

## Relevamiento y evaluación de residuos agro-industriales de Entre Ríos con potencial para la formulación de sustratos de cultivo

*Claudia S. Gallardo; María Celina Barrera; Osvaldo Valenzuela; Martín Jauregui*

Autores: Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta provincial N°11, km 10,5. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina

Contacto: [claudia.gallardo@uner.edu.ar](mailto:claudia.gallardo@uner.edu.ar)

ARK: <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/bds9w5w6y>

### Resumen

En el marco de las actividades realizadas, se verificó que los residuos orgánicos industriales de Entre Ríos con mayor aptitud para la formulación de sustratos de cultivos fueron los restos de aserraderos, la cáscara de arroz natural y la cáscara de arroz parborizado. Esta afirmación fue corroborada mediante análisis de laboratorio de numerosos materiales hallados, junto con bioensayos y una serie de experiencias con cultivos en bandejas multiceldas, implantados a partir de semillas o por propagación agámica. Para el caso particular de la cáscara de arroz, se lograron nuevos productos muy promisorios para uso en viveros, que son la cáscara de arroz triturada y la cáscara de arroz triturada y carbonizada, ambos con mayor capacidad de retener agua y menor espacio de aireación que los materiales de origen. Los resultados fueron transferidos en cursos de capacitación brindados a emprendedores, estudiantes de grado y posgrado y profesionales de la agronomía. Además, se presentaron trabajos en eventos académicos-científicos, con el objetivo de promover la toma de conciencia sobre la necesidad de sustituir el uso de recursos naturales por materiales eco-compatibles en la formulación de sustratos de cultivo.

**Palabras clave:** Recursos renovables, residuos orgánicos, reciclado, sustratos eco-compatibles, contenedores, viveros

Etapas para llevar a cabo el relevamiento de residuos generados por la agroindustria

- a. Localización del área de trabajo.
- b. Identificación de agroindustrias predominantes en la región de exploración: búsquedas en Internet, Google Earth, guías de Industrias, entre otras fuentes de información.
- c. Comunicación con industriales vía telefónica o mediante correo electrónico, para acordar día y horario aproximado de visita al establecimiento.
- d. Visita a empresas en días pactados; entrevistas con el objetivo de completar una encuesta.
- e. Recorrido por sector de deposición de residuos: allí se procedió a observar el área, a identificar diferentes tipos de residuos y estados de cada uno de ellos (grado de descomposición, incineración, cobertura con vegetación).

Por último, se tomaron las muestras siguiendo el protocolo especificado en el proyecto y se fotografiaron los materiales *in situ* y los ambientes de disposición final. Las muestras se trasladaron al laboratorio Sustratos de la FCA para dar ingreso e iniciar las determinaciones correspondientes.

Durante 2017, 2018 y parte de 2019 se relevó el área industrial de Federación, parte del Departamento Concordia, corredor Paraná – Ramírez y la Localidad de Maciá.

Los materiales recolectados corresponden en su mayoría a desechos de aserraderos: aserrines, virutas, madera triturada o chips y cortezas de eucaliptus, pino, algarrobo o caldén.

Estos materiales son depositados en plantas de residuos de Municipios cercanos o en los mismos predios de las empresas. Se consideraron aquellos productos que no se pueden reutilizar en la industria, por estar contaminados con suelo del lugar o cortezas que no tienen aplicación actual, como lo es la corteza de eucaliptus denominadas en la industria como “cáscara de eucaliptus”.

La mayor parte de los productos enumerados en párrafos anteriores, cuando están limpios son reutilizados para la fabricación de aglomerados, para la generación de energía térmica en calderas, elaboración de pasta de celulosa, para cama de animales, entre otros usos.

En todos los sitios de disposición final de desechos de aserraderos, se observó que son quemados constantemente para reducir su volumen. También se observó pilas que se degradan naturalmente por acción de organismos presentes en el ambiente.

En total se identificaron y recolectaron muestras de aserrines, virutas, cortezas, madera triturada, lodos de depuradoras (industria de la madera e industria frigorífica), residuos de plantas de silos (crudos e incinerados), escorias de carbón (calderas), compost de corteza de pino y lombricompuestos. Se les realizaron mediciones físicas y químicas y se confeccionó un muestrario de los productos más promisorios.

## **Descripción de propiedades de materiales recolectados con posibilidades de uso como sustratos de cultivos**

### **Cascaras de arroz**

Para este producto se visitó el área industrial arroceras de San Salvador, Villa Elisa y Concordia. Allí los residuos son básicamente cascaras de arroz, son almacenados en silos, ubicados dentro de la misma planta industrial que lo genera. El destino principal es la venta para camas en la cría de pollo parrillero. También lo utilizan en algunos molinos para generar calor para secado de grano (combustión).

Una característica poco alentadora para el uso de la cáscara de arroz natural es la abundante cantidad de semillas de malezas halladas en los materiales muestreados, con predominio de semillas de capín (*Echinochloa spp.*), maleza que generó resistencia a glifosato (Papa et al., 2010). Diseminar esta maleza mediante su uso como sustrato de cultivo acarrearía un problema productivo muy serio, por lo que sugieren alternativas como el compostado o la carbonización, para eliminar los propágulos y poder incorporar este residuo en la formulación de sustratos.

El cuadro 1 muestra características de cáscara de arroz natural y cáscara de arroz carbonizada elaborada por el grupo de trabajo del proyecto PID UNER 2185.

**Cuadro N° 1:** Caracterización física y química de cáscara de arroz natural (CAN) obtenida de molino arrocero entrerriano y cascara de arroz carbonizada (CAC) elaborada en la FCA UNER a partir CAN.

Materiales	EPT (%)	CRA (%)	CA (%)	MS(%)	Ds (kg m <sup>-3</sup> )	Dp (g cm <sup>-3</sup> )	MO (%)	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )
CAN	94,00	8,00*	86,00*	6,00	95*	1,63*	81,00*	6,70*	0,91*
CAC	93,00	13,00*	80,00*	7,00	131*	1,81*	61,99*	7,70*	1,54*
Ref.	>85	55-70	15-30		<400	----	----	5,2- 6,3	<3,5

\* Diferencias significativas al 5% prueba de T. Ref.: Valores de referencia según la bibliografía, para ser considerado un sustrato adecuado para su uso en contenedores. EPT: Espacio poroso total; CRA: Capacidad de retención de agua a -10 hPa; CA: Capacidad de aireación; MS: Material sólido; Ds: Densidad del sustrato; Dp: Densidad de partículas; MO: Materia orgánica; pH: reacción del sustrato; CE: Conductividad eléctrica.

La cáscara de arroz ya ha sido caracterizada y es usada como componente de diversas mezclas para cultivo en contenedores, tanto en estado natural como compostada o carbonizada, como elemento puro o en mezclas con otros materiales (Kampf y Jung, 1991; Belle y Kampf, 1994, Marusich, 2005).

Como se observa en el Cuadro 1, estos subproductos presentan elevada porosidad total y espacios de poros con aire, incluso luego de ser carbonizados. La carbonización incrementó la retención hídrica, la salinidad y el pH. Los altos valores de CA y EPT son unas de las características sobresalientes de estos materiales y coinciden con reportes de estudios realizados por diferentes investigaciones, en los cuales destacan elevada porosidad total una baja capacidad de retener agua, buena aireación y valores de pH cercanos a la neutralidad (Kampf y Jung, 1991; Burés, 1997).

### Cortezas de pino compostadas

Son desechos de la industria de la madera y su reciclado disminuye la presión que producen sobre el ambiente cuando se acumulan por largos períodos (Landis, 1990; Burés, 1997). La corteza de pino es uno de los materiales más empleados para formular sustratos orgánicos en la provincia de Entre Ríos y se aplica en la propagación comercial de forestales, frutales y en plantas ornamentales (Alorda, 2002; Acosta Durán, 2008). Los productores/viveristas que relevamos preparan cortezas compostadas (forestales, cítricos y ornamentales), pero solo uno de ellos elabora a nivel industrial y para su comercialización a gran escala, contando con un stock permanente de 2000 m<sup>3</sup> (Concordia, Entre Ríos). Los restantes lo hacen para auto-abastecimiento. Algunos viveristas adquieren cortezas de pino compostada en Corrientes, Misiones o en Entre Ríos.

No caben dudas sobre los beneficios ambientales que significa utilizar productos derivados de la agroindustria de la madera para la producción de plantas en contenedores, pero es de suma importancia conocer y manejar adecuadamente las propieda-

des de estos materiales, en particular las cualidades físicas. Un producto o material, bajo la misma denominación, puede variar sustancialmente sus propiedades de acuerdo al estado de descomposición (crudo o con diferentes grados de compostaje – foto 7), al grado de molienda, a la apertura de tamiz utilizado para zarandeo (Bilderbark y Lorscheider, 1995; Saunders et al., 2006; Wright et al., 2008), entre otros factores, y como resultado será necesario ajustar las prácticas de manejo de cultivo como son la altura del contenedor seleccionado, el riego y la fertilización. Conocer en detalle el comportamiento físico de un producto, con diferentes tratamientos para su elaboración ó fabricación, permitiría regar con mayor exactitud y sería de gran utilidad para ajustar los procesos de industrialización de acuerdo a las demandas de los diferentes sistemas productivos en los que se emplean.

**Cuadro N° 2:** caracterización física y química de cortezas de pino compostadas (CPC), elaboradas en plantas de compostaje de Entre Ríos.

Materiales	EPT (%/v)	CRA (%/v)	CA (%/v)	Ds (kgm <sup>-3</sup> )	Dp (gcm <sup>-3</sup> )	MS(%)	MO(%)	pH	CE (dSm <sup>-1</sup> )
CPC Tamiz. 1	87,58	47,69	39,89	217,5	1,75	12,42	67,03	3,78	2,35
CPC Tamiz. 2	85,2	53,7	32,5	270	1,81	14,8	60,5 c	3,26	7,9
CPC Gruesa	88,94	44,52	44,42	193,7	1,75	11,06	66,96	4,17	1,42
CPC Export.	87,2	45,3	41,90	230	1,80	12,8	61,5	4,58	7,25
Ref.	>85	55-70	15-30	<400	----	----	----	5,2-6,3,	<3,5

En el cuadro precedente se observa que las cortezas compostadas presentan valores adecuados de porosidad total y bajos de CRA, los cuales son similares a los reportados para estos materiales en Entre Ríos (Valenzuela, 2009).

En cuanto a las características químicas observadas, los valores de pH son coherentes con análisis realizados a lo largo de más de 10 años en materiales similares de la región (Valenzuela, 2010). Respecto de los valores elevados de salinidad medidos en dos de las cuatro cortezas, fue porque les incorporan fertilizantes de liberación lenta, ya sea por demanda de los compradores o con la idea de incorporar valor agregado a estos productos.

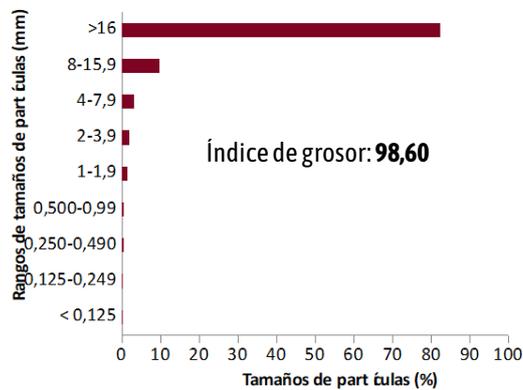
### **Residuos Industria Frigorífica**

En contactos con personal vinculado a tratamiento de residuos de industria frigorífica, identificamos la necesidad de estas empresas de dar destino final a lodos de decantación de lagunas de tratamiento de aguas residuales.

Ante el riesgo de contaminación biológica de los integrantes del grupo, fue necesario trabajar con procedimientos de manipulación e indumentaria seguridad. Luego de acondicionamiento del material muestreado, se procedió a realizar los análisis correspondientes:

**Cuadro N° 3 y Gráfico N° 1:** Distribución de tamaño de agregados (partículas) e índice de grosor en lodo de piletas de decantación de aguas residuales de frigorífico.

Intervalo (mm)	%
< 0,125	0,28
0,125-0,249	0,20
0,250-0,490	0,45
0,500-0,99	0,47
1-1,9	1,57
2-3,9	1,85
4-7,9	3,11
8-15,9	9,83
>16	82,25
Total	100



### Consideraciones

El material se caracterizó por una elevada capacidad de retener agua y su espacio de aireación es escaso. En estado húmedo presentaba una consistencia pastosa que podría dificultar su manipulación en la formulación de sustratos, en estado seco se contrajo casi en un 50% su volumen (Cuadro 4), presentando estructura columnar, con agregados fuertemente comprimidos, difíciles de desgranar y con características hidrofóbicas (los agregados secos luego de sumergidos en agua demandaron más de 48 horas hasta alcanzar la hidratación completa).

**Cuadro N° 4:** Propiedades de lodo de lagunas de depuración de aguas residuales de frigorífico

Material	EPT (%/v)	CRA (%/v)	CA (%/v)	MS (%/v)	Ds (kg m <sup>-3</sup> )	Dp (g cm <sup>-3</sup> )	H (%)	MO (%)	pH	CE (dSm <sup>-1</sup> )	CV (%)
Lodo frigoríf.	73,35	71,06	2,79	26,15	564,80	2,16	73,62	29,67	7,28	1,2	48,49
Ref. *	>85	55-70	15-30	<15	<400	---	----	----	5,2-6,3	<2 <sup>**</sup> <35 <sup>***</sup>	>30

\*Valores de referencia según la bibliografía, para ser considerado un sustrato adecuado para su uso en contenedores.\*\*: Valor de referencia: adecuado para plantines, plantas en macetas y plantas sensibles a sales. EPT: Espacio poroso total; CRA: Capacidad de retención de agua a -10 hPa; CA: Capacidad de aireación; MS: Material sólido; Ds: Densidad del sustrato; Dp: Densidad de partículas; MO: Materia orgánica; pH: reacción del sustrato (2:1); CE: Conductividad eléctrica (2:1); H: humedad de ingreso; CV: contracción de volumen.

Ante la posibilidad de que sea un material con que puede contener cualidades poco apropiadas para la germinación y posterior desarrollo adecuado de cultivos, se le realizó un bioensayo de germinación.

Se siguieron los lineamientos generales propuestos por Zucconi y col. (1981a y b), los que fueron propuestos para valorar el grado de madurez de compost. Consiste en una técnica para detectar la posible presencia de sustancias fitotóxicas en compost mediante la germinación de semillas de diferentes especies vegetales cultivadas en cajas de petri. En este caso se utilizó semilla de lechuga tipo Brisa, con tratamiento de frío (<10°C durante 7 días). Los tratamientos fueron colocados en cámara de germinación con alternancias de luz-oscuridad de 12 horas. Los datos corresponden al promedio de 4 repeticiones de 50 semillas cada una.

**Cuadro N° 5:** Ensayo de germinación para la detección de fitotóxicos no específicos en lodo de piletas de decantación de aguas residuales de frigorífico

<b>MUESTRALODO DE FRIGORÍFICO:</b> % germinación 48 h: 20,7 % germinación 72 h: 29,31 % germinación 96 h: 52%	<b>TESTIGO:</b> % germinación 48 h: 68 % % germinación 96 h: 91,5%
--	--

Los resultados observados, manifiestan riesgo de fitotoxicidad no específica debido al uso de lodo de depuración de aguas de frigorífico.

### **Derivados de contenido ruminal generado en frigorífico de ganado vacuno**

Los residuos de contenido ruminal, generados en frigoríficos que faenan ganado vacuno, podrían ser utilizados para elaborar materiales aptos para cultivos en contenedores. Los lombricompuestos son un ejemplo de ello. Se tomaron muestras de lombricompuestos obtenidos a partir de contenido ruminal, para su posterior análisis de acuerdo con el Cuadro 6 por sus características físicas, pueden ser utilizados para la formulación de medios para cultivos sin suelo. Los niveles de salinidad podrían causar problemas en la germinación o de fitotoxicidad por excesos de sales si se los utiliza puros, resultados que sugieren la necesidad de utilizarlos en mezclas con materiales que diluyan el contenido salino o reducir la salinidad mediante lavado con agua de baja salinidad.

**Cuadro N° 6:** Propiedades físicas y químicas de dos lombricompuestos obtenidos a partir de contenido ruminal, según análisis de su uso como sustrato para plantas.

