatizándose en la conservación y eficiencia del uso de energía eléctrica. Durante ésta y la siguiente década, los problemas de la mala calidad del aire y la inadecuada ventilación en edificios herméticos constituyeron una preocupación creciente (Macías & García Navarro, 2010).

Debido a la necesidad de regular la construcción de sistemas de techos verdes, aprovechando la oportunidad para fomentar su implementación y recibiendo cierta presión a causa de los tratados internacionales firmados en torno a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, las principales ciudades de los países con grandes centro urbanos fueron sancionando nuevas leyes y reglamentaciones. Toronto, la ciudad más poblada de Canadá, fue pionera en materia ambiental legal referente a cubiertas verdes, sancionando en el año 2009 una ordenanza que obliga a montar un sistema de cubierta vegetal en todos los edificios de nueva construcción cuya

superficie sea superior a 2.000 m<sup>2</sup> y cuyo uso sea residencial, comercial o institucional. A partir de 2012 también comenzó a aplicar en construcciones industriales.

Siguiendo esta línea, Copenhague, la capital de Dinamarca, fue la segunda ciudad del mundo en poseer una legislación que regule los techos verdes. En el caso del país europeo, la reglamentación obliga a instalar cubiertas verdes en cada una de las edificaciones nuevas.

Otros países que cuentan con algún tipo de legislación en materia de coberturas verdes son Francia, Suiza, Alemania, España, Brasil, etc. Existen por otro lado, algunos países que si bien no cuentan con una obligación explícita de implementación de cubierta verde, estimulan su aplicación mediante la reducción de impuestos y otorgando beneficios económicos, o bien poseen leyes de cumplimiento optativo. Podemos mencionar como ejemplo de esta última metodología a Chile, Argentina, Colombia, etc.

Tomando el caso propio de Argentina, se pueden mencionar escasas reglamentaciones en materia de coberturas verdes. Asociado a ello, existen casos como por ejemplo el de la Ciudad de Rosario, provincia de Santa Fe, en donde lo que se ha desarrollado es un Programa de incentivos, denominado "Terrazas Verdes" el cual fue aprobado en el año 2007 por la Municipalidad de Rosario, bajo la Ordenanza Municipal N° 8208. El objetivo del programa se basa en mejorar la calidad del aire en el área urbana y especialmente en la zona céntrica, promoviendo en los consorcios de edificios, los particulares, empresas y organizaciones diversas, la utilización de la superficie de sus terrazas para emplazar especies vegetales diversas. Si bien este programa no focaliza su fin en mitigar la problemática de las lluvias, hace mención a la misma, definiendo como una de las consecuencias benéficas, el retardo del escurrimiento pluvial. Tampoco hace referencia al tipo de sustrato, forma o composición que debe o puede implementarse para incorporar sistemas de techos verdes a la ciudad de Rosario.

Por su parte, la Ciudad de Neuquén publicó la Ordenanza N° 12875 sancionada en el año 2013 por el Concejo Deliberante de la Ciudad. La misma define a la aplicación de techos verdes como una oportunidad tanto desde el punto de vista ambiental como desde la perspectiva paisajística, donde la mayoría de los techos, azoteas y terrazas de las edificaciones de la ciudad están ociosas y desperdiciadas. En referencia al sustrato, la ordenanza determina que el espesor mínimo necesario para que la vegetación prospere debe estar en función a las especies que conformen la cubierta vegetal, no pudiendo exceder los 18 centímetros. Las pendientes de escurrimiento, en los casos de terrazas transitables o no, deben responder a las normativas vigentes y el conjunto debe poseer un sistema de retención para evitar el escurrimiento de tierra o sustrato.

Otra de las reglamentaciones en materia de cubiertas verdes proviene del Concejo Deliberante de la Ciudad de Córdoba, que ha incorporado al Código de Edificación vigente, el marco regulatorio para la incorporación de cubiertas y muros verdes dentro de la Ciudad de Córdoba, como parte inicial de un Programa Integral de desarrollo sostenible

para la Ciudad de Córdoba. Dicha incorporación se hizo efectiva en el año 2016 mediante la Ordenanza N° 12548. Entre los principales objetivos de esta medida, se pretende que la implementación de cubiertas verdes absorba y retenga aguas pluviales, disminuyendo y retardando el aporte a los desagües pluviales urbanos. Así mismo, el Programa tiene objetivos tales como: reducir el impacto producido por el efecto "isla de calor", mejorar la eficiencia energética de los edificios, aportar superficies naturales para absorción de CO<sub>2</sub> y retención de partículas ambientales en suspensión, entre otros. Este programa así como su decreto de implementación tampoco hacen mención al sustrato. No se especifican requisitos mínimos ni se realizan recomendaciones acerca del sustrato posible a incorporar a los sistemas de cobertura verde.

La Ciudad Autónoma de Buenos Aires posee la Ley N° 4428 de Techos y Terrazas Verdes, sancionada en diciembre de 2012. Dicha Ley busca, mediante deducciones de impuestos, incentivar la instalación de techos y terrazas verdes en la ciudad. Ésta pretende beneficiar a la ciudad con las múltiples ventajas que los sistemas pueden aportar en torno a las condiciones ambientales. Esta normativa tampoco cuenta con una descripción del sustrato o los componentes que son útiles para instalar un techo verde. En este caso, la mencionada Ley N° 4428 de la Ciudad de Buenos Aires, determina que el espesor mínimo necesario de tierra para que la vegetación prospere debe estar en función a las especies que conformen la cubierta vegetal, no pudiendo exceder los 18cm.

En materia de investigación, en los años siguientes a la publicación de la Ley N° 4428, se publicaron algunos trabajos de importancia en referencia al comportamiento de los sustratos y sus componentes, los cuales serían aplicables a la normativa lanzada. Uno de ellos fue el publicado por Vence (2012), en el Laboratorio de Análisis de Sustratos y Aguas, perteneciente a la Facultad de Agronomía, presentado como tesis de magistratura en ciencias del suelo. El trabajo consistió en demostrar las diferencias entre distintos métodos de determinación de parámetros que estiman la disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas y su relación con la respuesta vegetal, basando la justificación de su trabajo en el incipiente estudio de sustratos presente en Argentina. Como forma de contribución, se propuso como objetivo, comparar evaluativamente diez métodos de referencia internacional, para distintos parámetros, sobre perlita, dos clases de turbas y tierra mejorada, empleados para determinar las características de estos componentes cuando conforman un sustrato, aplicable entre otras posibilidades, como sustrato para cubiertas verdes.

Otro trabajo de investigación científica de referencia fue presentado por Rosatto et al en el año 2013, sobre eficiencia en la retención del agua de lluvia de cubiertas vegetadas de tipo "extensivo" e "intensivo".

Dicho trabajo fue motivado por las crecientes inundaciones en áreas urbanas por sobrecarga de las redes de drenaje, cuyo objetivo consistía en demostrar que las cubiertas vegetadas lograban retener parte del agua precipitada, reduciendo el escurrimiento

superficial y generando hidrogramas de escorrentía directa con caudales pico menores y más retardados. Estas propiedades permiten demostrar que esta tecnología de cubiertas verdes puede contribuir considerablemente en la reducción de la sobrecarga de cauces urbanos, posicionando a las cubiertas vegetadas, para las condiciones y sitio del ensayo, como una alternativa dentro del manejo hídrico integrado en cuencas urbanas.

Posteriormente, en el año 2015, Rosatto et al publicó su trabajo titulado "Cubiertas vegetadas de tipo "extensivo", eficiencia en la retención del agua de lluvia de distinto tipo de vegetación implantada". En dicho trabajo se determinó la reducción del escurrimiento superficial y la calidad de agua entregada de las cubiertas vegetadas con distinto tipo de vegetación implantada, ante lluvias normales en la ciudad de Buenos Aires. A su vez se realizó una estimación de la capacidad de absorción de las cubiertas ensayadas, la cual resultó variable en función de la precipitación, el tipo de vegetación y su grado de cobertura.

A continuación, en el marco de la Ley N° 3.871 de adaptación y mitigación al cambio climático en Buenos Aires, Rosatto et al. 2016, intentó determinar si, para las condiciones climáticas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), las cubiertas vegetadas (con las características del sitio de estudio), pueden significar un aporte a la regulación de la temperatura, ya que la mencionada Ley N° 3.871 propone medidas mínimas de adaptación. Un ejemplo de ello son las cubiertas verdes, las cuales ayudarían principalmente a amortiguar las temperaturas extremas y la isla de calor urbano. Haciendo foco en el sustrato y en las especies vegetales del sistema de terrazas verdes, se presenta el trabajo bajo el título "Problemáticas del cambio climático en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires - aportes de las cubiertas vegetadas en la regulación térmica" en el año 2016, en el cual se obtiene como conclusión que: en el caso analizado y en las condiciones climáticas de CABA, las cubiertas vegetadas pueden ser un aporte a la regulación térmica de las edificaciones.

Materiales que son utilizados como sustratos y como complemento para conformar sustratos:

**Perlita:** es un mineral de origen volcánico que posee numerosas características que la hacen útil como medio de crecimiento (Landis, 2000). Se trata de un silicato de aluminio que previo a su comercialización, recibe un tratamiento industrial donde primeramente se dimensiona en partículas menores, luego se lo somete a un tratamiento térmico que lo lleva a 300-400 °C y con esa temperatura se lo deposita en hornos a 1000 °C, convirtiendo el material original en un material liviano debido a la evaporación del agua atrapada en su interior (Burés, 1997). Este proceso hace que la perlita adquiera características diferenciadoras, tales como la estructura celular cerrada (debido a que contiene un alto porcentaje de poros cerrados al exterior) lo que permite que el agua se adhiera sólo en la superficie de las partículas, otorgándole al sustrato un buen drenaje. Además, es ligera en peso, rígida y no se comprime con facilidad, lo cual genera una buena porosidad. El

tamaño de partícula usualmente oscila entre 1.6 y 3 mm. No contiene nutrientes que puedan aprovechar las plantas y posee una mínima capacidad de intercambio catiónico, lo que sumado a un pH en un intervalo alrededor de la neutralidad, hacen que la perlita sea químicamente inactiva, siendo sus principales cualidades derivadas de su composición y estructura física (Fig. 2).

Los materiales utilizados para la formulación de sustratos pueden ser orgánicos o inorgánicos (Burés, 1997), y dentro de éstos últimos, la perlita expandida es uno de los materiales más utilizados mundialmente. Generalmente es agregada a componentes orgánicos, como la turba de musgo o corteza de pino, con el fin de incrementar la porosidad de aireación del sustrato, lo cual es de vital importancia en sustratos para contenedores de acotado volumen (Nelson, 1978).

En el caso de la perlita, la misma es elegida como material para formular sustratos en cubiertas verdes por sus características físicas, su recomendado y extendido uso en agricultura y documentación científica que lo demuestra. Una de sus principales características que la convierten material de interés es su bajo peso, factor importante a tener en cuenta durante la construcción de una cubierta verde naturalada. Si bien existen diferencias en resultados obtenidos sobre el cálculo de su densidad (densidad aparente alrededor de  $0.10 \text{ g cm}^{-3}$ , según Landis (2000) y densidad aparente de  $0.12 \text{ g cm}^{-3}$  según Burés (1997)), ambos valores son muy bajos en comparación con otros materiales disponibles para formular sustratos. Tal como lo propone Landis, los interesados en mantener ligero en peso sus sustratos, pueden considerar a la perlita como un componente, pues este material es relativamente hidrofóbico. Un medio de crecimiento hecho con una mezcla de turba de musgo y perlita puede, por tanto, tener un peso saturado mucho menor que el de una mezcla de turba de musgo y vermiculita (Landis, 2000).



**Fig. 2:** Perlita agrícola. Fuente: Fotografía propia tomada al producto de venta comercial de la marca Terrafertil.

**Turba rubia de musgo *Sphagnum*:** *Sphagnum* es un género del reino Plantae que posee entre 150 y 350 especies, pertenecientes a la familia *Sphagnaceae*. Todas ellas son comúnmente llamadas “musgos de turbera”. La turba es un suelo orgánico que se forma por la acumulación de los tejidos de éstas y otras plantas que crecen sobre los restos de terceras ya descompuestas (Domínguez, 2013). Así conforman una serie de estratos de tejidos vegetales muertos, que se depositan con el paso del tiempo formando la turba.

La turba de *Sphagnum* es utilizada en floricultura, ayudando a la prolongación natural de la vida de las flores, y en la agricultura aportando oxigenación y humedad, mejorando así la calidad de los suelos, especialmente en zonas con climas secos o propensos a la desertización. La incorporación de turba mejora la retención hídrica en un sustrato por su gran capacidad de absorción de agua, manteniéndolo con un alto contenido de humedad y alta porosidad, mejorando también la aireación (Hartmann et al., 2002). (Fig. 3).



**Fig. 3:** Turba rubia de musgo *Sphagnum*. Fuente: Fotografía propia.

### **Zeolita mineral**

La zeolita es un mineral del grupo de los aluminosilicatos de origen ígneo-sedimentario, con estructura porosa y que presenta alta capacidad de intercambio catiónico. Se caracterizan por su capacidad de hidratarse y deshidratarse en forma reversible, además de cambiar algunos de sus constituyentes catiónicos sin modificar su estructura (Ming y Mumpton, 1989). Esto le confiere al sustrato una rápida captación de agua durante la hidratación de las partículas de zeolita. Una vez que éstas alcanzan su saturación máxima, el tamaño de partícula del material le brinda al sustrato una mayor capacidad de drenaje hídrico. Anicua et al. (2009) demostraron que la micromorfología se puede ser utilizada para caracterizar materiales individuales (por ejemplo perlita y zeolita) y relacionar sus propiedades morfológicas (forma, tamaño y porosidad interna y externa) con sus propiedades físicas (capacidad de aire y retención de humedad). Sin embargo, todavía es necesario determinar lo que ocurre con estas dos propiedades una vez que se mezclan los materiales y conforman un sustrato, ya que allí se producen interacciones complejas que alteran sus propiedades físicas (Ansorena, 1994) (Fig. 4).

Existen dos grandes grupos de zeolitas: las minerales naturales y las sintéticas. Las primeras, se obtienen en yacimientos mineros, mientras que las sintéticas se producen a nivel industrial. Debido a que la demanda de zeolita sintética industrial depende directamente del uso que el producto tendrá, la industria ha desarrollado varios tipos (mordenita, erionita, chabazita, entre otras) con diferentes características fisicoquímicas (Vintimilla, 2008).



**Fig. 4:** Zeolita mineral. Fuente: Fotografía propia.

### **Compost Orgánico**

El compost es el resultado de la descomposición biológica en condiciones aeróbicas de los residuos orgánicos. Se puede obtener compost a partir de numerosos desechos orgánicos, tales como restos de alimentos, desechos de poda y jardinería en general, estiércol de animales, etc. Según de qué tipo de desecho se trate, serán las características que poseerá el compost. Se trata de un sólido poroso cuyas características físicas dependerán de los restos orgánicos que le dieron origen (Fig. 5).

En este sentido, tomando lo recomendado por Abad et al. (2001), para que el manejo del sustrato y sus componentes sea menos dificultoso, respecto al mezclado del sustrato, cargado en contenedores y traslado, se recomienda que los mismos tengan una densidad aparente inferior a  $0,4 \text{ g cm}^{-3}$ . El uso de compost permite reemplazar la utilización de recursos no renovables (ej. turba) como componentes de sustratos, y transformar en materiales aprovechables los desechos orgánicos que eventualmente contaminan el ambiente y no tienen ninguna reutilización. De este modo se favorece el crecimiento de las especies vegetales a través de un aporte de micro y macronutrientes que de otra forma deberían ser incorporados mediante fertilización (Prieto, 2005).



**Fig. 5:** Compost orgánico. Fuente: Fotografía propia tomada al Compost de venta comercial de la marca Terrafertil.

### **Tierra fértil**

Como sustrato para plantas queda comprendido cualquier material poroso, usado sólo o en combinación con otros, que colocado en un contenedor proporciona anclaje y suficientes niveles de agua y oxígeno para un óptimo desarrollo de las especies vegetales que crezcan en él (Vence et al., 2008). La tierra es un material inorgánico que puede conformar un sustrato, sólo o en combinación con otros materiales. Que sea <fértil> indica que posee los nutrientes necesarios para que las especies vegetales puedan desarrollarse en ella como medio de crecimiento, sin la necesidad de incorporar nutrientes de forma externa (Fig. 6).



**Fig. 6:** Tierra fértil. Fuente: Fotografía propia tomada al producto de venta comercial de la marca Terrafertil.

## **10 METODOLOGÍA DE TRABAJO:**

En el presente trabajo se conformaron cuatro mezclas de sustratos, utilizando cinco elementos en diferentes proporciones (turba de musgo, perlita, zeolita, compost orgánico y tierra fértil). A cada uno de estos elementos se les determinó la capacidad de retención de agua (CRA) y luego, tomando como base los resultados de CRA, se conformaron cuatro sustratos diferentes entre sí, variando en las cantidades de cada elemento que lo compone.

A cada una de las mezclas de sustratos se les determinó la CRA, se calcularon los valores de densidad de sustrato seco (DSs) y densidad de sustrato húmedo (DSH) y se midieron los valores de pH y conductividad eléctrica y se calculó el costo económico de adquisición de cada sustrato. Luego se realizó la plantación de tres especies vegetales adaptadas al clima de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en cada mezcla de sustrato conformada, a fin de determinar el comportamiento de cada especie respecto a la mezcla de sustrato en la que sea implantada. Se realizó una comparación del porcentaje de cobertura desde el primer día en que se implantaron hasta el final de la medición.

### **10.1 Selección de elementos para conformación de sustratos**

Los elementos que conformaron los sustratos fueron seleccionados teniendo en cuenta las siguientes variables: 1- que posean antecedentes de utilización como sustrato; 2- que exista bibliografía de investigación o publicaciones que avalen sus cualidades como sustrato; 3- que su adquisición dentro del mercado de insumos para cubiertas verdes no presente dificultades en el área de estudio; 4- que su densidad aparente sea relativamente baja en comparación con otros elementos.

Como resultado, los elementos seleccionados para evaluar su comportamiento hídrico y posterior conformación de sustratos fueron: perlita agrícola, turba rubia de musgo *Sphagnum*, zeolita mineral, compost orgánico y tierra fértil.

La perlita utilizada en el presente trabajo fue la de venta comercial bajo la marca Terrafertil. Fue elegida como material a evaluar por sus características y su recomendado y extendido uso en agricultura y documentación científica que lo demuestra. Una de sus principales características que la convierten material de interés es su bajo peso, factor importante a tener en cuenta durante la construcción de una cubierta verde naturalizada. Si bien existen diferencias en resultados obtenidos sobre el cálculo de su densidad (densidad aparente alrededor de 0.10 g cm<sup>-3</sup>, según Landis (2000) y densidad aparente de 0.12 g cm<sup>-3</sup> según Burés (1997)), ambos valores son muy bajos en comparación con otros materiales disponibles para formular sustratos. Tal como lo propone Landis (2000),

los interesados en mantener ligero en peso sus sustratos, pueden considerar a la perlita como un componente, ya que este material es relativamente hidrofóbico. Un medio de crecimiento hecho con una mezcla de turba de musgo y perlita puede, por tanto, tener un peso saturado mucho menor que el de una mezcla de turba de musgo y vermiculita (Landis, 2000).

La turba de musgo *Sphagnum* utilizada fue la de venta comercial bajo la marca Terrafertil. Al igual que con los restantes materiales, para la conformación de sustratos propuestos en este trabajo, se orientó la búsqueda hacia materiales con poco peso. Siguiendo a Vence (2012) se busca densidades de sustrato húmedo relativamente bajas, entre 0,2 y 0,17 g cm<sup>-3</sup>.

