

# NOVA REVISTA

ISSN 2500-4476

e-ISSN 2590-6941

DOI: <http://doi.org/10.23850/issn.2500-4476>



**SENNOVA**

Sistema de Investigación,  
Desarrollo Tecnológico e Innovación







**SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE**

**Jorge Eduardo Londoño Ulloa**  
Director General del SENA

**Wilfredo Grajales Rosas**  
Director Dirección de Formación Profesional

**Adriana Milena Gasca Cardoso**  
Director Regional SENA Huila (E)

**César Humberto Chávarro Perez**  
Subdirector (E) Centro de Desarrollo Agroempresarial  
y Turístico del Huila

**COMITÉ EDITORIAL Y CIENTÍFICO**

**Heimar Hernán Coronado Hernández**  
Dinamizador SENNOVA  
Centro de Desarrollo Agroempresarial  
y Turístico del Huila

**William Orlando Triana Perdomo**  
Comunicador Social y Periodista SENNOVA  
Centro de Desarrollo Agroempresarial  
y Turístico del Huila

**Daniel Fernando Vargas Vargas**  
Diseñador Gráfico y Auxiliar Edición SENNOVA  
Centro de Desarrollo Agroempresarial  
y Turístico del Huila

**TRADUCTOR**

**Claudia Constanza Suárez Botía**  
Profesional Bilingüismo  
Centro de Desarrollo Agroempresarial  
y Turístico del Huila

**Revista NOVA**

ISSN: 2500 - 4476 / e-ISSN: 2590 - 6941

DOI: <https://doi.org/10.23850/issn.2500-4476> Periodicidad: Anual

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)

Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del SENA (SENNOVA)

Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico del Huila Cra. 7 N° 5-67 La Plata, Huila - Colombia.

Teléfono: (8) 8370987 Ext. 83737

[revistanova@sena.edu.co](mailto:revistanova@sena.edu.co)

<http://revistas.sena.edu.co/index.php/rnova>



### **Comité Evaluador Volumen 7**

La Revista Nova agradece a los investigadores quienes actuaron como evaluadores:

**Heimar Hernan Coronado Hernandez**

**William Orlando Triana Perdomo**

**Yubeli Martinez Sanchez**

**Willian Oswaldo Torres Quitian**

Distribución gratuita  
Edición en línea  
Diciembre de 2022



### Revista Nova

**Misión:** Divulgar las investigaciones realizadas por instructores y aprendices del SENA e instituciones a nivel regional, nacional e internacional. Publicando artículos científicos e inéditos relacionados con el desarrollo tecnológico e innovación industrial, agropecuario, emprendimiento y gestión empresarial, impactando y contribuyendo al desarrollo académico del Huila.

**Visión:** Para el 2020 ser conocida como una publicación de innovación, relevancia y pertinencia académica con énfasis en las áreas industrial, ambiental, agropecuaria y empresarial, formando parte de las bases bibliográficas mas relevantes.

#### Líneas de investigación Grupo Nova

1. Desarrollo Tecnológico e Innovación Industrial
2. Emprendimiento y Gestión Empresarial
3. Desarrollo Pecuario
4. Desarrollo Agrícola
5. Ambiental

**Mission:** To disseminate research studies conducted by SENA instructors and apprentices and institutions at regional, national and international level. Publishing scientific and unpublished articles related to technological development and industrial innovation, agriculture, entrepreneurship and business management, impacting and contributing to the academic development of Huila.

**Vision:** For the year 2020 REVISTA NOVA will be known as a publication of innovation, relevance and academic pertinence with emphasis on the industrial, environmental, agricultural and business areas, being part of the most relevant bibliographic databases.

#### Research Lines

1. Technological Development and Industrial Innovation
2. Entrepreneurship and Business Management
3. Livestock Development
4. Agricultural Development
5. Environmental Area

## Tabla de Contenido

Volumen 7 · Diciembre 2022 · ISSN 2500 - 4476 · e-ISSN 2590-6941

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| EDITORIAL .....                                                                                                                      | 8  |
| Correlación entre los índices espectrales y el análisis<br>físicoquímico de suelo para generar mapas<br>nutricionales de suelo ..... | 10 |
| Análisis comparativo de seis especies de<br>crasuláceas en tres sustratos derivados<br>residuos orgánicos .....                      | 22 |

## Content

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| EDITORIAL .....                                                                                               | 8  |
| Correlation spectral indices and physicochemical<br>soil analysis to generate soil nutritional maps.....      | 10 |
| Comparative Analysis of six species of crassulaceae<br>on three substrates derived from organic residues..... | 22 |

## EDITORIAL

La cuarta revolución industrial y su transformación tecnológica ha representado volver a aprender, así mismo, un motivo para seguir trabajando por el mejoramiento e impacto de la Revista Nova en la comunidad académica. En este proceso de cambio, el sector empresarial constituye uno de los enfoques de la institución, por este motivo el Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico del Huila ofrece servicios tecnológicos de alta calidad que apoyen la competitividad en el país a través de dos laboratorios: Laboratorio de ensayos para la calidad de café y Laboratorio de Electrónica.

De igual forma, fortalecimos los procesos de innovación e investigación con el desarrollo de una plataforma de inmersión virtual de los sitios turísticos cascada La Candelaria y Parque Arqueológico Nacional de Tierradentro, con el objetivo de contribuir a la competitividad en las empresas de la región y posicionar los atractivos a nivel nacional, así mismo, se aportó a la construcción de un mercado inteligente según las nuevas tendencias globales, disminuyendo la brecha digital en la región y brindado mayor acceso a las nuevas tecnologías de la información y la comunicación.

El Equipo Editorial presenta en este volumen artículos relacionados con la evaluación de la eficiencia de mezclas de balso, guásimo y cadillo secos y en solución acuosa en el proceso de clarificación de jugos de caña, importancia del empaque para la comercialización de la cebolla en Rama (*Allium fistulosum*) en Boyacá, desarrollo de un banco motor para la planta motriz desert aircraft de 85 cm<sup>3</sup>, pertinencia e impacto social de los tecnólogos egresados del Sena Regional Córdoba, Evaluación preliminar In Vitro de la actividad antimicrobiana del propóleo frente a patógenos causantes de enfermedades transmitidas por alimentos, elaboración de un microcosmo interconectado para procesos de fitorremediación a escala de laboratorio utilizando macrófitas acuáticas de la ciudad de Neiva, Colombia y Miasis por *Dermatobia Hominis*. Presentación de caso clínico.

Se invita a la comunidad SENA a participar activamente en los semilleros de investigación como mecanismo directo para fortalecer los procesos productivos de la zona occidente y oriente caucano.

El Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico del Huila y el Comité Editorial agradece a los investigadores de los centros de formación y universidades por ser partícipes de este proceso de divulgación científica y elegir a la Revista Nova como medio para visibilizar sus resultados, así mismo, su contenido sirva como referente de consulta para instructores y aprendices.

**César Humberto Chávarro Pérez**

Subdirector (E) Centro de Desarrollo Agroempresarial  
y Turístico del Huila, SENA Regional Huila  
Director de la Revista

## CORRELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES ESPECTRALES Y EL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO PARA GENERAR MAPAS NUTRICIONALES DE SUELO

### CORRELATION BETWEEN SPECTRAL INDICES AND PHYSICOCHEMICAL SOIL ANALYSIS TO GENERATE NUTRITIONAL MAPS

<sup>1</sup> Claudia Patricia Castro Vargas

<sup>1</sup> Angela Rosio Urrego Tunjuelo

Recibido: 02-02-2022

Aceptado: 08-02-2022

- 1 Colombiana. Ingeniera Agrónoma. Especialista en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Magister en gestión de cuencas hidrográficas. Centro de Formación agroecológico y empresarial, Regional Cundinamarca, SENA, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-9380-5833>. [cpcastro@sena.edu.co](mailto:cpcastro@sena.edu.co)
- 2 Colombiana. Ingeniera Agrónoma. Especialista en Formulación de proyectos. Candidata a Magister en gerencia de la innovación en proyectos. Centro de Formación agroecológico y empresarial, Regional Cundinamarca, SENA, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-0611-5135>. [arurrego@sena.edu.co](mailto:arurrego@sena.edu.co)

## RESUMEN

La aplicación de técnicas de agricultura de precisión como herramienta de toma de decisiones para establecer el comportamiento espacial de los suelos permite optimizar el uso de los diferentes recursos agrícolas, con el fin de mejorar la sostenibilidad y la competitividad, reduciendo el riesgo de degradación ambiental y mejorando su rentabilidad. El objetivo del presente estudio es realizar la correlación del índice espectral de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) con los análisis de suelos físicos químicos para generar los mapas nutricionales de suelos que se utilizan como herramienta para la formulación de planes de fertilización ajustados a los requerimientos del cultivo de limón tahiti. Esta investigación se localizó en Municipio de Tibacuy, Vereda Siberia, Finca el porvenir con Coordenadas Longitud 4.352642 Latitud 74.4385. El proyecto se desarrolló en cinco etapas: Identificación espacial del área productiva y determinación del muestreo dirigido, segunda etapa toma estratificada de suelo y envío a laboratorio de las muestras, la tercera etapa corresponde al uso de técnicas de análisis espacial, la cuarta etapa establece los mecanismos de geoproces-

amiento de las imágenes tomadas con dron y la estimación de índices espectrales a partir de la Cámara Multiespectral Parrot Sequoia (Parrot SA, France) y la quinta etapa correlación multivariable para el área productiva y elaboración de mapas nutricionales de suelo. Los resultados obtenidos permitieron identificar correlación positiva entre el NVDI y el mapa de distribución de carbono orgánico.

**Palabras claves:** Agricultura, mapas, nutrientes, precisión, sol.

## Abstract

Applying precision agriculture techniques as a decision-making tool to establish the spatial behavior of soils, allows optimizing the use of different agricultural resources, reducing the risk of environmental degradation, and improving sustainability, competitiveness, and profitability of lands. The aim of this study is to correlate the spectral index of Normalized Difference Vegetation (NDVI) with the physicochemical soil analysis in order to map nutrients on the soil. These maps are used as a tool for the formulation of fertilization plans adjusted to the requirements of the Tahiti lemon crop. This research was developed in the Municipality of Tibacuy, Siberia village, El porvenir farm (Coordinates: Longitude 4.352642- Latitude 74.4385). The project was developed in five stages: First, Spatial identification of the productive area and determination of directed sampling; second, stratified soil sampling and shipping to the laboratory; third, Implementation of spatial analysis techniques; fourth, geoprocessing mechanisms of the images taken using a drone and estimation of spectral indices from the Parrot Sequoia Multispectral Camera (Parrot SA, France); and the fifth stage corresponds to multivariable correlation for the productive area and preparation of soil nutritional maps. The results obtained allowed us to identify a positive correlation between the NVDI and the organic carbon distribution map.

**Keywords:** Agriculture, maps, nutrients, precision, soil.

## Introducción

La agricultura de precisión es un conjunto de técnicas orientadas a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, fertilizantes, agroquímicos y correctivos), en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola. Esta optimización se logra con la distribución de la cantidad correcta de esos insumos, dependiendo del potencial y la necesidad de cada punto de las áreas de manejo (Bongiovanni *et al.*, 2006).

Dentro de las aplicaciones de la AP, los muestreos georreferenciados de suelos permiten mapear las variaciones de fertilidad dentro de las áreas cultivadas y definir intervenciones de manejo localizado (o sitio-específico) (IICA Y PROCISUR, 2014); dado que las características del suelo y del cultivo varían en el espacio (distancia y profundidad) y en el tiempo. En este contexto la investigación, extensión e innovación de los segmentos relacionados al área agrícola se han realizado para enfrentar esos nuevos desafíos, llegando a la conclusión que la generación de tecnología permite desarrollar técnicas que cuantifiquen y manejen diferenciadamente la variabilidad natural del área productora (Claret 2006).

Por lo tanto, en esta investigación se realizó la toma de imágenes aéreas RGB (Red-Green-Blue), térmica y multiespectral de alta definición del área de estudio correlacionando con análisis físico y químicos de suelos, haciendo uso de la técnica de muestreo espacial estratificado (Minasny y McBratney, 2006), para generar una correlación multivalente entre los índices espectrales y las propiedades físico - químicas

de suelo, que proporcionan herramientas para una adecuada toma de decisiones en el cultivo, integrando de esta forma nuevas alternativas tecnológicas de la agricultura de precisión (AGP) en los modelos productivos convencionales.