Propiedades	Lombricomp.1 (cont. ruminal)	Lombricomp.2 (cont. Ruminal)	Ref. <sup>(1)</sup>
Densidad de sustrato (kg m <sup>-3</sup> )	180	190	< 0,40
Densidad de partícula (g cm <sup>-3</sup> )	1,93	1,96	1,45 - 2,65
Espacio poroso total (%)	90,67	90,41	> 85
Capacidad de retención agua (%)	63,87*	44,99*	55-70
Poros con aire (%)	26,08*	45,43*	15-30
Material sólido	9,67	9,59	< 15
PH	5,35*	6,55*	6,5 - 7,5
Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )	2,73*	5,15*	< 2 <sup>a</sup> < 3,5 <sup>b</sup>
Materia orgánica (%)	48,63	45,56	---

<sup>(1)</sup> valores de referencia para sustratos. <sup>a</sup> adecuado para plantines, plantas en macetas y plantas sensibles a sales. <sup>b</sup>: cultivos en pleno crecimiento. \* Los valores indicados con un asterisco, manifestaron diferencias estadísticas significativas al 5%.

Producto ofrecido por un grupo de emprendedores de una localidad del este de Entre Ríos. Utilizan diferentes residuos orgánicos para su elaboración y ello depende de la disponibilidad local (Cuadro 7).

**Cuadro N° 7:** Propiedades físicas y químicas de dos lombricompuestos obtenidos a partir de desechos de la producción agropecuaria (estiércoles, residuos de cosecha, entre otros)

Propiedades	Lombricompuesto (residuos múltiples)	VR <sup>(1)</sup>
Densidad de sustrato (kg m <sup>-3</sup> )	300	< 0,40
Densidad de partícula (g cm <sup>-3</sup> )	1,96	1,45 - 2,65
Espacio poroso total (%)	84,70	> 85
Capacidad de retención agua (%)	65,31	55 - 70
Poros con aire (%)	19,39	15 - 30
Material sólido	15,30	< 15
PH	6,24	6,5 - 7,5
Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )	6,40	< 3,5
Materia orgánica (%)	47,39	---

Los resultados de análisis de lombricompuestos de orígenes diversos presentan diferentes propiedades físicas y químicas, ello constituye una limitante importante en la incorporación a la cadena de comercialización a fin de establecer estándares de calidad.

## Conclusiones

Los recursos analizados en este informe presentaron características diferenciales: desde la elevada porosidad total y de aireación de CAN, la variabilidad de propiedades de las cortezas compostadas en relación al proceso de elaboración, propiedades físicas adecuadas en los lombricompuestos y problemas variados en lodos de depuración de lagunas de frigoríficos.

Los resultados analíticos revelan la necesidad de modificar las propiedades de los diferentes materiales para adecuarlos al cultivo sin suelo.

La cáscara de arroz natural puede ser un medio de diseminación de malezas resistentes al glifosato, por lo cual debe ser tratada mediante técnicas que destruyan los propágulos, tales como el compostado, la carbonización o el triturado. Las mezclas de estos residuos con otros de mayor capacidad de retener agua resultan técnicas apropiadas para regular la porosidad de aireación.

## Cultivo de algarrobo blanco (*Neltuma alba* Griseb) en contenedores con sustratos eco-compatibles

Durante los últimos 20 años se han desarrollado tareas de restauración de la vegetación autóctona, para conservar la diversidad biológica de Entre Ríos (Rosenberger y col, 2011), para lo cual se necesita producir plantines de calidad. Se conocen diferentes opciones para lograrlo: una es sembrar especies nativas directamente en el área, otra es multiplicarlas en viveros a campo (suelo) y trasplantar a raíz desnuda o con cepellón (raíces + suelo), y una práctica cada vez más utilizada es la propagación en macetas o contenedores y trasplante con cepellón (raíces + sustrato). Esta última técnica frente a las otras prácticas de propagación tiene como ventajas una gran homogeneidad de las plantas respecto a las obtenidas en suelo, mayor sanidad, mayor precocidad, un periodo de trasplante amplio, alto porcentaje de supervivencia post-trasplante por menor estrés y facilidad de transporte (Styer y Koransky, 1997).

La calidad de un plantín forestal nativo está dada por su capacidad para adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación. Depende de las características genéticas y de las técnicas usadas para su producción en vivero

(Prieto y col., 2009). Para lograr un plantín de calidad es fundamental contar con un sustrato que proporcione a las plantas condiciones apropiadas para su crecimiento, que su obtención y uso no cause un impacto ambiental negativo y que su costo sea razonable. En la práctica un solo material no suele cumplir con estos requisitos elementales, muchas veces hay que elaborar mezclas para lograrlo (Valenzuela y col., 2005). Los sustratos deben ser un soporte poroso, capaz de retener agua para abastecer a las plantas y que favorezca la aireación para la demanda de oxígeno para la respiración radical (Joseau, 2001).

En Entre Ríos el material más utilizado para la propagación de especies nativas arbóreas es el suelo agrícola, por su disponibilidad local y bajo costo. Se lo considera un recurso natural no renovable, con propiedades físicas poco propicias para el crecimiento de un plantín, dada su baja porosidad total (aprox. 50%), baja aireación, alto peso del material en el contenedor, además, puede portar propágulos de malezas, patógenos y plagas animales. El aprovechamiento de los residuos de la agroindustria, como componente de sustratos, puede garantizar la obtención de un material alternativo, de costo razonable, fácil disponibilidad y además estaríamos evitando su acumulación en el ambiente y los diversos problemas que esto implica. Por otra parte, la eliminación del suelo como componente de sustratos y la incorporación de otros materiales con mejores propiedades, podría aportar mejores condiciones físicas y químicas para el cultivo de nativas en contenedores (Gallardo et al., 2006).

Numerosas investigaciones han demostrado que muchos residuos o subproductos generados por la actividad agroindustrial pueden aprovecharse para la elaboración de sustratos, reemplazando a materiales que resultan de mala calidad o causan problemas ambientales por su extracción. A modo de ejemplo se puede mencionar al compost de residuos verdes (Hartz, 1998), al aserrín de coco (Meerow, 1994, Noguera Mutray, 1999), compost de estiércol vacuno (García Prendes, 2001), aserrín de salicáceas (Favaro, 2002), fibra de madera (Domeño y col., 2009), residuos de la industria de conserva de palmito (Fermino y col., 2010), entre muchos otros. En base a los resultados observados y difundidos para los diferentes insumos, se inició una demanda creciente de los más promisorios, con la sustitución efectiva de los sustratos derivados de recursos no renovables.

Para diferenciar estos recursos procedentes del reciclado o reutilización de residuos sólidos se los denominó "sustratos eco-compatibles" (Masaguer y col., 2005). Es de suma importancia identificar que recursos están disponibles en la región de producción y cuáles son las propiedades físicas, químicas y biológicas para ajustar técnicas de propagación de árboles nativos en contenedores mediante el empleo de sustratos formulados con residuos de agroindustria.

Dentro de los materiales disponibles en la región se destaca la cáscara de arroz, residuo procedente de molinos arroceros entrerrianos. Puede ser utilizada como componente de mezclas, ya sea en estado natural, compostada o carbonizada (Kampf y Jung, 1991; Belle y Kampf, 1994; Marusich, 2005, Valenzuela, 2009). La cáscara natural es un material de baja densidad seca ( $90 - 220 \text{ kg m}^{-3}$ ), elevada porosidad total y escasa retención hídrica, su pH ES es cercano a la neutralidad, mientras que su CE y CIC son bajos. Es un material rico en macroelementos como el potasio (K), fósforo (P) y pobre en nitrógeno (N), por lo que se debe añadir este elemento cuando se la composte (Burrés, 1997). Considerando la cáscara de arroz carbonizada, los valores de espacio poroso total disminuyen con el aumento del grado de carbonización, como consecuencia de

la reducción del tamaño de las partículas. Sin embargo todos los valores físicos de este carbón se ubican dentro de niveles apropiados, considerándose un material altamente poroso y una distribución de poros favorables a los de mayor diámetro, semejantes a materiales como la perlita agrícola (Burés, 1997; Marusich, 2005, Valenzuela, 2009).

Otros recursos locales son los deshechos de la industria forestal. En el estudio de materiales que puedan funcionar como sustratos y que cumplan los requisitos para ser considerados como alternativos, se abre la posibilidad de utilizar un recurso como es el aserrín de madera o virutas procedentes de pinos o eucaliptus. La calidad de estos materiales depende del tipo de madera que se utilice y de los aditivos (conservantes, etc) que pueden haber sido añadidos (Urrestarazu, 2004; Muro, 2004). Los aserrines podrían manifestar problemas de drenaje por exceso de humedad, por lo que debe mezclarse con materiales de partículas más gruesas que aporten aireación, tanto durante el compostaje como en el cultivo, puesto que puede compactarse produciendo procesos anaeróbicos de fermentación que dan lugar a algunos ácidos orgánicos. Se han hallado problemas de fitotoxicidad con algunos aserrines envejecidos que han pasado por una fermentación ácida (Domeño y col., 2009).

La posibilidad de incorporar residuos de la agroindustria local a la formulación de sustratos va de la mano de un estudio minucioso de sus propiedades y de la respuesta de las plantas, para asegurar el éxito en la propagación de cultivos en contenedores. Bajo los argumentos expuestos en los textos precedentes, surgió la idea de realizar una experiencia con los siguientes objetivos:

. Evaluar el uso de residuos de la agroindustria de Entre Ríos para la formulación de sustratos “eco-compatibles”.

- Estudiar el comportamiento de plantines de algarrobo blanco (*Neltuma alba* Griseb) cultivados en diferentes sustratos derivados de residuos agroindustriales.
- Generar información técnica para multiplicación de nativas en contenedores basada en sustratos “eco-compatibles”.

## Materiales y Métodos

La experiencia se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias U.N.E.R. El sitio se encuentra ubicado en el Municipio de Oro Verde de la Provincia de Entre Ríos.

Se utilizaron sustratos formulados con materiales provenientes de residuos de la actividad agroindustrial: Cáscara de arroz carbonizada (**CAC**); Aserrín fino de pino degradado natural (**AF**); Aserrín grueso de pino (**AG**); Aserrín de coco (**AC**), insumo comercial seleccionado como material “testigo” para comparar con los productos regionales.

Se realizó la recolección y acondicionamiento de materiales regionales y se evaluaron las propiedades físicas y químicas de los cuatro insumos, ya que para valorar la calidad de un sustrato no basta con conocer las propiedades generales, sino que es necesario determinarlas para cada ingrediente o mezcla particular, y contar con datos necesarios para interpretar los resultados alcanzados.

A partir de estos materiales listados se formularon cuatro sustratos que se utilizaron como tratamientos en el ensayo: **1.-** CAC+AF 1:1 v/v - **3.-** AG+AF 1:1 v/v - **2.-** CAC+AC 1:1 v/v - **4.-** AG+AC 1:1 v/v

Se tomaron muestras representativas de los sustratos (tratamientos) para realizar

las determinaciones físicas y químicas. Todos los sustratos evaluados fueron fertilizados con un fertilizante de liberación lenta de baja solubilidad, rico en fósforo y con una proporción balanceada de nitrato/amonio y no contiene cloruros (10-41-14). Especialmente formulado para almácigos forestales y otros tipos de producciones, donde se requiere elevado contenido de fosfatos en la etapa de desarrollo de la raíz.

Las semillas de algarrobo blanco se cosecharon de vainas provistas por la cátedra de Producción Agrosilvopastoril. La siembra se realizó de forma manual, en bandejas forestales de polietileno negro con veinticinco (25) alvéolos de 100cm<sup>3</sup>, las cuales se completaron con sustratos debidamente hidratados con agua desionizada. Finalizada la siembra, el ensayo se instaló sobre una mesada cubierta por un microtúnel de polietileno cristal y malla anti insectos.

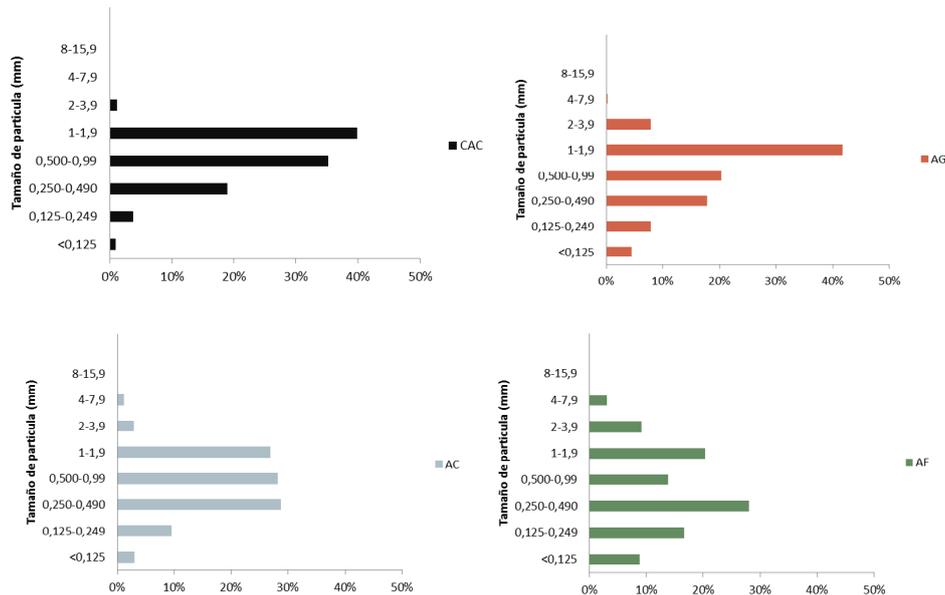
Para este experimento se seleccionó un diseño de bloques completos aleatorizados con cuatro tratamientos (sustratos), cada uno compuesto por cinco bandejas. Se tomó como repetición al plantín individual. A partir de los 30 días de la siembra y cada 20 días a lo largo del ciclo de crecimiento de las plantas, se tomaron al azar una bandeja por tratamiento para la medición de parámetros morfométricos y fisiológicos, a saber: **AP**: altura de planta (cm), medida desde el cuello hasta el último nudo desarrollado. **DT**: diámetro de tallo (mm), medido a un mm sobre el nivel del cuello con un calibre digital. **NH**: número de hojas por planta. **TAH**: tasa de aparición de hojas,  $TAH = (N^{\circ} \text{ hojas final} - N^{\circ} \text{ hojas inicial}) / \text{Tiempo (días)}$ . **IC**: integridad del cepellón (IC %): variable registrada mediante clasificación visual. Para ello, en cada muestreo se extrajo el total de los plantines de la bandeja forestal y se procedió a observar la integridad de los cepellones por plantín, otorgándole a cada uno un valor porcentual. En una escala de cinco niveles: 1= 100% de integridad de cepellón - 2= 75% de integridad de cepellón - 3= 50% de integridad de cepellón - 4= 25% de integridad de cepellón - 5= 0% de integridad de cepellón. **IE**: Índice Esbeltez (AP /DT) o índice de robustez: es la relación entre la altura de planta (cm) y el diámetro del cuello (mm) (Rodríguez, 2008). **BA**: biomasa aérea (g/planta): en cinco momentos del desarrollo experimental se realizó el corte de la parte aérea de todas las plantas presentes en la bandeja elegida al azar de cada tratamiento. Cada plantín fue colocado de manera individual en bolsas de papel debidamente identificadas y se llevaron a estufa de circulación forzada alcanzando 70°C hasta lograr peso constante (48 hs). **BR**: biomasa radical (g/planta). En cinco momentos del desarrollo experimental se realizó el corte del sistema radical de todas las plantas presentes en la bandeja elegida al azar de cada tratamiento, luego se procedió a lavarlas con agua para retirar las impurezas y eliminar la totalidad del sustrato. Las raíces fueron colocadas de manera individual en bolsas de papel debidamente identificadas y se llevaron a estufa de circulación forzada a 70°C hasta lograr peso constante (48 hs)

**BT**: biomasa total (g/planta), BA+BR de cada planta muestreada. **ICD**: Índice de calidad de Dickson,  $ICD = BT / (AP/DT) + (BA/BR)$  (BT: biomasa total (g); AP: altura (cm); DT: diámetro (mm); BA: biomasa aérea (g); BR: biomasa radicular (g))

El análisis e interpretación de los resultados se efectuaron mediante estadística descriptiva, análisis de la variancia ( $p < 0,05$ ), comparaciones múltiples de medias por el test de Fischer (0,5), correlaciones y regresión, para lo cual se utilizó el programa Infostat.

## Resultados y Discusión

En el gráfico N°1 se puede observar la distribución del tamaño de partículas de los materiales puros utilizados para formular las mezclas



**Gráfico N°1:** Granulometría de los diferentes materiales utilizados para la formulación de los sustratos experimentales; CAC: cascara de arroz carbonizada; AG: aserrín grueso; AC: aserrín de coco; AF: aserrín fino compostado.