Se optó por utilizar zeolita mineral natural, proveniente de un yacimiento minero ubicado en la provincia de San Juan, Argentina. Esta elección se realizó así ya que no se produce ni se comercializan zeolitas artificiales en Argentina. Hay disponible material bibliográfico que evidencia la utilización de esta zeolita como sustrato, principalmente en hidroponía o bien como componente en sustratos para suelos agrícolas. Esto permite comparar resultados y conocer más acerca del comportamiento del material tratándose siempre de la misma estructura química. El material evaluado presenta según el fabricante, en general, tamaños de partícula que van desde los 3.5 mm las mayores, hasta 1 mm las más pequeñas, con una densidad de entre 0,45 y 0,50 g cm<sup>-3</sup>. No se encontró evidencia del comportamiento de este tipo de zeolita en sustratos para cubiertas verdes.

Se utilizó compost orgánico comercializado por la marca Terrafertil. Según el fabricante está formulado con compost de corteza de pino y compost orgánico, sin especificar en qué proporciones cada uno. El compost de corteza de pino es el producto final del compostado de materiales provenientes de aserraderos y descortezadoras de madera, mientras que por compost orgánico debe entenderse como el obtenido de desechos orgánicos en general. El fabricante no proporciona datos acerca de la densidad del material ni tampoco del tamaño de partícula.

Se tomaron como referencia los valores de densidad aparente obtenidos con el método de Hofmann, en el trabajo realizado por Barbaro et al., en 2019, en donde para compost de cortezas de pino (corteza de pino gruesa, media y fina) los valores resultaron entre 0,15 y 0,25 g cm<sup>-3</sup>, mientras que para compost de residuos orgánicos urbanos, los valores de densidad aparente rondaron los 0,45 g cm<sup>-3</sup>. Como el valor de densidad supera a lo recomendado por Abad et al (2001), se siguieron las indicaciones propuestas por el mismo autor, por lo cual, al momento de formular un sustrato con estos compost (Densidad  $\geq$  0,4 g cm<sup>-3</sup>) se los debería alivianar con otro/s componente/s. En el presente trabajo, en efecto, se formularon 4 sustratos compuestos con materiales menos densos (ej. Perlita agrícola y turba de musgo *Sphagnum*).

Tomando como base la numerosa evidencia científica que así lo indica (Fonteno et al. 1981; Karlovich y Fonteno, 1986) se optó por incluir tierra como uno de los materiales

componentes de sustratos para cubiertas verdes. La elección fue en particular por su bajo costo económico, fácil disponibilidad y alto poder como <buffer>, sumado a una marcada preferencia existente en la actualidad por la inclusión de tierra, sola o combinada (mayormente con turba o perlita), para realizar plantaciones.

## 10.2 Determinación de capacidad de retención de agua (CRA)

Para efectuar la determinación de la CRA de estos elementos se empleó el método basado en el procedimiento descrito por De Boodt et al. (1974) y modificado por Martínez Farré (1992), el cual consiste en realizar la medición de una muestra representativa de una determinada masa de material, y del volumen de agua que es capaz de retener. Para realizar la medición, los materiales seleccionados fueron colocados en un cilindro portamuestras y sometidos a una tensión de 10 hectopascales (hPa), logrados en un lecho de arena completamente saturado de agua. Previo a colocar las muestras en el lecho de arena, se realizó un baño de saturación en donde los materiales, dentro del cilindro portamuestras, fueron saturados por capilaridad hasta que el material no fue capaz de incorporar más moléculas de agua. La muestra se pesó en balanza y luego se llevó a fuente de calor (estufa eléctrica) para evaporar todas las moléculas de agua. Una vez secado, se repitió el pesaje, donde la diferencia de la masa seca respecto de la masa saturada permitió determinar la capacidad de retención de agua que posee el material. La fórmula empleada para el cálculo de la CRA fue la siguiente:

$$CRA = \frac{V_{ag}}{V_t}$$

Donde:

**CRA** : Capacidad de Retención de Agua ( en  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ).

**V<sub>ag</sub>** : Volumen de Agua retenido a 10 hPa de tensión (en  $\text{cm}^3$ ).

**V<sub>t</sub>** : Volumen Total del sustrato.

El Volumen de Agua retenido (**V<sub>ag</sub>**) se obtiene de la fórmula:

$$V_{ag} = (m_2 - m_3) X \delta_{ag}$$

Donde:

**m<sub>2</sub>** : Masa del sustrato húmedo + masa del conjunto del cilindro inferior (en g).

**m<sub>3</sub>** : Masa del sustrato seco + masa del conjunto del cilindro inferior (en g).

**δ<sub>ag</sub>** : Densidad del agua (considerada como  $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ).

El Volumen total del sustrato (**V<sub>t</sub>**) se obtiene del siguiente cálculo:

$$Vt = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot h$$

Donde:

**d:** Diámetro interno del cilindro porta muestra (en cm).

**h:** Altura del cilindro porta muestra (en cm).

### 10.3 Conformación de mezcla de sustratos:

Una vez obtenidos los valores de capacidad de retención de agua de los cinco elementos antes descritos, se procedió a conformar 4 sustratos con diferentes proporciones de cada elemento. Dicha variación en las proporciones de los materiales que conforman los sustratos fue realizada de manera tal que se puedan conformar comparables entre sí, que presenten cierta oposición, similitud y que sean viables como sustratos para especies vegetales. Las proporciones de los elementos que conformaron las cuatro mezclas de sustratos, se determinaron según el esquema de la siguiente tabla:

**Tabla N° 1:**

RESULTADO CRA	MAYOR CRA	SUSTRATO MEZCLA N°1	SUSTRATO MEZCLA N°2	SUSTRATO MEZCLA N°3	SUSTRATO MEZCLA °4
#1	↑	40%	30%	20%	10%
#2		30%	25%	20%	15%
#3		20%	20%	20%	20%
#4		5%	15%	20%	25%
#5		5%	10%	20%	30%

### 10.4 Determinación de capacidad de retención de agua (CRA), densidad de sustrato seco (DSs), densidad de sustrato húmedo (DSh), pH, conductividad eléctrica (CE) y costo económico de los cuatro sustratos mezcla:

Una vez conformados los cuatro sustratos mezcla se procedió a extraer una muestra de cada uno para efectuar las siguientes determinaciones:

Capacidad de retención de agua (CRA); densidad de sustrato seco (DSs); densidad de sustrato húmedo (DSh); pH; conductividad eléctrica (CE).

A su vez se realizó una estimación del costo económico que significaría elaborar cada uno de los 4 sustratos y se los comparó entre sí.

Mediante la aplicación de la técnica de cuarteo se obtuvo una muestra homogénea y representativa de cada mezcla de sustrato. Se empleó la técnica de cuarteo debido a que la misma está estandarizada y permite minimizar los errores de medición.

El parámetro CRA para cada sustrato mezcla se calculó repitiendo lo explicado anteriormente para cada uno de los materiales (perlita, turba, zeolita, compost y tierra).

### **Densidad de sustrato seco (DSs):**

Se define así a la unidad de masa de sustrato seco por unidad de volumen, tomando como volumen total el que ocupa el sustrato en condiciones de humedad y compactación establecidas en el recipiente portamuestras. En el presente trabajo se expresó en  $\text{kg m}^{-3}$ .

Esta medida es una de las más usuales y empleadas para el manejo de sustratos y suelos, ya que permite conocer rápidamente el estado físico. Constituye una forma de evaluar la resistencia del suelo a la perpetración natural de las raíces. También se usa en agricultura para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, utilizados frecuentemente en fertilización de cultivos extensivos (Taboada & Alvarez, 2008). La densidad de sustrato seco es un valor necesario para realizar el cálculo de la porosidad, siendo ésta una medida relacionada con la densidad. Este valor es útil también, ya que brinda una idea aproximada del peso que deberá ser transportado y utilizado para realizar la etapa de instalación de un sistema de cubierta verde extensivo.

Para su obtención se aplicó la fórmula:

$$DSs = \frac{mss}{Vt} \times 1000$$

Donde:

*DSs* : Densidad de sustrato seca (en  $\text{kg m}^{-3}$ )

*Mss*: Masa de sustrato seca (en g) \*

*Vt*: Volumen total del sustrato (en  $\text{cm}^{-3}$ ) \*\*

\* **Mss** se obtiene del cálculo:

$$Mss = m_3 - m_1$$

Donde:

**$m_3$**  : Masa del sustrato seco + masa del conjunto del cilindro inferior (en g)

**$m_1$**  : Masa del cilindro inferior portamuestras armado (en g).

\*\* El Volumen total del sustrato (**Vt**) se obtiene del siguiente cálculo:

$$Vt = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot h$$

Donde:

**d**: Diámetro interno del cilindro porta muestra (en cm)

**h**: Altura del cilindro porta muestra (en cm)

**Densidad de sustrato húmedo (DSh):**

Se define como la masa de sustrato húmedo por unidad de volumen, tomando como volumen total el que ocupa el sustrato en el recipiente cilíndrico portamuestras. Como sustrato húmedo se considera a la masa del sustrato que, luego de ser sometida a un baño de saturación en agua y tensionado a 10 hPa, es pesado manteniendo las condiciones de humedad. En el presente trabajo se expresó el resultado de DSh en Kg/m<sup>3</sup>.

Esta medida fue de utilidad debido a que permite predecir el peso máximo aproximado que deberá soportar el espacio físico donde se instale el sistema de cubierta verde extensivo. La fuerza peso mayor se producirá en el momento del pico de retención de agua, el cual coincide con las condiciones de medición del trabajo. Conocer estos valores obtenidos para cada sustrato permite seleccionar los materiales y realizar los cálculos necesarios para construir adecuadamente el sistema de cubierta verde que soporte dicho peso, evitando así errores de construcción que podrían significar daños mayores.

A su vez, permite conocer el volumen real de los sustratos cuando se encuentran en condiciones de compactación similares a las que poseen en diversos contenedores.

Para su obtención se aplicó la fórmula:

$$DSh = \frac{msh}{Vt} \times 1000$$

Donde:

**DSh**: Densidad de sustrato húmedo (en kg m<sup>-3</sup>)

**Msh**: Masa de sustrato húmedo (en g) \*

**Vt**: Volumen total del sustrato (en cm<sup>-3</sup>) \*\*

\* **Msh** se obtiene del cálculo:

$$Msh = m_2 - m_1$$

Donde:

**$m_2$**  : Masa del sustrato húmedo + masa del conjunto del cilindro inferior (en g)

**$m_1$**  : Masa del cilindro inferior portamuestras armado (en g). Ver Paso 2 del punto 6.5 del presente trabajo.

\*\* El Volumen total del sustrato ( **$Vt$** ) se obtiene del siguiente cálculo:

$$Vt = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot h$$

Donde:

**$d$** : Diámetro interno del cilindro porta muestra (en cm)

**$h$** : Altura del cilindro porta muestra (en cm)

#### **pH y conductividad eléctrica:**

La concentración de sales solubles presentes en un sustrato se mide mediante la CE. Es la medida de la capacidad de un sustrato para conducir la corriente eléctrica, por ende el valor de CE será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que a mayor CE, mayor será la concentración de sales disponibles para el crecimiento de la plantas.

El pH es una medida de la acidez (pH bajo = ácido) o alcalinidad (pH alto = básico o alcalino) del medio (sustrato). El pH determina las reacciones químicas que define si los nutrientes van a estar o no disponibles (solubles o insolubles) para su absorción. Los problemas nutritivos más comunes ocurren en los cultivos cuando el pH se encuentra fuera del rango óptimo. El rango óptimo para la mayoría de los cultivos ornamentales es de 5,5 a 6,8 (Bárbaro, 2018).

Se determinó el pH y la conductividad eléctrica (CE) de cada mezcla de sustrato proporcionada (4 mezclas). El protocolo seguido con cada muestra consistió en los siguientes pasos:

1. En un frasco de 250 mL se agregaron 150 mL de agua desionizada.
2. Se agrego el sustrato correspondiente hasta alcanzar los 180 mL (relación 1:5 v/v de sustrato: agua desionizada).
3. Se agitó la suspensión durante 10 minutos.
4. Se dejó reposar durante 15 minutos.
5. Se eliminaron los sólidos más gruesos utilizando un tamiz.
6. Se midió el pH y la CE del agua. Se utilizaron equipos marca Hanna modelo "Checker" para el pH, y modelo "Combo", para la CE. Ambos equipos fueron calibrados utilizando

las soluciones correspondientes. En el caso del pH, se realizaron 2 lecturas en cada muestra, informándose el promedio de dichas lecturas.

### **Costo económico:**

Para establecer un valor económico que representara el costo de la preparación de cada sustrato mezcla se realizó un cálculo que expresa en porcentaje, la diferencia entre cada uno.

Para darle un valor en pesos argentinos a cada elemento que compone los sustratos mezcla se realizó un promedio de 3 valores publicados por diferentes vendedores para su venta. Las consultas se realizaron para los casos de TF, TMS, CO, PE en dos viveros localizados en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y en publicaciones en internet en la página web de Mercado Libre Argentina. Para el caso de ZM se pudieron conseguir sólo dos valores y únicamente en la página web mencionada.

## **11 PLANTACIÓN DE ESPECIES**

Para valorizar la aptitud de cada una de las mezclas de sustratos para especies vegetales adaptadas a las condiciones climáticas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se realizaron pruebas de cultivo.

Se cultivaron 3 ejemplares diferentes de especies vegetales en cada uno de los cuatro sustratos mezcla y se los colocó en un sitio de modo tal que quedaron expuestos a los mismos factores ambientales del clima de la Ciudad de Buenos Aires.

Las especies de plantas empleadas para este trabajo fueron seleccionadas a partir de diferentes experiencias de diversos autores, teniendo en cuenta el clima de la Ciudad de Buenos Aires, el régimen de precipitaciones y las necesidades de sustrato y abastecimiento de agua de cada especie. Se siguió el catálogo de plantas para techos verdes (INTA, 2011). En dicha publicación se citan once especies de plantas que podrían ser opciones compatibles para instalarse en cubiertas verdes dentro de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Soto et al., 2014), para este trabajo se seleccionaron de allí: *Sedum mexicanum* y *Portulaca gilliesii*.

Una tercera especie denominada *Delosperma ecklonis*, no evaluada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, ha sido seleccionada tomando en cuenta que como indica Toland et al (2012), existen otra especies para esta región capaces de sobrevivir en un sistema de cubierta verde. Su disponibilidad para adquirir ejemplares de esta especie ha resultado óptima, cumpliendo con uno de los requisitos del presente trabajo, que consistió en seleccionar todos los elementos (incluyendo las especies) que sean de fácil acceso para cualquier ciudadano habitante de la Ciudad de Buenos Aires.

A continuación se indica un breve resumen de cada una de las especies utilizadas y su comportamiento:

**Especie N° 1**

***Sedum mexicanum***: Pertenece a la familia *Crassulaceae*. Es exótica, originaria de la región occidental de Centro América y comúnmente distribuida por Costa Rica, Guatemala, Nicaragua y México (Soto, 2011). Presenta alta colonización, crecimiento rápido, baja mortandad y preferencia por condiciones de altas temperaturas. Soporta muy bien condiciones de sequía. Florece en primavera y sus flores amarillas se elevan por encima de la mata verde (INTA, 2011) (Fig. 7).



**Fig. 7:** *Sedum mexicanum*.  
Fuente: Fotografía propia.

**Especie N° 2**

***Portulaca gilliesii***: Pertenece a la familia *Portulacaceae*. Es exótica, nativa de India y Oriente Medio. De porte rastrero, es una excelente colonizadora mediante la producción de hijuelos y alta tasa de crecimiento en el periodo primavero-estival. Durante los meses de bajas temperaturas no presenta crecimiento y puede presentar mortandad frecuente. Durante este período pueden formar una cubierta de color rojizo. Esta especie pionera coloniza espacios libres y florece durante el verano, necesitando pleno sol para el buen desarrollo de la floración, que es color fucsia. Se adapta muy bien a las condiciones de sequía extrema (INTA, 2011) (Fig. 8).



**Fig. 8:** *Portulaca gilliesii*.  
Fuente: Fotografía propia.

### ***Especie N° 3***

***Delosperma ecklonis*:** Pertenece a la familia *Aizoaceae*, exótica en Argentina y nativa de Sudáfrica. Es una especie de planta perenne que forma densos céspedes. Puede crecer hasta una altura de aproximadamente 25 cm y posee hojas suculentas (Speck et al., 2013). Existe evidencia de su uso en jardinería como especie ornamental. Poseen flores que van desde los tonos más blancos pasando por un rosa blanquecino y hasta un rosa vivo. La variabilidad del color se estima que podría deberse al origen del cultivo de la especie (Aymerich, 2015) (Fig. 9).



**Fig. 9:** *Delosperma ecklonis*.  
Fuente: Fotografía propia.

Se instaló un sistema de riego automatizado con la capacidad de suministrar agua corriente a todas las bandejas por igual para garantizar su hidratación.

Este sistema instalado logró dirigir agua a las bandejas a través de un caño de ½ pulgada de diámetro con reducciones a microtubo o manguera para riego conectados a aspersores de riego (Fig. 10).

El flujo de agua fue impulsado por una bomba centrífuga eléctrica de potencia 0,75 HP (Fig. 11). El accionamiento fue manual, siendo éste iniciado 1 vez por día durante 3 minutos. En los días en los cuales se produjeron precipitaciones no fue accionado el sistema de riego.



**Fig. 10:** Aspersor de riego en pleno funcionamiento. Especie de la fotografía: *Sedum mexicanum*. Fuente: Fotografía propia.



**Fig. 11:** Bomba centrífuga utilizada para el sistema de riego. Fuente: Fotografía propia.

Debido a que la plantación del presente trabajo se inició durante la última semana del mes de junio, donde en el sitio de la plantación la temporada es de invierno y suele haber heladas, se cubrieron las bandejas con tela anti-helada durante la noche para evitar que las bajas temperaturas y las heladas caídas impidan y/o retrasen el correcto desarrollo de las especies plantadas. La tela fue colocada diariamente entre las 23:00 y las 00:00 hs y retirada entre las 7:00 y las 8:00 hs. De este modo no se generaron interferencias en la incidencia de luz solar sobre las bandejas de plantación. Esta metodología se repitió desde el día 1 de plantación, en el mes de julio, hasta los días más cálidos del mes de septiembre.

Se midió el crecimiento de las especies mediante el porcentaje de cobertura de las mismas, comparándolo desde el primer día en el que se realizó la plantación, hasta el día en que se finalizó con el ensayo técnico. Para ello se tomaron fotografías empleando un dispositivo fijo, manteniendo una misma distancia focal y ubicación de cada foto (Fig. 12 y 13).



**Fig.12** Dispositivo para tomar fotos con demarcación en color rojo para ubicar la cámara fotográfica. Fuente: Fotografía propia.



**Fig.13** Dispositivo para tomar fotos en posición de utilización. Fuente: Fotografía propia.

Para realizar la comparativa de las fotografías tomadas se utilizó el programa “ImageJ”, el cual es de uso libre. En dicho programa se cargaron las fotografías a las cuales previamente se les eliminó el fondo, quedando únicamente visible la especie vegetal. El programa determinó mediante la contabilización de píxeles ocupados por la especie, el porcentaje respecto al total de la bandeja. De este modo se estableció una comparación de este porcentaje a lo largo del tiempo de cultivo del presente trabajo.

## **12 DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA):**

Para la determinación de CRA en materiales se siguió la metodología de De Boodt et al. (1974) y modificada por Martínez Farré (1992).