El cultivo seleccionado fue Limón Tahití (*Citrus latifolia Tanaka*) ubicado en el municipio de Tibacuy, Cundinamarca, donde se adapta a las condiciones de la zona y aporta a la economía local, destacando la fertilización como una labor fundamental para la producción del cultivo; sin embargo se genera pérdida de los fertilizantes cuando éstos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos, o cuando se eliminan por acción del agua o del viento de la superficie del suelo antes de que puedan ser absorbidos.

Teniendo en cuenta la relevancia que toma la fertilización en los rendimientos del cultivo; el objetivo de la investigación es obtener la correlación de los índices espectrales más relevantes aplicables para todos los sistemas productivos, como lo son: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE) y el Índice de Clorofila Verde (GCI), con los análisis de suelos físico químicos para generar los mapas nutricionales de suelos que se utilizan como herramienta para la formulación de planes de fertilización ajustados a los requerimientos del cultivo.

En la investigación se desarrolló las siguientes etapas: precampo, la cual abarca desde la identificación espacial del área productiva, hasta la determinación del muestreo dirigido, mediante técnica de análisis espacial, la segunda etapa corresponde a la etapa de campo, donde se aplica una metodología de toma estratificada de suelo, registro y envío a laboratorio de las

muestras, la tercera etapa corresponde al uso de técnicas de análisis espacial, comenzando desde la consolidación de las bases de datos del resultado de laboratorio de suelos, hasta la aplicación de técnicas de geoestadística para la determinación del estado nutricional del sistema productivo con el uso del R, la cuarta etapa establece los mecanismos de geoprocetamiento de las imágenes tomadas con dron o Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV, por sus siglas en inglés), además de la estimación de índices espectrales a partir de la Cámara Multiespectral Parrot Sequoia (Parrot SA, France), la quinta etapa y finalmente mediante el uso de los insumos anteriormente mencionados realizar la aplicación de técnicas multivariadas para la determinación y cuantificación de la correlación multivalente para el área productiva. Con los resultados de la correlación se realizan los planes de fertilización ajustados.

## Materiales y métodos

La agricultura de precisión (AGP) es la aplicación de tecnologías y principios para gestionar la variabilidad espacial y temporal asociada a todos los aspectos de la producción agrícola empleando técnicas para recopilar, procesar y analizar datos espaciales y temporales con el fin de orientar acciones específicas que mejoren la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad de las operaciones agrícolas (Lowenberg y Erickson, 2019; Schrijver et al., 2016; Abdullahi et al., 2015).

Esta investigación se localizó en Municipio de Tibacuy, Vereda Siberia, Finca el porvenir con coordenadas planas Longitud 4.352642 Latitud 74.4385.

En la etapa **precampo** la cual consistió en la identificación del área productiva a estudiar, teniendo en cuenta esto se realizó un análisis básico de terreno y se estableció la variabilidad espacial de las propiedades biofísicas del terreno,

esta etapa finalizó la determinación de los puntos de muestreo, a partir del uso de la técnica de muestreo espacial estratificado denominado Hiper cubo Latino Condicionado (CLHS).

Se obtuvo la información necesaria para realizar la identificación espacial de áreas y perímetros del sistema productivo con la ayuda e implementación de apps gratuitas de georreferencia espacial (GPS) que permitan la obtención de datos o información en formato kml, kmz, shp file etc. Es importante resaltar que esta información puede interactuar en cualquier software de procesamiento SIG, a través de un archivo kml, kmz, shp file etc, lo cual permite una interoperabilidad muy rápida en todo el geoproceto de medición.

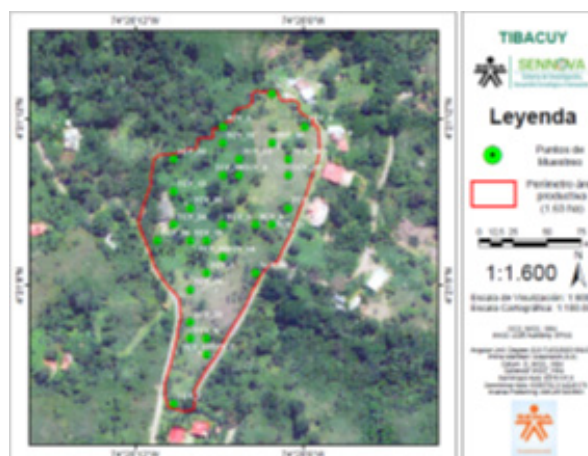
Se realizó el análisis de los parámetros biofísicos, se estimaron usando el software libre SAGA (Sistema para Análisis Geocientíficos Automatizados) el cual es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto utilizado para editar y analizar datos espaciales para el análisis de datos vectoriales (punto, línea y polígono), tabla, cuadrícula e imagen. Entre otros, el paquete incluye módulos para geoestadística, clasificación de imágenes, proyecciones, simulación de procesos dinámicos (hidrología, desarrollo del paisaje) y análisis del terreno.

Para la presente metodología se usó la estrategia de muestreo del Hiper cubo Latino Condicionado (conditioned Latin Hypercube - cLHS) propuesto por Minasny y McBratney (2006). El cLHS es un procedimiento aleatorio estratificado y eficiente a la hora de muestrear variables con distribuciones multivariantes como lo son Modelo Digital de Elevación – (MDE), sombreado analítico, pendientes, índice topográfico de humedad y factor de pérdida de suelo.

Para ubicar el punto de muestro se usaron dispositivos de navegación disponibles, dentro de los cuales se encuentra GPS, Tablet, APP gratuitas o

de uso comercial (Figura 1).

*Figura 1. Puntos de muestreo de Tibacuy. Elaboración propia.*



*Fuente: elaboración propia.*

En cuanto a la toma de las 30 muestras de suelos se siguió el Instructivo de Levantamiento de Suelos a diferentes escalas que tiene la Subdirección de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (IGAC, 2018) dentro de los cuales se resalta la toma de submuestras, el diligenciamiento de la etiqueta de identificación de la muestra. Además, es recomendable que, en el momento de la recolección de las muestras para análisis químico y físico de suelos, se realice una muestra compuesta. Luego de tomar la muestra de suelo representativa, se procede al etiquetado para cada PCM (Punto central de muestreo) y posterior envío al laboratorio.

Para el análisis de la variabilidad espacial se realizó, una serie de pasos, los cuales son inherentes al proceso de modelado espacial. Dentro de estos los más relevantes se establecieron: i) Clasificación Textural, ii) Análisis exploratorio y estadística básica, iii) Cuantificación de la de-

pendencia espacial, iv) aplicación de Técnicas de Geoestadística.

Para el análisis de la textura se utilizó el software RStudio y el lenguaje de código abierto a partir de la Librería *soiltexture* (Moeys, 2018), la cual sigue la metodología del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Staff Soil Survey, 2014).

Para el análisis exploratorio se procedió a la determinación de algunas medidas de tendencia central, para cada una de las variables reportadas por el laboratorio. Este procedimiento se realizó con ayuda del software RStudio, aplicando las metodologías de las librerías *ggplot2* (Wickham, 2011) y *GGally* (Schloerke et al., 2018).

Para las medidas de dependencia espacial se determinó el Índice de Moran (*I Moran*) (Anselin, 1995). El *I Moran* el cual varía entre  $-1$  y  $1$ ; un valor cercano a  $1$  indica una alta autocorrelación positiva, mientras que valores cercanos a  $-1$  indican autocorrelación negativa, por el contrario, un valor próximo a cero significa que no existe un patrón espacial o que la dispersión de las observaciones en el espacio es completamente aleatoria (Fu et al., 2014).

Luego de determinar las variables que cumplen con todos los supuestos del método Kriging desarrollado por Krige (1951), se usó el software RStudio, específicamente la librería *gstat* (Pebesma, 2004) donde se encuentra de una manera detallada la metodología. Para las áreas productivas de cada zona de estudio en las cuales se empleó esta metodología para poder determinar la representación las principales propiedades Físico – Químicas que tienen una alta variabilidad espacial para las zonas establecidas.

Para la generación de los insumos proporcionados con imágenes multiespectrales y térmicas para cada área productiva del proyecto, existen compañías que suministran estos insumos. Realizó el levantamiento de fotogrametría multiespectral y fotografía térmica del área de estudio,

con la ayuda de Drones o UAV se pudo Determinar los índices espectrales necesarios para la investigación del proyecto.

Los Drones y equipos multiespectrales y térmicos usados en la toma de información que se requería en las zonas establecidas fueron: un DJI MAVIC 2 Enterprise Advance (DJI, 2021), el cual posee una cámara Dual RGB, Thermal y un Dron DJI Phantom 4 Pro (DJI, 2017), la cual le fue incorporada una cámara multiespectral Parrot Sequoia (Parrot SA, France). A partir de la toma de información con los equipos descritos anteriormente por la empresa ANKA, se generó la consolidación de las imágenes, i) RGB (Red-Green-Blue) o color verdadero, ii) imagen térmica y iii) imagen multiespectral; el i) y ii) fueron tomadas con el DJI MAVIC 2 Enterprise Advance, el producto iii) fueron generadas con el equipo DJI Phantom 4 Pro y la cámara Parrot Sequoia. Las cámaras RGB y multiespectrales, las cámaras térmicas también se utilizan con drones para aplicaciones agrícolas. Las cámaras térmicas detectan radiación en la región infrarroja de longitud de onda larga (8.000 a 14.000 nm). Cuanto mayor sea la temperatura de un objeto, mayor será la radiación térmica emitida.

Teniendo en cuenta las bandas espectrales obtenidas a partir de la cámara **Parrot Sequoia** y de la información multiespectral, se determinaron algunos índices espectrales más relevantes aplicables para todos los sistemas productivos, los cuales son: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE) y el Índice de Clorofila Verde (GCI). Dónde:

*NIR*: Near infrared, que para la Parrot Sequoia, se encuentra entre (790nm  $\pm$  40nm).

*Red Edge*: Red edge, que para la Parrot Sequoia, se encuentra entre (735nm  $\pm$  10nm).

*NIR*: Near infrared, que para la Parrot Sequoia, se encuentra entre (790nm  $\pm$  40nm).

*RED*: Red, que para la **Parrot Sequoia**, se en-

cuenta entre (660nm  $\pm$  40nm).

*NIR*: Near infrared, que para la **Parrot Sequoia**, se encuentra entre (790nm ± 40nm).

*Green:* Banda Verde, que para la **Parrot Sequoia**, se encuentra entre (550nm  $\pm$  40nm)

A partir de todos los análisis descritos anteriormente, se aplicaron técnicas multivariadas para la determinación y cuantificación de la correlación multivalente para cada una de las áreas productivas. Esto se realizó con el software de la Statgraphics (Centurion XVIII, Statgraphics.Net, Madrid) y con el software RStudio, específicamente con las librerías ggplot2 (Wickham, 2011) y GGally (Schloerke et al., 2018).

Finalmente, Luego de determinar las variables que cumplen con todos los supuestos del método Kriging desarrollado por Krige (1951), los cuales se encuentran especificados por Giraldo (2002). Para este proceso, se usó el software RStudio, específicamente la librería gstat (Pebesma, 2004) donde se encuentra de una manera detallada la metodología.

## Resultados y discusión

### 3.1 Clasificación Textural

La textura es la distribución de las partículas del suelo. Expresada en porcentaje. Estas partículas son: la arena (2 - 0.02 mm), el limo (0.02 - 0.002 mm) y la arcilla (0.002) (Ramírez, 1997)

Al procesar la información de las 30 muestras de la unidad productiva con el software RStudio se genera la figura 2 y la tabla 1:

Figura 2. Clasificación Textural del área productiva de Tibacuy.