La **CAC** presentó una proporción equilibrada entre gránulos grandes y medios, dando como resultado un 75% de poros con aire (Cuadro N°1). En **AG** se evidenció el predominio de partículas gruesas (>1mm), situación que explicaría su porcentaje de aireación próximo al 60% (Cuadro N°1). Ambos materiales se caracterizaron por muy buena capacidad de aireación y escasa capacidad de retener agua (CRA).

Mientras que el **AC** presentó un equilibrio entre partículas medianas y finas. El **AF** poseyó 25% de partículas finas (< 0,5 mm), proporcionándole una alta capacidad de retener agua. El contenido de partículas inferiores a 0,25 mm del aserrín fino compostado podría ser causal de la menor porosidad total y potencial anoxia por la alta CRA y baja aireación. Una técnica apropiada para mejorar las condiciones físicas de este material podría ser el tamizado para eliminar la fracción extremadamente fina (8%).

Los valores de referencia presentados en el Cuadro N°1 corresponde a las propiedades físicas de referencia para cultivos sin suelo. Que los resultados estén alejados de los rangos no indican que sean inapropiados para su uso, sino que se les debe aplicar prácticas de manejo que se adapten a las características del material y al sistema de producción.

**Cuadro N° 1:** Propiedades físicas de los residuos de la agroindustria utilizados en la formulación de los sustratos

Materiales puros	EPT (%)	CRA (%)	PA (%)	Ds kg m <sup>-3</sup>	Ms (%)
CAC	90,00	19,03	70,98	177,91	10,00
AG	89,68	31,06	58,62	156,83	10,32
AC	93,17	49,44	43,74	104,72	6,83
AF	86,06	72,60	13,46	247,96	13,94
Ref.	>85	55-70	15-30	<400	<15

Materiales puros: CAC: cascara de arroz carbonizada; AG: aserrín grueso de madera sin compostar; AC: aserrín de coco; AF: aserrín fino de madera compostado. Propiedades físicas: EPT: espacio poroso total; CRA: capacidad de retener agua a -10hPa; PA: poros con aire; Ds: densidad de sustrato; Ms: material sólido.

Desde el punto de vista físico, todos los materiales puros presentaron valores de porosidad total dentro de los niveles de referencia (> 85%). Es ampliamente conocido que la porosidad total elevada es una propiedad deseable para el cultivo de plantas en macetas (Abad y col, 1993). Calidad confirmada para **CAC** y descrita por numerosos trabajos de investigación (Kampf, 1994; Burés, 1997; Marusich, 2005; entre otros); y para **AC**, material ampliamente difundido a nivel mundial, el que puede alcanzar valores superiores al 94% (Noguera Murray, 1999). Los materiales regionales **AG** y **AF** mostraron muy buenos valores de porosidad total. Este trabajo reporta datos que hasta el momento no se conocen o al menos no han sido difundidos para Entre Ríos.

A nivel internacional existen investigaciones donde se han utilizado aserrines con distintos grados de compostaje, para sustituir recursos no renovables en la formulación de sustratos para plantines de especies arbóreas nativas. Los reportes científicos resaltan los buenos resultados en el comportamiento de los plantines cultivados en estos medios, pero los mismos no cuentan con estudios de las propiedades físicas de los materiales utilizados que permitan una comparación con el presente trabajo (Mhango y col., 2008).

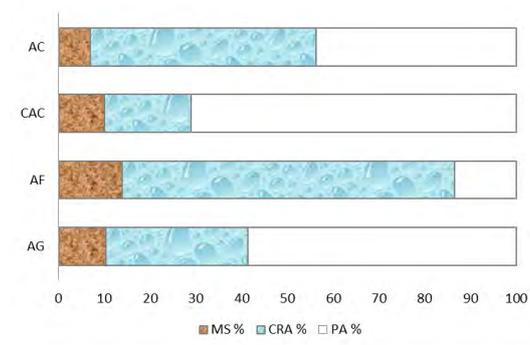
La CRA mostró características contrastantes, en el aserrín grueso sin compostar y en la cascara de arroz carbonizada los valores fueron inferiores al intervalo 55-70 (%), lo que estaría indicando la necesidad de manejar una elevada frecuencia de riego pero con bajo volumen de agua, o la posibilidad de mezclarlos con materiales más finos que mejoren esta cualidad, como el aserrín fino o el aserrín de coco. Existe información local que demuestra que en un material como la fibra de palma, con muy baja capacidad de retener agua, aumenta su retención hídrica al mezclarse con corteza de pino compostada, la cual posee mayor CRA. (Marse y Satler, 2010). Bertolotto en 2010 lo demostró el mismo efecto al formular sustratos con turba rubia (alta CRA) y corteza de pino compostada (menor CRA).

El valor máximo de 30% sugerido para la variable poros con aire (PA) fue superado ampliamente por la **CAC**, la cual es responsable de mejorar la aireación en las mezclas con materiales de granulometría fina, característica referenciada en diferentes fuentes de información bibliográfica (Burés, 1997, Marusich, 2005). Siguen en orden decreciente de magnitud **AG** y **AC**. La elevada porosidad con aire es una característica deseable desde el punto de vista del enraizamiento, ya que para el metabolismo celular el abastecimiento de oxígeno es requisito indispensable, en particular en contenedores donde las raíces se encuentran confinadas en un volumen reducido y limitadas por las paredes y base de la maceta (Kampf, 2005). Una consideración importante respecto al manejo de los materiales aireados, es el control del riego para evitar el estrés hídrico.

En el otro extremo se encontró el **AF**, con un valor por debajo del mínimo sugerido, característica que limitaría su empleo como único componente de sustrato para cultivo en pequeños contenedores.

Al observar la densidad de sustrato, todos los materiales se encontraron por debajo de  $400 \text{ kg m}^{-3}$ , característica que se considera adecuada y que corrobora datos aportados en otras investigaciones para **AC** y **CAC** (Noguera, 1999; Marusich, 2004). Un valor superior a  $400 \text{ kg m}^{-3}$  indica que existe un volumen muy grande ocupado por las partículas y un posible efecto negativo sobre el espacio poroso total (Kampf y Fermino, 2000). Además es un factor de manejo que afecta la calidad del trabajo en el vivero, el peso elevado de las macetas regadas dificulta su manipulación, traslado y transporte para la venta.

A continuación se presenta el gráfico N°2 que ilustra las principales propiedades físicas que diferencian a los materiales puros utilizados en la formulación de sustratos.



**Gráfico N°2:** caracterización de las principales propiedades físicas de los materiales utilizados en la formulación de los sustratos experimentales.  $\text{CRA\%} + \text{PA\%} = \text{EPT\%}$ .

El siguiente gráfico presenta la granulometría obtenida en las cuatro sustratos formulados para el ensayo, puede observarse como cambia el porcentaje de los tamaños de partículas, lo que conlleva a propiedades físicas diferentes a la de los materiales puros.

El análisis de los resultados permite afirmar que los sustratos eco-compatibles presentaron propiedades físicas que los hacen aptos para su uso en contenedores (Cuadro N°2).

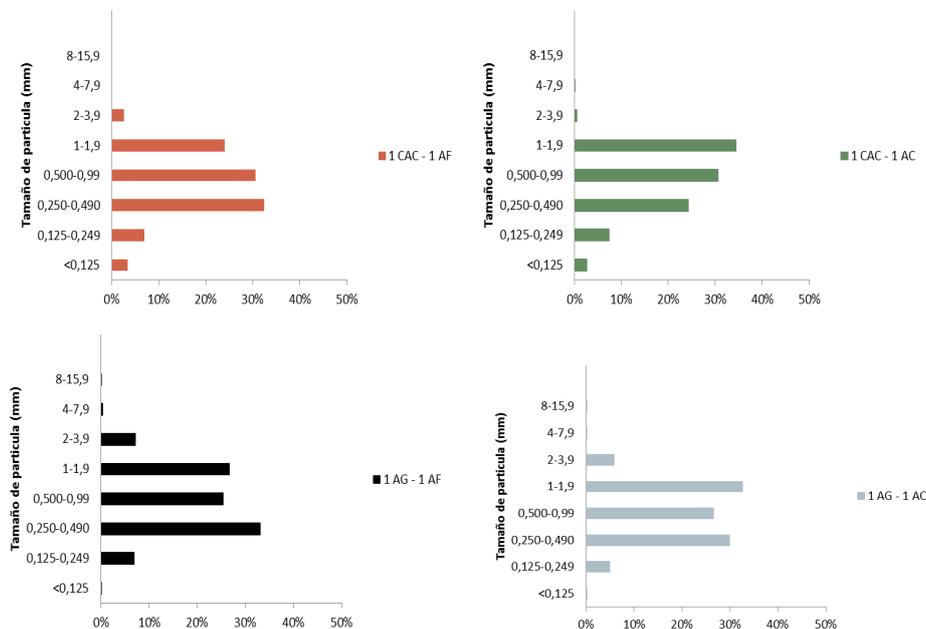
Los sustratos en estudio presentaron una porosidad total adecuada para el cultivo en contenedores ( $>85\%$ ). El análisis de esta variable arrojó diferencias estadísticas significativas entre sustratos, a favor de las mezclas que contienen **AC** en su formulación (Cuadro N°2).

Los sustratos que contienen **AF** presentaron la menor porosidad total, esto puede explicarse por la cantidad de partículas finas, descrito en párrafos anteriores, que reducen el volumen total de poros y la aireación (Gráfico N° 1; **AF**), no obstante lo positivo de utilizar aserrín fino fue la mejora en la capacidad de retener agua.

La propiedad PA fue mayor en las mezclas que contenían **AC**. El sustrato AG-AF se encontró dentro del rango establecido como adecuado, y los tres restantes superaron dichos valores (muy alta aireación), lo que supone un manejo más estricto y cuidadoso del riego para alcanzar un normal desarrollo de las plantas (Gonzales Real, 1998; Riviere y col., 2005; Landis, 2010).

En cuanto al contenido de material sólido, todas las formulaciones se encuentran dentro de los valores sugeridos para el cultivo en contenedores (Gráfico N°4). No obstante ello, el análisis de variancia reveló diferencias estadísticas significativas para esta variable entre los diferentes sustratos ( $\alpha = 0,05$ ). El sustrato 1 CAC - 1 AF alcanzó la mayor  $D_s$ ,  $229,64 \text{ kg m}^{-3}$ , lo que confirma el efecto preponderante de las partículas finas del aserrín compostado. No obstante, la densidad se encontró muy por debajo del máximo recomendado ( $<400 \text{ Kg m}^{-3}$ ). Pero esta característica le otorgaría mayor estabilidad a los contenedores en el vivero en relación a las otras mezclas que fueron muy livianas.

A continuación se presenta el Gráfico N°4 que ilustra las principales propiedades físicas de los cuatro sustratos analizados.



**Gráfico N° 3:** Granulometría de los sustratos experimentales. 1CAC - 1 AF; 1CAC - 1AC; 1 AG - 1 AF; 1 AG - 1 AC

**Cuadro N° 2:** Propiedades físicas de los sustratos eco-compatibles

Sustratos	EPT (%)	CRA (%)	PA (%)	$D_s \text{ kg m}^{-3}$	$M_s$ (%)
1 CAC-1 AF	87,11 a	50,63 a b	36,49 a b	229,64	12,89 c
1 CAC-1 AC	91,68 b c	44,28 a	47,40 b	139,67	8,32 a b
1 AG-1 AF	88,85 a b	59,83 b	29,03 a	186,02	11,15 b c
1 AG-1 AC	91,94 c	44,89 a	47,05 b	122,89	8,06 a
Significancia	*	*	*	(1)	*

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ); NS: no significativo

\*: Significativas al 5% para el test LSD. (1) No corresponde análisis estadístico por no poseer repeticiones, se estima a través de la materia orgánica.

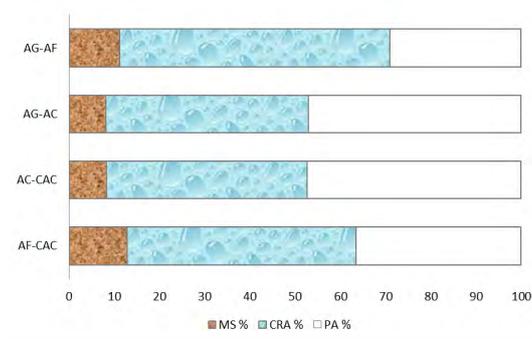
Cuando se evaluó la contracción de volumen en los materiales puros, los que manifestaron este fenómeno fueron el aserrín fino de pino compostado natural (21,6%) y el aserrín de coco (21%). Este último dato coincide con reportes científicos que informan una contracción de volumen inferior al 22% para polvo de coco (Noguera Murray, 1999). Las características presentadas en los aserrines no se evidenciaron en las mezclas (contracción de volumen en sustratos experimentales: 0%).

Las características químicas como pH y CE de los sustratos son factores que inciden en la nutrición y fertilización de las plantas en contenedores, por tal motivo la importancia de conocerlas (Grassi y Dos Santos, 2004).

Los valores Ref. presentados en el cuadro N°3 corresponde a patrones de referencias para ser considerado un sustrato adecuado para su uso en contenedores, lo que implica que no requiere correcciones (lavado, enclado, etc).

De los materiales puros, solamente la cascara de arroz carbonizada se encontró dentro de los valores de referencia de pH (Cuadro N°3), los tres restantes estuvieron por debajo del límite 5,2.

Las plantas pueden crecer sin restricciones en un amplio intervalo de pH, siempre que las concentraciones de nutrientes disponibles se mantengan en niveles suficientes. El más ácido fue el aserrín grueso, lo cual podría provocar deficiencias de algunos nutrientes como el Mg, el Ca, o toxicidad por exceso en otros como Fe y P (Ansorena, 1994).



**Gráfico N°4:** Propiedades físicas de los cuatro sustratos utilizados para el cultivo de algarrobo blanco y quebracho blanco en bandejas forestales. CRA% + PA% = EPT%

**Cuadro N°3:** Valores de Ph, CE y MO obtenidos en los materiales utilizados para la formulación de los sustratos.

Materiales puros	pH	CE ( $dS m^{-1}$ )	MO (%)
CAC	6,27 c	0,83 a	63,73
AG	3,56 a	2,60 c	97,16
AC	4,70 b	1,95 b	93,68
AF	4,90 b	3,80 d	63,91
Significancia	*	*	
Ref.	5,2 - 6,3*	<2 - <3,5**	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ). NS: no significativo \*: Significativas al 5% para el test LSD

Respecto a la CE, el único material que superó el máximo admitido para una planta en pleno crecimiento fue el aserrín fino. Si bien resulta elevada la salinidad para este residuo de la agroindustria, la CE expresa el contenido de sales solubles, por lo tanto, riegos con agua de bajo contenido salino y posterior drenaje produce el lavado del excedente de sales. Otra práctica para minimizar este efecto puede ser mezclar el AF con otros materiales de menor conductividad eléctrica (por ejemplo: CAC y AG).

Cuando se analizó las mismas propiedades para los sustratos experimentales, los resultados fueron más equilibrados en tres de ellos, a excepción de 1 AG - 1 AC (Cuadro N°4), donde la acidez y la elevada conductividad eléctrica podrían causar problemas

en la nutrición de los plantines de algarrobo blanco. A pesar de ello, las plantas no evidenciaron síntomas de desbalance nutricional, además las mismas fueron fertilizadas con 10-41-14.

**Cuadro N° 4:** Valores de Ph y CE obtenidos en los sustratos experimentales.

Sustratos	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	MO (%)
1 CAC-1 AF	5,00 b	3,00 c	63,57
1 CAC-1 AC	5,15 c	1,72 a	75,45
1 AG-1 AF	5,17 c	2,60 b	76,65
1 AG-1 AC	4,00 a	3,00 c	96,16
Significancia	*	*	NS

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ). NS: no significativo \*: Significativas al 5% para el test LSD

### Evaluación del comportamiento de plantines de algarrobo blanco con relación a las propiedades de los sustratos testeados

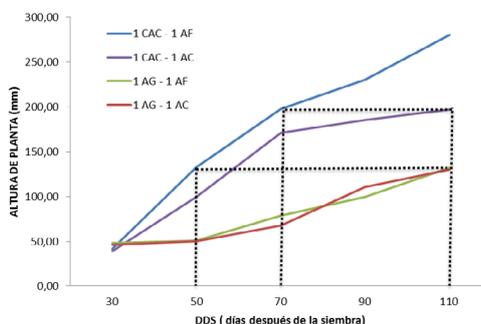
El análisis de variancia evidenció diferencias significativas al 5% entre tratamientos para la AP (cuadro N° 5). El sustrato 1 CAC - 1 AF se destacó durante todo el ensayo, el cual desarrolló los mayores valores medios de altura.