Se construyó un lecho de arena, donde se colocaron los cilindros portamuestras sobre la superficie del lecho. En cada cilindro se colocó el material a evaluar (por ej.: se colocó perlita agrícola en uno de los cilindros portamuestras). Se dejó drenar por 24 hs cada cilindro y luego se pesó en balanza. A continuación se llevó el cilindro a estufa por 24 hs para efectuar el secado por evaporación de agua. Una vez efectuado el secado se pesó reiteradas veces hasta obtener un peso seco constante.

### **Materiales:**

#### Para la construcción del sistema de lecho de arena:

- Recipiente cilíndrico, rígido y con altura no menor a 32 cm. Se recomienda la utilización de un recipiente plástico y con algo de traslucidez para que se pueda observar el nivel del polvo de sílice a colocar en el interior.
- Polvo de sílice grueso de malla 30-80 y polvo de sílice grueso de malla 100.
- Manguera tubo transparente (cristal) con diámetro externo igual a 0.9 cm y largo igual a dos veces el diámetro del recipiente cilíndrico.
- Tela Anti-helada.
- Tanza para pesca.
- Masilla epoxi.
- Batea plástica de mínimo: 7 cm de altura, 20 cm de largo y 15 cm de ancho.
- Papel de filtro liso de filtración extra rápida, diámetro mayor a 10 cm y menor a 15 cm.

#### Para la construcción de portamuestras:

- Dos cilindros metálicos de diámetro interno igual a 7.50 cm y altura igual a 3 cm.
- Dos cilindros metálicos de diámetro interno igual a 7.50 cm y altura igual a 4 cm.
- Tela de Voile 100% confeccionada en Polyester.
- Bandas elásticas.
- Goma E.V.A (Ethylene Vinyl Acetate) o Foamy de espesor igual a 0.2 cm.
- Precintos (también denominado zuncho) plásticos de longitud tal que sea suficiente para envolver el cilindro metálico.
- Batea de altura no menor a 10 cm con rejilla en el fondo.

### Equipamiento de medición:

- Calibre.
- Balanza con precisión 1 g (Intervalo 0.1 g) (Equipo marca Superior Mini Digital Platformscale – Modelo I-2000).
- Sistema de secado con capacidad térmica entre 101 y 105°C. (Se construyó un sistema empleando como fuente de calor un anafe eléctrico marca Megaexpress – modelo ME-1030 Potencia 1500 W).
- Multímetro Tester con medidor de temperatura (equipo marca BAW - modelo UT33C).

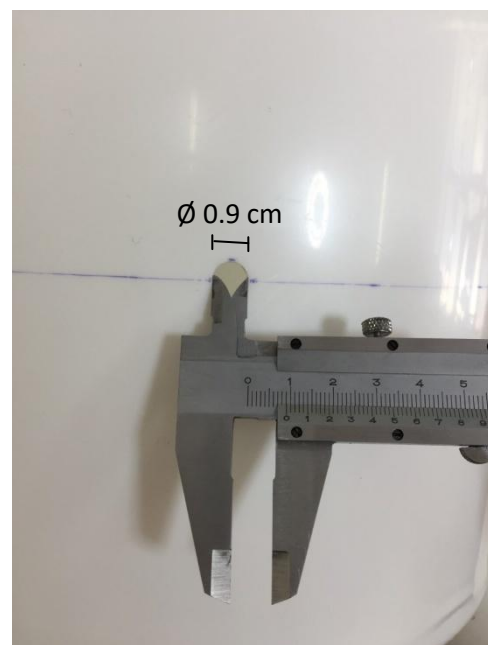
### 12.1 Construcción del sistema de lecho de arena:

**Paso 1:** Se midió desde la base del recipiente cilíndrico hasta 12 cm de altura y se demarcó el perímetro completo a la altura mencionada (Fig. 14).

**Paso 2:** Se realizó una perforación de 0.9 cm de diámetro, de forma tal que el centro de la misma quedó a 12 cm del extremo inferior del recipiente, quedando 0.45 cm por debajo y 0.45 cm por sobre la línea de referencia marcada en el paso anterior (Fig. 15).



**Fig. 14:** Altura del recipiente plástico.



**Fig. 15:** Diámetro de la perforación del recipiente plástico.

**Paso 3:** Se marcó la manguera tubo transparente cada 1 cm de separación, por un largo equivalente al diámetro del recipiente plástico.

**Paso 4:** Se perforó la manguera tubo cada 1 cm hasta un largo igual al diámetro del recipiente plástico. Se dejaron 10 cm sin perforar. Las perforaciones fueron de 2mm de diámetro, realizadas con mecha para taladro (Fig. 16). Se tuvo en consideración que no quedaran rebabas o restos de manguera dentro de la misma, que pudieran obstaculizar el paso del agua. Se constató con prueba hidráulica haciendo circular agua por la manguera para verificar las perforaciones (Fig. 17).



**Fig. 16:** Perforaciones de la manguera tubo demarcada, realizadas con mecha de  $\varnothing=2\text{mm}$  con 1 cm de separación.



**Fig. 17:** Prueba hidráulica realizada a la manguera tubo perforada.

**Paso 5:** Se envolvió el total de la manguera tubo con tela del tipo anti-helada para impedir que las partículas de arena ingresen por la manguera tubo. Se tuvo precaución de que no quedaran repulgues o dobleces, ya que estos podrían almacenar aire al momento de saturar el sistema con arena y agua. Una vez envuelto se ajustó con tanza para que no se desprendiera de la manguera tubo (Fig.18).

**Paso 6:** La manguera tubo envuelta en tela se introdujo en la perforación realizada en el recipiente plástico, desde adentro hacia afuera y comenzando con la parte no perforada hasta que el extremo de la manguera haga tope con la tela anti-helada. Las perforaciones de la manguera tubo quedaron hacia abajo dentro del recipiente, de manera tal que el agua ingresara a la manguera ascendiendo (Fig. 19). Del lado exterior al recipiente quedaron 4 cm de manguera tubo sin perforar, a modo de desagote.



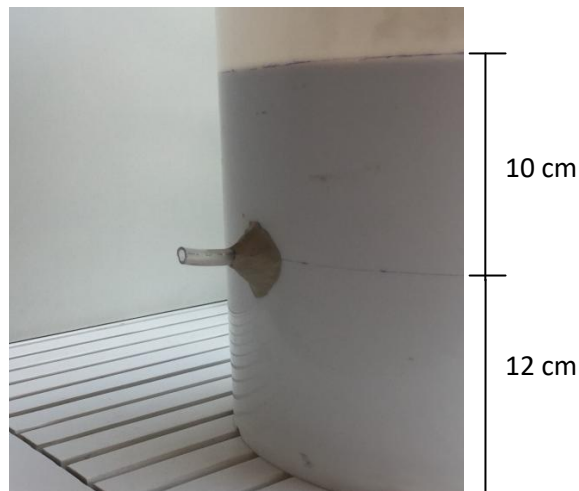
**Fig. 18** Manguera tubo envuelta en tela anti-helada y ajustada con tanza.



**Fig. 19** Interior del recipiente plástico con manguera tubo colocada.

**Paso 7:** Se colocó la arena de sílice malla 30-80 en un recipiente sin pérdida y se agregó agua hasta saturarlo completamente. Esto se repitió de igual modo con la arena de sílice malla 100. Se utilizaron dos recipientes, uno para arena de cada malla, ambos saturados en agua.

**Paso 8:** Se llenó el recipiente cilíndrico plástico con arena de sílice grueso de malla 30-80 completamente saturada hasta 12 cm de altura y de forma tal que no quedaran espacios vacíos que puedan contener aire. Una vez alcanzados los 12 cm se corroboró que la manguera tubo quedara apoyada sobre la arena y se niveló la superficie. La salida de agua (en la parte exterior de la manguera) quedó ubicada de forma tal que fuere favorecida por acción de la gravedad. Luego se continuó el llenado hasta obtener la manguera tubo completamente apoyada de forma horizontal. Se completó el llenado con arena de sílice grueso de malla 100 hasta 10 cm por sobre la marca de los 12 cm. Al finalizar, se niveló la superficie del lecho de arena y se demarcó el perímetro del recipiente cilíndrico a la altura alcanzada por la arena (Fig. 20).



**Fig. 20:** Lecho de arena preparado en recipiente plástico, con manguera de drenaje recubierta con masilla epoxi.

**Paso 9:** Se recubrió con masilla epoxi la perforación realizada para insertar la manguera a fin de que el sistema no tenga pérdidas. (Fig. 21).

**Paso 10:** Para finalizar la construcción del lecho de arena se niveló la superficie y se verificó que no hayan quedado burbujas de aire en el interior del lecho. Para ello se purgó el sistema haciendo circular agua a través del drenaje (parte exterior de la manguera tubo) de forma lenta hasta que el agua ascienda hasta la superficie y la arena de sílice quede sobrenadando. Una vez concluido esto, se colocó un tapón en el drenaje para impedir la salida del agua hasta que fueran colocados los cilindros portamuestras sobre el lecho de arena.



**Fig. 21:** Lecho de arena con drenaje instalado.

## 12.2 Procedimiento de construcción de cilindros portamuestras

Los cilindros portamuestras fueron realizados a medida y exclusivamente para la realización de este trabajo.

**Paso 1:** Se colocó el cilindro metálico de altura = 4 cm sobre un trozo circular de tela de voile de diámetro no menor a 15 cm, de forma tal que la tela de voile actúe como base o fondo del cilindro. A continuación se ajustó la tela de voile al cuerpo del cilindro metálico utilizando dos zunchos o precintos plásticos. Se corroboró que la tela quede tirante (Fig. 22).

**Paso 2:** Se pesó el cilindro portamuestras armado en el paso anterior y se registró el peso como " $m_1$ " en gramos (Fig. 23).



**Fig. 22:** Cilindro metálico de 4 cm de altura sobre la base de tela de voile ajustada por dos precintos.



**Fig. 23:** Pesada del cilindro metálico portamuestras.

**Paso 3:** Al cilindro armado y pesado, se le colocó el otro cilindro metálico de altura = 3 cm por encima de éste. Se realizó un cinturón con goma eva y se ajustó con bandas elásticas para asegurar la firmeza de la unión. Se obtuvo así un conjunto portamuestra metálico (Fig. 24).

Se verificó la firmeza de la unión sumergiendo el conjunto metálico en agua. Se observó que el agua no filtró por la unión de los dos cilindros hacia el interior.



**Fig. 24:** Conjunto portamuestras metálico ya armado.

### 12.3 Preparación de material y medición de CRA

**Paso 1:** Se preparó el material a muestrear en un recipiente con un volumen máximo equivalente a 2,1 litros. Luego se hizo pasar el material por un tamiz de 25 mm x 25 mm de manera de filtrar aquellos elementos voluminosos que puedan ocupar volumen y favorecer la presencia de aire, una vez que fuera colocado dentro del cilindro portamuestras (Fig. 25).

**Paso 2:** Se humedeció el material aplicando agua con un rociador. Se estableció una humedad inicial que aseguró una adecuada manipulación, sin presentar formaciones grumosas ni aglutinadas y que al comprimirla entre las manos se mantuvo firme y sin liberar agua (Fig. 26).



**Fig. 25:** Tamizado del material a muestrear. Fotografía del material N°2 – Turba Rubia de Musgo *Sphagnum*.



**Fig. 26:** Humectación del material. Fotografía de material N°2 – Turba Rubia de Musgo *Sphagnum*.

**Paso 3:** Con el material acondicionado (según pasos 1 y 2) se llenó el conjunto de cilindros portamuestras de forma homogénea ocupando el total del volumen hasta alcanzar el borde superior (Fig. 27). Se dieron 3 leves golpes al conjunto de los cilindros en posición vertical y con el material incorporado dentro, de forma tal de asegurarse que quede asentado y nivelado.

**Paso 4:** Se colocó el conjunto portamuestras dentro de la batea vacía y sobre rejilla, para que al incorporarse el agua en la batea, ésta pueda ascender por capilaridad hasta el extremo superior de la muestra. Se niveló la batea y la rejilla (Fig. 28).



**Fig.27:** Llenado de conjunto de cilindros portamuestras. Fotografía del llenado de material N°2 – Turba Rubia de Musgo *Sphagnum*.



**Fig.28:** Colocación del conjunto de cilindros sobre rejilla en la batea y llenado de la misma. Fotografía del llenado de material N°2 – Turba Musgo *Sphagnum* y material N° 1 – Perlita Agrícola.

**Paso 5:** Se inició el llenado de la batea de forma lenta y paulatina con agua corriente hasta alcanzar una altura de hasta 1 cm por debajo del borde del conjunto portamuestras (Fig. 29). En caso de que algún material del sustrato tenga flotabilidad, se puede colocar algún objeto de mayor peso para evitar que no absorba agua. No fue necesario en éste trabajo. Se dejó el baño de agua entre 24 y 48 horas, agregando agua de manera que siempre se mantenga a 1 cm del borde superior del conjunto de cilindros.



**Fig. 29:** Conjuntos portamuestras sumergidos en baño saturación. Fotografía de material N°2 – Turba Rubia de Musgo *Sphagnum* y materia N°1 – Perlita Agrícola.

**Paso 6:** Luego de transcurrido el tiempo necesario para que las muestras absorban la mayor cantidad de agua posible, se las traspasó al sistema del lecho de arena, el cual previamente fue calibrado de la siguiente manera: se roció con agua la superficie del lecho y se verificó que al cabo de 30 segundos (como máximo) el sistema de drenaje comenzó a gotear agua. De este modo se constató que el sistema quedó calibrado con una tensión de 10 hPa y listo para que fuesen colocados los cilindros portamuestras.

**Paso 7:** Se retiraron los cilindros de a uno del baño de saturación. Una vez que la base del cilindro dejó de estar en contacto con el agua, se le colocó un recipiente plano para contener el agua que pudiera escurrirse. Se tuvo el mayor cuidado posible durante la realización de este paso a fin de mantener la verticalidad y nivelación de los cilindros. Se colocó un papel de filtro liso de filtración extra rápida sobre el lecho de arena, en el lugar que irían a ocupar los cilindros portamuestras. El papel de filtro utilizado fue de diámetro igual a 12 cm.

A continuación se colocaron los cilindros portamuestras sobre el papel de filtro, dentro del lecho de arena, y se los dejó allí por un período de entre 24 y 48 hs, hasta que el sistema de drenaje cesó de gotear. Se colocó una tapa recubrió totalmente la boca del lecho de arena, para así evitar pérdida de humedad en el sustrato por evaporación durante el tensionado.

**Paso 8:** Una vez verificado el estado de equilibrio, observando que el sistema de drenaje no presenta goteo de agua, se retiraron los cilindros portamuestras del lecho de arena. Se removieron las bandas elásticas y la tela de goma eva para desajustar los cilindros y desarmar el conjunto portamuestras (Fig. 30). Se retiró el cilindro superior y con una espátula se niveló el sustrato para que el mismo quede a la misma altura que el cilindro.

**Paso 9:** Se pesó el cilindro inferior con el sustrato húmedo y se registró el peso en gramos (Fig. 31).



**Fig. 30:** Desarme de conjunto portamuestras. Retirado de bandas elásticas y goma eva para posterior separación de cilindros. Fotografía de material N°2 – Turba Rubia de Musgo *Sphagnum*.



**Fig. 31:** Pesada de material saturado de agua. Fotografía de sustrato N°2 – Turba Rubia de Musgo *Sphagnum*.

**Paso 10:** Se llevaron los cilindros al sistema de secado, donde fueron expuestos a una temperatura de entre 101 y 105°C hasta que se obtuvo un peso constante (Fig. 32 y Fig. 33). Para ello se retiraron los cilindros del sistema de secado y se pesaron. Se consideró peso constante cuando el resultado del pesaje no presentó más diferencias. Se registró el peso constante en gramos.



**Fig. 32 (Izq.) y Fig. 33 (Der.):** Muestras colocadas en sistema de secado, expuestas a temperatura mínima de 101°C (foto izq.) y máxima de 105°C (foto der). Fotografías de material N° 2 – Turba de musgo *Sphagnum* y material N° 1 Perlita agrícola.

El peso registrado de cada material se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla N° 2:**

Material	N° Cilindro portamuestras utilizado*	$m_1$ Peso Cilindro vacío (en gramos)	$m_2$ Peso Material Saturado (en gramos)	$m_3$ Peso Material Secado (en gramos)	Diferencia entre $m_2$ y $m_3$	
					Gramos	Porcentaje
Perlita agrícola	1	199,01	261,71	218,01	43,70	-16,70%
Turba rubia de musgo <i>Sphagnum</i>	2	199,42	324,28	237,72	86,56	-26,69%
Zeolita (mineral)	1	199,01	342,75	268,99	73,76	-21,52%
Compost orgánico	2	199,42	350,48	268,53	81,95	-23,38%
Tierra fértil	1	199,01	428,22	348,17	80,05	-18,69%

\* Se utilizaron dos cilindros portamuestras, cada uno con un peso propio.

Para turba de musgo *Sphagnum* se obtuvo la mayor diferencia entre el peso en condiciones de saturación de agua y el peso secado en estufa. Esta diferencia indica que este material fue el que más capacidad de absorción de agua presentó. Valores relativamente similares se obtuvieron para compost orgánico, tierra fértil y zeolita mineral. Por el contrario, para perlita agrícola se registró la menor diferencia, explicado mediante su particular estructura de poros cerrados al exterior, lo que impide que las moléculas de agua encuentren espacio para quedar retenidas en ella.

## 12.4 Conformación de sustratos:

### Materiales:

- Balón de destilación de capacidad = 1000 ml.
- Vaso de precipitado de borosilicato y matraz aforado.
- Bolsa de plástico o material moldeable impermeable de tamaño igual a 0,25 m<sup>2</sup>.
- Balanza con precisión 1 g (Intervalo 0.1 g). Se utilizó el equipo marca Superior Mini Digital Platformscale – modelo I-2000).

**Paso 1:** Se preparó el sustrato a muestrear unificando los materiales (perlita, zeolita, compost orgánico, tierra fértil y turba de musgo *Sphagnum*) de modo tal que conformen un sustrato. Esta unificación se realizó en un balón de destilación de borosilicato con una capacidad de 1L. Se incorporaron uno a uno los materiales en el balón, respetando los porcentajes expresados en el punto 7.2. Para medir el volumen de cada material que se incorporó se utilizó un vaso de precipitado y un matraz aforado.

**Paso 2:** Según el volumen que fue necesario se llenó el vaso de precipitado o el matraz aforado con el material, hasta alcanzar la capacidad volumétrica indicada (Fig. 34). Se pesó el material (habiendo tarado previamente el vaso o matraz) y se registró el peso en gramos.

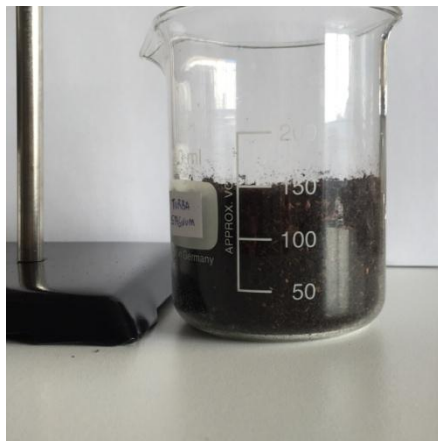


**Fig. 34:** Llenado de vaso de precipitado con material. Fotografía del material: Tierra Fértil.

**Paso 3:** Se pesó el balón de destilación y se registró su peso en gramos.

Se vertió el material contenido en el vaso de precipitado o matraz, dentro del balón de destilación. Se utilizó un embudo para evitar pérdidas de material durante el trasvase. Se registró en gramos el peso del balón de destilación con el material dentro.

**Paso 4:** Se repitió el paso 3 con todos los materiales restantes (Fig. 35 y Fig. 36).



**Fig. 35:** Llenado de vaso de precipitado con material. Fotografía del material: Turba de musgo *Sphagnum*.



**Fig. 36:** Llenado de matraz con material. Fotografía del material: Zeolita mineral.

**Paso 5:** Una vez completado el balón de destilación con todos los materiales indicados para conformar el sustrato mezcla, se pesó el contenedor y se registró el peso en gramos, se le colocó un tapón al balón de destilación y luego se mezcló por agitación manual (Fig. 37.)