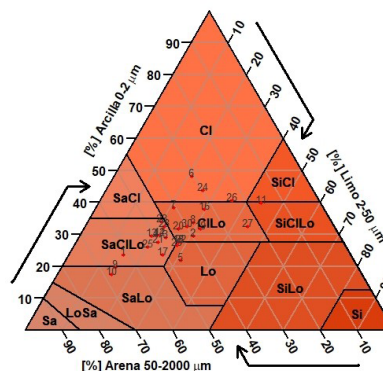


Tabla 1. Estadística de la clasificación textural

| Clasificación Textural   | Símbolo | Muestras  |
|--------------------------|---------|-----------|
| Arcilloso                | Cl      | 3         |
| Franco                   | Lo      | 1         |
| Franco arcilloso         | ClLo    | 11        |
| Franco arenoso           | SaLo    | 2         |
| Franco arenoso arcilloso | SaClLo  | 12        |
| Franco limoso arcilloso  | SiClLo  | 1         |
| <b>Total Muestras</b>    |         | <b>30</b> |

*Fuente:* elaboración propia.

De acuerdo a González y Tullo en el 2019 los mejores suelos para cítricos son los de textura media a arenosa (arenoso-franco a franco-arenoso); en el área de estudio se presentaron

6 clases texturales predominando las texturas Franco arcilloso y Franco arenoso arcilloso en un 36,7% y un 40% respectivamente, es decir, son texturas moderadamente finas, para el caso de textura de Franco arenoso se obtuvo 2 muestras que representan el 6,6%, en este sentido se infiere que en gran parte del lote se tendrá dificultad en el movimiento del agua en el suelo, un drenaje lento que implicara el montaje de canales de drenaje para la evacuación de láminas de riego altas e implementación de mulch para evitar encostramientos.

La gran mayoría de las propiedades fisicoquímicas están influenciadas por la granulometría: estructura, color consistencia, porosidad

aireación, permeabilidad, hidromorfía, retención de agua, lavado, capacidad de cambio, y reserva de nutrientes (Jaramillo, 2002)

### 3.1 Clasificación Textural

Para el análisis exploratorio se procedió a la determinación de algunas medidas de

tendencia central, para cada una de las variables reportadas por el laboratorio. Este procedimiento se realizó con ayuda del software RStudio, aplicando las metodologías de las librerías ggplot2 (Wickham, 2011) y GGally (Schloerke et al., 2018) En las siguientes tablas 2 y 3 se presentan los resultados de la estadística descriptiva univariante del Municipio de Tibacuy.

Tabla 2. Estadística descriptiva univariante del Municipio de Tibacuy.

| PROPIEDAD           | pH   | COS   | MO    | S                   | P      | Ca                     | Mg    | K     | Na    | Al + H | CICE  | Cu                  | Fe     |
|---------------------|------|-------|-------|---------------------|--------|------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|---------------------|--------|
|                     | 1:1  | %     |       | mg kg <sup>-1</sup> |        | cmolc kg <sup>-1</sup> |       |       |       |        |       | mg kg <sup>-1</sup> |        |
| Mínimo              | 4,68 | 0,43  | 0,74  | 0,04                | 0,14   | 0,97                   | 1,32  | 0,08  | 0,02  | 0,00   | 5,15  | 0,97                | 15,23  |
| Máximo              | 6,57 | 2,08  | 3,58  | 9,31                | 73,19  | 14,31                  | 11,12 | 0,87  | 0,22  | 3,48   | 21,32 | 7,55                | 288,31 |
| Promedio            | 5,72 | 1,32  | 2,27  | 1,31                | 9,40   | 7,18                   | 4,38  | 0,26  | 0,10  | 0,48   | 12,41 | 2,51                | 88,26  |
| Mediana             | 5,55 | 1,38  | 2,37  | 0,15                | 2,68   | 6,86                   | 3,99  | 0,18  | 0,11  | 0,05   | 11,89 | 2,22                | 73,83  |
| Desviación estándar | 0,54 | 0,43  | 0,75  | 2,49                | 15,04  | 3,53                   | 2,23  | 0,19  | 0,05  | 0,81   | 4,64  | 1,24                | 51,96  |
| Asimetría           | 0,00 | -0,03 | -0,03 | 2,13                | 2,69   | 0,47                   | 1,10  | 1,59  | 0,52  | 1,98   | 0,27  | 2,22                | 1,97   |
| Kurtosis            | 1,83 | 1,93  | 1,93  | 6,41                | 11,15  | 2,35                   | 4,01  | 4,84  | 2,56  | 6,94   | 2,03  | 9,59                | 8,17   |
| Coef. Var %         | 9,50 | 32,86 | 32,86 | 189,12              | 159,90 | 49,15                  | 50,78 | 72,80 | 51,17 | 166,50 | 37,36 | 49,15               | 58,87  |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Estadística descriptiva univariante del Municipio de Tibacuy.

| PROPIEDAD           | Zn                  | Mn    | CE                 | Ca/Mg                  | Ca/K   | Mg/K  | (Ca+Mg)/K | Arena | Arcilla | Limo  |
|---------------------|---------------------|-------|--------------------|------------------------|--------|-------|-----------|-------|---------|-------|
|                     | mg kg <sup>-1</sup> |       | dS m <sup>-1</sup> | Relaciones de cationes |        |       |           | %     |         |       |
| Mínimo              | 0,10                | 3,11  | 0,08               | 0,59                   | 6,18   | 4,58  | 10,77     | 16,05 | 17,45   | 14,63 |
| Máximo              | 7,60                | 43,13 | 0,73               | 4,45                   | 101,79 | 42,55 | 128,93    | 67,83 | 48,32   | 44,10 |
| Promedio            | 1,61                | 19,21 | 0,23               | 1,78                   | 35,14  | 21,09 | 56,23     | 43,51 | 30,76   | 25,73 |
| Mediana             | 1,14                | 18,80 | 0,19               | 1,40                   | 33,53  | 20,96 | 55,94     | 45,09 | 29,61   | 25,66 |
| Desviación estándar | 1,67                | 11,66 | 0,14               | 0,88                   | 21,68  | 10,99 | 29,60     | 11,68 | 6,85    | 7,23  |
| Asimetría           | 1,70                | 0,27  | 1,65               | 1,23                   | 1,00   | 0,25  | 0,42      | -0,19 | 0,48    | 0,79  |

Fuente: elaboración propia.

La caracterización fisicoquímica de suelos de la Finca el porvenir presenta un pH de 5,55 que según Fassbender (1982) es moderadamente ácido, el pH está relacionado directamente con el Sodio (Na) y el Aluminio intercambiable (Al) que reportan valores bajos y óptimos de 0,11 y 0,05 cmol/kg y con el Calcio que también presenta un valor optimo alto con 6,86 cmol/Kg. La Materia Orgánica presenta un valor de 2,37% encontrándose en el rango optimo, sin embargo, se debe mantener mediante la aplicación de abonos orgánicos descompuestos. En cuanto a los elementos mayores se presentaron los siguientes resultados Nitrógeno total con un valor de 0,07%, Fosforo (P) con 2,68 mg kg<sup>-1</sup> y Potasio (K) con 0,18 cmol/kg todos encontrándose en niveles bajos, en el caso del nitrógeno, este elemento puede suplirse aplicando materia orgánica al suelo o por medio de fertilizantes químicos; para el caso del fósforo y el potasio se aplican al suelo en forma de fertilizantes (Jaramillo,2002), también se puede

recurrir para el caso del fosforo a la adición de micorrizas para mejorar la absorción del fosforo disponible (Burbano (1989) y Sánchez (1999).

La CE vario de 0,08 dS/ma 0,73 dS/m con una mediana de 0,19 dS/m indicando suelos sin restricción de uso (Corrales, 2002).

Para el Magnesio se obtuvo un valor alto de 3,99 cmol/kg encontrándose por encima del rango óptimo para cítricos (Corrales, 2002), de la misma forma el Hierro (Fe) obtuvo un valor de 73,83 mg/kg al igual que el Cobre (Cu) que coincide con las concentraciones excesivas encontradas por Maldonado et al en el 2007.

Dependencia espacial.

La cuantificación de la dependencia espacial se realizó mediante el software RStudio, específicamente usando la librería spdep (Bivand et al., 2015). En la Tabla 4 se observan los índices de moran generados.

| Variable  | I. Moran | Moran (p value) |
|-----------|----------|-----------------|
| pH        | 0,017    | 0,151           |
| COS       | 0,031    | 6,51E-02        |
| MO        | 0,031    | 6,51E-02        |
| S         | 0,000    | 0,281           |
| P         | 0,071    | 1,87E-04        |
| Ca        | 0,012    | 0,191           |
| Mg        | 0,006    | 0,242           |
| K         | -0,021   | 0,679           |
| Na        | 0,024    | 9,54E-02        |
| Al + H    | 0,012    | 0,144           |
| CICE      | 0,010    | 0,210           |
| Cu        | -0,066   | 0,292           |
| Fe        | -0,004   | 0,331           |
| Zn        | 0,120    | 2,05E-06        |
| Mn        | 0,024    | 0,101           |
| CE        | 0,000    | 0,295           |
| Ca/Mg     | -0,001   | 0,322           |
| Ca/K      | 0,056    | 8,15E-03        |
| Mg/K      | 0,012    | 0,189           |
| (Ca+Mg)/K | 0,055    | 1,13E-02        |
| Arena     | -0,063   | 0,419           |
| Arcilla   | -0,051   | 0,630           |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Medidas de dependencia espacial para el municipio de Tibacuy

En el área de estudio se identificaron 6 propiedades fisicoquímicas que presentan autocorrelación positiva (COS, P, Na, Zn, y las relaciones Ca/K y (Ca+Mg)/K) donde el p-value, corresponde a un valor menor a 0,05, variables para las cuales se generaron mapas nutricionales.

#### Índices multiespectrales de suelo

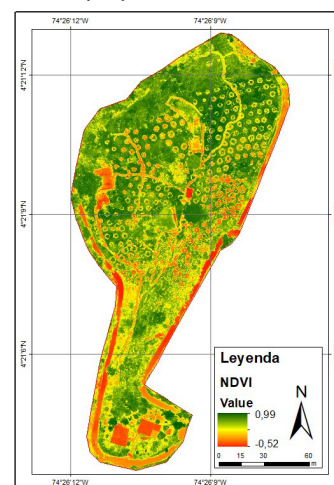
El NDVI es un índice muy aceptable que nos da información muy valiosa porque podemos generar mapas que nos dan diferencias de vigor

vegetativo en grandes extensiones. Una vez analizado, debemos ir a campo, observar las diferencias (tanto espaciales como temporales) de las zonas afectadas y empezar a descartar variables y buscar el diagnóstico concreto. El NDVI es una herramienta más, no una solución.

El NDVI no le dará al agricultor una respuesta sobre qué sucedió exactamente con su cultivo; puede existir docenas de razones por las que las plantas se están marchitando: deficiencias nutricionales, enfermedades, plagas, daños por mecanización, alteraciones del riego, etc. Sin duda el NDVI es una herramienta más de apoyo al diagnóstico y la predicción de los problemas presentes en su sistema productivo. El NDVI permite examinar áreas problemáticas específicas, lo que les ayuda a definir problemas de manera más efectiva en lugar de gastar tiempo y recursos merodeando por todo el campo en busca de respuestas (Tsiart et al., 2021)

En general valores cercanos a cero se relacionan con problemas en fertilización y valores cercanos a uno con plantas sanas. En la figura 3 colores rojos sugieren que en esas zonas podrían existir deficiencias nutricionales.

Figura 3. Índices NVDI determinado para el municipio de Tibacuy. Elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

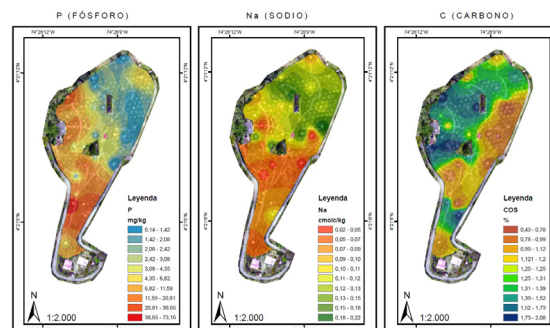
El índice da una imagen completa del contenido de clorofila, que es uno de los principales indicadores de nitrógeno y ayuda a generar mapas de variabilidad espacial con posibles áreas de deficiencias nutricionales donde posiblemente sea necesario realizar algún ajuste con fertilización.