**Cuadro N° 5:** Valores de altura total (mm), desde los 30 días hasta los 110 días después de la siembra (DDS) de algarrobo blanco cultivado en diferentes sustratos eco-compatibles

Sustratos	DDS				
	30	50	70	90	110
1 CAC-1 AF	50,12	132,40 c	197,63 d	230,31 c	280,65 c
1 CAC-1 AC	39,12	99,50 b	171,00 c	185,33 b	196,98 b
1 AG-1 AF	46,20	67,81 a	62,42 a	112,39 a	132,10 a
1 AG-1 AC	47,96	50,62 a	78,72 b	93,02 a	123,48 a
Significancia	NS	*	*	*	*

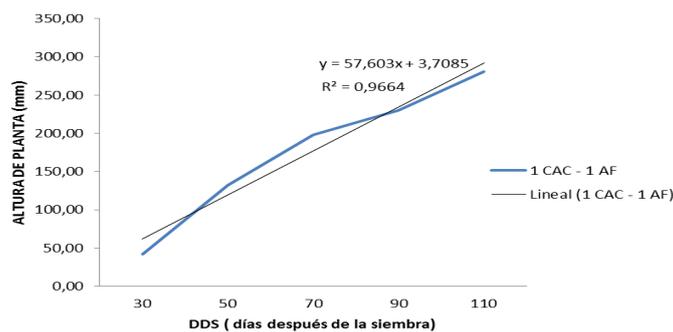
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ); NS: no significativo. \*: Significativas al 5% para el test LSD.

En segundo término, la altura de planta que alcanzó el tratamiento 1 CAC - 1 AC al final del ensayo ya había sido superado por el sustrato 1CAC - 1AF 40 días antes (Gráfico N°5). La altura lograda en los sustratos 1 AG - 1 AF y 1 AG - 1 AC a los 110 días después de la siembra, fue similar a la obtenida por la mezcla destacada 60 días antes (Gráfico N° 5).



**Gráfico N° 5:** Variación de altura de planta durante el período experimental en plantines de algarrobo blanco cultivados en sustratos eco-compatibles.

En un trabajo similar al presente, realizado por *Rosenberger y Spahn (2009)*, se sembraron semillas pregerminadas de las especies nativas *Prosopis chilensis*, *Prosopis affinis*, *Prosopis alba* en sustratos formulados con tierra, estiércol de vaca, compost y resaca. Dichos investigadores reportan una altura promedio de 371,4 mm para *Prosopis alba* (sin discriminar sustratos) a los 180 días de la siembra. Para comparar con los resultados del presente trabajo, se ajustó una ecuación lineal (ecuación gráfico N°6) y se estimó el tiempo que habrían requerido para alcanzar 371,4 mm los plantines de algarrobo en el sustrato 1 CAC - 1 AF. De la estimación surge que habrían llegado a esta altura aproximadamente a los 145 días de la siembra, es decir 35 días antes que para *Rosenberger y col. (2011)*, evidenciando mayor precocidad.



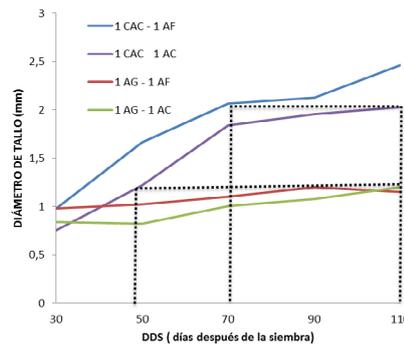
**Gráfico N° 6:** Variación en el tiempo de altura de planta (mm) en plantines de algarrobo blanco cultivados en el sustrato 1 CAC - 1 AF. La línea recta corresponde al modelo lineal:  $Y = 57,603X + 3,7085$ ,  $R^2 = 0,9664$

El parámetro diámetro de tallo siguió el mismo comportamiento que la variable altura (Cuadro N° 6). El sustrato 1 CAC - 1 AF alcanzó los mayores valores medios en toda la etapa experimental.

**Cuadro N°6:** Comparación de valores medios de diámetro de tallo, expresados en **mm**, desde los 30 días hasta los 110 días después de la siembra (**DDS**) de algarrobo blanco cultivados en diferentes sustratos eco-compatibles.

Sustratos	DDS				
	30	50	70	90	110
1 CAC - 1 AF	1,01 b	1,66 c	2,07 c	2,13 d	2,46 c
1 AG - 1 AF	0,98 b	1,10 b	1,02 a	1,19 b	1,21 a
1 AG - 1 AC	0,82 a	0,84 a	1,00 a	1,08 a	1,20 a
1 AC - 1 CAC	0,75 a	1,22 b	1,84 b	1,95 c	2,03 b
Significancia	*	*	*	*	*

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ); NS: no significativo \*: Significativas al 5% para el test LSD



**Gráfico N° 7:** Variación de diámetro de tallo durante el período experimental en plantines de algarrobo blanco cultivados en diferentes sustratos eco-compatibles.

Para calificar un plantín forestal de calidad la relación entre la altura (cm) y el diámetro del cuello (mm) debe ser menor a seis (6), objetivo logrado en el primer muestreo para todas las mezclas, el cual se considera como indicador de la resistencia de la planta a la desecación por el viento, supervivencia y crecimiento potencial en sitios adversos

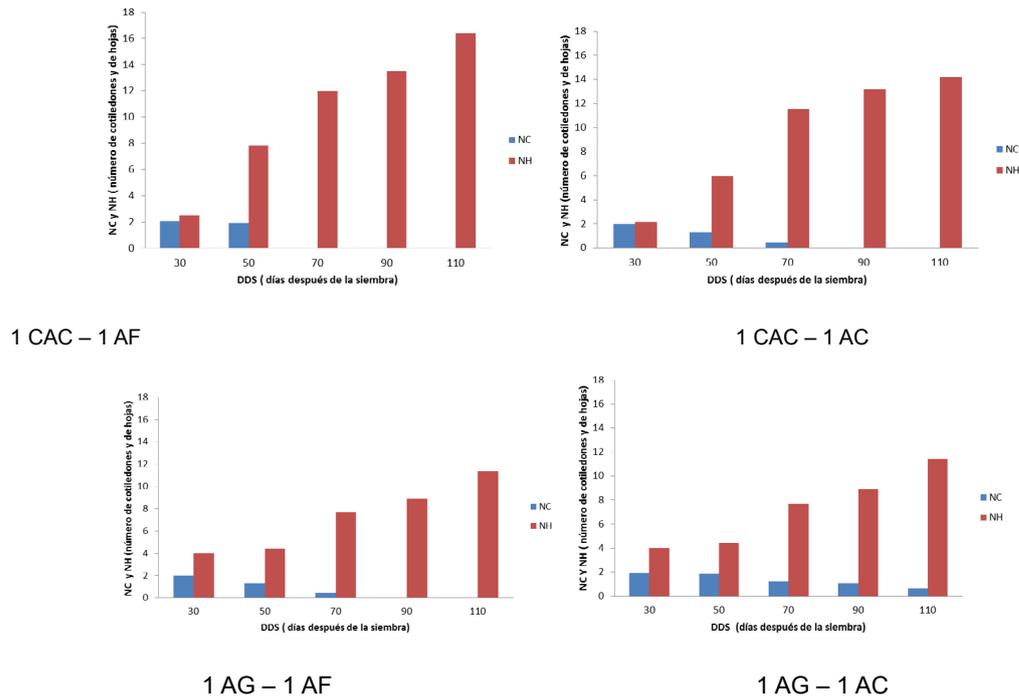
Valores mayores a seis (6) indican que se trata de individuos altos y delgados, menos aptos para sitios con limitación de humedad, con predisposición a daños por viento, sequía y helada, parámetro probado y corroborado en especies forestales comerciales como el pino. De acuerdo con los resultados observados en este trabajo, el índice de esbeltez no sería aplicable a plantines de algarrobo blanco, ya que superó la referencia a partir del segundo momento de muestreo y alcanzó valores mayores a 11 en plantines que, según criterios de evaluación y por las variables analizadas, fueron de buena calidad.

**Cuadro N° 7:** Relación entre la altura de planta (cm) y el diámetro del cuello (mm), Índice Esbeltez, desde los 30 días hasta los 110 días después de la siembra (DDS) de algarrobo blanco cultivados en diferentes sustratos eco-compatibles.

Sustratos	DDS				
	30	50	70	90	110
1CAC-1AF	5,37	7,67 b	9,52 c	10,76 c	11,55 b
1CAC-1AC	4,95	7,74 b	9,32 c	9,47 b	11,45 b
1AG-1AF	4,70	6,03 a	5,90 a	9,34 a b	9,68 a
1AG-1AC	4,83	5,90 a	7,87 b	8,60 a	9,53 a
Significancia	NS	*	*	*	*

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ); NS: no significativo \*: Significativas al 5% para el test LSD

El gráfico N° 8 muestra el número de cotiledones (NC) y el número de hojas (NH) registrados en cinco momentos de la etapa experimental en las plantas de algarrobo blanco sembradas en sustratos eco-compatibles.



**Gráfico N° 8:** Número de cotiledones (NC) y número de hojas (NH) registrados en cinco momentos de la etapa experimental en las plantas de algarrobo blanco sembradas en sustratos eco-compatibles.

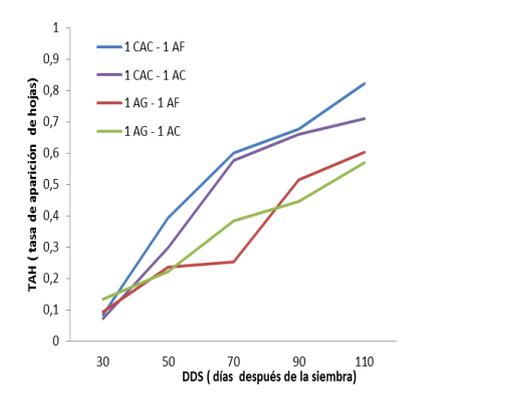
En el sustrato 1 CAC - 1 AF el algarrobo blanco tuvo una emergencia bastante homogénea, solamente en los dos primeros muestreos, a los 30 y 50 días de la siembra se observaron individuos jóvenes con cotiledones, no fue así en los tratamientos 1 AG - 1 AF y 1 AG - 1 AC, donde se observaban cotiledones 70 días posteriores a la siembra y menor número de hojas por planta (Gráfico N° 8). Los plantines del tratamiento 1 CAC - 1 AC se observaban muy heterogéneos y mantuvieron los cotiledones en la totalidad de muestreos.

**Cuadro N° 8:** Tasa de aparición de hojas, expresados en **N° de hojas/ día**, desde los 30 días hasta los 110 días después de la siembra (**DDS**) de algarrobo blanco cultivados en diferentes sustratos eco-compatibles.

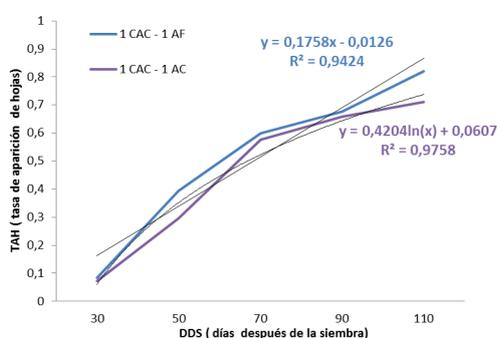
Sustratos	DDS				
	30	50	70	90	110
1 CAC-1AF	0,8	0,16 b	0,17 c	0,16 b	0,17 c
1 CAC-1AC	0,7	0,12 a	0,16 c	0,15 b	0,13 b
1 AG-1AF	0,9	0,10 a	0,07 a	0,11 a	0,11 a
1 AG-1AC	0,13	0,09 a	0,11 b	0,10 a	0,10 a
Significancia	NS	*	*	*	*

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ); NS: no significativo \*: Significativas al 5% para el test LSD

Inicialmente las tasas de aparición de hojas no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. A partir de los 50 días de la siembra comenzó a distinguirse la mezcla 1 CAC-1 AF, la TAH fue siempre mayor en los plantines de dicho sustrato, en concordancia con su mayor altura de planta y diámetro de tallo. La curva de este medio de cultivo presentó una tendencia lineal (Gráfico N°10) y la ecuación que la describe es  $Y = 0,1758x - 0,0126$  ( $R^2 = 0,9424$ ), con un coeficiente de determinación altamente significativo.



**Gráfico N° 9:** Tasa de aparición de hojas para el período experimental de algarrobo blanco sembrado en diferentes sustratos eco-compatibles.



**Gráfico N° 10:** Tasa de aparición de hojas con su respectiva línea de tendencia de los sustratos 1CAC - 1AF y 1CAC-1AC para el período experimental de algarrobo blanco.

Para el sustrato 1CAC - 1AC, el gráfico N°10 muestra una tendencia logarítmica en la variación temporal de la TAH ( $y=0,4204\ln(x)+0,0607$  ( $R^2 = 0,9758$ )). Presentó una tasa de aparición de hojas cercana a la del tratamiento 1CAC - 1AF hasta los 90 días después de la siembra, marcándose una diferencia significativa a medida que llegaba el final del ensayo.

Las tasas de aparición de hojas en los tratamientos 1AG - 1AF y 1AG - 1AC fueron siempre menores y con tendencia lineal, alcanzando un promedio de 12 hojas/plantín a los 110 días de la siembra, mientras que las plantas del sustrato más promisorio lograron un número de hojas promedio cercano a 18.

**Cuadro N°9:** Biomasa Aérea (g) registrada en cinco momentos de la etapa experimental en las plantas de algarrobo blanco cultivadas en sustratos eco-compatibles.

Sustratos	DDS				
	30	50	70	90	110
1CAC-1AF	0,06 b	0,21 c	0,36 c	0,46 c	0,69 b
1CAC-1AC	0,03 a	0,05 a	0,06 a	0,14 a	0,22 a
1AG-1AF	0,04 a b	0,11 b	0,21 b	0,25 b	0,29 a
1AG-1AC	0,05 a b	0,04 a	0,08 a	0,13 a	0,22 a
Significancia	*	*	*	*	*

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ); NS: no significativo. \*: Significativas al 5% para el test LSD

Las plantas muestreadas en el sustrato 1 CAC – 1 AF siempre tuvieron mayor biomasa aérea (Cuadro N° 9), en concordancia con su mayor altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas, ya tratado en secciones anteriores. En los tres sustratos restantes la biomasa aérea fue inferior y no mostraron diferencias significativas entre ellos en este parámetro al alcanzarse los 110 días después de la siembra.

**Cuadro N° 10:** Biomasa Radical (g) registrada en cinco momentos de la etapa experimental en las plantas de algarrobo blanco cultivadas en sustratos eco-compatibles.

Sustratos	DDS				
	30	50	70	90	110
1 CAC - 1 AF	0,01	0,04 b	0,10 c	0,15 b	0,30 b
1 CAC - 1 AC	0,02	0,03 a	0,03 a	0,06 a	0,09 a
1 AG - 1 AF	0,01	0,03 a	0,05 b	0,07 a	0,11 a
1 AG - 1 AC	0,01	0,01 a	0,04 a b	0,05 a	0,09 a
Significancia	NS	*	*	*	*

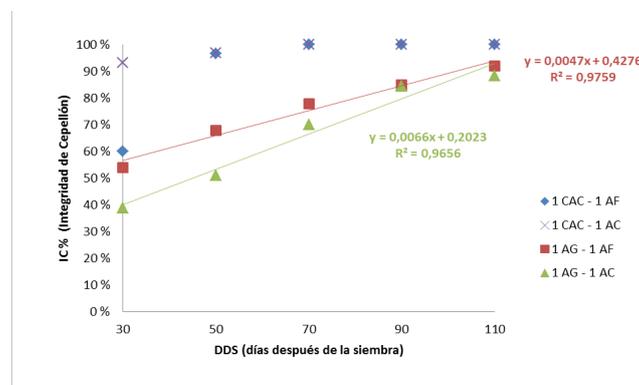
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ); NS: no significativo. \*: Significativas al 5% para el test LSD

En este parámetro también se destacó el sustrato 1 CAC – 1 AF, del cual se obtuvo una biomasa radical a los 110 días después de la siembra que triplica a la obtenida en los otros sustratos (Cuadro N°10). Además, es importante resaltar que en el último muestreo se observaron nódulos de *Rhizobium* en el 20% de los individuos evaluados para este sustrato.