**Fig.37:** Contenedor mayor (balón de destilación) con tapa y lleno con materiales que forman el sustrato. Se procede a agitar manualmente. Fotografía de sustrato N° 1.

**Paso 6:** Técnica de cuarteo

Se empleó esta técnica para reducir el volumen total del sustrato contenido en el balón de destilación (1000 ml) a la fracción necesaria para colocar en los cilindros portamuestras. La técnica tuvo como objeto la homogeneización y reducción del sustrato a muestrear, valiéndose en primera medida de la mezcla manual (empleando un papel impermeable), y luego de la repartición en cuatro partes aproximadamente iguales de sustrato. Dos de los cuartos opuestos conformados fueron descartados y los restantes dos fueron empleados como muestra representativa del total, para posteriormente ser colocados en el cilindro portamuestras.

Para realizar la técnica de cuarteo se vertió todo el contenido del balón de destilación sobre un papel impermeable y colocado sobre una superficie plana (mesa). Se vertió de modo tal que quedó conformado un montículo de sustrato (Fig. 38).



**Fig.38:** Sustrato N° 1 vertido sobre papel impermeable para homogenización y reducción equitativa.

Se levantó de a un extremo por vez del papel de manera que el sustrato fue envolviéndose a sí mismo y mezclando sus partículas.

A continuación se realizó una separación en 4 partes lo más iguales posibles. Para esto se utilizó una espátula (Fig. 39).



**Fig.39:** Separación del sustrato en cuatro cuartos aproximadamente iguales.

Se seleccionaron dos cuartos opuestos y fueron descartados. Los dos restantes se unificaron y se colocaron en un recipiente limpio y vacío para continuar con el procedimiento.

**Paso 7:** Con el sustrato mezcla obtenido en el paso anterior, se realizó nuevamente la determinación de capacidad de retención de agua (CRA) indicada en el **punto N° 8**.

Esto se repitió para los cuatro sustratos mezcla conformados.

## 12.5 Preparación de bandejas de plantación

### Materiales:

- Bandejas para plantación. Se utilizaron 6 bandejas plásticas perforadas de 62cm de largo, 38 cm de ancho y 7cm de altura. Se las dividió en 2 partes iguales.
- Cuatro sustratos mezcla previamente elaborados.
- Sistema de riego con: 12 aspersores de agua. Se colocaron 2 por cada bandeja, conectados mediante microtubo de polietileno de 4 x 7 mm. Los mismos fueron abastecidos de agua mediante bomba centrífuga.
- Tela anti-helada.

**Paso 1:** Se dividieron todas las bandejas en dos partes iguales. Para ello se midió el largo y se colocó un objeto separador en el centro. El objeto seleccionado fue un trozo de madera cortado a medida, al cual se le dio una altura de 8cm. Esta división se hizo para mantener una separación entre los sustratos e impedir la expansión de las especies hacia el sustrato de al lado (Fig. 40).



**Fig. 40:** Bandeja plástica con división realizada con tabla de madera.

**Paso 2:** Se colocó tela anti-helada en la base interior de la bandeja, de modo tal que la misma quedó ubicada entre el plástico de la bandeja y el sustrato posteriormente colocado. La tela cumplió la función de membrana permeable impidiendo pérdidas de

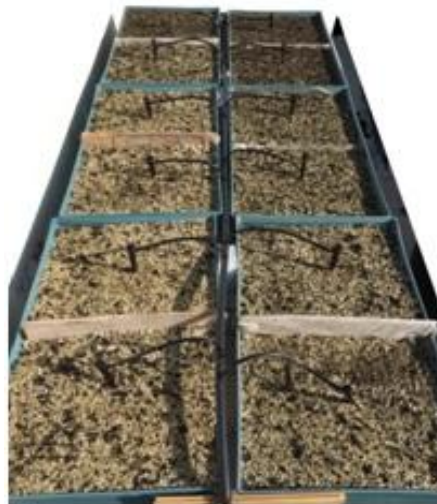
sustrato y permitiendo la salida del agua a través de las perforaciones inferiores de la bandeja (Fig. 41).



**Fig.41:** Bandeja con tela anti-helada en su base.

**Paso 3:** Se incorporaron los 4 sustratos en cada una de las 12 mitades de las 6 bandejas.

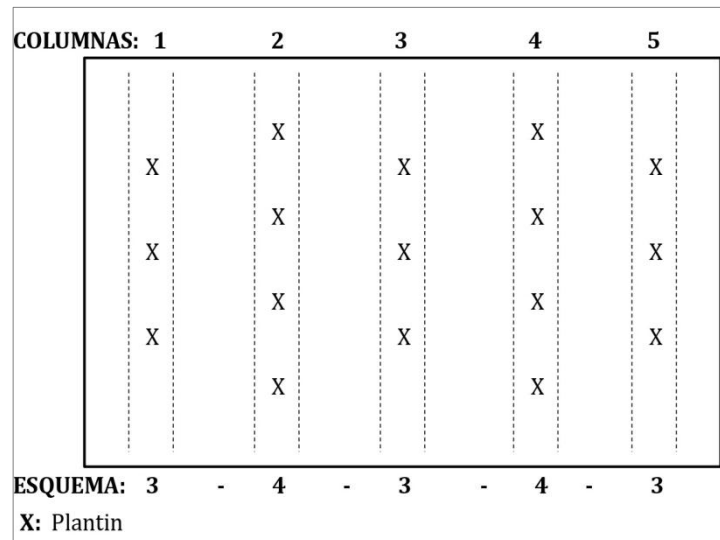
**Paso 4:** Se colocó el sistema de riego y se lo conectó a la bomba de abastecimiento de agua. Se presentaron las 6 bandejas sobre una estructura firme. (Fig. 42)



**Fig.42:** Bandejas sin especies y con sistema de riego por aspersor colocado.

**Paso 5:** Se efectuó la plantación de las diferentes especies en cada bandeja de la siguiente forma:

Se realizó una plantación de 5 columnas con esquema de especies 3-4-3-4-3 de plantación, en donde se colocaron 17 plantines por cada sustrato mezcla (contenido en ½ bandeja) (Fig. 43 y Fig. 44).















**Fig.43** Esquema utilizado para plantación en ½ bandeja.



**Fig. 44:** Fotografía de plantación según esquema.

Cada una de las 3 especies fue plantada en los 4 sustratos mezcla preparados (Fig. 45).

<b>Distribución de especies por sustrato</b>			
	<b>Portulaca Gilliesii</b>	<b>Sedum mexicanum</b>	<b>Delosperma ecklonis</b>
<b>Sustrato 1</b>	 <p><b>Composición:</b> - 40% T. FÉRTIL - 30% TURBA - 20% COMPOST - 5% ZEOLITA - 5% PERLITA</p>	 <p><b>Composición:</b> - 40% T. FÉRTIL - 30% TURBA - 20% COMPOST - 5% ZEOLITA - 5% PERLITA</p>	 <p><b>Composición:</b> - 40% T. FÉRTIL - 30% TURBA - 20% COMPOST - 5% ZEOLITA - 5% PERLITA</p>
<b>Sustrato 2</b>	 <p><b>Composición:</b> - 30% T. FÉRTIL - 25% TURBA - 20% COMPOST - 15% ZEOLITA - 10% PERLITA</p>	 <p><b>Composición:</b> - 30% T. FÉRTIL - 25% TURBA - 20% COMPOST - 15% ZEOLITA - 10% PERLITA</p>	 <p><b>Composición:</b> - 30% T. FÉRTIL - 25% TURBA - 20% COMPOST - 15% ZEOLITA - 10% PERLITA</p>
<b>Sustrato 3</b>	 <p><b>Composición:</b> - 20% T. FÉRTIL - 20% TURBA - 20% COMPOST - 20% ZEOLITA - 20% PERLITA</p>	 <p><b>Composición:</b> - 20% T. FÉRTIL - 20% TURBA - 20% COMPOST - 20% ZEOLITA - 20% PERLITA</p>	 <p><b>Composición:</b> - 20% T. FÉRTIL - 20% TURBA - 20% COMPOST - 20% ZEOLITA - 20% PERLITA</p>
<b>Sustrato 4</b>	 <p><b>Composición:</b> - 10% T. FÉRTIL - 15% TURBA - 20% COMPOST - 25% ZEOLITA - 30% PERLITA</p>	 <p><b>Composición:</b> - 10% T. FÉRTIL - 15% TURBA - 20% COMPOST - 25% ZEOLITA - 30% PERLITA</p>	 <p><b>Composición:</b> - 10% T. FÉRTIL - 15% TURBA - 20% COMPOST - 25% ZEOLITA - 30% PERLITA</p>

**Fig.45:** Esquema de distribución de especies y sustratos mezcla por bandeja.

**Paso 6:** Se realizó un primer riego a fin de que las raíces queden fijadas al sustrato y que el mismo, por efecto del agua de riego, pueda consolidarse firmemente (Fig. 46).



**Fig.46:** Bandejas con especies y sistema de riego. Fotografía tomada al momento de finalizar la plantación.

**Paso 7:** Se tomaron fotografías desde el primer día de cultivo para realizar una comparación con las fotografías tomadas al finalizar el ensayo.

## 13 RESULTADOS

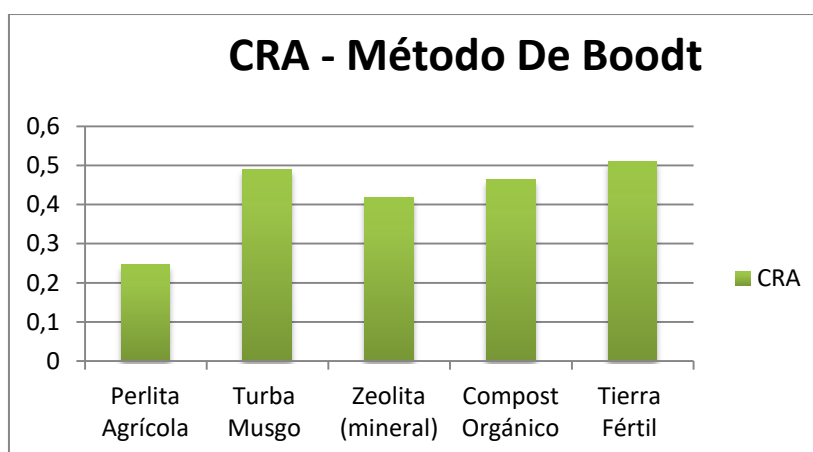
### 13.1 Capacidad de retención de agua

La siguiente tabla indica los valores de CRA obtenidos de los diferentes materiales evaluados. Los resultados se expresan ordenados de mayor a menor, de izquierda a derecha:

**Tabla N° 3:**

CRA en materiales evaluados, en cm <sup>-3</sup> /cm <sup>-3</sup>				
TF	TMS	CO	ZE	PE
Tierra fértil	Turba rubia de musgo <i>Sphagnum</i>	Compost orgánico	Zeolita mineral	Perlita agrícola
0,509	0,489	0,464	0,417	0,247

**Gráfico N° 1:** CRA obtenida en materiales:



A partir de los valores obtenidos en la Tabla N° 3, se conformaron los cuatro sustratos para especies vegetales, donde las proporciones de cada uno fue la siguiente:

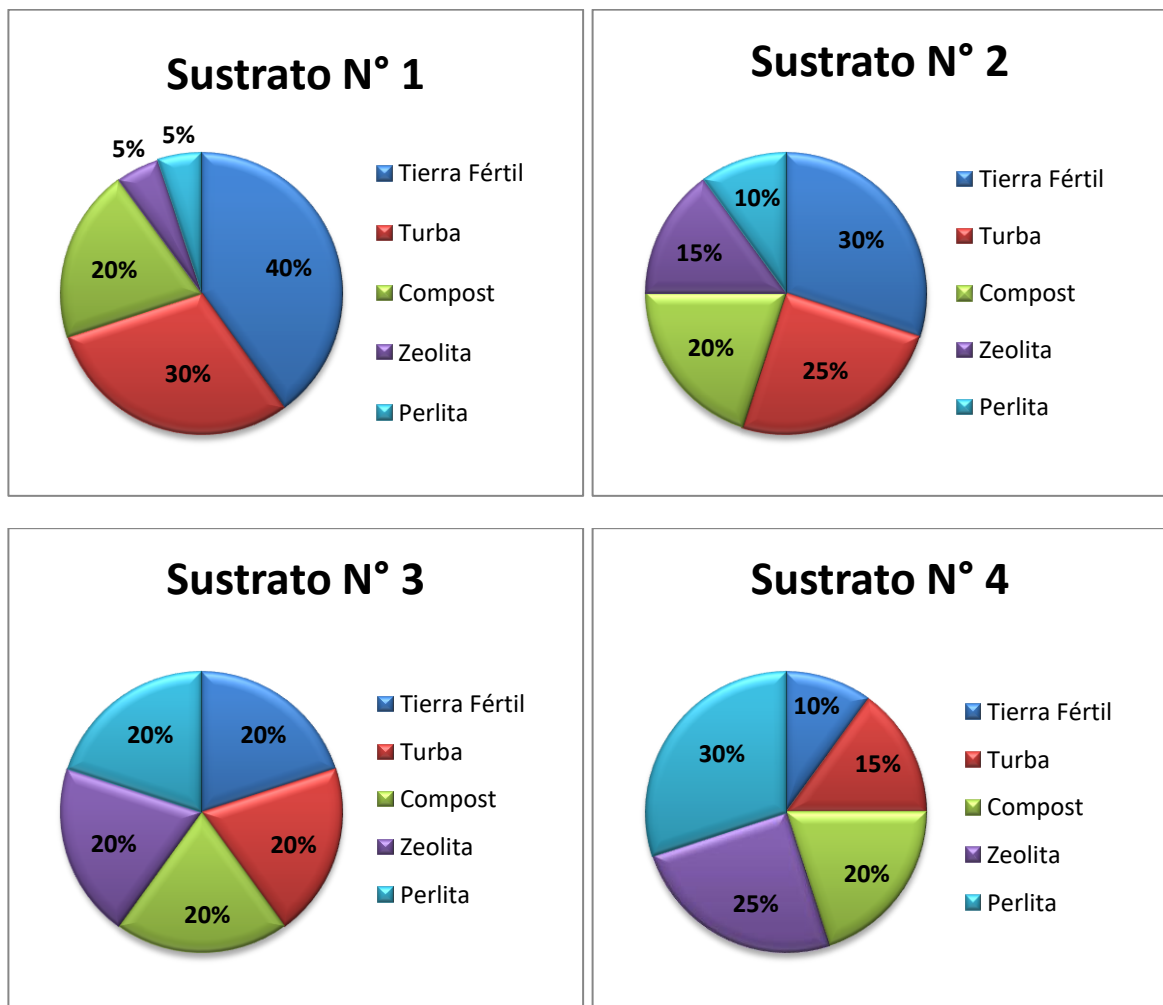
**Sustrato N° 1:** Compuesto por 40% del elemento con mayor CRA (TF), 30% del 2° elemento con mayor CRA (TMS), 20% del 3° elemento con mayor CRA (CO) y 5% de cada elemento restante (ZE y PE).

**Sustrato N°2:** Compuesto por 30% del elemento con mayor CRA (TF), 25% del 2° elemento con mayor CRA (TMS), 20% del 3° elemento con mayor CRA (CO), 15% del 4° elemento con mayor CRA (ZE) y 10% del elemento con menor CRA (PE).

**Sustrato N°3:** Compuesto por 20% de cada elemento.

**Sustrato N°4:** Compuesto por 30% el elemento con menor CRA (PE), 25% el 2° elemento con menor CRA (ZE), 20% el 3° elemento con menor CRA (CO), 15% del 2° elemento con mayor CRA (TMS) y 10% del elemento con mayor CRA (TF).

**Gráfico N° 2:** Proporción de materiales por sustrato mezcla:



En un recipiente de 500 ml se colocaron los 5 materiales en las proporciones indicadas (ver gráfico N°2). Se registró el peso de cada uno para el volumen mencionado, siendo el sustrato N° 1 el que mayor peso evidenció, con 354 gramos. Tierra fértil y perlita agrícola resultaron ser los componentes determinantes del peso y la densidad registrados en los sustratos, puesto que a medida que aumenta o disminuye su proporción, varían directamente en los sustratos. Tierra fértil es el componente de mayor densidad, lo que se explica por su menor porosidad y tamaño de partícula respecto a los demás componentes. Por el contrario, perlita agrícola registró el menor valor de densidad, debido principalmente a la presencia de aire en su interior, lo que hace que ocupe mayor volumen y su peso sea bajo.

Debido a que el volumen utilizado para los 4 sustratos fue el mismo (500 ml), la densidad resulta directamente proporcional al peso registrado. De este modo, el sustrato N° 1 fue el de mayor densidad y el N°4 el de menor (Tabla N° 4).

**Tabla N° 4:**

<b>Conformación de sustratos mezcla</b>												
Sustratos mezcla confeccionados en recipiente de volumen = 500 ml												
<b>Material</b>	<b>Sustrato mezcla N° 1</b>			<b>Sustrato mezcla N° 2</b>			<b>Sustrato mezcla N° 3</b>			<b>Sustrato mezcla N° 4</b>		
	<b>Vol. en ml</b>	<b>Peso en gr</b>	<b>Densidad en gr/ml</b>	<b>Vol. en ml</b>	<b>Peso en gr</b>	<b>Densidad en gr/ml</b>	<b>Vol. en ml</b>	<b>Peso en gr</b>	<b>Densidad en gr/ml</b>	<b>Vol. en ml</b>	<b>Peso en gr</b>	<b>Densidad en gr/ml</b>
Tierra fértil	200	210	1,05	150	151	1,01	100	98	0,98	50	51	1,02
Turba m. <i>Sphagnum</i>	150	63	0,42	125	51	0,41	100	40	0,40	75	31	0,41
Compost orgánico	100	67	0,67	100	60	0,60	100	65	0,65	100	64	0,64
Zeolita mineral	25	11	0,44	75	32	0,43	100	45	0,45	125	55	0,44
Perlita agrícola	25	3	0,12	50	6	0,12	100	12	0,12	150	19	0,13
<b>Totales:</b>	500	354	0,7	500	300	0,6	500	260	0,52	500	220	0,44

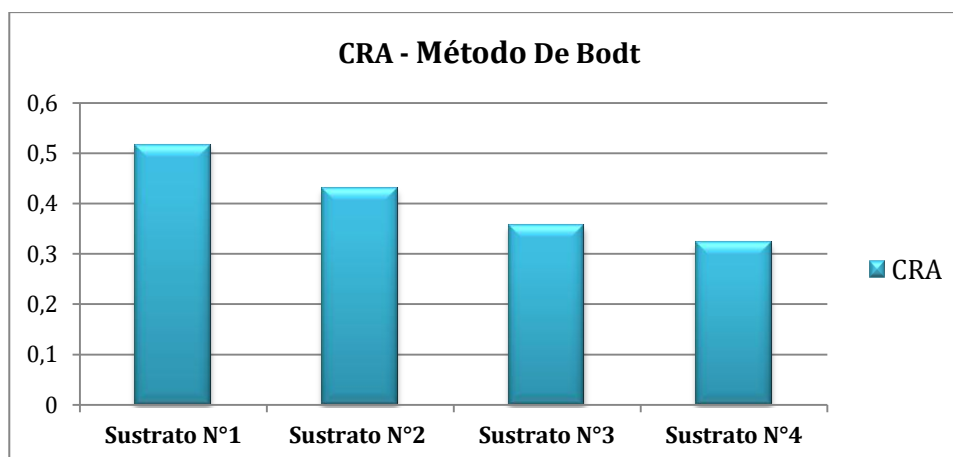
El sustrato mezcla N° 1 registró el mayor valor de CRA de los sustratos evaluados, mientras que el sustrato mezcla N° 4 registró el menor. En los sustratos N° 3 y 4 se obtuvieron valores intermedios (Tabla N° 5).