El área de estudio presenta valores de NDVI entre 0,99 y -0,52 en una escala donde el uno (1) equivale al valor más alto; los sitios de plantas de limón en su mayoría se observan de color verde con borde rojo atribuido a suelo desnudo por deshierba del plato de la planta, la predominancia del color verde permite inferir que el cultivo tiene una alta tasa fotosintética y en efecto poseen una productividad alta; el NDVI presenta una correlación positiva con el mapa de distribución del Carbono (figura 3), asociada con la materia orgánica siendo su componente principal, un alto contenido en materia orgánica proporciona nutrientes a las plantas y mejora la disponibilidad de agua, lo cual mejora la fertilidad del suelo y, en definitiva, mejora la productividad de los alimentos (FAO, 2017), estos resultados permiten inferir que en las zonas de NDVI con valores bajos se deben realizar prácticas asociadas al incremento del uso de abonos orgánicos para obtener una mayor productividad en los cultivos..

### Generación de mapas de distribución de nutrientes

En la Figura 4, se presenta algunos mapas nutricionales del municipio de Tibacuy, específicamente a los elementos P (Fósforo), Na (Sodio) y al C (Carbono). Para el caso del elemento Zn (Zinc) y para algunas razones de cambio entre algunos elementos ([Ca/K] y [Ca+Mg/K]), las cuales presentan una dependencia espacial. Por esta razón se debe realizar una división espacial en unidades de manejo para ajustar la fertilización.

Figura 4. Mapas nutricionales para el área productiva de Tibacuy. Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- La correlación de las variables físico-químicas con los índices multispectrales es un insumo para realizar planes de fertilización ajustados que permitan corregir y suplir las necesidades nutricionales del cultivo.
- Los análisis estadísticos generados están basados en métodos ya probados y son ejecutados en programas de información geográfica permitiendo aplicar la tecnología y el uso de Drones para la toma de decisiones en campo.
- La vinculación de productores al proyecto es fundamental para la transferencia de la investigación ya que se plantea una segunda fase del proyecto en donde se aplicará los fertilizantes y se evaluará el impacto en la producción del limón.
- Para el análisis de variables se tomó como valor base la mediana, dado que es una medida de tendencia central que no es afectada por valores extremos o atípicos como lo es la media (Rienzo et al, 2005), a fin de disminuir la influencia de la variabilidad espacial y temporal asociada a todos los aspectos de la producción agrícola.
- El uso de mapas con datos espaciales de nutrientes y propiedades del suelo junto con índices de vegetación como NDVI e interpretación de datos permite la identificación de

unidades de manejo y aplicación de prácticas viables y sostenibles para el productor.

- Se recomienda una segunda fase del proyecto para evaluar la aplicación de plan de nutrición frente a variables agronómicas y de producción del cultivo, para comprobar la veracidad del modelo.

## Referencias

- Bivand, R., Altman, M., Anselin, L., Assunção, R., Berke, O., Bernat, A., & Blanchet, G. (2015). Package 'spdep': The Comprehensive R Archive Network. <https://cran.microsoft.com/snapshot/2017-09-17/web/packages/spdep/spdep.pdf>
- Bongiovanni, R., Mantovani, E., Best, S., & Roel, Á. (2006). Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Procisur/IICA.
- Burbano, OH. 1989. El suelo: una visión sobre sus componentes biogénicos. Universidad de Nariño. Pasto (Colombia).
- Claret M, Best S, León L. 2006. 2.1. Sistema de posicionamiento global (GPS). En: Bongiovanni R, Chartuni Mantovani E, Best S, Roel A, editores. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Uruguay: [PROCISUR] Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur. p. 25- 37. ISBN: 92-9039-741-1
- Corrales A. 2002. Manual ilustrado para la producción de cítricos en Colombia. Bogotá: MADR, Asocítricos, FNHF.
- Di Rienzo, J. A. (2005). Estadísticas para las ciencias agropecuarias. Editorial Brujas.
- DJI. (2017). Phantom 4 Pro/Pro+ User Manual. Available online: [https://dl.djicdn.com/downloads/phantom\\_4\\_pro/20170719/Phantom\\_4\\_Pro\\_Pro\\_Plus\\_User\\_Manual\\_ES.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20170719/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_User_Manual_ES.pdf)
- Mavic 2 Enterprise. Available online: <https://www.dji.com/mavic-2-enterprise-advanced>. (accessed on 01 October 2021).
- FAO. 2017. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia
- Fassbender, H. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. 398 p.
- Jaramillo Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Medellín, Colombia: Jaramillo Jaramillo, Daniel Francisco
- IICA Y PROCISUR (2014). Manual de agricultura de precisión /, PROCISUR – Montevideo. 176 p
- IGAC. (2018). Etapa de campo para levantamiento de suelos. Subdirección de Agrología. Bogotá, D.C. 31 p. Disponible en: <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/procedimientos%202008/2017/I40100-09%2017V4%20Etapa%20de%20campo%20para%20levantamiento%20de%20suelos.pdf>
- Fassbender, H. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. 398 p
- Fu, W. J., Jiang, P. K., Zhou, G. M., & Zhao, K. L. (2014). Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of forest litter carbon density in a subtropical region of southeastern China. Biogeosciences, 11(8), 2401-2409. <https://doi.org/10.5194/bg-11-2401-2014>
- Giraldo, R. (2002). Introducción a la geoestadística: Teoría y aplicación. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- González, L. y Tullo, C (2019). Guía técnica cultivo de cítricos. San Lorenzo, Paraguay : FCA, UNA. 80 p.
- Krige, D. G. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 52(6), 119-139. [https://hdl.handle.net/10520/AJA0038223X\\_4792](https://hdl.handle.net/10520/AJA0038223X_4792)
- Lowenberg-DeBoer, J. M., & Erickson, B. (2019). Setting the record straight on precision agriculture adoption. Agronomy Journal. <https://doi.org/10.2134/ agronj2018.12.0779>
- Maldonado, T. R. G.; Almaguer, V. M. E.; Álvarez, S. E. y Robledo S. 2008. Diagnóstico nutrimental y validación de dosis de fertilización para limón persa. Terra Latinoam. 26(4):341-349.
- Minasny, B., & McBratney, A. B. (2006). A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presen-

- ce of ancillary information. *Computers & geosciences*, 32(9), 1378-1388. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.12.009>
- Moeyes, J. (2018). The soil texture wizard: R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data. CRAN. R-Project. <https://cran.r-project.org/web/packages/soiltexture/index.html#0020>
- NRCS, U. (2014). Official soil series descriptions. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/class>.
- Parrot, Parrot Sequoia Application Notes. Available online: <https://forum.developer.parrot.com/t/parrot-announcement-release-of-application-notes/5455> (accessed on 10 February 2020).
- Pebesma, E. J. (2004). Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & geosciences*, 30(7), 683-691. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.03.012>
- Sánchez de P, M. 1999. Endomicorizas en agroecosistemas colombianos. Universidad Nacional de Colombia. Palmira (Colombia). 227p.
- Schloerke, B., Crowley, J., & Cook, D. (2018). Package 'GGally'. <https://mran.microsoft.com/snapshots/2016-10-05/web/packages/GGally/GGally.pdf>
- Staff, S. S. (2014). Keys to Soil Taxonomy, 12th Edn Washington. DC: Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/class/taxonomy/?cid=nrcs142p2\\_053580](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/class/taxonomy/?cid=nrcs142p2_053580)
- Tsibart, A., Postelmans, A., Dillen, J., Elsen, A., Vandendriessche, H., Van De Ven, G., & Saeys, W. (2021). Deriving application maps for precision fertilization from soil scans and historical NDVI maps. In *Precision agriculture'21* (p. 278). Wageningen Academic Publishers. [https://doi.org/10.3920/978-90-8686-916-9\\_73](https://doi.org/10.3920/978-90-8686-916-9_73)
- Wickham, H. (2011). ggplot2. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 3(2), 180-185. <https://doi.org/10.1002/wics.147>

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE SEIS ESPECIES DE CRASULÁCEAS EN TRES SUSTRATOS DERIVADOS DE RESIDUOS ORGÁNICOS

### COMPARATIVE ANALYSIS OF SIX SPECIES OF CRASSULACEAN ON THREE SUBSTRATES DERIVED FROM ORGANIC WASTE

<sup>1</sup> Mairalejandra Ramírez Cuenca

<sup>2</sup> Daniel Rodríguez Acosta

Recibido: 08-03-2022

Aceptado: 11-04-2022

Artículo original derivado del proyecto de investigación Análisis comparativo de seis especies de crasuláceas en tres sustratos derivados de residuos orgánicos, realizado en la Universidad de Manizales, entre mayo y diciembre de 2019, financiado por el Servicio Nacional de Aprendizaje- Sennova- Grupo de Investigación Nova.

1 Mg. en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente – Universidad de Manizales, pregrado en Ingeniería forestal – Universidad del Tolima. Correo: maramirez@senae.edu.co ORCID: 0000-0001-9184-1582

2 Mg. en Ingeniería y Gestión Ambiental – Universidad Surcolombiana, pregrado en Ingeniería Forestal – Universidad del Tolima Correo: darodriguez@senae.edu.co ORCID: 0000-0003-4167-1444

Autor para correspondencia: maramirez@senae.edu.co

## Resumen

Este estudio contribuye a la generación de conocimientos sobre el desarrollo de la flora crasulácea, a través de la evaluación del desarrollo de seis especies de esta familia en sustratos (bocaschi, vermicompost y tierra preparada en vivero como sustrato comparativo), derivados de residuos orgánicos, con características fisicoquímicas potenciales para el desarrollo de la flora crasulácea, resultando condiciones distintas de desarrollo para cada especie, establecidos en diseño experimental para la aplicación de nueve tratamientos con tres repeticiones, con el fin de determinar la efectividad de enraizamiento y el desarrollo de las especies evaluadas. La información se recolectó en campo, se procesó en el software Design Expert. Concluyendo que los sustratos obtenidos de residuos orgánicos son una buena opción para la reproducción de crasuláceas, teniendo en cuenta que cada especie tiene sus propios requerimientos de sustrato, los cuales al combinarse con granito y arena determinan en gran medida el enraizamiento y desarrollo de las plantas.

**Palabras Clave** —Crasuláceas, residuos orgánicos, bocaschi, vermicompost, diseño experimental.

## Abstract

This study contributes to the generation of knowledge about the development of the crasulacean flora, through the evaluation of the development of six species of this family in substrates (bocaschi, vermicompost and soil prepared in the nursery as a comparative substrate), derived from organic waste, with potential physicochemical characteristics for the development of the crassulacean flora, resulting in different development conditions for each species, established in an experimental design for the application of nine treatments with three repetitions, in order to determine the effectiveness of rooting and the development of the species. evaluated. The information was collected in the field, it was processed in the Design Expert software. Concluding that the substrates obtained from organic waste are a good option for the reproduction of crasulaceae, taking into account that each species has its own substrate requirements, which when combined with granite and sand largely determine the rooting and development of plants

**Keywords:** crassulacean flora, organic waste, bokashi, vermicompost, experimental design.

## INTRODUCCIÓN

Este estudio generó conocimientos sobre el desarrollo de la flora crasulácea, con relación a los sustratos de residuos orgánicos (RO) (Beneficio del café, ganadería de la zona rural y residuos de cocina de la zona urbana), contaminantes que afectan la biosfera, dado a la inadecuada eliminación de residuos sólidos del ganado, que a su vez genera contaminación por metales pesados, antibióticos en el suelo y agua, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Ba, *et al.*, 2020); (Kuppusamy, *et al.*, 2018); (Qi, *et al.*), fitotoxinas, patógenos vegetales, animales (Nasini, *et al.*, 2016; Taeporamaysamai y Ratanatamskul,

2016). De esta forma se debe fomentar el interés en aprovechar los RO como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes y así ayudar al crecimiento de las plantas y devuelva al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo (Cerrato, 2007).

Para lo anterior, existe una alternativa mediante el proceso de biodegradación (compostaje), en el que los desechos orgánicos se descomponen y se forman productos finales estabilizados, inofensivos y de alta calidad, actuando como excelentes nutrientes y enmiendas del suelo (Zhao, *et al.*, 2020; Tran, *et al.*, 2015); (Qi, *et al.*, 2020).

Así mismo, la diversidad de residuos agroindustriales puede ser utilizada principalmente como alternativa para la producción de compost, que puede reducir o incluso eliminar el uso de fertilizantes químicos por su capacidad de mejorar las características fisicoquímicas del suelo (Rosas, *et al.*, 2016; Hernández, *et al.*, 2016). Al igual que los RO de tipo doméstico separados en la fuente pueden ser convertidos en biofertilizantes y acondicionadores de suelos (Rodríguez, 2015).