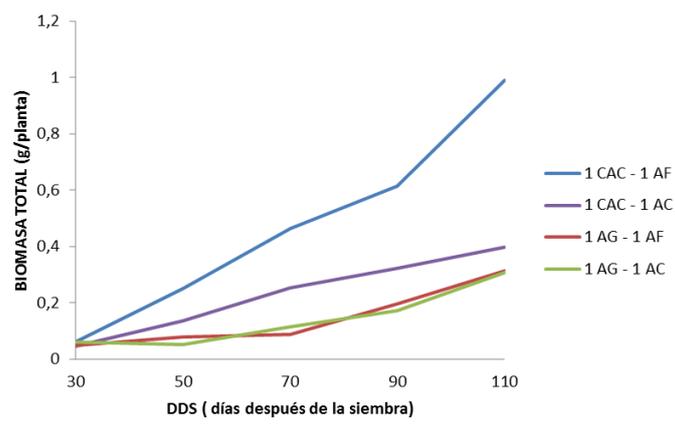
Los plantines de los tratamientos 1 CAC – 1 AF y 1 CAC – 1 AC alcanzaron 100 de integridad de cepellón a los 70 días después de la siembra, mientras que en 1 AG – 1 AF y 1 AG – 1 AC presentaron una IC% creciente que acompañó el desarrollo radical, pero que no alcanzó el 100%.

En el gráfico N° 10 se muestran los modelos lineales con la tendencia de los sustratos menos promisorios para plantines de algarrobo blanco. Con el uso de los modelos, se estimó que se podría alcanzar 100% de integridad de cepellón a los 121 días después de la siembra para el sustrato 1 AG – 1 AF y a los 122 días después de la siembra para el sustrato 1 AG – 1 AC.

En cuanto a la biomasa total de plantines, se observó una marcada diferencia entre el sustrato 1 CAC – 1 AF y el resto de las mezclas (Gráfico N° 11).



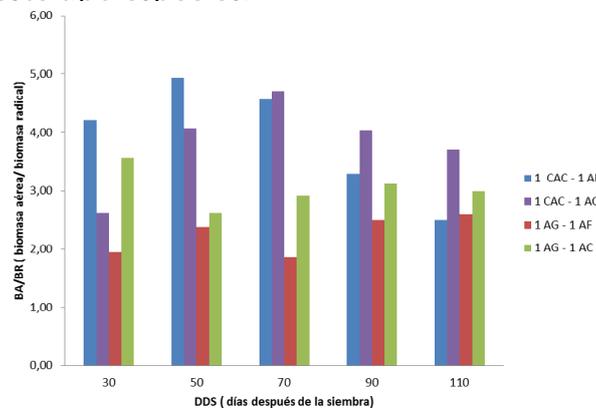
**Gráfico N° 10:** Integridad de Cepellón (IC) registrada en cinco momentos de la etapa experimental en plantas de algarrobo blanco sembradas en sustratos eco-compatibles.



**Gráfico N° 11:** Biomasa total (g) registrada en cinco momentos de la etapa experimental en las plantas de algarrobo blanco cultivadas en sustratos eco-compatibles.

Se considera que un plantin forestal tiene proporciones equilibradas y es adecuado para trasplante cuando presenta una relación BA/BR cercana a 2,5 (Landis y col., 2010).

El comportamiento de este parámetro fue diferente en los plantines de cada tratamiento a lo largo del tiempo. En el Gráfico N° 12 se observa que los plantines de 1 CAC - 1 AF lograron un rápido desarrollo de la biomasa aérea, para luego ser compensada con desarrollo radical y lograr valores de BA/BR aceptables. Dado que el valor de referencia citado fue definido para la implantación de especies forestales como pinos o eucaliptus, es interesante validarlo para nuestras especies forestales nativas u obtener valores propios para este tipo especies.



**Gráfico N° 12:** Relación Biomasa aérea/ Biomasa radical registrada en cinco momentos de la etapa experimental en las plantas de algarrobo blanco cultivadas en sustratos eco-compatibles.

La relación entre variables morfométricas y fisiológicas condensada en el índice de Dickson, arrojó resultados más altos para los plantines de algarrobo blanco desarrollados en el sustrato destacado, con una diferencia significativa del 5% para el test LSD (Cuadro N°11). El ID para los plantines del sustrato 1 CAC - 1 AC tuvo una tendencia similar desde los 50 días hasta los 90 días después de la siembra de los menos productivos, igualándose hacia el final del ensayo, tendencia comparable con la biomasa total (Gráfico N° 12).

**Cuadro N° 11:** Índice de Dickson calculado, desde los 30 días hasta los 110 días después de la siembra para plantines de algarrobo blanco cultivados en diferentes sustratos eco-compatibles.

Sustratos	DDS				
	30	50	70	90	110
1 CAC - 1 AF	0,1	0,2 b	0,3 c	0,4 c	0,7 b
1 CAC - 1 AC	0,1	0,1 a	0,2 b	0,2 b	0,3 a
1 AG - 1 AF	0,1	0,1 a	0,1 a	0,1 a	0,2 a
1 AG - 1 AC	0,1	0,1 a	0,1 a	0,1 a	0,2 a
Significancia	NS	*	*	*	*

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ); NS: no significativo \*: Significativas al 5% para el test LSD

Se corroboró el significado del ID, mejor equilibrio de la distribución de la masa, robustez, mayor altura, mayor vigor, mayor valor del índice de calidad del plantin (Dickson y col, 1960), el cual marcó diferencias entre individuos desarrollados en distintos sustratos. En cuanto a la magnitud de los valores calculados, aun los más altos fueron inferiores a los difundidos para otras especies forestales como abeto o pino, hecho que indicaría la necesidad de determinar en una próxima investigación rangos de referencia para la especie nativa en estudio y poder interpretarlos técnicamente.

Si se analiza la relación existente entre los parámetros morfométricos como altura de planta, diámetro de tallo, tasa de aparición de hojas, y los parámetros fisiológicos como biomasa aérea, biomasa radical, biomasa total, con las propiedades físicas de los medios de cultivo en estudio, se evidencia algunas correlaciones significativas con las propiedades físicas de los sustratos, pero el análisis objetivo de la información no muestran una tendencia que permitan definir que propiedades físicas favorecieron el mejor desempeño de plantines de algarrobo en el sustrato 1 CAC - 1 AF.

Como es incipiente la investigación sobre el uso de los aserrines derivados de la industria maderera local, sería interesante abordar más en detalle que propiedades de los sustratos limitan o favorecen el desarrollo de *Prosopis alba* en contenedores. Es posible que pueda explicarse por requerimientos específicos de capacidad de aireación en el sustrato para la especie, lo que no fue definido aún y que se han investigado para otras plantas. Bierig (2012) determinó que los plantines de *Poncirus trifoliata* requieren sustratos con un mínimo de 23% de poros con aire cuando se los cultiva en tubetes, bajo invernaderos cubiertos con malla anti-insectos, y los plantines de *Citrangae troger* requieren sustratos con un mínimo de 21% de poros con aire cuando se los cultiva en sistemas productivos similares al anterior. A partir de estos resultados, surge la necesidad de una próxima investigación orientada a definir los valores críticos de porosidad de aire mínimas para el adecuado crecimiento de *Prosopis alba* en contenedores con sustratos eco-compatibles.

## Conclusiones

Tanto el aserrín grueso de, como el aserrín fino de pino presentaron una muy buena porosidad total, con relaciones agua/aire contrastantes, bajo pH y alta conductividad eléctrica. .

El aserrín fino evidenció alta capacidad de retener agua y escasa aireación, en cambio, el aserrín grueso registró una baja retención hídrica y alta aireación.

La mezcla de aserrín fino con cascara de arroz carbonizada o con aserrín grueso, equilibró la relación porosidad de aireación/capacidad de retener agua de los sustratos.

Los sustratos experimentales tuvieron propiedades adecuadas para la producción de plantines en contenedores.

Los plantines obtenidos en las mezclas con aserrín grueso no tuvieron un buen desempeño, lo que sugiere la necesidad de continuar con estudios tendientes a corregir sus características y así poder utilizarlos en la formulación de sustratos.

El sustrato 1 CAC – 1 AF permitió obtener los plantines de algarrobo blanco con mayor calidad y precocidad.

Es posible utilizar aserrines derivados de la industria de la madera de Entre Ríos para la formulación de sustratos eco-compatibles, y así obtener plantines de algarrobo blanco en contenedores.

### **Evaluación de productos derivados del procesamiento de la cáscara de arroz para uso en sustratos de cultivos en bandejas multiceldas**

Entre Ríos cuenta con diversas plantas industriales donde se procesan materias primas de la actividad agropecuaria. Entre ellas se encuentran aserraderos, molinos harineros, molinos arroceros, aceiteras, industrias cítricas. Allí se originan residuos de composición orgánica que son aprovechados en parte por las mismas empresas para generar energía calórica, o para elaboración de algún subproducto. Los deshechos que no son reutilizados in situ pueden ser comercializados o dispuestos en un sumidero final.

En el ámbito de la producción de plantas en viveros, los sustratos son insumos indispensables y demandados regularmente. El suelo, los mantillos de monte y turbas de diferentes orígenes (todos recursos naturales), son los más utilizados como medios de cultivos sin suelo en gran parte de nuestro país (Acosta Durán, 2008). Existe la necesidad de sustituirlos por recursos renovables, para mejorar la sustentabilidad de estos sistemas productivos y desde allí surge la oportunidad de captar parte de estos recursos como posibles componentes de sustratos para cultivos en contenedores. El uso de algunos residuos puros o en mezclas, procesados mediante alguna técnica como el compostado pueden ser una forma sustentable de reemplazo de sustratos tradicionales en viveros (Booman, 2000; Marusich, 2005; Raviv y Lieth, 2008; Rivière, 2008; El Sharkaw, 2014; Valenzuela, 2009).

En un área que abarca Concordia, Villa Elisa, San Salvador, se encuentra la mayoría de los molinos arroceros que procesan casi la totalidad de granos de arroz de la provincia de Entre Ríos, donde se produce un total de 390.240 t de arroz (Informe Siber, 2020) y se obtiene como residuo alrededor de 74.145 t de cáscara de arroz. Tomado en cuenta que la cáscara cruda tiene una densidad seca de 200 Kg m<sup>3</sup> (Marusich, 2006), se puede estimar un volumen de 14.829 m<sup>3</sup>. Si dicho residuo fuese destinado en su totalidad para uso como sustrato de cultivos en contenedores, alcanzaría para completar 14.820.000 macetas de 1 litro.

Este material resulta de baja densidad y alto volumen lo cual dificulta su transporte y en términos económicos deriva en un flete costoso. Además, se caracteriza por una baja tasa de degradación debido al alto contenido de Si (Kampf, 2000). No obstante, puede ser utilizada de numerosas maneras, dependerá también del proceso que se le realice para adecuarla al sistema productivo en el cual este inserto el cultivo. El objetivo primordial para lo cual se generan cambios en la condición del material natural es ofrecer sus mejores características físicas y químicas como sustrato (Osava, 2005; Gylder, 2010).

En la actualidad se comercializa fundamentalmente para uso en camas de pollo, fabricación de ladrillos, para generar energía (calor) y como componente de sustratos para plantas. Los compuestos orgánicos más importantes de la cáscara de arroz son celulosa (39 %), hemicelulosa (20 %) y lignina (22 %), en más del 75 % de su masa seca, el resto lo constituyen grasas y proteínas (3,6 %), entre otros (Chaudhary, 2004; De Souza, 2002; Valverde, 2007). La proporción de compuestos inorgánicos es aproximadamente el 20% de su masa seca, el silicio representa el 94 %, (Gallo et al., 1974). Es un material rico en potasio (3000 a 3.500 mg l<sup>-1</sup>) y fósforo (80 a 120 mg l<sup>-1</sup>), y pobre en nitrógeno (< 100 mg l<sup>-1</sup>). Las cenizas de la cáscara de arroz contienen un 1,55% de K, 0,23% de Ca y 0,24 % de Mg, que pueden ser aprovechados como fertilizante cuando se lo aplica en este estado. Este residuo generado luego del procesamiento del grano de arroz, también suele ser quemado en los molinos para secar los granos o comercializado para camas de aves (Foletto et al., 2005), lo cual es una limitante ya que la producción avícola provincial es importante y la cama con CAN es prácticamente el único material que se emplea.

Las principales limitantes de la cáscara de arroz natural (CAN) como componente de sustrato de cultivo son: elevada carga de semillas de malezas (capín, arroz, etc.), presencia de harinas que favorecen la dispersión de patógenos, emana olores desagradables luego de los riegos, tiene marcada hidrofobicidad cuando se seca, su capilaridad es deficiente (dificulta riegos por ascenso capilar) y tiene una menor retención de agua con respecto a la formas compostadas o carbonizadas (Silva, 2000). A pesar de ello, esta última propiedad física podría ser considerada una ventaja, dependiendo de las tecnologías utilizadas en los viveros (riegos automatizados) y para la propagación agámica (Grassi Filho y Dos Santos, 2004). Uno de los procedimientos para acondicionar la CAN es la carbonización, práctica que elimina los restos de harinas, patógenos y semillas de malezas y aumenta la capacidad de retener agua (Calderón Sáenz, 2002; Marusich, 2005; Valenzuela, 2009). La mejora de las cualidades se debe a la reducción del tamaño de las partículas, lo que incrementa la proporción de poros que retienen agua y aumenta la humectabilidad del material (Marusich, 2005; Valenzuela, 2009). Aporta principalmente fósforo y potasio, al mismo tiempo que es un material completamente esterilizado al haber sido sometido a altas temperaturas (Ramírez, 2000). Respecto de la CAN, se podría considerar como desventaja al rendimiento, ya que se mencionan valores de reducción de 45% del volumen inicial (Calderón, 2001).

Se conoce que la cáscara de arroz carbonizada (CAC) presenta características apropiadas como sustrato para la propagación sexual y agámica. Permite la entrada e intercambio de aire en la base de las raíces, y es suficientemente estable para fijar las semillas o estacas. Es un material poroso que tiene volumen constante en seco o húmedo (Andriolo, 1997), es liviano (Ds 90 - 300 kg m<sup>3</sup>), considerado orgánico por su composición y de baja tasa de degradación por su contenido de sílice (Quintero et al., 2006a). Fácil de acondicionar para la formulación de mezclas, no requiere tratamientos sanitarios, mantiene por largos períodos de cultivo y puede llegar a suministrar algunos nutrientes a las plantas como el calcio y potasio y su pH es ligeramente alcalino (Minami, 1995; Vargas, 2000); su conductividad eléctrica puede ser aceptable a alta y su capacidad de intercambio catiónico es baja (Marusich, 2005; Quintero et al., 2012).

Otro producto obtenido en molinos es la cáscara de arroz parborizada (CAP). El parborizado de granos de arroz es un proceso industrial hidrotérmico aplicado previo al descascarado, tratamiento que se realiza para obtener un alimento con mayor con-

tenido de vitaminas y minerales, lo cual redundará en mejores características nutritivas del cereal. Las propiedades físicas y químicas de CAP son similares a CAN, pero el tratamiento industrial puede eliminar problemas fitosanitarios, propágulos de malezas y la contaminación con harinas. Son escasas las experiencias mundiales sobre el uso de CAP en sustratos para plantas (Christopher et al., 2013) y hasta el momento no se registran investigaciones sobre este tema en nuestro país.

En línea con las iniciativas de diferentes regiones del mundo sobre la búsqueda de materiales para elaboración de sustratos eco-compatibles, y su acondicionamiento para obtener productos alternativos, se planteó la siguiente hipótesis: el tratamiento de cáscara de arroz mediante molido y posterior carbonizado posibilitan la obtención de nuevos productos con propiedades diferentes al material de origen, lo que aporta opciones de recursos para la elaboración de sustratos destinados a cultivos en contenedores en la provincia de Entre Ríos.

Para probar la hipótesis, se realizaron trabajos experimentales con los siguientes objetivos:

Evaluar diferentes productos derivados del procesamiento de la cáscara de arroz para su uso en la elaboración de sustratos de cultivos.

Establecer técnicas adecuadas de procesamiento de la cáscara de arroz y su caracterización para la formulación de sustratos para cultivos de plantas a partir de semillas y a partir de esquejes.

## **Materiales y Métodos**

Las experiencias que se informan a continuación se realizaron en Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Entre Ríos, ubicada en Oro Verde, provincia de Entre Ríos (31° latitud sur, 60° 31' longitud oeste, 110.5 m.s.m.), en marco al proyecto PID UNER 2185.

En primer término se visitaron molinos arroceros de la zona de San Salvador, Villa Elisa y alrededores, con el propósito de obtener de cáscara de arroz natural (CAN) y cáscara de arroz parborizada (CAP).

De cada material se tomaron muestras representativas para los estudios en el laboratorio Sustratos de la FCA UNER y las determinaciones fueron realizadas por integrantes del grupo de trabajo del presente proyecto.

Luego, los materiales se dividieron y una parte fue molida con una moledora de granos eléctrica malla de 0,8 mm. Ya triturada, cada tipo de cáscara fue nuevamente subdividida en dos partes, una porción se reservó como cáscara de arroz natural molida y cáscara de arroz parboil molida, y las otras fracciones se carbonizaron.