**Tabla N° 5:**

Resultados de CRA obtenida en sustratos mezcla:

Método De Boodt			
CRA en $cm^3\ cm^{-3}$			
Sustrato N°1	Sustrato N°2	Sustrato N°3	Sustrato N°4
0,515	0,430	0,357	0,322

**Gráfico N° 3:** Resultados de CRA obtenida en sustratos mezcla:



La adquisición de los materiales que conforman los cuatro sustratos fue analizada desde el punto de vista económico. Se buscó que dichos materiales fueran de fácil obtención (disponibilidad de mercado) y su costo no sea significativo.

Se obtuvo que para preparar un volumen de un litro de cada sustrato, se necesitan entre \$22,19 (Sustrato N° 1) y \$38,34 (Sustrato N°4). Perlita agrícola y zeolita mineral resultaron ser los materiales más costosos, necesiándose \$55,00 y \$53,00 respectivamente para adquirir un volumen de 1 litro de cada uno. Por su parte, adquirir tierra fértil y compost orgánico resultó ser lo menos costoso, necesitando por litro \$12,10 y \$14,10 respectivamente. Turba de musgo *Sphagnum*, con un costo de \$30,5 por cada litro, se posicionó en un punto intermedio entre los más costosos y los menos costosos (Tabla N°6).

**Tabla N° 6:**

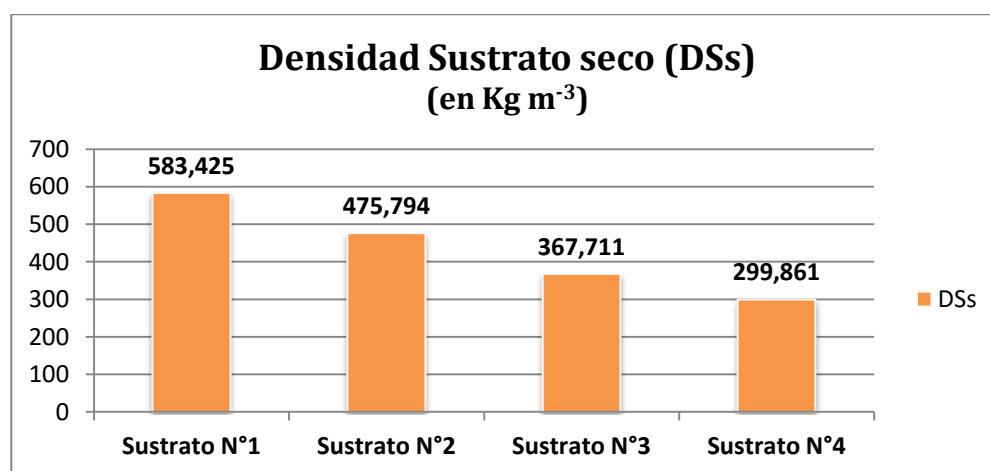
Costo económico por sustrato mezcla:

Material	\$/Litro	Sustrato mezcla N° 1		Sustrato mezcla N° 2		Sustrato mezcla N° 3		Sustrato mezcla N° 4	
		Vol. en ml	\$ en S1	Vol. en ml	\$ en S2	Vol. en ml	\$ en S3	Vol. en ml	\$ en S4
Tierra Fértil	\$12,10	200	\$ 2,42	150	\$ 1,82	100	\$ 1,21	50	\$ 0,61
Turba M. <i>Sphagnum</i>	\$30,50	150	\$ 4,58	125	\$ 3,81	100	\$ 3,05	75	\$ 2,29
Compost Orgánico	\$14,00	100	\$ 1,40	100	\$ 1,40	100	\$ 1,40	100	\$ 1,40
Zeolita Mineral	\$53,00	25	\$ 1,33	75	\$ 3,98	100	\$ 5,30	125	\$ 6,63
Perlita Agrícola	\$55,00	25	\$ 1,38	50	\$ 2,75	100	\$ 5,50	150	\$ 8,25
<b>TOTALES</b>		Costo de 1 litro de S1 \$ <b>22,19</b>		Costo de 1 litro de S2 \$ <b>27,51</b>		Costo de 1 litro de S3 \$ <b>32,92</b>		Costo de 1 litro de S4 \$ <b>38,34</b>	

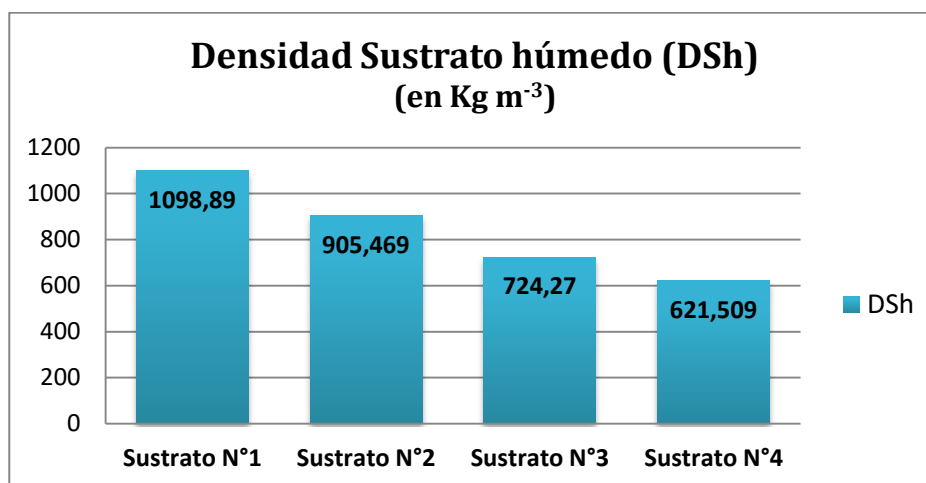
### 13.2 Densidad de sustrato seco (DSs), densidad de sustrato húmedo (DSh), pH y conductividad eléctrica:

Los resultados de los sustratos evaluados coincidieron en las variables DSs y DSh, siendo el sustrato N° 1 el que registró valores más altos y el sustrato N° el de menor valor numérico. Los sustratos restantes (N°2 y N°3) registraron valores medios (Gráficos N°4 y N°5).

**Gráfico N° 4.** Resultados de densidad de sustrato seco:



**Gráfico N° 5.** Resultados de densidad de sustrato húmedo:



Los resultados de pH y conductividad eléctrica arrojaron valores similares en los 4 sustratos, a excepción de la conductividad eléctrica en Sustrato N° 4, la cual registró el menor valor, siendo éste un 52% menor al Sustrato N°1. Los resultados de pH no presentaron importantes variaciones entre sí (Tabla N° 7).

**Tabla N° 7:**

Resultados de pH y conductividad eléctrica (CE):

Muestra	pH	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )
Sustrato N° 1	6,15	1445
Sustrato N° 2	5,61	1138
Sustrato N° 3	5,84	1133
Sustrato N° 4	5,78	754

*Para la conversión a dS/m, tener en cuenta que  $1.000 \mu\text{S/cm} = 1 \text{ dS/m}$ .*

### 13.3 Crecimiento de especies

*Sedum mexicanum* registró el mayor porcentaje de crecimiento (415,5%) promediando los 4 sustratos, seguida por *Delosperma ecklonis* (197,2%) y por último *Portulaca gilliesii* (120,2%). El máximo porcentaje de crecimiento se registró en la especie *S. mexicanum* en la bandeja con sustrato N° 1(499,19%), mientras que el menor crecimiento se dio en *D. ecklonis* en sustrato N° 4 (Tabla N° 8).

Dado que la plantación tuvo lugar en los meses de invierno, se debe evaluar el comportamiento de las especies en una estación diferente para valorar definitivamente su crecimiento, debido a que *P. gilliesii*. y *S. mexicanum* no suelen presentar crecimiento en estos períodos (INTA, 2011).

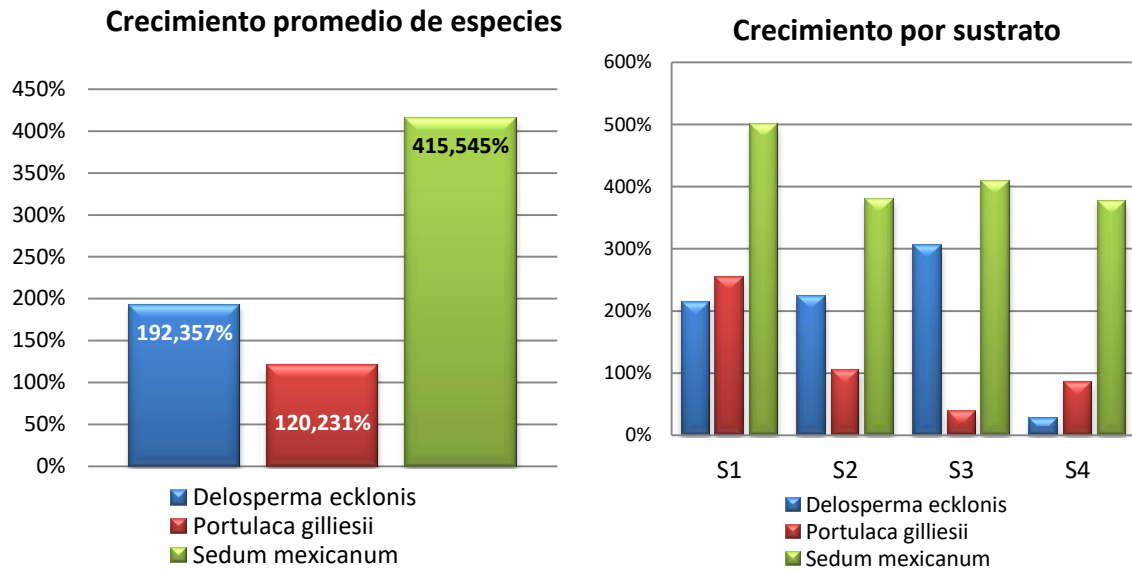
**Tabla N° 8:**

Resultados de crecimiento de especies vegetales:

N° Sustrato	<i>Delosperma ecklonis</i>			<i>Portulaca gilliesii</i>			<i>Sedum mexicanum</i>		
	DÍA 1	DÍA 154	CRECIMIENTO	DÍA 1	DÍA 154	CRECIMIENTO	DÍA 1	DÍA 154	CRECIMIENTO
<b>S1</b>	16,368%	51,448%	214,321%	11,516%	40,706%	<b>253,473%*</b>	10,352%	62,028%	<b>499,189%*</b>
<b>S2</b>	13,620%	44,024%	223,231%	14,755%	30,091%	103,938%	11,724%	56,241%	379,708%
<b>S3</b>	7,387%	29,918%	<b>305,009%*</b>	11,593%	16,067%	<b>38,592%</b>	10,091%	51,248%	407,858%
<b>S4</b>	10,856%	13,773%	<b>26,870%</b>	13,085%	24,197%	84,922%	9,383%	44,609%	<b>375,424%</b>
-	PROMEDIO		<b>197,397%</b>	PROMEDIO		<b>120,231%</b>	PROMEDIO		<b>415,545%</b>

**Gráfico N° 6:**

Variación de crecimiento por sustrato y por especie:



A través del programa <Image J> se calculó, mediante la comparación de píxeles ocupados por la especie vegetal, el crecimiento en el período del trabajo.

Para ello, las fotografías tomadas fueron editadas digitalmente para remover su fondo y luego fueron convertidas al negativo monocromático para realizar el recuento de píxeles (Fig. 47).

Especie		Imagen completa	Imagen sin sustrato	Imagen negativa sin sustrato
Portulaca g.	Día 1			
	Día 154			

**Fig.47:** Ejemplo de resultados de comparación del crecimiento de la especie *P. gilliesii* en el sustrato mezcla N°1. Ver resultados completos en Anexo II.

Según los valores obtenidos (ver Tabla N° 9) el sustrato N° 1 fue el que mayor crecimiento de especies registró (322,33%) mientras que el N° 3 y N° 2 no registraron una mayor diferencia entre sí (14,86%). El sustrato N° 4 fue el que menor eficiente resultó respecto al crecimiento de las especies, ya que sólo *S. mexicanum* logró un crecimiento similar al de los restantes sustratos. Promediando las 3 especies, en el sustrato N° 4 se registró un crecimiento de (162,405 %) (Tabla N° 9).

**Tabla N° 9:**

Crecimiento promedio de especies por sustrato:

N° Sustrato	Crecimiento promedio acumulado especies
S1	322,328%
S2	235,625%
S3	250,487%
S4	162,405%

**14 DISCUSIÓN**

De los 4 sustratos evaluados, el sustrato N°1 obtuvo el mayor porcentaje de crecimiento de las especies vegetales implantadas, es decir que, a igualdad de condiciones de plantación, riego y entorno (condiciones climáticas), un sistema de cubiertas verdes del tipo extensivo tendrá una respuesta más rápida que los otros sustratos evaluados, en cuanto a la cobertura de la bandeja si se utiliza el sustrato N° 1 detallado en el presente trabajo. No se evidenció en ningún caso mortandad y/o disminución de la masa vegetal.

Los mayores valores de densidad de sustrato se alcanzaron también en el sustrato N°1, tanto en la variable húmedo (DSh) como en la variable seco (DSs). Esto lo califica como el sustrato mezcla que mayor peso representará en un sistema de cubierta verde extensivo frente a los demás sustratos evaluados. En este sentido se recomienda emplear un sustrato como el N°1 o N°2 siempre que se cuente con una estructura capaz de soportar el peso máximo con el sustrato húmedo. Para necesidades específicas de menor peso, se recomiendan los sustratos más livianos como los N°4 y N°3.

Asimismo y tomando en consideración que la variable DSs es una medida indirecta de la capacidad de resistencia al crecimiento de raíces de las especies (Taboada & Alvarez, 2008), en el presente trabajo se evidenció que para cubiertas verdes del tipo extensivas y

para las tres especies evaluadas, la mayor densidad obtenida en los sustratos (en los rangos entre 533 y 299 kg/m<sup>3</sup>) no afectó el normal desarrollo de las raíces.

La capacidad de retención de agua resultó ser mayor en el sustrato N°1, lo que permite contrastar lo propuesto por Anicua et al., (2009), donde la disminución en el tamaño de partícula (1-2 mm), tanto en materiales orgánicos como inorgánicos, reducen la capacidad de retención de agua ya que su espacio poroso total también disminuye. En este sentido, el sustrato N°1 se compone en su mayoría por tierra fértil, cuyo tamaño de partícula en cualquier condición es menor que en el sustrato que menor capacidad de retención de agua obtuvo, compuesto en su mayoría por elementos con tamaños de partícula mayores (zeolita y perlita). Por el contrario, Ansorena (1994) señala que un tamaño de partícula menor a 0.5 mm, presenta la máxima influencia en la porosidad de aire y en la retención de agua, dado que la disminuye e incrementa, respectivamente. Así y tal como se observa en los resultados de CRA, partículas mayores a 0.5 mm incrementan la porosidad total y disminuyen la retención de agua. Los cuatro sustratos evaluados mostraron tendencia a mayor retención de agua con la disminución del tamaño de partícula, en coincidencia con lo señalado por Vargas et al. (2008) y Gutiérrez et al. (2011).

#### **Ph y conductividad eléctrica:**

El rango de pH óptimo para la mayoría de los cultivos ornamentales es de 5,5 a 6,8 (Barbaro, 2018). Los 4 sustratos evaluados no excedieron dicho rango, por lo que se los puede considerar a todos como aptos para sistemas de cubiertas verdes. La turba de musgo *Sphagnum* presenta el valor de pH más bajo (3,4) de todos los elementos que componen los sustratos, mientras que la zeolita presenta el valor más alto (8,4). Los demás elementos (compost orgánico, tierra fértil y perlita agrícola) presentan valores de pH entre 6 y 7.5. El rango relativamente acotado de variación de pH de los materiales que componen los sustratos evaluados permite obtener resultados óptimos de pH, lográndose un balance entre los ácidos y los alcalinos.

La CE de todos los sustratos fue menor a 1.5 dS m<sup>-1</sup>, valor aceptable para el cultivo de plantas en contenedor (Abad et al., 2004). El sustrato más adecuado a las recomendaciones de Barbaro, (2018) resultó ser el N°4, cuyo resultado de CE fue el más bajo (0,75 dS m<sup>-1</sup>).

La perlita presenta una CE de 0,01 dS m<sup>-1</sup> (Barbaro, 2018), siendo el componente de los sustratos elaborados con menor CE. Su porcentaje en cada uno de los sustratos evaluados fue determinante para el resultado de CE final, siendo el sustrato mezcla N°1 el de mayor CE y menor contenido de perlita (5%), mientras que el sustrato N°4 alcanzó el valor más bajo, conteniendo la mayor proporción de perlita (30%).

## Costo económico

El sustrato mezcla N°1 fue el más económico de obtener. Tomando una referencia en volumen de 1 litro, su costo en pesos fue de \$22,19 seguido por el sustrato mezcla N°2, N°3 y N°4, cuyos valores aumentaron en un 23,95%, 48,36% y 72,76% respectivamente. Perlita agrícola y zeolita mineral fueron los dos elementos de mayor costo, por lo que su influencia en el resultado de costo final de los sustratos mezcla evaluados fue significativa. Así, el sustrato más económico resultó ser el que menor porcentaje de estos dos materiales contiene. A medida que aumenta el porcentaje de estos materiales en el sustrato, su costo se eleva.

Situación inversa ocurre con la tierra fértil, puesto que fue el elemento menos costoso en términos económicos y de gran disponibilidad, lo que hizo que el sustrato con mayor contenido de tierra haya sido el más económico. Al respecto de la facilidad de adquisición de los materiales, la zeolita mineral no resultó de fácil acceso. Su uso está asociado a la propiedad de adsorción, ampliamente comercializado en el ámbito de contención de derrames de fluidos líquidos. En comercios dedicados a elaboración y comercialización de sustratos no fue frecuente encontrar zeolitas ni sustratos que las contengan.

El resto de los materiales se pudieron obtener sin dificultad en viveros en Ciudad Autónoma de Buenos Aires, así como también en cadenas de Supermercados con venta de productos clasificados como línea de “jardinería” o “exterior”.

## Crecimiento de especies

*Sedum mexicanum* fue la especie que mayor porcentaje de crecimiento obtuvo, medido mediante el porcentaje de cobertura ocupado desde el día en que se realizó la plantación hasta un período de 154 días corridos. Al cabo de este período, la comparativa de resultados posicionó al *Sedum mexicanum* como la especie que más volumen desarrolló en cualquiera de los 4 sustratos utilizados, seguida por la especie *Delosperma ecklonis*. La que menos porcentaje de cobertura alcanzó fue *Portulaca gilliesii*. El comportamiento de *S. mexicanum* coincidió con lo descrito en catálogo de plantas para techos verdes (INTA, 2011) registrando colonización de espacios vacíos, sin mortandad y con florecimiento tipo en período de mayor temperaturas del ensayo.