El presente estudio se desarrolló en dos fases: En la primera un proceso de reutilización de los RO para implementar estrategias de producción limpia a fin de generar compostaje tipo bocaschi – vermicompost y en la segunda, generar conocimientos sobre el enraizamiento y desarrollo de seis especies de la familia de las crasuláceas en sustratos derivados de RO.

Para lo anterior se construyó una biofábrica con el fin de procesar los RO de la zona urbana y rural, convirtiéndolos en un mejorador de suelo (bocaschi), teniendo en cuenta que los RO del beneficio del café poseen una importante carga de nutrientes reutilizables en el proceso de compostaje y pueden ser aplicados como abono orgánico (Hernández, *et al.*, 2016), (Varnero, *et al.*, 2011). También se utilizó boñiga de la zona rural en la obtención de vermicompost, usando lom-

briz roja californiana (*Eisenia foetida*).

A continuación, se seleccionaron especies de crasuláceas, tomando como referente que son comunes en regiones áridas templadas y templado-cálidas (Cronquist, 1981), aunque se encuentran ausentes en los verdaderos desiertos (Hart, 1997). La familia de las crasuláceas cuenta con aproximadamente 35 géneros que han sido divididos en seis subfamilias basándose en una variedad de caracteres morfológicos (Acevedo, *et al.*, 2004).

Se incluyen aproximadamente 1500 especies de herbáceas de tallo, hojas suculentas y pequeños arbustos. La funcionalidad más importante de las plantas suculentas o crasuláceas con respecto a la sequía se basa en el metabolismo CAM (Metabolismo Ácido de las crasuláceas), caracterizado por el ritmo estomatal invertido que consiste en la asimilación nocturna de CO<sub>2</sub>, su fijación en ácido málico y la descarbolización de este ácido en el día para liberar el CO<sub>2</sub> requerido en el proceso de fotosíntesis (Gil, *et al.*, 2006).

con unas 300 especies (Hart, 1997), sur de África (Mort, *et al.*, 2001) con unas 250 especies, la región Mediterránea y Macaronésica, con más de 200 especies y el sudeste de Asia con aproximadamente 200 especies (Hart, 1997), siendo muy común en regiones áridas, templadas y templado-cálidas (Cronquist, 1981), aunque se encuentra ausente de los verdaderos desiertos. Crasulácea es una familia de aproximadamente 35 géneros que ha sido dividida en seis subfamilias basándose en una variedad de caracteres morfológicos (Acevedo, *et al.*, 2004). Incluye aproximadamente 1500 especies de herbáceas de tallo, hojas suculentas y pequeños arbustos. Análisis moleculares filogenéticos indican que la familia es monofilética (Mort, *et al.*, 2001). La funcionalidad más importante de las plantas suculentas o crasuláceas con respecto a la sequía se basa en el metabolismo CAM (Metabolismo Ácido de las crasuláceas), caracterizado por el

ritmo estomatal invertido que consiste en la asimilación nocturna de CO<sub>2</sub>, su fijación en ácido málico y la descarbolización de este ácido en el día para liberar el CO<sub>2</sub> requerido en el proceso de fotosíntesis (Gil, *et al.*, 2006).

Al término de 40 días de iniciado el proceso de transformación de RO, se generó el vermicompost. Es importante tener en cuenta que, a mayor número de lombrices utilizadas en el proceso, se tendrá un mayor rendimiento. A los 23 días se obtuvo el bocaschi, de manera paralela se acondicionó tierra preparada en vivero como sustrato comparativo en cantidades representativas de 500 kg. cada uno.

Posteriormente, a cada sustrato se le extrajo una muestra de 1 kg. que fue llevada al laboratorio de suelos para realizar los análisis físicoquímicos.

En la segunda fase del estudio se procedió a recolectar el material vegetal de seis especies de crasuláceas seleccionadas: *Sedum clavatum*, *Graptopetalum paraguayense*, *Sedum morganianum*, *Echeveria prolífica*, *Echeveria elegans albicans* y *Sedum rubrotinctum*, para realizar el proceso de propagación mediante hojas y evaluar el porcentaje de enraizamiento y desarrollo de cada una de ellas en los sustratos obtenidos de RO.

Se estableció un diseño multivariado en el cual se trabajó con nueve tratamientos derivados de tres sustratos con tres repeticiones, aplicados a seis especies de crasuláceas. Como resultado se evidenció la efectividad de los sustratos en el enraizamiento y desarrollo de cada una de las especies.

## Materiales y métodos

El proceso de investigación se desarrolló en el Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico del Huila (CDATH) del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), en la sede de la vereda

La Azufrada del municipio de La Plata Huila, con coordenadas Norte 02°22'50,1' y Oeste 75°52'02,9', altitud de 1.157 m.s.n.m.

Para el proceso metodológico se contemplaron dos fases de la siguiente manera:

## **2.1 Fase 1. Procedimiento para la obtención de sustratos a partir de residuos orgánicos**

### **2.1.1 Construcción de biofábrica**

En las instalaciones de SENA en la vereda La Azufrada, se estableció una biofábrica con 6 camas para la producción de bocaschi y vermicompost, con las dimensiones de 6.20 m. de largo x 2.20 m. de ancho x 50 cm. de alto, con una distancia de 40 cm. entre calles, el lugar se encerró con malla de anejo y estacas de guadua para evitar el ingreso de animales al sitio y su posible alteración a los procesos que en él se desarrollaron.

### **2.1.2 Identificación, recolección y transformación de residuos orgánicos**

Se seleccionaron los residuos orgánicos contaminantes generados del proceso productivo, principalmente a fuentes hídricas, suelos y atmósfera.

Para lo anterior, se recolectaron en la zona rural residuos de: Pulpa de café y boñiga de ganado, siendo estos potencialmente contaminantes en el departamento del Huila. Respecto a la zona urbana se seleccionaron los residuos orgánicos de cocina: Cáscaras de tomate, papa, yuca, plátano, cebolla, cáscaras de huevo y sobrantes de fruta por ser los de mayor generación.

Esta gestión fue realizada por el semillero de investigación de Biodiversidad y los programas de formación Control Ambiental y Gestión Sostenible de la Biodiversidad Vegetal del CDATH.

### **2.1.3 Proceso de transformación de residuos orgánicos para bocaschi**

Mosquera, (2010) indica que la preparación del bocaschi varía considerablemente y se adecua a las condiciones y materiales existentes de cada productor; es decir, no hay una fórmula fija para su elaboración. Por tanto, para la obtención de una mezcla de 500 kg de bocaschi, se utilizaron los siguientes materiales teniendo en cuenta la disponibilidad que se tenía en la sede del SENA: 40 kilos de estiércol bovino, 25 kg de gallinaza, 15 kg de cáscara de café, 5 kg de carbón, 5 kg de ceniza, 25 kg de cascarilla de arroz, 2 kg de melaza, 25 kg de mogolla, 1 lb de levadura, 250 kg de tierra, 2 kg de micorrizas, 50 kg de residuos de cosecha, 50 kg de pasto picado.

Se trozaron los residuos de cosecha para facilitar el proceso de aireación, seguido de esto se mezcló la levadura con la melaza y se diluyó en 10 litros de agua, se agregaron capas de 10 cm de cada uno de los materiales. El proceso de volteo se realizó con herramienta manual garantizando la homogeneidad de la mezcla y el suministro de agua con melaza y levadura hasta obtener una humedad ideal del 60%. Luego se apilo la mezcla a una altura de 1 metro, se registró la temperatura inicial de 23°C, luego se cubrió con un plástico negro para promover el aumento de temperatura y la actividad de los microorganismos en el proceso de descomposición de la materia orgánica. Este proceso de volteo se realizó durante 15 días, 2 veces diarias tiempo en el que se disminuyó la altura de la pila. A los 23 días de realizado el proceso se verificó la culminación de la fase de maduración.

### **2.1.4 Proceso de transformación para la obtención de vermicompost**

El vermicompost es una tecnología sencilla y de bajo costo en donde se involucran lombrices y numerosos grupos microbianos (Domínguez, *et al.*, 2019 y 2010). Además, el intestino de las

lombrices de tierra y microorganismos asociados pueden secretar diferentes tipos de enzimas digestivas como lipasa, amilasa, proteasa, celulasas, manasa, fosfatasa y ureasa que mejoran el proceso de degradación (Gusain y Suthar, 2020; Ravindran, *et al.*, 2015; Soobhany, 2019).

Para obtener aproximadamente 500 kilos de vermicompost se recolectaron los residuos de cosecha de café (pulpa y mucilago) utilizando 7 bultos de estiércol bovino de 50 kg cada uno y 7 bultos de pulpa de café de 50 kg, el mucilago se utiliza como fuente de energía en reemplazo de la melaza, el material se apiló por 25 días y luego se pasó a las camas de lombricultivo para proceder con la transformación de los RO, al obtener el lixiviado este se hizo recircular tres veces en las camas hasta alcanzar el sustrato final. A los cuarenta días de establecido, se inició el proceso de separación de la lombriz del sustrato, el cual se llevó a cabo por medio de una malla de polietileno que se utilizó como trampa para las lombrices, ubicando en la superficie alimento semicompostado el cual promovía el ascenso de estas.

### 2.1.5 Proceso de obtención de tierra preparada en vivero

La tierra utilizada se obtuvo de la sede del SENA La Plata, se prepararon 500 kilos bajo los siguientes criterios: 8 bultos de tierra de 50 kg cada uno, 15 kg de aserrín, 15 kg de gallinaza compostada, 18 kg de estiércol bovino pulverizado, 50 kg de cascarilla de arroz y 2 kg de cal. Todo lo anterior se mezcló en finas capas para obtener un sustrato homogéneo.

### 2.1.6 Análisis de laboratorio

Con el fin de determinar los valores agregados que se generaban con la obtención de sustratos a partir de RO, se realizó una caracterización de parámetros fisicoquímicos de cada uno de los sustratos obtenidos.

## 2.2 Fase 2. Recolección y reproducción de crasuláceas

### 2.2.1 Selección de especies crasuláceas

Se realizó un diagnóstico general para ubicar la flora suculenta del municipio de La Plata, mediante un sondeo en jardines, viveros, invernaderos, domicilios y parques. Con base en el diagnóstico realizado se escogieron 6 especies de crasuláceas (Figura 1), teniendo en cuenta factores como representatividad, ritmo de brotación y facilidad para la adquisición.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Especies de crasuláceas seleccionadas

### 2.2.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial en el que se probaron seis especies de la familia crasulácea (*Sedum clavatum*, *Graptopetalum paraguayense*, *Sedum morganianum*, *Echeveria prolífica*, *Echeveria elegans albicans*, *Sedum rubrotinctum* (ver Figura 1) y nueve tratamientos dispuestos completamente al azar (T1 bocaschi 100%, T2 bocaschi 75% granito 25%, T3 bocaschi 75% arena 25%, T4 vermicompost 100%, T5 vermicompost 75% granito 25%, T6 vermicompost 75% arena 25%, T7 tierra preparada en vivero 100%, T8 tierra preparada en vivero 75% granito 25%, T9 tierra preparada en vivero 75% arena 25%) con tres repeticiones y parcelas de cinco individuos. Por lo cual en el presente estudio se analizaron 162 unidades experimentales que contenían 810 unidades de muestreo.

### 2.2.3 Establecimiento en campo

Los tratamientos se ubicaron en vasos de icopor usados y sometidos a un proceso de lavado para su reutilización. Se escogieron plantas madre de crasuláceas en estado vegetativo, luego de un periodo de 10 días de aclimatación se seleccionaron las plantas de mayor vigor para el deshoje bajo la precaución de no lastimar el tejido meristemático que es el responsable del crecimiento, para ello se tomaron las hojas con el dedo pulgar y el dedo índice haciendo leves movimientos hacia arriba y hacia abajo con el fin de garantizar la propagación por este método. Luego tuvieron un proceso de suberización de 3 días de forma similar al método seguido por (Reyes, 2003). Las unidades experimentales se distribuyeron en nueve tratamientos con tres repeticiones aplicadas a seis especies de crasuláceas, cada especie estaba representada en cada tratamiento con 5 individuos para un análisis total de 810 individuos.