Como resultado de los diferentes tratamientos se lograron 8 productos: CAN: Cáscara de arroz natural; CANm: Cáscara de arroz natural molida; CACn: cáscara de arroz natural carbonizada; CACnm: cáscara de arroz natural molida y carbonizada; CAP: cáscara de arroz natural parboil; CAPm: cáscara de arroz parboil molida; CACp: cáscara de arroz parboil carbonizada; CACpm: cáscara de arroz parboil molida y carbonizada.

Con los productos antes identificados, se realizaron diferentes trabajos experimentales, a saber:

### **Detección de propágulos de malezas en CAN, CANm,**

Se realizó un ensayo de germinación para analizar el contenido de propágulos de malezas en CAN y CAP. Se colocaron muestras de 30g en bandejas plásticas (8 repeticiones), luego se humectaron y se ubicaron en una cámara de germinación a 25°C con alternancias de luz (8 horas) y oscuridad. Cada día se controlaba el nivel de humedad de las muestras y se regaba con agua desionizada en caso de ser necesario. Durante el desarrollo de esta etapa, se tomaron registros de emergencia de plántulas 3, 5, 7 y 19 días después de la fecha de inicio del trabajo. El objetivo de la experiencia fue determinar el número y tipos de malezas germinadas en cáscara de arroz tal como llega del molino y valorar el efecto del molido sobre las semillas presentes.

### **Ensayo producción de plantines de lechuga en bandejas multiceldas con sustratos basados en cáscaras de arroz y un compost de residuos de aserraderoscompost**

Para la formulación de sustratos a partir de diferentes tipos de cáscara de arroz, como material base se escogió un compost de residuos de aserraderos (**C**), elaborado en el departamento San José (departamento Colón). El compost fue tamizado con zaranda de 8 mm, de lo cual se tomó una muestra representativa para el análisis. Luego se desinfectó con tratamiento térmico a 100°C durante 2 horas. Por último, se rehidrató para evitar problemas de hidrofobicidad.

Como testigo se seleccionó un sustrato comercial (**SC**) elaborado con turba y perlita agrícola.

Con los materiales disponibles se elaboraron los siguientes sustratos experimentales (tratamientos) para cultivo de plantas a partir de semilla:

**1:** C+ CACpm 3:2 v/v; **2:** C +CANpm 3:2 v/v; **3:** COMPOST + CACpm 1:1 v/v; **4:** COMPOST +CANpm 1:1 v/v; **5:**SC

### **Ensayo de enraizamiento de esquejes de aromáticas en sustratos basados en diferentes tipos de cáscara de arroz**

Para este trabajo se seleccionaron diferentes tipos de cáscaras de arroz y un sustrato comercial, resultando los siguientes tratamientos:

**1:** CACnm ; **2:** CACpm; **3:** CANm; **4:** CANpm; **5:** SC

### **Determinaciones en el laboratorio Sustratos de la FCA UNER**

Se tomaron muestras representativas de los materiales puros y las mezclas, las que fueron ingresadas al Laboratorio de Sustratos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNER, donde se realizaron los respectivos análisis físicos y químicos, todos con 3 repeticiones por determinación. TP: Distribución de tamaño de partículas - %peso; Dp: Densidad de partícula - g cm<sup>3</sup>; Ds: Densidad de sustrato - kg m<sup>3</sup>; PT: Porosidad total - %; PA: Poros con aire - %; CRA: Capacidad de retener agua - %; H: Humedad de la muestra - %; PH; CE: Conductividad Eléctrica - dS m<sup>-1</sup>; MO: Materia orgánica - %.

### **Ensayos con vegetales**

Especie seleccionada para la experiencia de reproducción sexual: *Lactuca sativa* L (lechuga).

Especies seleccionadas para la experiencia de propagación agámica: *Salvia rosmarinus* L. (romero), *Helichrysum italicum* Roth. (curry), *Pelargonium citrosum* Voigt. (citrónela)..

Los ensayos con cultivos se condujeron en un invernáculo de estructura parabólica, con malla anti-pájaro y ventilación pasiva. Las bandejas de cultivos se ubicaron sobre mesadas y se regaron con un equipo de microaspersión.

En cuanto al riego, para el ensayo de lechuga se programó para que se efectúe en las horas de mayor demanda ambiental; para el enraizamiento de esquejes se regó diariamente, entre las 10 a las 18h con pulsos de 10 segundos cada 15 minutos. En días nublados o lluviosos se disminuyó la frecuencia de riego de las dos experiencias.

Ambos ensayos se cubrieron con una malla de sombreo de 35%, para evitar exceso de radiación y temperatura, ya que el trabajo se realizó en época estival.

Para siembra de lechuga se utilizaron bandejas con alveolos 50cm<sup>3</sup>. Para el ensayo de esquejes se utilizaron bandejas con alveolos de 100cm<sup>3</sup>.

La siembra de *Lactuca sativa* L. se realizó manualmente el día 4/12/2020, y se depositaron dos semillas por celda. Debido a que las semillas de lechuga son fotobásticas positivas, se cubrieron con una capa muy fina de vermiculita. Las bandejas se llevaron al invernadero y se colocaron sobre la mesada con una distribución al azar. Una vez establecidas las plántulas se efectuó el seguimiento diario, para realizar las mediciones previstas. El día 10/12 se realizó raleo y se dejó una plántula por celda.

Las mediciones no destructivas comenzaron el 15/12 (primer hoja desarrollada) y las destructivas el día 19/12.

### **Variables medidas en plantines de lechuga**

Las mediciones se realizaron en tres momentos de la evolución de los cultivos y en 10 plantines tomados al azar de cada uno de los tratamientos.

### **Integridad de cepellón (%)**

Este parámetro se cuantificó mediante una observación visual de las plantas evaluadas en cada medición, para lo cual se utilizó una escala de 5 niveles: 1= 0% de integridad; 2= 25% de integridad; 3= 50% de integridad; 4= 75% de integridad; 5= 100% de integridad. Indica el porcentaje de volumen de cepellón que se conserva intacto luego de la extracción de la plántula. **Número de hojas por planta:** se contó el número de hojas verdaderas expandidas de cada plantín de lechuga. **Longitud de hojas (cm):** la medición se realizó a cada hoja verdadera en cada uno de los plantines de lechuga observados. **Longitud de raíz (cm/plantín):** la determinación se realizó en cada una de las plantas, se procedió previamente al lavado de las raíces, luego se las extendió y midió con regla. **Biomasa aérea (g/plantín):** en tres momentos de desarrollo de la experiencia se seleccionaron 10 plantines por tratamiento, se cortaron a la altura del cuello, se colocaron en sobre de papel, debidamente identificados y se llevaron a una estufa de aire forzado durante 48 h a 65 °C. La masa seca de la parte aérea se expresó en gramos.

**Biomasa raíz (g/plantín):** se obtuvo de la separación de las raíces del sustrato realizando lavados con agua de red. Las raíces de cada plantín se colocaron en sobres de papel identificadas y se llevaron a una estufa de aire forzado durante 48 h a 60 °C. La masa seca de raíces se expresó en gramos.

La experiencia con lechuga finalizó cuando las plantas de al menos uno de los tratamientos en estudio, alcanzaron el tamaño del trasplante, es decir una IC del 100%.

Para este trabajo se seleccionó el diseño experimental de bloques completos aleatorizados. Los resultados fueron analizados mediante estadística descriptiva, análisis de la variancia, test de comparaciones de medias y regresión, para lo cual se utilizó el programa Infostat.

### **Ensayo de propagación agámica de aromáticas**

Los esquejes de romero, curry y citronela fueron extraídos de plantas madres, previamente acondicionadas para este fin. Los cortes se realizaron con herramientas desinfectadas, el largo de esquejes fue de aproximadamente diez centímetros, la parte inferior fue desprovista de las hojas y se les aplicó ácido naftaleno acético en base polvo para favorecer la producción de raíces. En el caso de citronela se dejaron de dos a tres hojas por esqueje.

Con las bandejas ya completas, se realizó un orificio con un implemento punzante y se insertó un esqueje por alveolo.

Las mediciones comenzaron 15 días post plantación.

Las determinaciones se realizaron en 3 plantines de cada uno de los tratamientos.

### **VARIABLES MEDIDAS EN PLANTINES DE AROMÁTICAS**

**Integridad de cepellón (%):** Se utilizó la técnica similar a la utilizada en el ensayo de lechuga. **Biomasa aérea (g/plantín):** Para su medición, las plantas se cortaron individualmente a la altura del cuello, se colocaron en sobres identificados y se llevaron a una estufa de aire forzado durante 48 h a 65 °C. La masa seca de la parte aérea se expresó en gramos. **Biomasa raíz (g/plantín):** las raíces se separaron del sustrato realizando mediante lavado con agua corriente. Las raíces de cada planta individual fueron colocadas en sobres identificados y se llevaron a una estufa de circulación forzada durante 48 h a 65 °C. La masa seca de raíces se expresó en gramos. **Biomasa raíz sin tallo (g/plantín):** se denominó así a las raíces propiamente dichas, despreciando el peso de la porción del tallo donde fueron emitidas.

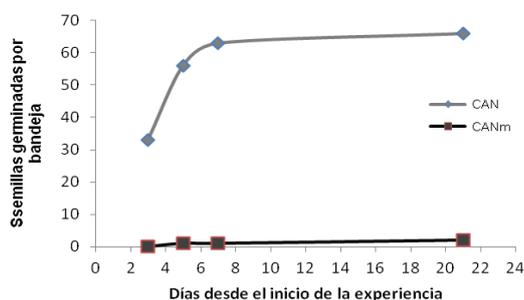
El ensayo se dio por finalizado cuando las plantas de al menos uno de los tratamientos de cada especie en estudio habían alcanzado el momento de trasplante, es decir una IC de cepellón del 100%.

Para el cultivo de romero, curry y citronela se seleccionó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial, por lo que la experiencia se conformó por 5 sustratos (tratamientos) x 3 especies. Los resultados fueron analizados mediante estadística descriptiva, análisis de la variancia, test de comparaciones de medias y se utilizó el programa Infostat.

### **Resultados y Discusión**

Como podemos observar en el Gráfico N°1, la germinación y emergencia de malezas en la CAN fue abundante, con valores máximos en los primeros 7 días de iniciada la experiencia, los cuales se mantuvieron estables hasta los 21 días, alcanzando un promedio de 56 plántulas de maleza por bandeja, lo que corresponde a 1867 semillas de malezas por kg de cáscara de arroz natural. El molido causó una marcada reducción de semillas viables de malezas, no solo se trituraron las glumas, también se destruyeron semillas. En CANm germinaron 2 semillas por muestra, lo que equivale a 67 propágulos por kg de cá-

cara de arroz natural molida. Dentro de las especies encontradas como malezas el 95% eran de *Echinochloa crus-galli* (capín), además germinaron semillas viables de arroz.



**Gráfico N°1;** Cantidad de semillas de malezas germinadas en muestras de CAN y CANm.

### Interpretación de las propiedades físicas y químicas de los sustratos testeados en el cultivo de lechuga en bandejas alveolares

Los sustratos diseñados como tratamientos mostraron valores de EPT por debajo del recomendado y se consideraron adecuados para los fines del trabajo (Tabla 1).

**Tabla 1:** Propiedades físicas de los sustratos utilizados para la producción de plantines de lechuga

SUSTRATOS	EPT	CRA	PA	Ds	Dp	Ms
C + CACpm 3:2 v/v	82,23 BC	29,00 B	53,23 B	379,1 A	2,13	17,77 AB
C + CANpm 3:2 v/v	83,64 B	24,19 C	59,45 A	346,5 B	2,12	16,36 B
C + CACpm 1:1 v/v	80,90 C	29,19 B	51,71 B	405,8 A	2,12	19,10 A
C + CANpm 1:1 v/v	83,42 B	23,40 C	60,02 A	340,6 B	2,05	16,58 B
SC	93,47 A	41,08 A	52,39 B	104,4 C	1,60	6,53 C
<b>Ref.*</b>	>85%	55-70	20-30	<400		<15

EPT: espacio poroso total (%); CRA: capacidad de retención de agua (-1 kPa); PA: espacio de poros con aire (%); Ds: densidad del sustrato ( $\text{kg m}^{-3}$ ); Dp: densidad de partícula ( $\text{g/cm}^3$ ); MS: material sólido (%). Letras diferentes indican diferencias significativas al 5% por el test de Tukey. Ref.\* Abad et al. (1993)

El EPT más elevado se registró en SC, valor que coincide con datos reportados de numerosos investigadores en el desarrollo de mezclas de turba y perlita como sustrato comercial (Valenzuela y Gallardo, 2003; Vence, 2008; Valenzuela, 2009). En cambio, el valor más reducido de EPT fue observado en C+CACpm 1:1, el resultado obtenido en esta mezcla pudo ser consecuencia del grado de reducción de la partícula de cáscara de arroz por el procesamiento de la carbonización, tal como lo resalta Kratz (2013) en sus comentarios, quien expresa que la cáscara de arroz carbonizada aumenta la densidad aparente, la microporosidad, el agua fácilmente disponible, mientras disminuye la porosidad total y la macroporosidad en comparación a una cáscara de arroz natural sin procesamiento. Pudo ocurrir también por el empaquetamiento de las partículas, fenómeno físico por el cual las partículas de menor tamaño (compost) se ubican dentro de los espacios que dejan partículas de más grandes (CACpm) y en consecuencia reducen el espacio poroso total (Landis, 1990).

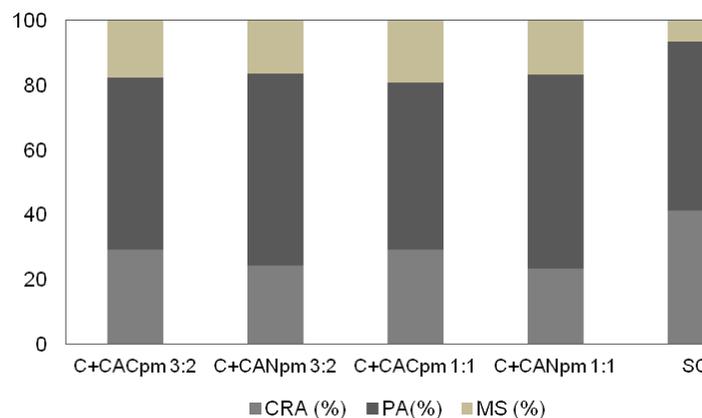
En cuanto a la capacidad de retener agua (Tabla 1) puede observarse que es similar para los tratamientos que contienen CAN, y de igual modo para los tratamientos

que poseen CAC en la formulación, con diferencias significativas entre tratamientos. A pesar de ser baja la CRA en relación a los valores de referencia, esta característica favoreció la necesidad de aplicar riegos en alta frecuencia para refrigerar el ambiente de los plantines.

Se determinó, que todos los sustratos evaluados presentaron elevada porosidad de aireación (PA), pero difirieron significativamente entre algunos tratamientos ( $\alpha=0,05\%$ ) (Tabla 1). El valor más alto se registró en el sustrato C+CANpm 1:1.

La Ds en todos sustratos fue adecuada (Tabla 1), Los valores variaron entre  $340 \text{ kg m}^{-3}$  y  $405 \text{ kg m}^{-3}$ , los cuales pueden considerarse aceptables para la producción de plantines en bandejas alveolares. Para este parámetro se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, los sustratos elaborados con carbones superaron en 30 y 40  $\text{kg m}^{-3}$  a los preparados con cáscaras naturales. El peso por metro cúbico es una variable muy importante, ya que determinará la logística y costo de transporte del material. Además, cuando el contenedor con sustrato es liviano, facilita el traslado de las bandejas y los sistemas de soporte pueden resistir mejor el peso.

En el Gráfico N° 2 se puede observar que las características de los sustratos formulados en base a cáscara de arroz son similares en sus propiedades hidro-físicas.



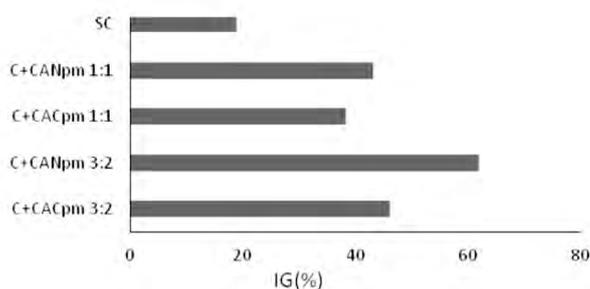
**Gráfico 2:** Distribución porcentual de CRA, PA y MS en 5 sustratos evaluados para la producción de plantines de lechuga en bandeja multicelda.