En este sentido quedó demostrado que la mayor CRA medida en un sustrato no implica mejores condiciones de crecimiento de las especies. El sustrato N°3 presentó un valor de CRA (0,357) menor al sustrato N° 2 (0,430), pero luego de la plantación se evidenció un mayor porcentaje de cobertura en sustrato N°3. El agua retenida por el sustrato dentro de las bandejas de plantación (con base perforada y sistema de riego superior) está sometida al efecto de distintas tensiones, aunque no todas con la misma injerencia en un momento dado. En sistemas de estudio de flujo de agua y relación con las especies plantadas dentro de un contenedor, cobra importancia la variable interacción entre las raíces de las plantas y el sustrato (Hillel, 1998). Para los casos de las especies seleccionadas para el presente trabajo se observa que por el enraizamiento relativamente cercano a la superficie, las

plantas no se ven influenciadas por la densidad del sustrato (capacidad de avance de las raíces) ni por la capacidad de retención de agua, considerando que los resultados obtenidos para CRA de los 4 sustratos resultan <normales> para el desarrollo de cubiertas verdes (Rosatto et al., 2015). Según Fonteno (1993), la estimación del agua disponible se hace difícil por la falta de consenso en la definición. Se puede considerar que hay dos componentes: “capacidad de agua disponible” y “disponibilidad de agua”. Desde el estudio del comportamiento del suelo se considera “capacidad de agua disponible” a la cantidad de agua retenida en la reserva del sustrato, que puede ser absorbida por las plantas (Cassel & Nielsen, 1986) y puede ser medida como CRA. Sin embargo, el término “disponibilidad de agua” incluye la integración del tipo de planta (especie, condición física, estado y distribución de raíces, suministro de agua y condiciones climáticas) y transporte hidráulico del sustrato (conductividad hidráulica no saturada cercana a la porción de raíces que absorben el agua) (Fonteno, 1993). Esto explica que a pesar de que el sustrato que mejores resultados de crecimiento representó fue el que mayor resultado de CRA obtuvo, no es atribuible como causante de ello.

*Sedum mexicanum* obtuvo resultados de crecimiento en un rango estable entre los 4 sustratos evaluados, variando entre 375,424% y 499,189% y siendo la más recomendable especie para colocación en sistemas de cubiertas verdes extensivas. Esta especie posee una mayor capacidad de adaptación al sustrato frente a *D. ecklonis* y *P. gilliesii*, no viéndose alterado su desarrollo por variaciones de densidad, pH ni CE de los sustratos evaluados.

*Delosperma ecklonis* presentó mayor variabilidad que *S. mexicanum* en la medición de crecimiento, obteniendo un 26,870% en la bandeja de plantación con sustrato N° 4 como el peor resultado, y un 305,009% de crecimiento en sustrato N° 3. A diferencia de *S. mexicanum*, *Delosperma ecklonis* presentó crecimiento normal en 3 de los 4 sustratos evaluados, siendo en uno de ellos el crecimiento más bajo registrado en el todo el trabajo. Es posible que dicho resultado sea atribuible a una condición excluyente de los individuos de *D. ecklonis* seleccionados para dicha bandeja (sustrato N°4).

*Portulaca gilliesii* fue la especie evaluada que menor porcentaje de crecimiento presentó (120% promediando los 3 sustratos). Presentó un crecimiento normal en los 4 sustratos, aunque en sustrato N°4 obtuvo el segundo resultado <más bajo> de todo el trabajo realizado (38%). Si bien esto pudo deberse al tipo de crecimiento y al período del año en donde se realizó el estudio (su mayor porcentaje de crecimiento se da en la época primaveral, realizándose este trabajo en período invernal) se observó que en el sustrato N° 1 alcanzó porcentajes de cobertura promedio como las demás especies e incluso siendo superior a *Delosperma ecklonis*. Sus resultados más bajos en cuanto a crecimiento se obtuvieron en las bandejas de plantación de sustratos N°3 y N°4, lo que permite concluir que dicha especie se desarrolla mejor en sustratos más firmes y con mayor contenido de materiales orgánicos. Los elevados porcentajes de minerales (perlitas y

zeolitas presentes en sustratos N°3 y N°4) y las bajas densidades de sustrato obtenidas no le permiten una adecuada sujeción y limitan la capacidad de absorción de nutrientes.

## 15 CONCLUSIÓN

Las cubiertas verdes constituyen una alternativa para mitigar las consecuencias de la falta de espacios verdes en las grandes urbes. Las inundaciones suelen ser una de las principales consecuencias de la disminución de superficies absorbentes, donde materiales impermeables como el cemento, asfalto u hormigón dirigen el agua de lluvia hasta los alcantarillados, generando su acumulación y posterior inundación. Asimismo, los sistemas de cubiertas verdes le aportan a la ciudad aislamiento térmico y acústico, retención de material particulado del aire, biodiversidad (ya que soporta especies de plantas que a su vez atraen y sirven de medio de subsistencia de insectos, arañas y pequeños pájaros) y le brindan a las edificaciones un atractivo particular.

En el ámbito de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, el último índice de espacios verdes por habitante se estimó en 6m<sup>2</sup> (Dirección Gral. de Espacios Verdes del Ministerio de Ambiente y Espacio Público, Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2018), cuando lo recomendado por la OMS es 10m<sup>2</sup>. La ley sancionada por el Gobierno de la Ciudad (ley N° 4.428 de techos y terrazas verdes) con el objetivo de fomentar la implementación de cubiertas verdes y que a su vez aumentara el índice de espacios verdes por habitante, no es precisa en cuanto al tipo de sustrato que puede implementarse. Tampoco da referencias bibliográficas o de investigación, dejando la elección del tipo de sustrato a criterio del constructor.

La construcción e instalación de un sistema de cubierta verde depende de múltiples variables, entre las cuales la elección del tipo de sustrato resulta determinante para que dicho sistema sea funcional y sostenible en el tiempo. Los 4 sustratos conformados demostraron que pueden ser empleados como tal, en sistemas de cubiertas verdes extensivas, es decir que, con un espesor máximo de 8cm sirvieron de medio de crecimiento de las especies plantadas. Bajo las condiciones climáticas de la Ciudad de Buenos Aires, el sustrato N° 1 aportó valores de CRA superiores a los demás, siendo el recomendado para contrarrestar los efectos de la escorrentía durante las lluvias y otorgándole a los sistemas de drenaje mayor tiempo antes de anegarse. Este sustrato (N° 1) presenta como desventaja una elevada densidad de sustrato, lo que limita su aplicabilidad en sistemas no aptos para soportar pesos elevados. Como alternativa, los sustratos N° 4 y N° 3 no demostraron valores bajos de CRA, pero sí han resultado menores que los mencionados sustratos N° 1 Y N° 2, aunque su densidad sí resulto significativamente menor, por lo que su peso es adecuado para ser empleado en sistemas que no soporten pesos elevados.

La inclusión de zeolita mineral como alternativa en la composición de los sustratos dio resultados favorables. En los 4 sustratos evaluados se incluyeron diferentes porcentajes de este material, siendo el sustrato N° 4 y N° 1 los que mayor y menor porcentaje de zeolita tuvieron (25% y 5% respectivamente). La CRA y densidad medida en zeolita arrojó un resultado promedio en comparación con los demás materiales evaluados, por lo que su incorporación no modificó las características físicas del sustrato y la convierten en una opción más para regular las condiciones del sustrato. Es una opción importante a considerar ya que por su pH básico (8,4), su adición podría ser de utilidad para controlar la acidez en sustratos ya deteriorados.

Los sistemas de cubiertas verdes pueden ser diseñados incluyendo una o varias especies vegetales. Su crecimiento superficial (medido mediante el porcentaje de cobertura) y también el crecimiento de sus raíces dependen del sustrato, sus propiedades y de las condiciones climáticas y de riego. La Ley N° 4.428 de techos y terrazas verdes tampoco hace referencias ni recomendaciones acerca de la familia, género o especie de planta que pueda emplearse, por lo que, según los resultados obtenidos, las 3 especies seleccionadas pueden ser empleadas en sistemas de cubiertas verdes que deseen estar incluidos en la mencionada normativa.

El porcentaje de cobertura es la medida de crecimiento de las especies y a su vez es el parámetro que permite determinar el estado de funcionamiento del sistema. De este modo, el sistema que presente un equilibrio entre el medio de crecimiento (sustrato), el agua (de lluvia o de riego) y la especie vegetal plantada resultará en un mayor porcentaje de cobertura. Mientras más densa sea la cobertura, mayores sean las dimensiones ocupadas por la planta y las raíces se encuentren bien desarrolladas y fijadas al sustrato, mejores serán los resultados de los beneficios ambientales del sistema. Así pues, entre mayor cobertura vegetal haya, menor será el impacto de los rayos solares sobre la edificación, mayor será la retención de polución de aire y la captación de ondas sonoras causante de ruido. También, cuánto más desarrolladas estén las raíces, el sustrato presentará mayor capacidad de drenaje, soportando mayores precipitaciones antes de anegarse.

Según los resultados observados, las especies *Sedum mexicanum* y *Delosperma ecklonis* alcanzaron valores altos de porcentaje de cobertura al cabo del período de estudio (154 días). *S. mexicanum* fue la especie que más rápido crecimiento mostró, pero a su vez fue la que mayor porcentaje de la bandeja cubrió (62,03%), motivo por el cual, cultivada en el Sustrato N° 1 resulta la alternativa más eficiente para una cubierta verde en la Ciudad de Buenos Aires. *D. ecklonis* es una alternativa válida ya que también alcanzó, para la prueba en sustrato N° 1, un porcentaje alto de cobertura (51,45%). Ambas especies registraron crecimiento también en los tres restantes sustratos, aunque con menores porcentajes de cobertura. Por su parte, *P. gilliesii* fue de las 3 especies la que menos crecimiento registró, pero no presentó mortandad incluso en los períodos de bajas temperaturas. Es también una alternativa válida para la utilización en cubiertas verdes.

Todas las especies presentaron floraciones al comienzo de la primavera (día 86, 21 de septiembre) lo que le otorga a la cubierta verde la posibilidad de atraer insectos y aves a la vez que eleva su atractivo.

Para la instalación de un sistema de cubierta verde acorde con la normativa de referencia en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, los sustratos pueden ser adquiridos ya preparados, en comercios del rubro o viveros. Por lo observado en cuanto a la variación del crecimiento de las especies, CRA y densidades que cada sustrato evaluado presentó, no se recomienda la adquisición de dichos sustratos preparados, sino que en su lugar es recomendable la preparación conforme a la dimensión de la bandeja o maceta, las condiciones climáticas y principalmente a las especies que harán de ese sustrato su soporte y medio de crecimiento. Para realizar la preparación de los sustratos para cubiertas verdes, no resultó difícil adquirir los materiales en el área de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Dicha ciudad cuenta con viveros con disponibilidad de materiales, excepto de zeolita mineral. A su vez, la compra de estos puede realizarse mediante plataformas digitales, como es el caso de Mercado Libre, plataforma por la cual se obtuvieron valores para realizar el cálculo del costo de cada sustrato.

Para el caso de zeolita mineral, no se encontraron viveros ni comercios del rubro jardinería que comercialicen este material. El mismo fue adquirido por medio de la plataforma de compras online de Mercado Libre. Allí se pudieron encontrar diferentes precios, variando principalmente según la cantidad a comprar.

El costo de preparación del sustrato mezcla N° 1 fue el menor, con una relación de \$22,19 por litro. Mientras que el sustrato N°4 fue el de mayor costo con \$38,34 por litro.

Si se estableciera un promedio entre los 4 sustratos evaluados, el costo de adquisición de los materiales para conformar el sustrato sería de \$30,24 por litro, cifra que resulta menor que si se comprara el sustrato de venta comercial, cuyo precio consultado ronda los \$44 por litro (precio de referencia: 50 litros de sustrato elaborado para cactus y suculentas, marca Terrafertil).

Por lo expuesto, los sistemas de cubiertas verdes extensivos son en la actualidad un modo eficiente de incorporar espacios verdes en las ciudades donde no son suficientes, como es el caso de la Ciudad de Buenos Aires. Los sustratos que estos sistemas contengan determinarán en mayor o menor medida la forma en que se comporten y los beneficios ambientales que estos brinden. No existe un sustrato ideal, sino que por el contrario, las alternativas son numerosas y éstas deben adecuarse al clima y a las especies que sean seleccionadas para la cubierta verde. Para continuar en esta línea de investigación acerca de las características del sustrato se propone analizar nuevas alternativas que puedan aportar al sustrato mayor capacidad de soporte a diferentes especies por igual. Se ha evidenciado que cada especie tiene preferencia por un sustrato en particular, puesto que conformar una alternativa equilibrada que alcance el mismo porcentaje de crecimiento para todas las especies plantadas haría más eficiente el

sistema de cubierta verde. Asimismo se propone el ensayo con diferentes especies vegetales, de modo tal que pueda ampliarse el abanico de opciones y se pueda generar un aporte a la biodiversidad de estos sistemas.

**16 ANEXO I**  
**Cálculo de resultados**

Capacidad de retención de agua (CRA) en materiales:

<p><b>Perlita Agrícola:</b></p> $CRA = \frac{V_{ag}}{V_t}$ $V_{ag} = (261,71g - 218,01g) \times 1 \frac{g}{cm^3}$ $V_{ag} = 43,7 \text{ cm}^3$ $V_t = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot H$ $V_t = \pi \cdot (7,50 \text{ cm}/2)^2 \cdot 4 \text{ cm}$ $V_t = 176,715, \text{ cm}^3$ $CRA = \frac{43,7 \text{ cm}^3}{176,715, \text{ cm}^3}$ <p style="text-align: center;"><b>CRA = 0,247</b></p>	<p><b>Turba Rubia de Musgo <i>Sphagnum</i>:</b></p> $CRA = \frac{V_{ag}}{V_t}$ $V_{ag} = (324,28g - 237,72g) \times 1 \frac{g}{cm^3}$ $V_{ag} = 86,56 \text{ cm}^3$ $V_t = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot H$ $V_t = \pi \cdot (7,50 \text{ cm}/2)^2 \cdot 4 \text{ cm}$ $V_t = 176,715, \text{ cm}^3$ $CRA = \frac{86,56 \text{ cm}^3}{176,715, \text{ cm}^3}$ <p style="text-align: center;"><b>CRA = 0,489</b></p>	<p><b>Zeolita (mineral):</b></p> $CRA = \frac{V_{ag}}{V_t}$ $V_{ag} = (342,75g - 268,99g) \times 1 \frac{g}{cm^3}$ $V_{ag} = 73,76 \text{ cm}^3$ $V_t = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot H$ $V_t = \pi \cdot (7,50 \text{ cm}/2)^2 \cdot 4 \text{ cm}$ $V_t = 176,715, \text{ cm}^3$ $CRA = \frac{73,76 \text{ cm}^3}{176,715, \text{ cm}^3}$ <p style="text-align: center;"><b>CRA = 0,417</b></p>
<p><b>Compost orgánico:</b></p> $CRA = \frac{V_{ag}}{V_t}$ $V_{ag} = (350,48g - 268,53g) \times 1 \frac{g}{cm^3}$ $V_{ag} = 81,95 \text{ cm}^3$ $V_t = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot H$ $V_t = \pi \cdot (7,50 \text{ cm}/2)^2 \cdot 4 \text{ cm}$ $V_t = 176,715, \text{ cm}^3$ $CRA = \frac{81,95 \text{ cm}^3}{176,715, \text{ cm}^3}$ <p style="text-align: center;"><b>CRA = 0,464</b></p>	<p><b>Tierra Fértil:</b></p> $CRA = \frac{V_{ag}}{V_t}$ $V_{ag} = (438,22g - 348,17g) \times 1 \frac{g}{cm^3}$ $V_{ag} = 90,05 \text{ cm}^3$ $V_t = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot H$ $V_t = \pi \cdot (7,50 \text{ cm}/2)^2 \cdot 4 \text{ cm}$ $V_t = 176,715, \text{ cm}^3$ $CRA = \frac{90,05 \text{ cm}^3}{176,715, \text{ cm}^3}$ <p style="text-align: center;"><b>CRA = 0,509</b></p>	

Capacidad de retención de agua (CRA) en sustratos mezcla:

SUSTRATO MEZCLA N° 1:	SUSTRATO MEZCLA N° 2:	SUSTRATO MEZCLA N° 3:
$CRA = \frac{Vag}{Vt}$ $Vag = (393,2g - 302,11g) \times 1 \frac{g}{cm^3}$ $Vag = 91,09cm^3$ $Vt = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot H$ $Vt = \pi \cdot (7,50 \text{ cm}/2)^2 \cdot 4 \text{ cm}$ $Vt = 176,715 \text{ cm}^3$ $CRA = \frac{91,09 \text{ cm}^3}{176,715, \text{cm}^3}$ <p style="text-align: center;"><b>CRA = 0,515</b></p>	$CRA = \frac{Vag}{Vt}$ $Vag = (359,43g - 283,5g) \times 1 \frac{g}{cm^3}$ $Vag = 75,93cm^3$ $Vt = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot H$ $Vt = \pi \cdot (7,50 \text{ cm}/2)^2 \cdot 4 \text{ cm}$ $Vt = 176,715 \text{ cm}^3$ $CRA = \frac{75,93 \text{ cm}^3}{176,715, \text{cm}^3}$ <p style="text-align: center;"><b>CRA = 0,430</b></p>	$CRA = \frac{Vag}{Vt}$ $Vag = (327,0g - 263,9g) \times 1 \frac{g}{cm^3}$ $Vag = 63,01cm^3$ $Vt = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot H$ $Vt = \pi \cdot (7,50 \text{ cm}/2)^2 \cdot 4 \text{ cm}$ $Vt = 176,715 \text{ cm}^3$ $CRA = \frac{63,01 \text{ cm}^3}{176,715, \text{cm}^3}$ <p style="text-align: center;"><b>CRA = 0,357</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>SUSTRATO MEZCLA N° 4:</b></p> $CRA = \frac{Vag}{Vt}$ $Vag = (309,25g - 252,41g) \times 1 \frac{g}{cm^3}$ $Vag = 56,84cm^3$ $Vt = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot H$ $Vt = \pi \cdot (7,50 \text{ cm}/2)^2 \cdot 4 \text{ cm}$ $Vt = 176,715 \text{ cm}^3$ $CRA = \frac{56,84 \text{ cm}^3}{176,715, \text{cm}^3}$ <p style="text-align: center;"><b>CRA = 0,322</b></p>		



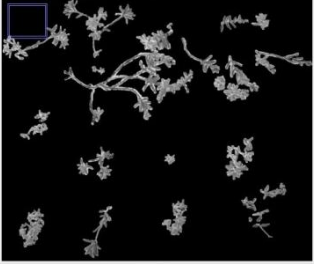


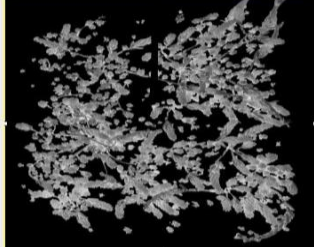


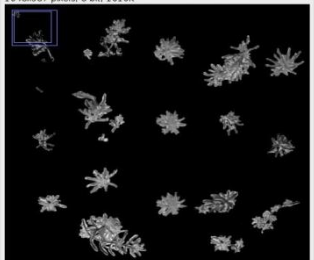


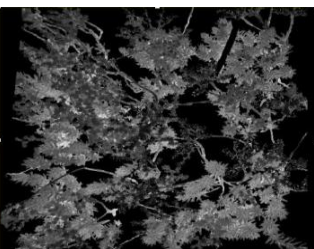


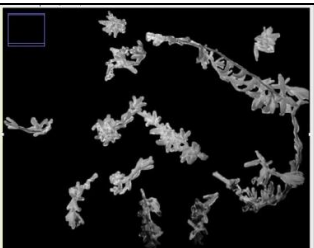


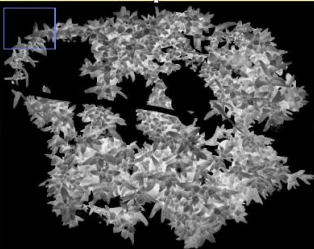
Densidad de sustrato seco (DSs) en sustratos mezcla:



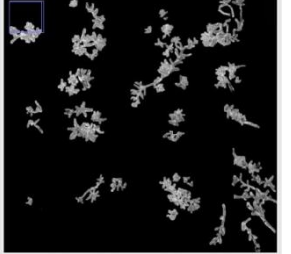


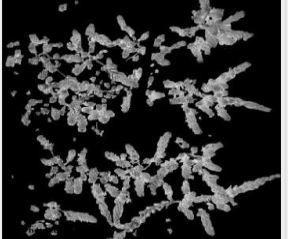
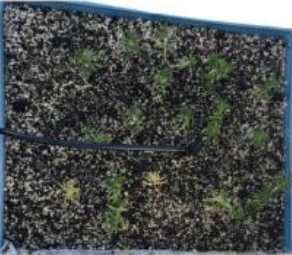




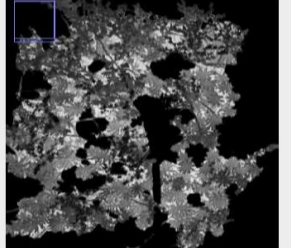





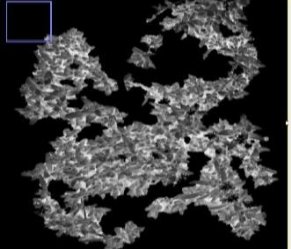
SUSTRATO MEZCLA N° 1:	SUSTRATO MEZCLA N° 2:	SUSTRATO MEZCLA N° 3:	SUSTRATO MEZCLA N° 4:
$DSs = \frac{m_3 - m_1}{\pi \cdot (d/2)^2 \cdot h} \cdot 1000$ $= \frac{m_3 - m_1}{\pi \cdot (7,50\text{cm}/2)^2 \cdot 4\text{cm}} \cdot 1000$ $= \frac{302,11\text{g} - 199,01\text{g}}{176,715 \text{ cm}^3} \cdot 1000$ $= \frac{103,1\text{g}}{176,715 \text{ cm}^3} \cdot 1000$	$DSs = \frac{m_3 - m_1}{\pi \cdot (d/2)^2 \cdot h} \cdot 1000$ $= \frac{m_3 - m_1}{\pi \cdot (7,50\text{cm}/2)^2 \cdot 4\text{cm}} \cdot 1000$ $= \frac{283,5\text{g} - 199,42\text{g}}{176,715 \text{ cm}^3} \cdot 1000$ $= \frac{84,08\text{g}}{176,715 \text{ cm}^3} \cdot 1000$	$DSs = \frac{m_3 - m_1}{\pi \cdot (d/2)^2 \cdot h} \cdot 1000$ $= \frac{m_3 - m_1}{\pi \cdot (7,50\text{cm}/2)^2 \cdot 4\text{cm}} \cdot 1000$ $= \frac{263,99\text{g} - 199,01\text{g}}{176,715 \text{ cm}^3} \cdot 1000$ $= \frac{64,98\text{g}}{176,715 \text{ cm}^3} \cdot 1000$	$DSs = \frac{m_3 - m_1}{\pi \cdot (d/2)^2 \cdot h} \cdot 1000$ $= \frac{m_3 - m_1}{\pi \cdot (7,50\text{cm}/2)^2 \cdot 4\text{cm}} \cdot 1000$ $= \frac{252,41\text{g} - 199,42\text{g}}{176,715 \text{ cm}^3} \cdot 1000$ $= \frac{52,99\text{g}}{176,715 \text{ cm}^3} \cdot 1000$
<b>DSs = 583,425 kg m<sup>-3</sup></b>	<b>DSs = 475,794 kg m<sup>-3</sup></b>	<b>DSs = 367,711kg m<sup>-3</sup></b>	<b>DSs = 299,861 kg m<sup>-3</sup></b>

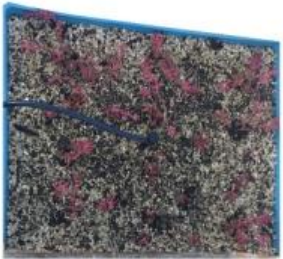




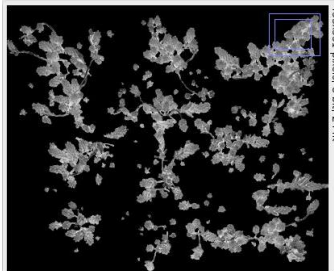
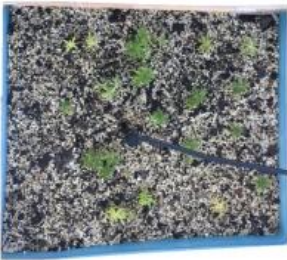

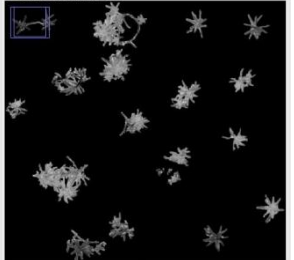


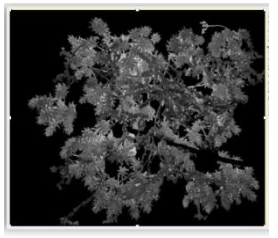
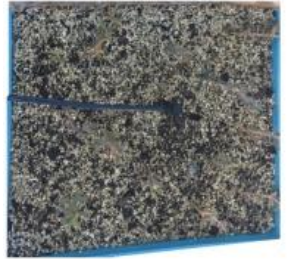




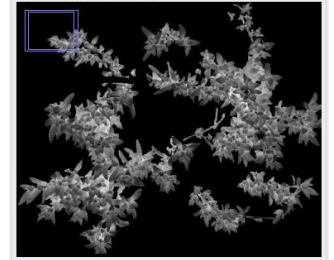
Densidad de sustrato húmedo (DSH) en sustratos mezcla:

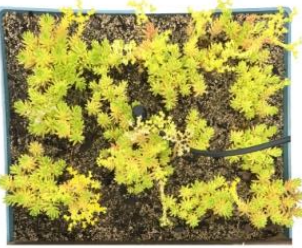
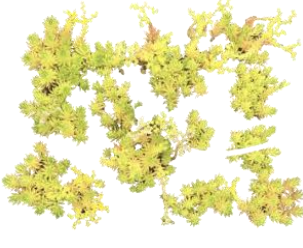
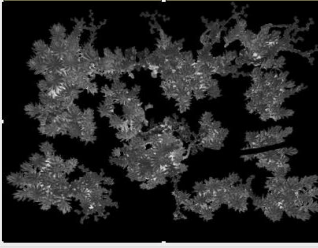


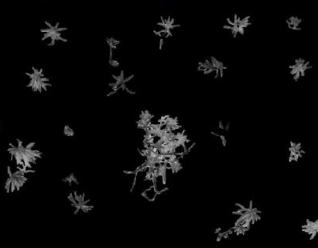


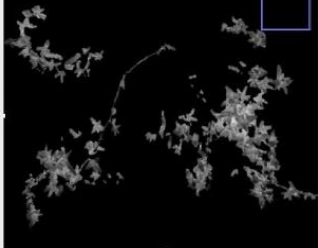


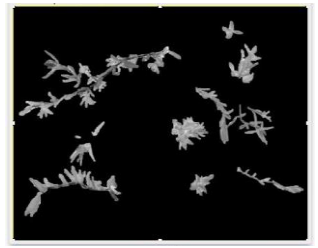
SUSTRATO MEZCLA N° 1:	SUSTRATO MEZCLA N° 2:	SUSTRATO MEZCLA N° 3:	SUSTRATO MEZCLA N° 4:
$DSH = \frac{msh}{Vt} \cdot 1000$ $= \frac{393,2\text{g} - 199,01\text{g}}{\pi \cdot (7,50\text{cm}/2)^2 \cdot 4\text{cm}} \cdot 1000$ $= \frac{194,19\text{g}}{176,715 \text{ cm}^3} \cdot 1000$	$DSH = \frac{msh}{Vt} \cdot 1000$ $= \frac{359,43\text{g} - 199,42\text{g}}{\pi \cdot (7,50\text{cm}/2)^2 \cdot 4\text{cm}} \cdot 1000$ $= \frac{160,01\text{g}}{176,715 \text{ cm}^3} \cdot 1000$	$DSH = \frac{msh}{Vt} \cdot 1000$ $= \frac{327,0\text{g} - 199,01\text{g}}{\pi \cdot (7,50\text{cm}/2)^2 \cdot 4\text{cm}} \cdot 1000$ $= \frac{127,99\text{g}}{176,715 \text{ cm}^3} \cdot 1000$	$DSH = \frac{msh}{Vt} \cdot 1000$ $= \frac{309,25\text{g} - 199,42\text{g}}{\pi \cdot (7,50\text{cm}/2)^2 \cdot 4\text{cm}} \cdot 1000$ $= \frac{109,83\text{g}}{176,715 \text{ cm}^3} \cdot 1000$
<b>DSH = 1098,89 kg m<sup>-3</sup></b>	<b>DSH = 905,469 kg m<sup>-3</sup></b>	<b>DSH = 724,27 kg m<sup>-3</sup></b>	<b>DSH = 621,509 kg m<sup>-3</sup></b>

17 ANEXO II  
Comparación de imágenes de plantación

		<b>Sustrato 1</b>			
		<b>Especie</b>	<b>Imagen completa</b>	<b>Imagen sin sustrato</b>	<b>Imagen negativa sin sustrato</b>
<b>Sustrato 1</b>	<b><i>P. gilliesii</i></b>	<b>Dia 1</b>			
		<b>Dia 154</b>			
	<b><i>S. mexicanum</i></b>	<b>Dia 1</b>			
		<b>Dia 154</b>			
	<b><i>D. ecklonis</i></b>	<b>Dia 1</b>			
		<b>Dia 154</b>			

		<i>Sustrato 2</i>			
		Especie	Imagen completa	Imagen sin sustrato	Imagen negativa sin sustrato
<b>Sustrato 2</b>	<i>P. gilliesii</i>	Dia 1			
		Dia 154			
	<i>S. mexicanum</i>	Dia 1			
		Dia 154			
	<i>D. ecklonis</i>	Dia 1			
		Dia 154			

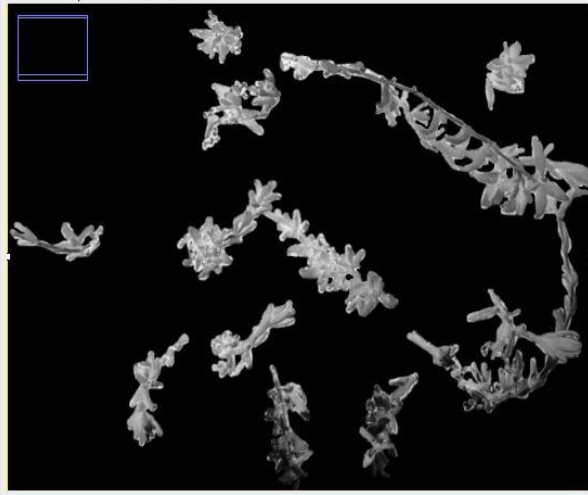
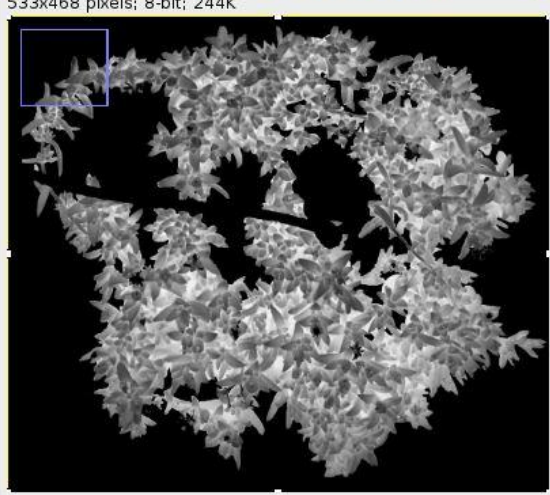
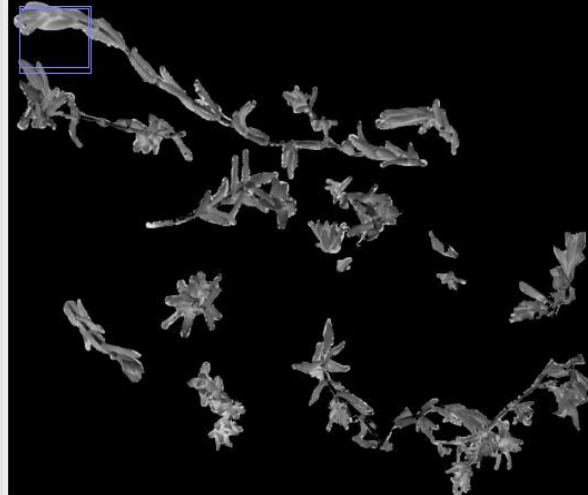
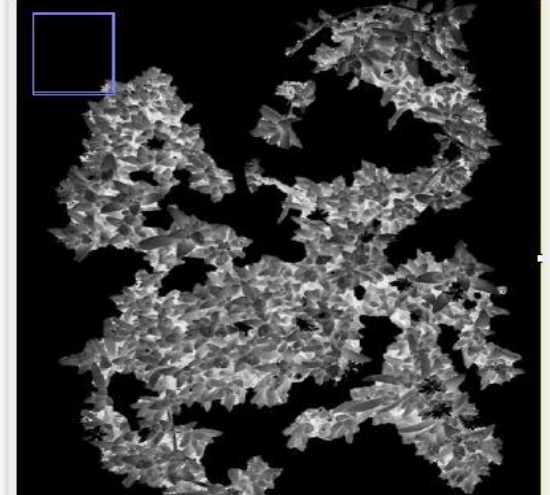
Especie		Imagen completa	Imagen sin sustrato	Imagen negativa sin sustrato
		<b>Sustrato 3</b>		
<i>P. gilliesii</i>	Dia 1			
	Dia 154			
<i>S. mexicanum</i>	Dia 1			
	Dia 154			
<i>D. ecklonis</i>	Dia 1			
	Dia 154			

<b>Sustrato 4</b>			<i>P. gilliesii</i>		
			Dia 154	Dia 1	
<i>S. mexicanum</i>	Dia 154				
	Dia 1				
<i>D. ecklonis</i>	Dia 154				
	Dia 1				


**18 ANEXO III**

**Cálculo de porcentaje de crecimiento < programa Image j >**

Especie: *Delosperma ecklonis*

<p>Delosperma S1 SIN FONDO.JPG (50%) 1080x972 pixels; 8-bit; 1MB</p>  <p>Results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1049760</td> <td>18.648</td> <td>0</td> <td>252</td> <td>16.368</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	%Area	1	1049760	18.648	0	252	16.368	<p>Delosperma S1 SIN FONDO.png (75%) 533x468 pixels; 8-bit; 244K</p>  <p>Results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>249444</td> <td>67.033</td> <td>0</td> <td>246</td> <td>51.448</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	%Area	1	249444	67.033	0	246	51.448
File	Edit	Font	Results																												
Area	Mean	Min	Max	%Area																											
1	1049760	18.648	0	252	16.368																										
File	Edit	Font	Results																												
Area	Mean	Min	Max	%Area																											
1	249444	67.033	0	246	51.448																										
<p>Delosperma S2 SIN FONDO.JPG (50%) 1080x993 pixels; 8-bit; 1MB</p>  <p>Results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1072440</td> <td>13.221</td> <td>0</td> <td>239</td> <td>13.620</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	%Area	1	1072440	13.221	0	239	13.620	<p>DELOSPERMA S2 SIN FONDO.png (75%) 449x556 pixels; 8-bit; 244K</p>  <p>Results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>249644</td> <td>47.456</td> <td>0</td> <td>252</td> <td>44.024</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	%Area	1	249644	47.456	0	252	44.024
File	Edit	Font	Results																												
Area	Mean	Min	Max	%Area																											
1	1072440	13.221	0	239	13.620																										
File	Edit	Font	Results																												
Area	Mean	Min	Max	%Area																											
1	249644	47.456	0	252	44.024																										

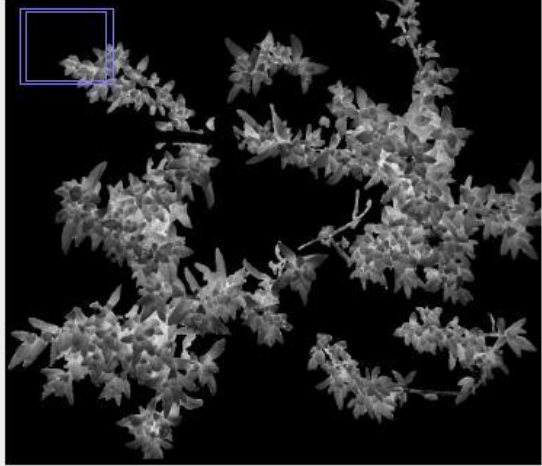
**Delosperma S3.png (75%)** ✕  
560x446 pixels; 8-bit; 244K



**Results** ✕

File	Area	Mean	Min	Max	%Area
1	249760	8.180	0	224	7.387


**Delosperma S3 - SIN FONDO.png (75%)** ✕  
569x438 pixels; 8-bit; 243K



**Results** ✕

File	Area	Mean	Min	Max	%Area
1	249222	28.613	0	240	29.918

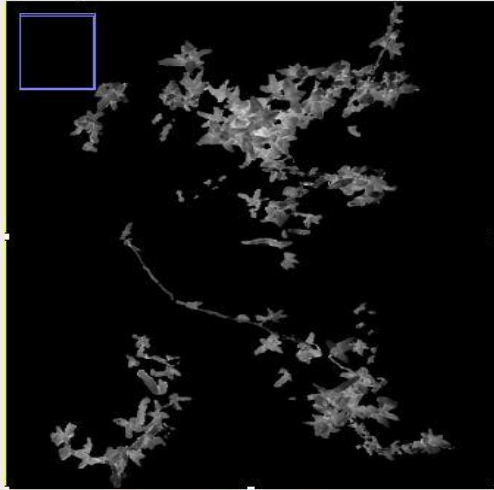
**Delosperma S4 sin fondo.png (75%)** ✕  
562x444 pixels; 8-bit; 244K



**Results** ✕

File	Area	Mean	Min	Max	%Area
1	249528	13.913	0	247	10.856

**Delosperma S4 SIN FONDO.png (75%)** ✕  
447x559 pixels; 8-bit; 244K


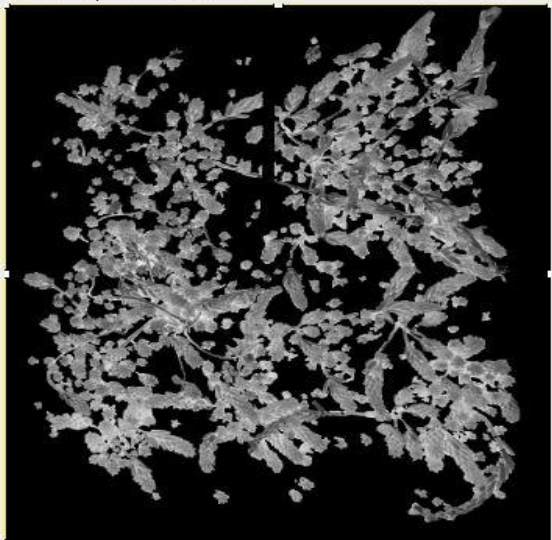
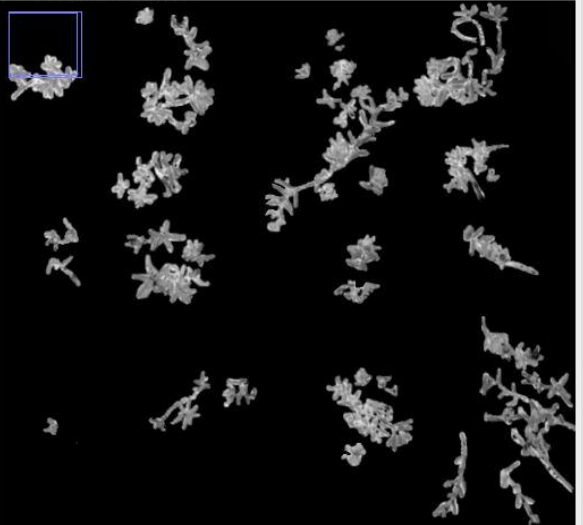