### 2.2.4 Monitoreo

El seguimiento se realizó día de por medio a través de la técnica de observación directa durante 90 días y se tuvieron en cuenta variables como: prendimiento y desarrollo reflejado en número de hojas de cada especie.

### 2.2.5 Procesamiento estadístico

Se procedió a registrar la información recolectada en campo durante 3 meses en una base de datos de Excel, para luego procesar la información en el software Desing Expert versión 2.0, teniendo en cuenta las variables de respuesta de enraizamiento y desarrollo de las 6 especies de crasuláceas en cada uno de los tratamientos estudiados.

## RESULTADOS

Se obtuvieron los siguientes resultados del análisis fisicoquímico de los sustratos procesados, el pH de las muestras fue óptimo porque osciló entre 6 y 7, siendo ideal para cultivos en general, el sustrato con mayor contenido de materia orgánica fue el vermicompost con 48,1% seguido del bocaschi con 33,6% y el suelo de vivero con 7,5%, considerándose como valores altos de materia orgánica, ninguno presentó contenido de aluminio, en cuanto a nitrógeno total el bocaschi fue el que presentó la mayor cantidad con 3816,3 ppm, seguido del vermicompost 2061,7 ppm y el suelo de vivero 421,7 ppm, el fósforo en el vermicompost fue de 84,4 ppm y bocaschi 74,4 ppm y 8,4 ppm en suelo de vivero siendo este muy bajo. La fertilidad del suelo se midió con la relación de Calcio, Magnesio y Potasio determinando así que el sustrato más óptimo fue el vermicompost, seguido de bocaschi y por último suelo de vivero. (Ver tabla 1).

Tabla 1. Resultados de análisis de laboratorio de sustratos (Bocaschi, Vermicompost, Tierra preparada en vivero)

| Elemento                                  | Unidades   | Bocaschi<br>Valor<br>unidad<br>clave | Vermi-<br>compost<br>Valor<br>unidad<br>clave | Tierra<br>preparada<br>en vivero<br>Valor<br>unidad<br>clave | Método                                        |
|-------------------------------------------|------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| pH:                                       |            | 7,2                                  | 6                                             | 6,6                                                          | Potenciométrico en relación sustrato agua 1:1 |
| Materia Orgánica                          | %          | 33,6                                 | 48,1                                          | 7,5                                                          | Calcinación                                   |
| Aluminio:                                 | meq/100 gr | 0                                    | 0                                             | 0                                                            | Aluminon                                      |
| Amonio (N-NH <sub>4</sub> ):              | ppm        | 101,8                                | 9,3                                           | 4,9                                                          | Nessler                                       |
| Nitratos (N-NO <sub>3</sub> ):            | ppm        | 3559,5                               | 2011,4                                        | 406,8                                                        | Cadmium Reduction                             |
| Nitritos (N-NO <sub>2</sub> ):            | ppm        | 155                                  | 41                                            | 10                                                           | Ferrous sulfate                               |
| Nitrógeno total:                          | ppm        | 3816,3                               | 2061,7                                        | 421,7                                                        | Sumatoria                                     |
| Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ): | ppm        | 78,4                                 | 84,4                                          | 8,4                                                          | Amino acid                                    |
| Potasio(K <sub>2</sub> O):                | meq/100 gr | 28,12                                | 13,59                                         | 2,32                                                         | Turbidimetric                                 |
| Calcio (Ca <sup>++</sup> ):               | meq/100 gr | 0,51                                 | 1,96                                          | 8,4                                                          | Oxalate                                       |
| Magnesio (Mg <sup>++</sup> ):             | meq/100 gr | 5,67                                 | 4                                             | 3                                                            | Calmagite                                     |
| Azufre (SO <sub>4</sub> =):               | ppm        | 1420                                 | 86                                            | 4                                                            | Turbidimetric                                 |
| Hierro (Fe):                              | ppm        | 0,2                                  | 0,1                                           | 0,1                                                          | Phenantroline                                 |
| Manganeso (Mn):                           | ppm        | 0,7                                  | 0,1                                           | 0,5                                                          | Periodate Oxidation                           |
| Cobre (Cu):                               | ppm        | 0,3                                  | 0                                             | 0,1                                                          | Bicinchoninate                                |
| Zinc (Zn):                                | ppm        | 0                                    | 0,1                                           | 0,2                                                          | Zincon                                        |
| Boro (B):                                 | ppm        | 0                                    | 0                                             | 0,3                                                          | Titration                                     |
| Densidad Aparente:                        | gr/cc      | 0,6                                  | 1,1                                           | 1,6                                                          | Parafina                                      |
| Densidad Real                             | gr/cc      | 1                                    | 1,6                                           | 2,3                                                          | Picnómetro                                    |
| % Saturación de Humedad                   | %          | 40,4                                 | 30,8                                          | 31                                                           | Test laboratorio                              |
| C.E.:                                     | μS/cm      | 24200                                | 6510                                          | 1150                                                         | Cuantificación por Potenciometría             |

Fuente: Elaboración propia

### 3.1 ANOVA para el modelo factorial (sustratos – especies) con respuesta a crecimiento en número de hojas.

Los resultados para el análisis de varianza ANOVA (ver tabla 2), generaron el valor F de 169,19, lo que implica que el modelo es significativo con valor  $P > 0,0001$ ; para especies generó el valor de 1108,97 lo que muestra que el modelo es significativo con un valor  $P -0,0001$ . Así como para sustratos con un valor de 127,24. Los valores de "Prob > F" inferiores a 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos. Por lo tanto, A, B AB son términos de modelo significativo

como se puede ver a continuación:

El resultado para ANOVA sustratos generó el valor de 127,24 lo que implica que el modelo es significativo con un valor  $P -0,0001$  lo que indica que hay una asociación estadísticamente significativa entre la variable de respuesta y el término.

Los resultados para ANOVA especies generó el valor de 1108,97 lo que implica que el modelo es significativo con un valor  $P -0,0001$  lo que indica que hay una asociación estadísticamente significativa entre la variable de respuesta y el término.

Tabla 2. ANOVA para el modelo factorial (sustratos – especies) con respuesta a crecimiento en número de hojas.

| Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II] |                |     |             |         |                      |
|-----------------------------------------------------------------|----------------|-----|-------------|---------|----------------------|
| Source                                                          | Sum of Squares | df  | Mean Square | F Value | p-value Prob > F     |
| Model                                                           | 80591,78       | 53  | 1520,60     | 169,19  | < 0.0001 significant |
| A-Sustratos                                                     | 9148,56        | 8   | 1143,57     | 127,24  | < 0.0001             |
| B-Especies                                                      | 49835,33       | 5   | 9967,07     | 1108,97 | < 0.0001             |
| AB                                                              | 21607,89       | 40  | 540,20      | 60,10   | < 0.0001             |
| Pure Error                                                      | 970,67         | 108 | 8,99        |         |                      |
| Cor Total                                                       | 81562,44       | 161 |             |         |                      |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2. se puede apreciar la interacción de los 9 tratamientos utilizados con las 6 especies de crasuláceas estudiadas en el cual se evidencia el crecimiento en número de hojas.

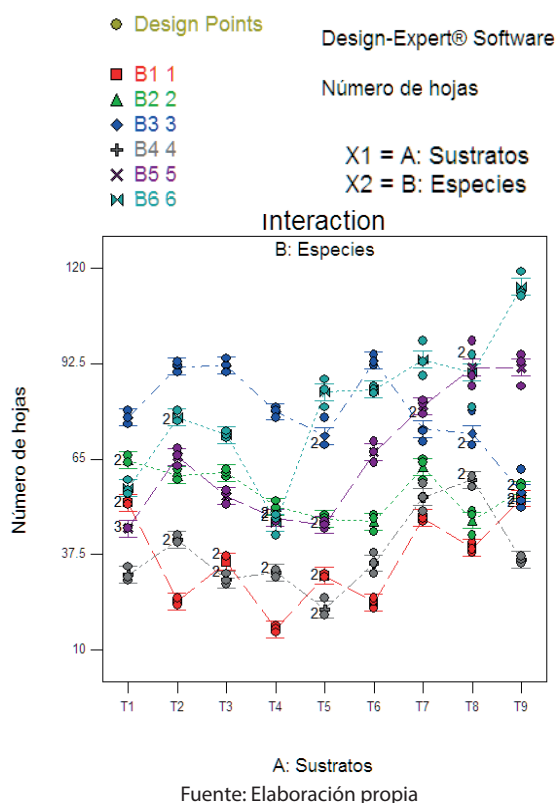


Figura 2. Comportamiento del desarrollo de seis especies crasuláceas en los tratamientos objeto de estudio

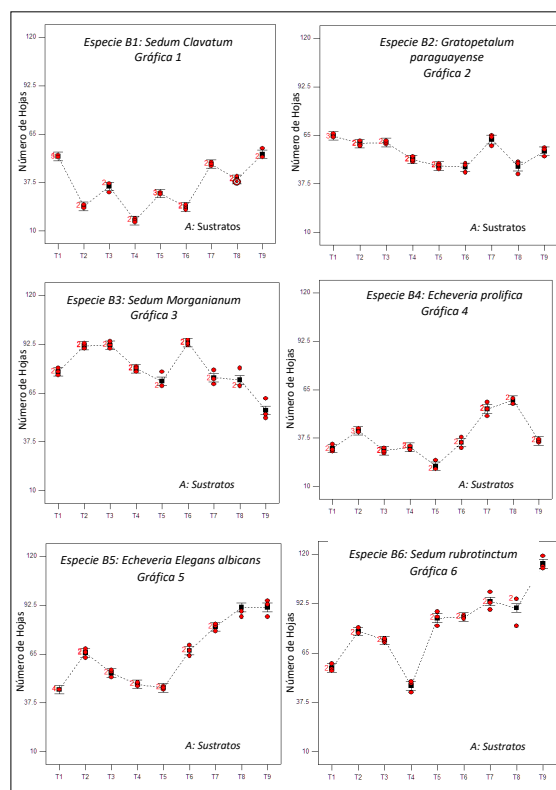


Figura 3. Comportamiento del crecimiento individual en número de hojas de cada una de las especies de crasuláceas frente a los tratamientos

En la figura 3 se evidencia que la especie *Sedum clavatum* (B1 – gráfica 1) presentó el mejor comportamiento en cuanto a crecimiento y desarrollo de número de hojas (H) en el T9 (Tierra preparada en vivero al 75% con arena al 25%) con 53 H promedio, seguido del T1 (Bocaschi 100%) con 52 H, T7 (Tierra preparada en vivero 100%) con 48 H. No se recomienda utilizar el T4 (vermicompost 100%) teniendo en cuenta que se presenta un deficiente desarrollo con 14 H, sin embargo, la mezcla del (75% de vermicompost con granito al 25%) T5 mejora significativamente el sustrato para su desarrollo con 31 H, mas no es competente frente al T9. Los tratamientos 9, 7 y 8 compuestos de tierra preparada en vivero son sustratos adecuados para el desarrollo y crecimiento de la B1.

La especie *Graptopetalum paraguayense*, (B2 – gráfica 2) presenta un alto potencial para desarrollarse en cualquier tipo de sustrato, teniendo en cuenta que en los 9 tratamientos se presentó un óptimo rendimiento, resaltando el T1 (Bocaschi 100%) con 64 H, seguido del T7 (Tierra preparada en vivero 100%) con 62 H. Se evidencia que el sustrato que mejor favorece el comportamiento de B2 es el Bocaschi en todas sus combinaciones, seguido de la tierra preparada en vivero y por último el vermicompost. La mezcla en las diferentes combinaciones con granito y arena no genera impedimento para el desarrollo de B2.

La especie *Sedum morganianum* (B3 – gráfica 3) presentó un óptimo comportamiento en el T6 (Vermicompost 75% arena 25%) con 93 H, seguida del T3 (Bocaschi 75% arena 25%) y T2 (Bocaschi 75% granito 25%) con 92 H, indicando de esta forma que se desarrolla mejor en sustratos con mayor cantidad de nutrientes, combinados con granito y arena que favorecen el desarrollo y a su vez beneficia el requerimiento de drenaje que presenta la B3.