En cuanto a la distribución de tamaños de partículas e índice de grosor (Gráfico 3), se observó que en el sustrato C+CANpm 3:2 predominan las partículas mayores de 1 mm (sustrato grueso) y en SC predominan las partículas menores de 1mm (sustrato fino). Los sustratos formulados con CAC poseen menor IG con respecto cáscara de arroz natural, lo cual es aceptable ya que el procesamiento de carbonización disminuye el tamaño de partícula (Salazar, 2000; Calderón, 2001).

En la Tabla N° 2 se observa que los valores de pH son cercanos a la neutralidad para los sustratos formulados con compost y cáscara de arroz y las variaciones no fueron muy marcadas. Se registraron diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos, y SC evidenció el menor valor de pH.

En cuanto los valores observados de CE, el sustrato C + CACpm 1:1 superó en  $075 \text{ dS m}^{-1}$  el límite crítico. Dado que en la técnica se miden sales disueltas, es probable que la salinidad baje inmediatamente después de iniciados los riegos por el lavado de sales (Young, 2002; Marusich, 2005). Próximas líneas de trabajo podrían orientarse al ajuste

de prácticas para lograr niveles de pH y CE dentro de los sugeridos para plantines en sustratos basados en compost de residuos forestales y diferentes productos de cáscara de arroz.



**Gráfico 3:** IG calculados para los 5 sustratos experimentales utilizados en la producción de plantines de lechuga.

**Tabla 2:** Propiedades químicas de los sustratos formulados en base compost de residuos forestales y diferentes tipos de cáscaras de arroz.

SUSTRATOS	MO	pH	CE
C + CACpm 3:2 v/v	32,22 C	6,35 AB	3,10 C
C + CANpm 3:2 v/v	32,77 C	6,85 A	3,70 B
C + CACpm 1:1 v/v	32,27 C	6,74 A	4,25 A
C + CANpm 1:1 v/v	37,87 B	6,70 A	2,60 C
SC (testigo)	85,95 A	5,81 B	0,65 D
<b>Ref.*</b>		5,8-6.3	<3.5

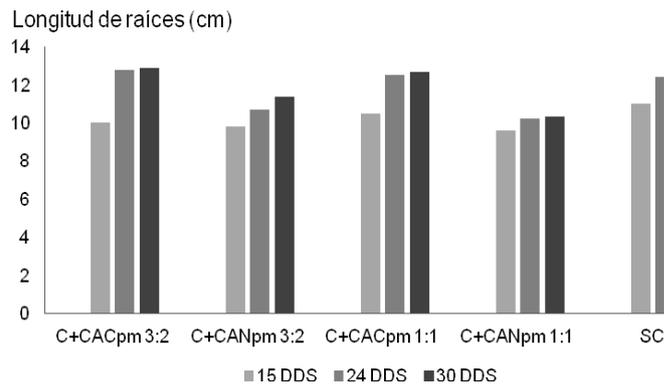
Letras diferentes indican diferencias significativas al 5% por el test de Tukey.

### Respuestas de los cultivos y la relación con los sustratos testeados

En cuanto a la Integridad de cepellón, en la primera observación los sustratos SC y C+CANpm 1:1 evidenciaron los valores más altos, diferenciándose significativamente ( $\alpha=0,05\%$ ) de los restantes tratamientos. Para la segunda y tercera medición la valoración el IC fue similar en todos los tratamientos, sin diferencias estadísticas significativas, alcanzando el valor máximo en todos los plantines. .

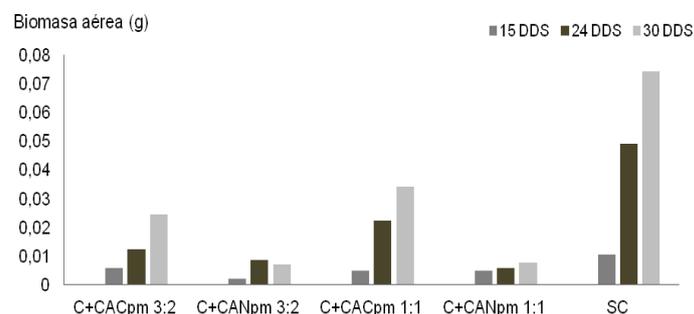
Para la variable número de hojas, en la primera medición se observaron diferencias significativas a favor de SC, C+CACpm 1:1 y C+CACpm 3:2. Este comportamiento se mantuvo hasta el final del ensayo. La longitud de hojas acompañó al número de hojas en su crecimiento.

La variable longitud de raíz evaluada a los 15, 24 y 30 días después de la siembra no arrojan diferencias significativas entre tratamientos ( $\alpha=0,05\%$ ) (Gráfico 4).



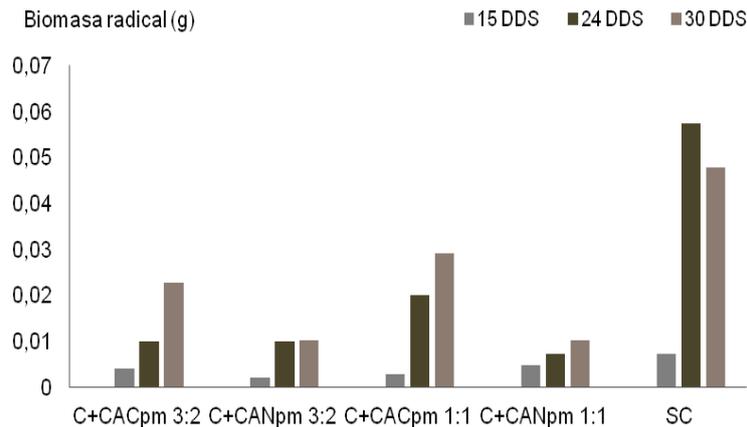
**Gráfico N° 4:** Variación temporal de longitud de raíces registradas en plantines de lechuga cultivados en sustratos basados en mezclas de compost de residuos de aserradero y diferentes tipos de cáscara de arroz.

En cuanto a la variable biomasa aérea, fue marcada la diferencia entre el SC y los tratamientos compuestos por cáscara de arroz, el cual logro valores superiores desde la primera medición hasta llegar a tamaño de trasplante. En el segundo momento de muestreo, C+ CACpm 1:1 arrojó valores mayores con diferencias estadísticas significativas respecto de los otros tratamientos formulados con cáscara de arroz. Finalmente, los tratamientos menos productivos fueron los compuestos por cáscara de arroz natural molida y cáscara de arroz parboil molida



**Gráfico N°3:** Evolución de biomasa aérea en plantines de lechuga cultivados en sustratos formulados con diferentes tipos de cáscara de arroz y un compost de residuos de aserraderos.

En las tres instancias de muestreo, la biomasa radical mostró un comportamiento similar al peso seco de la parte aérea, con pesos más altos en el sustrato comercial, seguido por C+CANpm 1:1 y C+CACm 3:2 en tercera posición (Gráfico N°4). Los sustratos con CAN incidieron negativamente en el crecimiento de raíces de lechuga, lo cual podría ser explicado por baja capacidad de retención de agua o a la presencia de sustancias inhibitoras del crecimiento reportadas por investigaciones similares a la presente (Saboya Saboya, 2010; Telenchana Tisalema, 2018).



**Gráfico N°4:** Evolución de biomasa radical en plantines de lechuga cultivados en sustratos formulados con diferentes tipos de cáscara de arroz y un compost de residuos de aserraderos.

### Interpretación de las propiedades físicas y químicas de los sustratos y su relación con el comportamiento de los cultivos de romero, curry y citronela

Los sustratos utilizados en el ensayo de aromáticas superaron el valor de referencia de EPT (Tabla34) (> 85%) con valores que pueden calificarse como muy buenos. La porosidad total elevada es una propiedad deseable para el cultivo de plantas en contenedores, pero en particular cuando se los emplea para la propagación agámica (Hartman y Kester, 1990). No obstante ello, se evidenciaron diferencias estadísticas significativas ( $\alpha=0,05$ ) entre el SC y el resto de los tratamientos.

**Tabla 3:** Propiedades físicas de los sustratos utilizados para la propagación agámica de romero, curry y citronela.

Sustratos	EPT	CRA	PA	Ds	Dp	Ms
CACnm	88,53 B	28,35 B	60,17 C	0,2124 A	1,85	11,47 A
CACpm	89,37 B	16,70 C	72,67 B	0,1804 B	1,70	10,63 A
CANm	88,80 B	11,90 D	76,90 AB	0,1839 B	1,64	11,20 A
CANpm	89,40 B	10,93 D	78,47 A	0,1708 B	1,61	10,60 A
SC	93,47 A	41,08 A	52,39 D	0,1044 C	1,60	6,53 B
<b>Ref.*</b>	<b>&gt;85%</b>	<b>55-70</b>	<b>20-30</b>	<b>&lt;400</b>		<b>&lt;15</b>

EPT: espacio poroso total (%); CRA: capacidad de retención de agua (-1 kPa); PA: espacio de poros con aire (%); Ds: densidad del sustrato ( $\text{kg m}^{-3}$ ); Dp: densidad de partícula ( $\text{g/cm}^3$ ); MS: material sólido (%). Letras diferentes indican diferencias significativas al 5% por el test de Tukey. Ref.\* Abad et al. (1993)

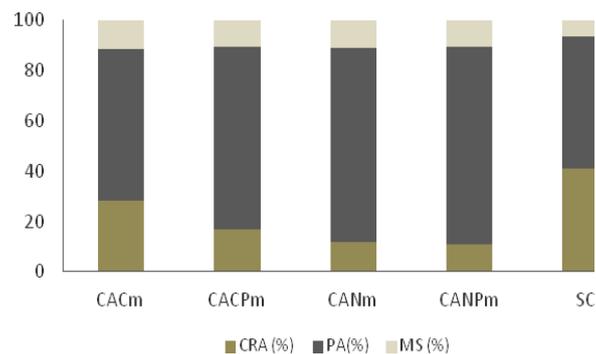
En cuanto a la capacidad de retener agua de los sustratos (Tabla 3) se puede observar que fue más elevada en CACnm, seguida por CACpm, mientras que en los restantes derivados de cáscara de arroz los valores fueron más bajos (< 12% de CRA), lo cual confirma que el carbonizado causa una reducción de la partícula, en consecuencia aumenta la retención hídrica de material (Salazar, 2000; Calderón, 2001, Marusich, 2005).

Los 5 sustratos en estudio fueron muy aireados y superaron ampliamente los recomendados para plantines en bandejas multiceldas, pero se evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre sustratos para el parámetro PA ( $\alpha=0,05\%$ ). El valor más alto de PA se determinó en CANpm, resultado que coincide con información publicada por diferentes autores, quienes resaltan esta característica de los sustratos a base de

cáscara de arroz (Klein, 2002; Marusich, 2006; Valenzuela, 2009, Saboya Saboya, 2010). La elevada porosidad con aire brinda una alta disponibilidad de oxígeno que favorece el desarrollo de raíces adventicias en la propagación agámica (Morard et al., 1005; Dutilleul et al., 2003; Eckhard et al., 2013).

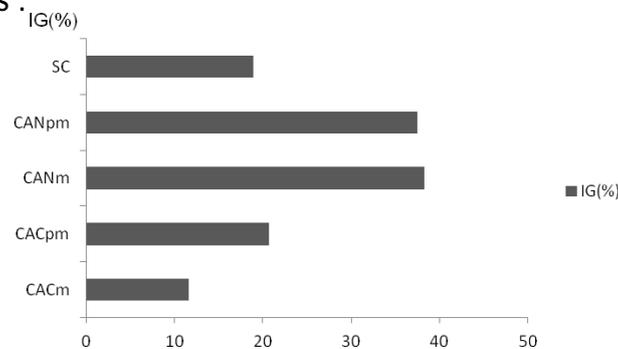
La densidad de sustrato en todos los casos fue adecuada (Tabla 3). Se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Los valores oscilaron entre 212 kg m<sup>-3</sup> para CACnm y 104 k m<sup>-3</sup> para SC.

El gráfico N°5 muestra la distribución porcentual de las propiedades hidrofísicas. Allí se observa claramente que CACnm retuvo más agua y menos aire que los restantes sustratos de cáscara de arroz.



**Gráfico N° 5:** Distribución porcentual de CRA, PA y MS en 5 sustratos evaluados para la propagación agámica de romero, curry y citronela cultivados en bandejas multicelda.

En cuanto al IG, estimado por datos de distribución de tamaños de partículas, CANm y CANpm se pueden calificar como “sustratos gruesos” y los restantes medios de cultivo como “sustratos finos”.



**Gráfico N° 6:** Índices de Grosor calculados para sustratos testeados en la propagación agámica de romero, curry y citronela.

**Tabla 4:** Propiedades químicas de los sustratos utilizados para la propagación asexual de romero, curry y citronela

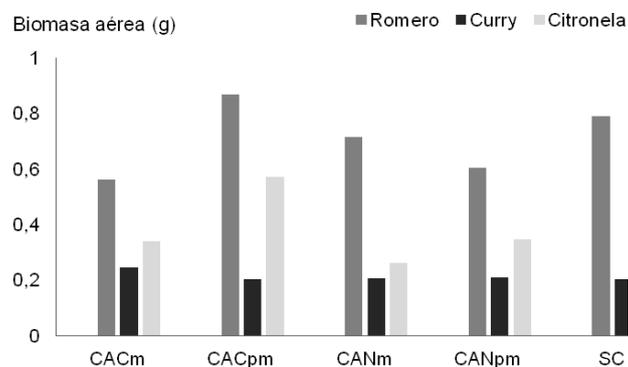
Sustratos	MO (%)	pH	CE (dS m-1)
CACnm	56,31 D	6,86 A	2,05 A
CACpm	73,42 C	6,32 AB	1,37 B
CANm	80,09 B	5,50 C	1,04 BC
CANpm	84,06 A	6,09 B	0,77 BC
SC	85,95 A	5,81 BC	0,65 C
<b>Ref.*</b>		5,8-6,3	<3,5

Letras diferentes indican diferencias significativas al 5% por el test de Tukey.

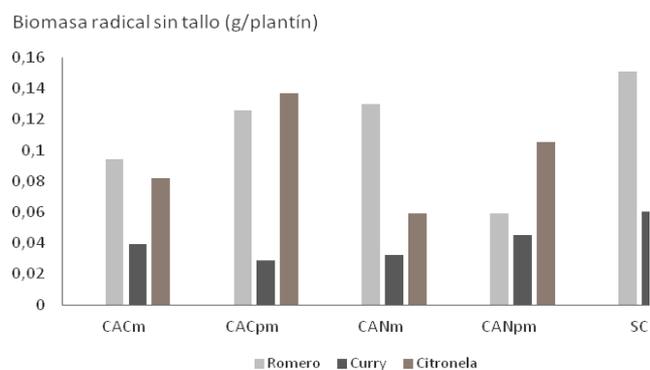
Los valores de reacción de los sustratos alcanzaron niveles apropiados para el cultivo en contenedores, el pH más alto fue para CACnm y el más bajo CANm, con diferencias estadísticas significativas. En cuanto a la CE, la cáscara de arroz natural molida y carbonizada fue la más salina y todos los valores de este parámetro fueron inferiores al límite crítico.

### Comportamiento de variables medidas en plantas y su relación con las características de los sustratos

Los valores más altos de biomasa aérea medidas en el primer momento de se observaron en el sustrato CANm en romero y curry y en el sustrato comercial (testigo) para citronella, con diferencias estadísticas significativas con respecto a la variable registradas en los otros sustratos. Pero en la valoración final, la mayor precocidad de crecimiento aéreo se observó en CACpm para romemro y citronela y en CACnm para curry (Gráfico N°7), con diferencias significativas de rendimiento respecto a los restantes tratamientos ( $\alpha$  0,05).



**Gráfico N°7:** Biomasa aérea determinados al final de la etapa experimental en plantas de romero, romero, citronela enraizados en diferentes tipos de cáscaras de arroz y un sustrato comercial.



**Gráfico N° 8:** Biomasa radical (sin tallo) determinados al final de la etapa experimental en plantas de romero, curry y citronela enraizados en diferentes tipos de cáscaras de arroz y un sustrato comercial

El gráfico N°8 muestra claramente que, dentro de los sustratos de cáscara de arroz, en romero los valores más altos de biomasa de raíces se lograron en CACpm y CANm, para curry se logró en CANpm y para citronela en CACpm, pero el mayor crecimiento de raíces de las tres aromáticas se observó en SC. No obstante este resultado, las biomasa de raíces registradas en las diferentes cáscaras de arroz son muy satisfactorias y manifiestan la utilidad de estos recursos locales para la propagación agámica de cultivos en contenedores.