**Results** ✕


File	Area	Mean	Min	Max	%Area
1	249873	11.976	0	236	13.773

**Cálculo de porcentaje de crecimiento < programa Image j >**

Especie: *Portulaca gilliesii*

<p>Portulaca S1 SIN FONDO.jpg (50%) 1080x998 pixels; 8-bit; 1MB</p>  <p>Results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1077840</td> <td>13.371</td> <td>0 251</td> <td>11.516</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	%Area	1	1077840	13.371	0 251	11.516	<p>Portulacs S1 SIN FONDO.png (75%) 467x534 pixels; 8-bit; 244K</p>  <p>Results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>249378</td> <td>49.834</td> <td>0 241</td> <td>40.706</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	%Area	1	249378	49.834	0 241	40.706
File	Edit	Font	Results																										
Area	Mean	Min	Max	%Area																									
1	1077840	13.371	0 251	11.516																									
File	Edit	Font	Results																										
Area	Mean	Min	Max	%Area																									
1	249378	49.834	0 241	40.706																									
<p>Portulaca S2 sin fondo.jpg (50%) 1080x999 pixels; 8-bit; 1MB</p>  <p>Results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1078920</td> <td>15.309</td> <td>0 251</td> <td>14.755</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	%Area	1	1078920	15.309	0 251	14.755	<p>Portulaca S2 - 2 SIN FONDO.png (75%) 475x525 pixels; 8-bit; 244K</p>  <p>Results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>249375</td> <td>37.914</td> <td>0 244</td> <td>30.091</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	%Area	1	249375	37.914	0 244	30.091
File	Edit	Font	Results																										
Area	Mean	Min	Max	%Area																									
1	1078920	15.309	0 251	14.755																									
File	Edit	Font	Results																										
Area	Mean	Min	Max	%Area																									
1	249375	37.914	0 244	30.091																									

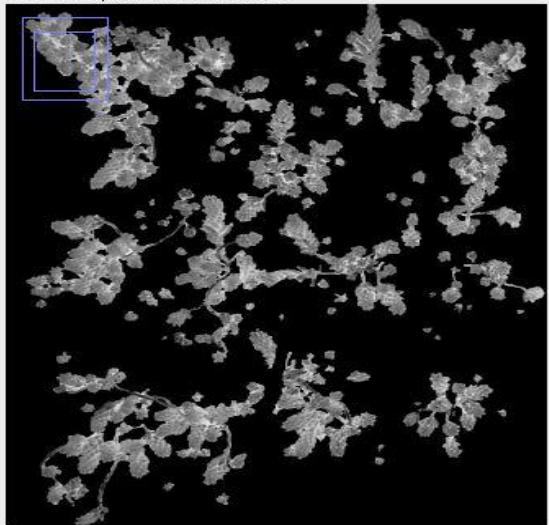
Portulaca sin fondo S3.png (75%)  
550x453 pixels; 8-bit; 243K



Results

File	Area	Mean	Min	Max	%Area
1	249150	12.211	0	226	11.593


Portulaca S3 SIN FONDO.png  
453x551 pixels; 8-bit; 244K



Results

File	Area	Mean	Min	Max	%Area
2	249603	17.780	0	235	16.067

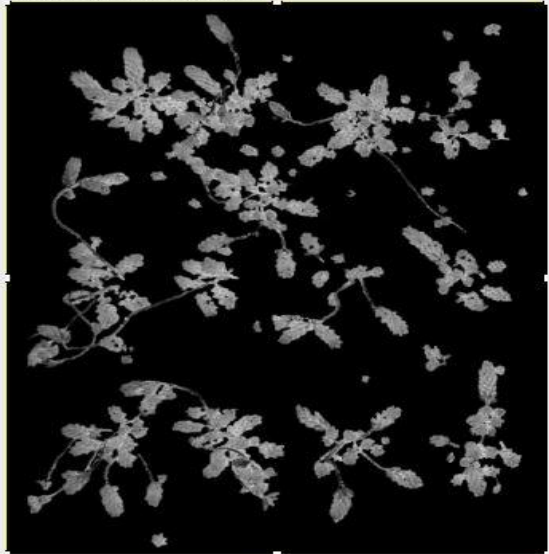
Portulaca S4 sin fondo.png (75%)  
531x470 pixels; 8-bit; 244K



Results

File	Area	Mean	Min	Max	%Area
1	249570	14.508	0	235	13.085

Portulaca S4 Sin Fondo.png (75%)  
454x550 pixels; 8-bit; 244K

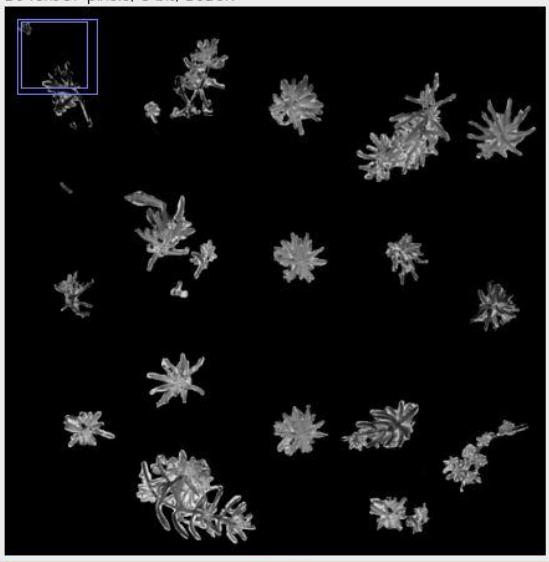
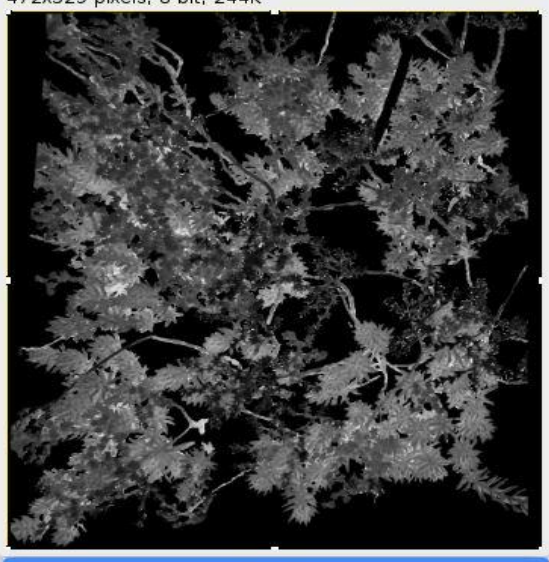
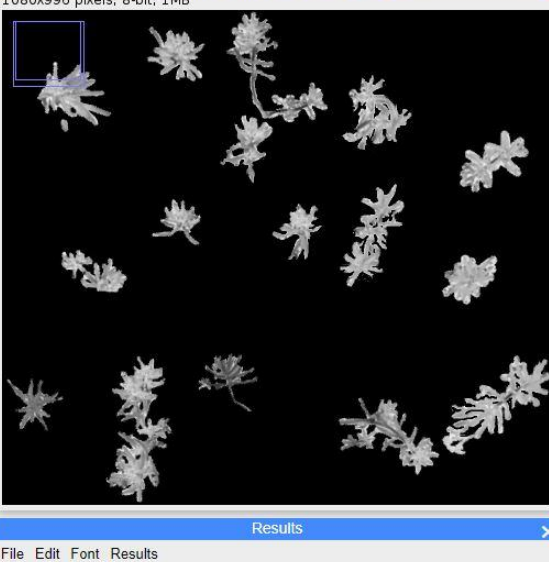
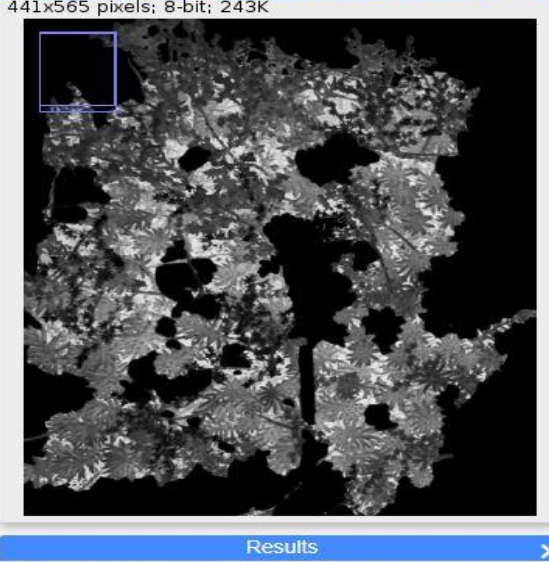


Results

File	Area	Mean	Min	Max	%Area
1	249700	24.144	0	225	24.197

**Cálculo de porcentaje de crecimiento < programa Image j >**

Especie: *Sedum mexicanum*

<p>SEDUM S1 SIN FONDO.JPG (50%) 1048x987 pixels; 8-bit; 1010K</p>  <p>Results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1034376</td> <td>9.744</td> <td>0</td> <td>249</td> <td>10.352</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	%Area	1	1034376	9.744	0	249	10.352	<p>Sedum S1 Sin fondo.png (75%) 472x529 pixels; 8-bit; 244K</p>  <p>Results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>249688</td> <td>48.344</td> <td>0</td> <td>234</td> <td>62.028</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	%Area	1	249688	48.344	0	234	62.028
File	Edit	Font	Results																												
Area	Mean	Min	Max	%Area																											
1	1034376	9.744	0	249	10.352																										
File	Edit	Font	Results																												
Area	Mean	Min	Max	%Area																											
1	249688	48.344	0	234	62.028																										
<p>Sedum S2 SIN FONDO.JPG (50%) 1080x996 pixels; 8-bit; 1MB</p>  <p>Results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1075680</td> <td>16.145</td> <td>0</td> <td>253</td> <td>11.724</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	%Area	1	1075680	16.145	0	253	11.724	<p>Sedum_S2_SIN_FONDO-removebg-preview.png... 441x565 pixels; 8-bit; 243K</p>  <p>Results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>249165</td> <td>51.483</td> <td>0</td> <td>246</td> <td>56.241</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	%Area	1	249165	51.483	0	246	56.241
File	Edit	Font	Results																												
Area	Mean	Min	Max	%Area																											
1	1075680	16.145	0	253	11.724																										
File	Edit	Font	Results																												
Area	Mean	Min	Max	%Area																											
1	249165	51.483	0	246	56.241																										

Sedum sin fondo S3.png  
556x449 pixels; 8-bit; 244K

Results

File	Edit	Font	Results		
Area	Mean	Min	Max	%Area	
1	249644	9.525	0	233	10.091

Sedum S3 SIN FONDO.png (75%)  
458x545 pixels; 8-bit; 244K

Results

File	Edit	Font	Results		
Area	Mean	Min	Max	%Area	
1	249610	40.367	0	240	51.248

Sedum S4 sin fondo.png (75%)  
566x441 pixels; 8-bit; 244K

Results

File	Edit	Font	Results		
Area	Mean	Min	Max	%Area	
1	249606	7.312	0	227	9.383

Sedum S4 Sin fondo.png (75%)  
454x550 pixels; 8-bit; 244K

Results

File	Edit	Font	Results		
Area	Mean	Min	Max	%Area	
1	249700	32.981	0	235	44.609

## 19 BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia de Protección Ambiental. 2014. Cubiertas Verdes en Edificios públicos. Experiencia y recomendaciones para su instalación en la ciudad de Buenos Aires. Publicación de la Agencia de Protección Ambiental, Ministerio de Ambiente y Espacio Público, Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Disponible en: [http://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/cubiertas\\_verdes\\_final1.pdf](http://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/cubiertas_verdes_final1.pdf)
2. Anicua Sánchez, Rosa, Gutiérrez Castorena, Ma. Del Carmen, Sánchez García, Prometeo, Ortiz Solorio, Carlos, Volke Halle, Victor H., & Rubiños Panta, Juan Enrique. (2009). Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura técnica en México*, 35(2), 147-156. Recuperado el 25 de marzo de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172009000200002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000200002&lng=es&tlng=es).
3. Arévalo P, María Eugenia, Oberpaur W, Christel, & Méndez C, Cristian. (2016). Inclusión de musgo (*Sphagnum magellanicum* Brid.) y fibra de coco como componentes orgánicos del sustrato para almácigos de kiwi (*Actinidia deliciosa*). *Idesia (Arica)*, 34(2), 47-55. Epub 03 de febrero de 2016. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016005000007>
4. Barbaro, Lorena; Karlanian, Mónica; Mata, Diego. Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Instituto de Floricultura, Centro de Investigación de Recursos Naturales – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-\\_importancia\\_del\\_ph\\_y\\_la\\_conductividad\\_elctrica.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf)
5. Barbaro, Lorena; Karlanian, Mónica; Rizzo, Pedro; y Riera, Nicolás. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(2), 126-136. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>.
5. Barros, Vicente. 2010. Cambio climático y aceleración tecnológica. En: Encrucijadas, no. 50. Universidad de Buenos Aires. Disponible en: Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires. <http://repositorioubas.sisbi.uba.ar>
6. Bures, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid. 220 p.
7. Cortés, Darisabel Maldonado. 2009. Efectividad de los sistemas de techos con cubierta vegetal para la mitigación del calentamiento y manejo de la escorrentía en las zonas urbanas. Tesis de Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental en Evaluación y Manejo de Riesgo Ambiental. Universidad Metropolitana Escuela graduada de Asuntos Ambientales. San Juan. Puerto Rico.

8. Cruz-Crespo E.; Can-Chulim A.; Sandoval-Villa M; Bugarín-Montoya R.; Robles-Bermúdez A.; Juárez-López P. (2012). Sustratos en la horticultura. Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. Revista Bio Ciencias – ISSN: 2007-3380.
  
8. Domínguez, E. y J. Larraín, 2013. *Sphagnum magellanicum* (pompón): El musgo de la turbera. Tierra Adentro 102: 21-24.
  
9. Fonteno, W.C., Cassel, D.K. and Larson, R.A. 1981. Physical properties of three container media and their effect on poinsettia growth. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106(6).
  
10. Fonteno, W. 1993. Problems & considerations in determining physical properties of horticultural substrates. Acta Hort.
11. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. 2012. Cubiertas verdes en edificios públicos. Informe técnico – Disponible en:  
[http://www.buenosaires.gob.ar/areas/med\\_ambiente/apra/des\\_sust/archivos/cubiertas/inf\\_tecnico\\_cubierta\\_verde.pdf](http://www.buenosaires.gob.ar/areas/med_ambiente/apra/des_sust/archivos/cubiertas/inf_tecnico_cubierta_verde.pdf)
  
12. Hartmann, T.; Kester, D.; Davies, F. and Geneve, R. 2002. Plant propagation. Principles and practices. 6th Edition. Prentice Hall. New Jersey-EE.UU. 770 p.
  
13. Kehdi, N. 2007. La búsqueda de un sustrato adecuado. Spanabis 8: 13- 17.
  
14. Landis, T. 2000. Manual de Viveros para la producción de Especies Forestales en Contenedor. Contenedores y Medios de Crecimiento. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Oregon, E.U.A. 52 p.
  
15. Macías, M., & García Navarro, J. 2010. Metodología y herramienta verde para la evaluación de la sostenibilidad en edificios. Informes de La Construcción, 62, 87–100. ic.08.056.
  
16. Martínez Farré, FX. 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. Actas de Horticultura 11: 55-66, España.
  
17. Ming, D. W. and Mumpton, F. A. 1989. Zeolites in soils. In: Dixon, B. J. and Weed, B. S. (eds.). Minerals in soil environmental. (2<sup>nd</sup> Ed.). Book Series, No.1. Soil. Science Society of America, Inc. South Segoe Road, Madison, WI53711, USA. p. 585–610.
  
18. Nelson, P. 1978. Operación y gestión de invernaderos. Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, Inc. 598 p.
  
19. O. Speck, M. Schlechtendahl, F. Schmich and T. Speck, 2013. Self-healing processes in plants – A treasure trove for biomimetic self-repairing materials. Plant Biomechanics Group Freiburg, Botanic Garden. Faculty of Biology, University of Freiburg, Germany.

20. Prieto, ES. 2005 Calidad del plantín de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mili.) cultivado en sustratos adicionados con lombricompost. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
21. Rosatto, Héctor; Botta, Guido Fernando; Tolón Becerra, Alfredo; Tardito, Hernán; Leveratto, María. 2016. Problemáticas del cambio climático en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires - aportes de las cubiertas vegetadas en la regulación térmica. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(1).
22. Rosatto, Héctor; Meyer, Maia; Laureda, Daniel; Cazorla, Laura; Barrera, Daniel; Gamboa, Paula; Villalba, Gustavo; Bargiela, Martha; Pruzzo, Laura; Rodríguez Plaza, Luis; Mazzeo, Nadia; Caso, Cesar; Rocca, Carlos; Hashimoto Patricia; Kohan, Diana y Quaintenne, Elina. 2013. Eficiencia en la retención del agua de lluvia de Cubiertas Vegetadas de tipo "Extensivo" e "Intensivo". Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 45(1).
23. Rosatto, Héctor; Moyano, Gabriela; Cazorla, Laura; Laureda, Daniel; Meyer, Maia; Gamboa, Paula; Bargiela, Martha; Caso, Cesar; Villalba, Gustavo; Barrera, Daniel; Pruzzo, Laura; Rodríguez Plaza, Luis; Oliveri, Alejandra; Waslavsky, Agustia; Hashimoto, Patricia; Kohan, Diana. 2015. Cubiertas vegetadas de tipo "extensivo", eficiencia en la retención del agua de lluvia de distinto tipo de vegetación implantada. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47 (2).
24. Toland, D., B. Haggard and M. Boyer (2012). Evaluation of nutrient concentrations in runoff water from green roofs, conventional roofs, and urban streams. Transactions of the ASABE 55(1): 99-106
25. Vence, L. 2008. Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. Revista Ciencia del Suelo (Argentina), volumen 26 (2): 105:114.
26. Vence, L. 2012. Métodos de determinación de parámetros que estiman la disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas y su relación con la respuesta vegetal. Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencia del Suelo. Buenos Aires. Argentina.
27. Vence, Lilia; Valenzuela Osvaldo; Svartz, Héctor; Conti, Marta. 2013. Elección del sustrato y manejo del riego utilizando como herramienta las curvas de retención de agua. Asociación Argentina Ciencia del Suelo.
28. Vintimilla, P. y Sarmiento, J., 2008, Efecto de cuatro (4) porcentajes de zeolita como sustrato y dos (2) métodos pergaminativos en diez (10) especies forestales. Trabajo de graduación título de Ingeniero agrónomo, Universidad de Azuay, Facultad de ciencia y tecnología, escuela ingeniería agropecuaria. Cuenca, Ecuador.

29. Virginia DEQ (Department of Environmental Quality), 2011. Stormwater design specification n° 5. Version 2.3. Virginia, United States of America.  
Available online: [https://www.swbmp.vwrrc.vt.edu/wpcontent/uploads/2017/11/BMP-Spec-No-5\\_VEGETATED-ROOF\\_v2-3\\_03012011.pdf](https://www.swbmp.vwrrc.vt.edu/wpcontent/uploads/2017/11/BMP-Spec-No-5_VEGETATED-ROOF_v2-3_03012011.pdf)