## Conclusiones Generales

La cáscara de arroz natural porta gran cantidad de semillas de malezas y el triturado es una técnica que reduce sensiblemente la carga de propágulos.

El triturado y la carbonización de cáscara de arroz natural y cascara de arroz parborizada triplicaron los materiales posibles de ser utilizados como sustratos de cultivo.

Como consecuencia de la disminución del tamaño de partículas, la cáscara de arroz natural o la parborizada molida fueron menos aireadas y retuvieron más agua que los materiales originales.

El carbonizado de cáscaras de arroz molidas redujo el espacio de aireación e incrementó la capacidad de retener agua de los materiales de origen.

La cáscara de arroz molida y la cáscara de arroz molida carbonizada pueden ser utilizadas puras como sustratos para enraizamiento de esquejes o en mezclas para siembra de cultivos en bandejas multiceldas.

## Bibliografía

- Abad, M.; Martínez, P.F.; Martínez, M.D.; Martínez, J.** (1993). Evaluación de agronomía de los sustratos de cultivo. Actas de Horticultura, 11: 141-154.
- Acosta-Durán, C.; Gallardo, C.; Kampf, A.; Carvalho Bezerra, F.** (2008). Materiales regionales utilizados en Latinoamérica para la preparación de sustratos. Investigación Agropecuaria, Revista de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 5 (2): 93-106.
- Alorda, M.** 2002. Estudio de los sustratos utilizados en la producción de plantines forestales en el nordeste de Entre Ríos. Trabajo Final de Graduación para optar al título de Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNER.
- Andriolo, J.** 1997. Cultivo de tomate en sustratos. Santa Maria: Centro de Ciências Rurais, UFSM. (Informe técnico, 2). Brasil.
- Ansorena Miner, J.** (1994). Sustratos: propiedades y caracterización. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. 172 p
- Bertolotto, I.** (2010). Sustratos para la producción de *Poncirus trifoliata* (L) en contenedores. Trabajo final de graduación. FCA UNER. 29 p (biblioteca FCA UNER).
- Bellé, S.; Kämpf, A.** (1994). Utilização de casca de arroz carbonizada como condicionador hortícola para um solo orgânico. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 29 (8):1265-1271.
- Bierig, G.** (2012). Influencia del espacio de aireación de sustratos sobre el crecimiento de porta injertos cítricos. Trabajo final de graduación. FCA UNER. 31 p (Biblioteca FCA UNER).
- Bilderbark, T.; Lorscheider, M.** (1995). Physical properties of double-processed pine bark effects on rooting. Acta Horticulturae, 401: 77-83
- Booman, J.** 2000. Evolution of California substrates used in ornamental horticulture. Pp. 23-42.
- Burés, S.** (1997). Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. SL. 69p
- Calderón, F.** (2001). Que son los cultivos hidropónicos y el porqué de la hidroponía. Pp. 1-20. En: Calderón, F. (ed.). Memorias, primer curso de hidroponía para la floricultura. Mayo 31- junio 2, Bogotá.
- Calderón Sáenz, F.** (2002). La cascarilla de arroz "caolinizada"; una alternativa para mejorar la retención de humedad como sustrato para cultivos hidropónicos. Bogotá

- D.C., Colombia S.A [http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla\\_Caolinizada/La\\_Cascarilla\\_Caolinizada.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla_Caolinizada/La_Cascarilla_Caolinizada.htm). Consultado marzo de 2021.
- Chaudhary, D.; Jollands, M.** 2004. Characterization of rice hull ash. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(1):1-8.
- Christopher, J.; Matthewgray, C.; Lopez, R.** 2013. Parboiled rice hulls in propagation substrates. Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA (Estados Unidos).
- De Souza, M.; Magalhães, W.; Persegil, M.** 2002. Silica derived from burned rice hulls. *Materials Research*, 5(4):467-474.
- Dickson, A.; Leaf, A.; Hosner, J.** (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36: 10-13.
- Domeño, I.; Irigoyen, N.; Sádaba, S.; Del Castillo, J.; Muro, J.** (2009). La fibra de madera, un nuevo sustrato para cultivos hidropónicos. *Horticultura Global*, 286: 50-57.
- Dutilleul, C.; Driscoll, S.; Cornic, G.; De Paepe, R.; Foyer, C.; Noctor, G.** 2003. Functional mitochondrial complex I is required by tobacco leaves for optimal photosynthetic performance in photorespiratory conditions and during transients. *Plant Physiology*, 131(1):264-275
- Eckhard, G.; Horst, J.; Neumann, E.** 2013. Adaptation of Plants to Adverse Chemical Soil Conditions. 408-471 pp. In: Marschner P. (Ed). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Third Edition. Elsevier. 649 p.
- El Sharkawi, H.; Abdrabbo, A.; Hassanein, M.** 2014. Development of treated rice husk as an alternative substrate medium in cucumber soilless culture. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 3 (4): 131-149.
- Favaro, J.; Buyatti, M.; Acosta, M.** (2002). Evaluación de sustratos a base de aserrín de Salicáceas (*Salix sp.*) compostados para la producción de plantones. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.*, 17 (3): 367-373
- Fermino, M.; Goncalves, R.; Battistin, A.; Silveira, J.; Busnello, A.; Trevisam, M.** (2010). Aproveitamiento dos resíduos da produção de conserva de palmito como sustrato para plantas. *Horticultura Brasileira*. 28: 282-286
- Foletto, E.; Hoffmann, R.; Hoffmann, R.; Portugal, U.; Jahn, S.** 2005. Aplicabilidad de la ceniza de cáscara de arroz. *Nueva química*. 28: 1055 - 1060.
- Gallardo, C.; Valenzuela, O.; Routhier, M.** (2006). Cultivo de mirtáceas nativas de Entre Ríos en sustratos regionales: resultados preliminares. *Actas 3º Congreso Argentino de Floricultura. 8º Jornadas Nacionales de Floricultura*. La Plata, Buenos Aires: 244-247.
- Gallo, J.; Furlani, P.; Bataglia, O.; Hiroce, R.** 1974. Teores de Si em gramíneas cultivadas e forrageiras. *Ciência e Cultura*, 26:286-292.
- Garcia Prendes, R.** (2001). Evaluation of dairy manure compost as a peat substitute in potting media for container grown plants. A thesis presented to the graduate school of the University of Florida in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science University of Florida. 89p.
- Gonzales Real, M.** (1998) Necesidades hídricas de cultivos ornamentales y manejo del riego. 141 159. En *Producción de plantas ornamentales*. Ed: BALLESTER Olmos y Anguís, J., GUILLEM PICÓ, S. E.U.I.T.A. Valencia, España. 377p.
- Grassi Filho, H.; dos Santos, C.** 2004. Importância de água para manutenção dos processos fisiológicos das plantas). *Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato*. CCD 20 ed.631.811 - 435p

- Hartmann, H.; Kester, D.** 1999. Propagación de Plantas, principios y Prácticas. Séptima impresión. Compañía Editorial Continental. México. 727 p.
- Hartz, T.** (1998) Duration of composting of yard wastes affects both physical and chemical characteristics of compost and plant growth. *HortScience*, 33 (7): 1192-1196.
- Joseau J.** (2001). Producción de plantines de calidad de algarrobo. Jornada de Alberto Kraft. Cátedra de Silvicultura. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.
- Informe Sieber.** Bolsa de Cereales de Entre Ríos, informe correspondiente a la producción de arroz en el ciclo 2019/20 en la provincia de Entre Ríos, Argentina.2020. Bolsacer - [www.bolsacer.org.ar](http://www.bolsacer.org.ar), consultado en marzo 2021.
- Kampf, A.** (1994). Produção comercial de plantas ornamentais. *Guaíbia: Agropecuária*: 63-65 p.
- Kampf, A.; Jung, M.** (1991). The use of carbonized rice hulls as an horticultural substrate. *Acta Horticulturae*, 294: 271-281.
- Kämpf, A.; Fermino, M.** (2000). Substrato para plantas. Ed.Genesis.Brasil. 312 p
- Klein, V.; Camara, R.; Simon, M.; Dias, S.** (2002). Casca de arroz carbonizada como condicionador de sustrato. In: FURLANI, A. M. C. Caracterização, manejo e qualidade de sustratos para produção de plantas. Campinas: Instituto Agronômico. 95 p. (Documentos IAC, 70).
- Lemaire, F.; Riviere, L.; Stievenard, S.; Marfa, O.; Gschwander, S.; Giuffrida, F.** (1998). Consequences of organic matter biodegradability on the physical, chemical parameters of substrates. *Acta Hort.* 469:129-138.
- Landis, T.** (1990). Medios de Crecimiento. En: Landis, T.; Tinus, R.; Mcdonald, S.; Barnett, J.. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Volumen 2: Contenedores y medios de crecimiento. Versión en español del: Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 52 p.
- Landis, T.; Dumroese, R.K.; Haase, D.L.** (2010). Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Volumen 7. Preparación de la Planta, Almacenamiento y Plantación. Manual Agrícola 674. Washington, D.C.: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal. 244 p.
- Marjenah; Kiswanto; Purwanti, S; Sofyan; F.** (2016). The effect of biochar, cocopeat and saw dust compost on the growth of two dipterocarps seedlings. *Nusantara Bioscience*, 8: 39-44.
- Marse, M.; Sattler, M.** (2010). Evaluación de estípites molidos de palma caranday (*Trithri-nax campestris*) para su uso como componente de sustrato en el cultivo de plantas en contenedores. Trabajo final de graduación. FCA UNER. 78 p (material disponible en biblioteca FCA UNER).
- Marusich, M.** (2005).Sustratos de cascara de arroz y girasol para la propagación de especies ornamentales. Trabajo final de graduación. FCA UNER. 71p (material disponible en biblioteca FCA UNER).
- Masaguer, A.; López-Cuadrado, M.; Navas, M.** (2005). Sustratos de cultivo: nueva alternativa eco-compatible. *Phytoma*: 26-32.
- Mhango, J.; Akinnifesi, F.; Mng'omba, S.; Sileshi, G.** (2008) Effect of growing medium on early growth and survival of *Uapaca kirkiana* Müell Arg seedlings in Malawi. *African Journal of Biotechnology*, 7 (13): 2197-2202.

- Morard, P.; Lacoste, L. and Silvestre, J.** 1995. Effect of oxygen deficiency on uptake of water and mineral nutrients by tomato plants in soilless culture. *J. Plant Nutr.* 23:1063-1078.
- Noguera Murray, P.** (1999). Caracterización y evaluación agronómica del residuo de fibra de coco: un nuevo material para el cultivo en sustrato. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Químicas, en el Departamento de Química de la Universidad Politécnica de Valencia. 274 p.
- Osava, M.** (2005). Se extingue bromuro de metilo en Brasil y Cuba. <http://www.tierramerica.org/2003/0623/acentos2.shtml>.
- Prieto R. J.; García, R.; Mejía, B.; Uchín, A.; Aguilar, V.** (2009). Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación Especial No. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana INIFAP SAGARPA. Durango, México. 48 p.
- Quintero, M.; González-Murillo, C.; Flórez, V.** (2006). Evaluación de las características hidrofísicas de los sustratos cascarilla de arroz quemada, fibra de coco y sus mezclas. En: Flórez R., V.J., A. de la C. Fernández, D. Miranda L., B. Chaves C. y J.M. Guzmán P. (Eds.). *Avances sobre Fertirriego en la Floricultura Colombiana*. Bogotá: Unibiblos. pp. 451-462.
- Quinteros, M.; Guzman, J.; Valenzuela, J.** (2012). Evaluación de sustratos alternativos para el cultivo de miniclavel (*Dianthus caryophyllus* L.) *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6 (1): 76-87.
- Ramírez, L.** (2000). Algunos avances en la morfogénesis de la teca (*Tectona grandis*). Tesis para optar por el grado de Master en Ciencias. Universidad de Ciego de Avila, Cuba. 55p.
- Raviv, M.; Lieth, J.** (2008). Significance of soilless culture in agriculture. Pp. 1-11. Raviv, M & JH Lieth (ed.). *Soilless culture: Theory and Practice*. Elsevier. Amsterdam, Bélgica. 587 pp.
- Rivière, L.; Charpentier, S.; Morel, L.; Dartigues, A.** (2005). Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones. Editorial MundiPrensa, Madrid, España. 232 p.
- Rivière, L.M.; Morel, P.; Michel, J.; Charpentier, S.** (2008). Growing media in horticulture french. *Acta Horticulturae* 779:33-38.
- Rosenberger, L.; E. Spahn; M. Prand; J. Casermeiro; A. Ronconi; A. M. H. Martinez; D. Mesa; A.Muller; A. De Petre.** (2011). Sustratos para la reproducción de especies leñosas nativas. *Actas II Congreso Nacional de protección y manejos sustentable de bosque nativo*. Villaguay, Entre Ríos. pp. 55-56.
- Saboya Saboya, G.** (2010). Análisis técnico y económico en la producción de la cascarilla de arroz carbonizada (CAC) como sustrato para la propagación vegetativa de estacas juveniles de caoba (*Swietenia macrophylla* king) en cámara de sub-irrigación, Pucallpa, Perú". Tesis para optar el título de ingeniero forestal Pucallpa, Perú. 128p.
- Salazar Castro, D.; Sánchez Arango, M.** (2013). Propuestas de mejora del manejo logístico y tecnológico de sustratos con cascarilla de arroz usados en los cultivos de clavel en la sabana de bogotá, con el apoyo de asocolflores. Facultad de ingeniería carrera de ingeniería industrial Bogotá
- Saunders, T; Browder, J.; Jackson, B.; Wright, R.** (2006). Particle size of a pine chips substrate affects plant growth. *SNA Research Conference*, Vol. 51: 46-48.
- Styer, R.; Koranski, D.** (1997). *Plug & Transplant production: a grower's guide*. Ball Publishing. Batavia, Illinois, USA. 374p.

- Telenchana Tisalema, J.J.** (2018) Evaluación de sustratos alternativos a base de cascarilla de arroz y compost en plántulas de pimiento (*Capsicum annuum*). Documento final del proyecto de investigación como requisito para obtener el grado de ingeniero agrónomo. Ambato, Ecuador. 64p. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27192/1/Tesis-188%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20557.pdf>
- Urreztarazu Gavilan, M.** (2003). Tratado de cultivo sin suelo. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 914p.
- Valenzuela, O.** (2005). Materiales alternativos usados en la formulación de sustratos. II Fórum Latino-Americano de Plantas Ornamentales. 42-47 p.
- Valenzuela, O.** (2009). Evaluación agronómica de materiales regionales usados en la formulación de sustratos para plantas. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario. Rosario, Argentina. 127p
- Valenzuela, O.; Gallardo, C.** (2003). Los sustratos: un insumo clave en los sistemas de producción de plantines. IDIA XXI Año III (4): 25-29.
- Valverde, A., B.S. López y J.P.M. Yanes.** 2007. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. Scientia et Technica, 5(37):255-260.
- Vence, L.** 2008. Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. Cienc. Suelo 26 (2): 105-114.
- Wright, R.; Jackson, B.; Barnes, M.** (2008). Pine tree substrate construction for optimal water holding capacity and airspace. SNA Research Conference Vol. 53: 54-56.
- Young, J.; Holcomb, E.; Heuser, Ch.** (2002). Greenhouse growth of marigolds in three leached sources of spent mushroom compost over 3- year period. HortTechnology, 12 (4): 701-705.
- Zucconi, F.; Fort, M.; Monaco, A. y M. De Bertoldi.** (1981<sup>a</sup>). Evaluating toxicity of immature compost. BioCycle. Marzo-Abril: 54 - 57.
- Zucconi, F.; Fort, M. y A. Monaco.** (1981<sup>b</sup>). Biological evaluation of compost maturity. BioCycle. Julio - Agosto: 27- 29.

**PID 2185**

**Denominación del Proyecto**

Relevamiento y evaluación de residuos agro-industriales de entre ríos con potencial para la formulación de sustratos de cultivo

**Directora**

Claudia S. Gallardo

**Unidad de Ejecución**

Universidad Nacional de Entre Ríos

**Dependencia**

Facultad de Ciencias Agropecuarias

**Contacto**

[claudia.gallardo@uner.edu.ar](mailto:claudia.gallardo@uner.edu.ar)

**Cátedra/s, área o disciplina científica**

Espacio Curricular Optativo Producción y ecofisiología de plántulas para trasplante - Departamento Producción Vegetal – Disciplina científica: Sustratos y mejoradores de suelos.

**Integrantes del proyecto**

María Celina Barrera; Osvaldo Valenzuela; Martín Jauregui

**Fechas de iniciación y de finalización efectivas**

01/02/2017 y 23/06/2021

Aprobación del Informe Final por Resolución N°055/24 (27/03/2024)