Es importante resaltar que frente a los diferentes tratamientos utilizados es la segunda espe-

cie que mejor comportamiento obtuvo de las seis variedades de crasuláceas objeto de estudio. Aunque todos los tratamientos tuvieron un comportamiento óptimo para el desarrollo de la especie, el bocaschi y el vermicompost en sus combinaciones con arena y granito son los más ideales.

El mejor rendimiento para la especie *Echeveria prolifica* (B4 – gráfica 4) se presentó en el T8 (Tierra preparada en vivero 75% granito 25%) con 59 H, T7 (Tierra preparada en vivero 100%) con 54 H y T2 (Bocaschi 75% granito 25%) con 41 H, se comporta mejor en sustratos sueltos en cuanto a Tierra preparada en vivero combinada con granito y arena, lo cual indica que los requerimientos nutricionales no son tan altos como la necesidad de establecerse en un medio con buen drenaje.

La especie *Echeveria elegans albicans* (B5 – gráfica 5) evidencia un requerimiento alto de drenaje, desarrollándose de manera óptima en los sustratos sueltos T8 y T9 (Tierra preparada en vivero 75% y granito 25%, tierra preparada en vivero 75% y arena 25%) con 91 H en ambos tratamientos, seguido del T7 (Tierra preparada en vivero 100%) con 80 H. En cuanto al sustrato que contiene vermicompost el mejor tratamiento para la especie es el T6 (vermicompost 75% arena 25%) con 67 H, seguido del T2 (Bocaschi 75% granito 25%) con 65 H.

La especie *Sedum rubrotinctum* (B6 – gráfica 6) evidenció el mejor desarrollo en el T9 (Tierra preparada en vivero 75% arena 25%) con 114 H, seguida del T7 (Tierra preparada en vivero 100%) con 93 H y T8 (Tierra preparada en vivero 75% granito 25%) con 90 H, mostrando que en definitiva el mejor sustrato es la tierra preparada en vivero en combinación con arena. Los tratamientos T6 (Vermicompost 75% arena 25%) con 85 H y T5 (Vermicompost 75% granito 25%) con 84 H son efectivos, sin embargo, se resalta que este pierde toda la efectividad al presentarse sin combinaciones como se evidencia en el T4 (Ver-

micompost 100%) con 46 H. En cuanto al sustrato Bocaschi los mejores desarrollos de la especie se presentaron en T2 (Bocaschi 75% granito 25%) con 75 H y T3 (Bocaschi 75% arena 25%) con 72 H que son tratamientos combinados y presentan buen drenaje, a diferencia del T1 (Bocaschi 100%) que disminuye el desarrollo de la especie con 56 H.

A nivel general para todas las especies en promedio se evidenció: los sustratos que mayor rendimiento generaron son los que presentan combinaciones con granito y arena. La tierra preparada en vivero tuvo un comportamiento representativo en todos sus tratamientos y se ubican en el siguiente orden decreciente, tierra preparada en vivero, bocaschi y vermicompost. Resaltando que no existen diferencias significativas entre los tratamientos compuestos por tierra preparada en vivero, mostrándose con mayor grado de efectividad el T7; respecto al vermicompost no existen diferencias significativas entre el T4 y T5 sin embargo su comportamiento mejora en el T6.

### 3.2 Porcentaje (%) de individuos enraizados (IEN) por especie en cada tratamiento

Los resultados para el análisis de varianza ANO-

VA (ver tabla 2), generaron el valor F de 169,19, lo que implica que el modelo es significativo con valor  $P > 0,0001$ ; para especies generó el valor de 1108,97 lo que muestra que el modelo es significativo con un valor  $P < 0,0001$ . Así como para sustratos con un valor de 127,24. Los valores de "Prob > F" inferiores a 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos. Por lo tanto, A, B AB son términos de modelo significativo como se puede ver a continuación:

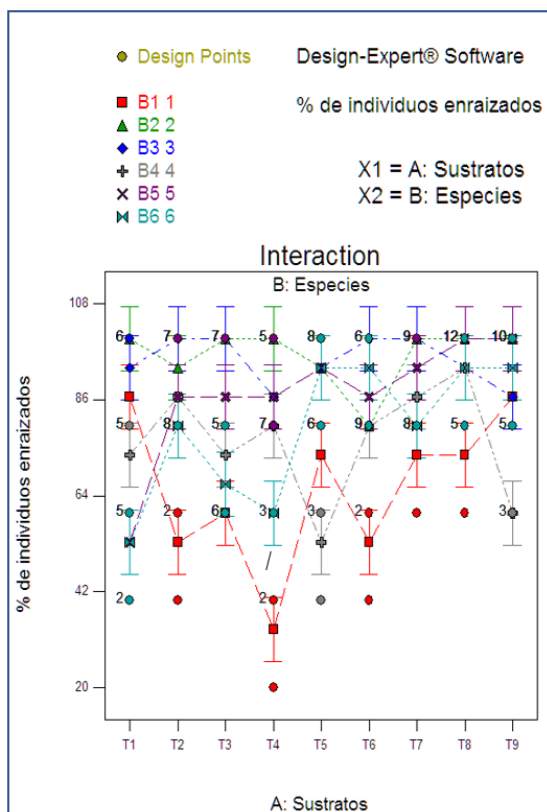
Los resultados para el análisis de varianza ANOVA (Tabla 3), generaron el valor F de 9,51 lo que implica que el modelo es significativo con valor  $P > 0,0001$ . Los valores de "Prob > F" inferiores a 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos. Por lo tanto, A B AB son términos de modelo significativo como se puede observar en la (Tabla 3). Para especies generó el valor de 44,10 lo que muestra que el modelo es significativo con un valor  $P < 0,0001$  lo que indica que hay una asociación estadísticamente significativa entre la variable de respuesta y el término. Para sustratos se obtuvo un valor de 6,95 lo que establece que el modelo es significativo con un valor  $P < 0,0001$ , esto indica que hay una asociación estadísticamente significativa entre la variable de respuesta y el término.

Tabla 3. ANOVA para el modelo factorial (sustratos – especies) con respuesta a porcentaje de individuos enraizados. en número de hojas.

| ANOVA for selected factorial model                              |                |     |             |         |                  |
|-----------------------------------------------------------------|----------------|-----|-------------|---------|------------------|
| Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II] |                |     |             |         |                  |
| Source                                                          | Sum of Squares | df  | Mean Square | F Value | p-value Prob > F |
| Model                                                           | 42333,33       | 53  | 798,74      | 9,51    | 0.0001           |
| A-Sustratos                                                     | 4666,67        | 8   | 583,33      | 6,95    | 0.0001           |
| B-Especies                                                      | 18511,11       | 5   | 3702,22     | 44,10   | 0.0001           |
| AB                                                              | 19155,56       | 40  | 478,89      | 5,70    | 0.0001           |
| Pure Error                                                      | 9066,67        | 108 | 83,95       |         |                  |
| Cor Total                                                       | 51400.00       | 161 |             |         |                  |

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se pueden evidenciar los comportamientos de cada una de las especies de acuerdo a los tratamientos, teniendo en cuenta la información presentada en la figura 4.

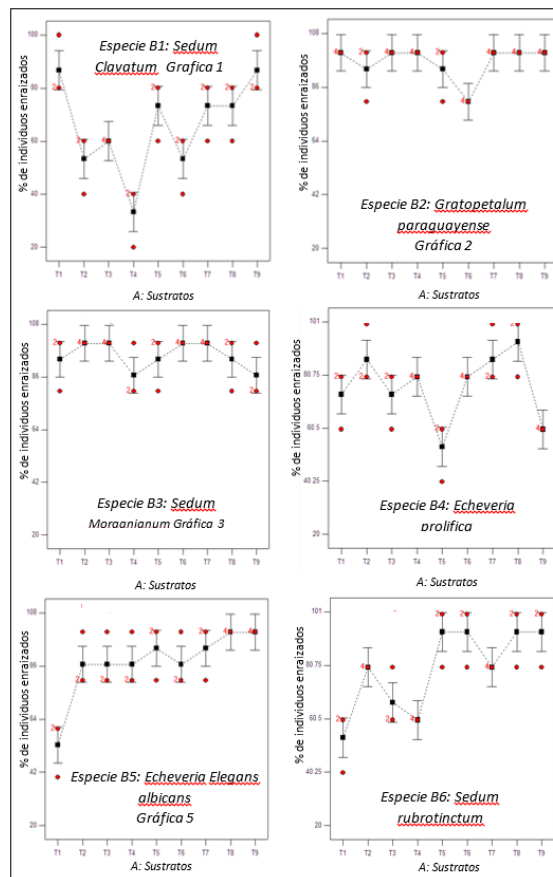


Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Comportamiento de las especies enraizadas en cada uno de los tratamientos

### 3.2.1 *Sedum clavatum* vs. tratamientos

En la figura 5 (Gráfica 1) se evidencia que *Sedum clavatum* presentó mayor % de individuos enraizados IEN, en el T1 y T9 con 86,6%, seguido de T8, T7 y T5 con 73,3%, T3 con 60%, T6 y T2 con 53,3%, T4 con 33%. Por tanto, las hojas de *Sedum clavatum* tuvieron mayor capacidad de enraizamiento en el T1 y T9. El tratamiento que menos favoreció el enraizamiento fue el T4. En ningún tratamiento se obtuvo el 100% de enraizamiento de las hojas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Comportamiento individual del enraizamiento de cada una de las especies de crasuláceas frente a los tratamientos

### 3.2.2 *Graptopetalum paraguayense* vs. tratamientos

En la figura 5 (Gráfica 2) se evidencia que *Graptopetalum paraguayense* presentó mayor porcentaje de IEN en T1, T3, T4, T7, T8 y T9 con 100% de enraizamiento, seguido de T2 y T5 con 93,3%, T6 con 80%, de esta manera se estableció reacción de manera positiva en todos los tratamientos estudiados.

### 3.2.3 *Sedum morganianum* vs. tratamientos

En la figura 5 (Gráfica 3) se evidencia que *Sedum morganianum* presentó mayor porcentaje de IEN en el T2, T3, T6 y T7 con 100% seguido del T1, T5 y T8 con 93,3%, T4 y T9 con 86,6% esta especie se acopla a los diferentes sustratos orgánicos objeto de estudio, puesto que en todos los tratamientos se presentó un enraizamiento por encima del 80%.

### 3.2.4 *Echeveria prolifica* vs. tratamientos

En la figura 5 (Gráfica 4) se evidencia que *Echeveria prolifica* presentó mayor % de IEN en T8 con 93,3%, seguido de T7 y T2 con 86,6%, T4 y T6 con 80%, T1 y T3 con 73,3%, T9 con 60%, T5 con 53,3% indicando de esta manera que T8 es el sustrato que mejor favorece el enraizamiento de la especie.

### 3.2.5 *Echeveria elegans albicans* vs. tratamientos

En la figura 5 (Gráfica 5) se evidencia que *Echeveria elegans albicans* presentó mayor porcentaje de IEN en T8 y T9 con el 100%, seguido de T5 y T7 con el 93,35% T2, T3, y T4 con 86,6%, T1 con 60% indicando que T8 y T9 son los mejores tratamientos para el enraizamiento de la especie.

### 3.2.6 *Sedum rubrotinctum* vs. tratamientos

En la figura 5 (Gráfica 6) se evidencia que *Sedum rubrotinctum* presenta mayor % de IEN en T8, T9, T6 y T5 con 93,3%, seguido del T7 y T2 con 80%, T3 con 66,6%, T4 con 60%, T1 con 53,3% indicando que en ningún tratamiento se produjo el 100% de enraizamiento.

El T8 fue el mejor tratamiento en general para promover el enraizamiento de las especies, con el 92,3% del total de H enraizadas, seguido del T7 con 88,9%, T9 con 87,78%, T5 y T2 con 83,4, %, T6 con 82,3%, T1 con 77,8% y finalmente T4 con el 74,5%, de acuerdo con lo anterior el tratamiento menos indicado para el enraizamiento de las

crasuláceas es el T4 (vermicompost al 100%) y el mejor es el T8 (tierra preparada en vivero al 75% con granito al 25%).

## DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en el desarrollo de las especies se evidenció que *Sedum morganianum* y *Graptopetalum paraguayense* obtuvieron un excelente porcentaje promedio de enraizamiento en todos los tratamientos estudiados, resultados similares a los obtenidos por Rodríguez, (2012), en donde indica que la propagación vegetativa, es práctica en muchas especies de la familia crasulácea, como sucede con *Sedum rubrotinctum*, *Sedum morganianum* y *Graptopetalum paraguayense*, diferenciándose de la primera debido a que en este estudio *Sedum rubrotinctum* presentó un porcentaje bajo de enraizamiento (figura 3), especialmente en sustratos conformados por bocaschi 100%, bocaschi 75% arena 25% y vermicompost 100%, por lo cual indica que el desarrollo de esta especie se ve favorecido en mayor medida con sustratos sueltos que facilitan la entrada de la raíz y presenten un mayor drenaje.

De igual forma Rodríguez, (2012) afirma que existen especies del género *Echeveria* que presentan restricciones en la propagación vegetativa, tal cual como se muestra en este estudio en el que la especie *Echeveria prolifica* no alcanzó el 100% de enraizamiento en ninguno de los tratamientos, sin embargo, se resalta que la tierra preparada en vivero 75% granito 25% favorece el enraizamiento de esta especie.

Cada una de las seis especies estudiadas presenta requerimientos específicos para su desarrollo, a manera general las especies de la familia crasulácea presentaron un buen desarrollo en sustratos integrados por tierra preparada en vivero con adición de granito y arena (T7, T8 y T9) seguido de los que tenían bocaschi en combinación con granito

y arena (T1, T2 y T3). En los tratamientos con vermicompost los rendimientos en desarrollo fueron más bajos, debido a que como se pudo evidenciar en campo tiene alta capacidad de solidificación cuando pierde humedad impidiendo que las raíces profundizaran, por lo cual estas quedaban expuestas en la superficie siendo vulnerables a secarse y aumentando así la tasa de mortalidad, al relacionar esta dinámica en lo propuesto por Sánchez, (1969) quien indica que las crasuláceas crecen mejor en suelos muy pedregosos, se debe tener en cuenta la perspectiva de este argumento ya que una cosa es la dispersión del material pedregoso meteorizado para el desarrollo de las plantas y otra el desarrollo de las plantas sobre zonas de roca compacta.

(Singh y Suthar, 2012). Ravindran, et al., (2016) demostraron que el vermicompost contiene diferentes hormonas que promueven el crecimiento de las plantas, incluidas las citoquininas y auxinas, por lo tanto, se puede indicar que el limitante en este estudio para el desarrollo de las crasuláceas fue su alto grado de compactación resultando eficiente si se combina con elementos sueltos que faciliten la entrada de las raíces, aireación y drenaje.

Las especies más representativas por su desarrollo en este estudio son *Sedum rubrotinctum* y *Sedum morganianum* lo que indica que se pueden recomendar para la implementación en proyectos de paisajismo por su rápido desarrollo y adaptación a diferentes sustratos siempre y cuando están hayan sido previamente enraizadas por vía asexual como lo indica Guillot, et al., (2008).

## CONCLUSIONES

- Los residuos orgánicos contaminantes de la zona urbana (RO de cocina) y la zona rural (RO del beneficio del café y estiércol bovino) se transformaron para la elaboración de bocaschi y vermicompost, obteniendo sustratos

con características fisicoquímicas que permiten el mejoramiento de los suelos y el desarrollo de las especies crasuláceas.

- El vermicompost es óptimo como complemento de sustrato para el desarrollo de las crasuláceas, sin embargo, al utilizarlo al 100% en el estudio desarrollado presentó limitantes en cuanto al enraizamiento de las especies ya que al estar expuesto directamente al sol se compacta demasiado, lo que genera que sus raíces se alarguen en la superficie y al no poder entrar al sustrato se sequen, por lo cual se sugiere utilizar otro tipo de sustrato para enraizar y luego realizar el proceso de trasplante y de esta forma evitar la mortalidad.
- El estudio permitió determinar cuáles tratamientos les permitían a las especies de la familia crasulácea presentar mejor desarrollo, mostrándose en el siguiente orden: *Sedum rubrotinctum* en el T9, seguida de *Sedum morganianum* en el T6, *Echeveria elegans albicans* en el T8 y T9, *Graptopetalum paraguayense* en el T1, *Echeveria prolífica* en el T8 y finalmente *Sedum clavatum* en el T9.
- Las especies que enraizaron al 100% y al tiempo tuvieron el máximo desarrollo en crecimiento fueron las siguientes: *Graptopetalum paraguayense* en el T7, *Sedum morganianum* en el T6 *Echeveria elegans albicans* T8 y T9.
- Para la especie *Sedum clavatum* existen diferencias significativas en todos los tratamientos con excepción del T9 y T1 cuyos valores en número de hojas son los más elevados. Por lo cual el T1 (bocaschi 100%) es un excelente sustrato para el desarrollo de esta especie igualando el potencial del T9 (Tierra preparada en vivero 75% arena 25%). Para la especie *Graptopetalum paraguayense* el T1 (bocaschi 100%) no presenta diferencias significativas con respecto al T7 (tierra preparada en vivero 100%) y el T3 (75% bocaschi y 25% arena) presentando el rendimiento más alto en número de hojas frente a los demás tratamientos. Por

lo cual se determina que el bocaschi es un excelente insumo para el desarrollo de esta especie de crasulácea.

- Para la especie *Sedum morganianum* el T6 (vermicompost 75% arena 25%) superó de manera considerable al T7 (Tierra preparada en vivero 100%). Los T2 y T3 con bocaschi no presentan diferencias significativas frente al T6 con el mejor rendimiento de crecimiento para esta especie, sin embargo, si hay diferencias significativas frente a los tratamientos control (T7, T8, y T9).
- Para la especie *Echeveria prolifica* el mejor tratamiento es el T8 (Tierra preparada en vivero 75% granito 25%) con diferencias estadísticamente significativas frente a los demás tratamientos.
- Para la especie *Echeveria elegans albicans* los tratamientos control con arena y granito (T8 y T9) presentan los mejores rendimientos de crecimiento en número de hoja ya que existen diferencias estadísticamente significativas frente los demás tratamientos.
- Para la especie *Sedum rubrotinctum* se determina que los tratamientos control (T7, T8 y T9) presenta los mejores rendimientos de crecimiento en número de hojas, los cuales son estadísticamente significativos frente a los demás tratamientos.
- En cuanto al enraizamiento no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos para las diferentes especies.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo R, Cameron, V. Sosa y S. Pell, (2004). A molecular phylogenetic study of Graptopetalum (crassulaceae) based on ETS, ITS, RPL16, and TRNLF nucleotide sequences. American Journal of Botany 91(7): 1099-1104.
- Cerrato, M. E., H. A. Leblanc y C. Kameko. (2007). Potencial de mineralización de nitrógeno de Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. Tierra Tropical 3: 183-197

Cronquist, (1981). An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Ed. Columbia University Press. 1062 p.

Domínguez, Aira, Kolbe, Gómez Brandón y Pérez Losada, (2019). Los cambios en la composición y función de las comunidades bacterianas durante el vermicompostaje pueden explicar las propiedades beneficiosas del vermicompost Sci. Rep., 9, pp. 1 - 11, 10.1038/s41598-019-46018-w

Guillot, D., E. Laguna y J. Rosselló, (2008). La familia crasulaceae en la flora alóctona valenciana. Monografías de la revista Bouteloua 4. 104 p. Consultado en octubre de 2020 en [http://www.floramontiberica.org/bouteloua/monogbouteloua\\_04\\_crassulaceae.pdf](http://www.floramontiberica.org/bouteloua/monogbouteloua_04_crassulaceae.pdf)

Gusain y Suthar, (2020). Vermicompostaje de lenteja de agua (*Spirodela polyrhiza*) empleando Eisenia fetida: cambios en el contenido de nutrientes, actividades de enzimas microbianas y biodinámica de las lombrices de tierra Bioresour. Technol. 123585, 10.1016/j.biortech.2020.123585

Hart, T. H., (1997). Diversity within Mediterranean crassulaceae. Lagasalia 19(1-2): 93100.

Hernández, Real, Delgado, Bautista y Velasco, (2016). Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. Agroproductividad, 9(8):10-17

Sánchez, (1969). "La Flora del Valle de México", Herrero, México.

Kuppusamy, Kakarla, Venkateswarlu, Megharaj, Yoon y Lee, (2018). La contaminación por antibióticos veterinarios (AV) como problema agroecológico mundial: una visión crítica Agric. Ecosyst. Reinan. 10.1016 / j.agee.2018.01.026

Mort, Levens, Randle, E. Van Jaarsveld y A. Palmer, (2005). Phylogenetics and diversification of Cotyledon (crassulaceae) inferred from nuclear and chloroplast DNA sequence data. Am J Bot. Jul;92(7):1170-6. doi: 10.3732/ajb.92.7.1170. PMID: 21646139.

Mort, Soltis, Soltis, Ortega y Santos- Guerra, (2001). Phylogenetic relationships and evolution of crassulaceae inferred from matk sequence data. American Journal of Botany 88(1): 76-91

Mosquera, Byron, (2010). Manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos [En línea]. El Salvador: FONAG- [Fecha de consulta: octubre de 2020]. Disponible en: [http://www.fonag.org.ec/doc\\_pdf/](http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/)

abonos\_organicos.pdf

- Nasini, De Luca Ricci, Ortolani, Caselli, Massaccesi, Regni, Gigliotti, y Proietti, (2016). Emisiones de gases durante el compostaje de residuos de almazara en condiciones de pila estática En t. Biodeterior. Biodegrad. 107, págs. 70 – 76.
- Ravindran, Contreras-Ramos y Sekaran, (2015). Cambios en las enzimas asociadas al intestino de las lombrices de tierra y en la diversidad microbiana en el tratamiento de desechos fermentados de tenerías utilizando la lombriz de tierra epigeica *Eudrilus eugeniae* Ecol. Ing., 74, págs. 394-401, 10.1016/j.eco-leng.2014.10.014
- Ravindran, Wong, Selvam y Sekaran, (2016). Influencia de la diversidad microbiana y las hormonas de crecimiento de las plantas en el compost y el vermicompost de los desechos fermentados de tenerías. Bioresour. Technol., 217, págs. 200-204, 10.1016/j.biortech.2016.03.032
- Rodríguez, J.C., (2015). Manejo integral de residuos sólidos urbanos domiciliarios en Colombia:
- Mitos y Realidades. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ciencias Económicas. Ensayo. Recuperado de: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7349/RodriguezContrerasJuanCarlos2015.pdf?sequence=1>
- Rodríguez Licona, J., (2012). Obtención y propagación in vitro de la crasulácea ornamental *Pachyphytum compactum* rose para su rescate y conservación. Maestría. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Rosas, Ortiz, Herrera y Leyva, (2016). Revalorización de algunos residuos agroindustriales y su potencial de aplicación a suelos agrícolas. Agroproductividad, 9(8):18-23.
- Singh y Suthar, (2012). Vermicompostaje de residuos de la industria farmacéutica a base de hierbas: crecimiento de lombrices, nutrientes disponibles para las plantas y calidad microbiana de los materiales finales. Bioresour. Technol., 112, pp. 179-185, 10.1016/j.biortech.2012.02.101.
- Soobhany, (2019). Información sobre la recuperación de nutrientes a partir de desechos sólidos orgánicos mediante procesos de conversión bioquímica para la producción de fertilizantes: una revisión J. Limpio. Pinchar. , 241, págs. 118413, 10.1016/j.jclepro.2019.118413
- Taeporamaysamai y Ratanatamskul, (2016). Co-compostaje de diversos sustratos orgánicos de residuos sólidos urbanos utilizando un prototipo de reactor de vermicompostaje in situ En t. Biodeterior. Biodegrad., 113, págs. 357 – 366 S0964830516301573
- Varnero, Galleguillos y Rojas, (2011). Sistemas de compostaje para el tratamiento de alperujo. Información Tecnológica, 22(5):49-56.
- Zhao, W. Tan, J. Peng, Q. Dang, H. Zhang, B. Xi, (2020). Vías sintéticas dependientes de fuentes de residuos biológicos de grupos funcionales redox dentro de ácidos húmicos que favorecen la decoloración del pentaclorofenol en el proceso de compostaje Reinar. En t., 135, artículo 105380

Análisis comparativo de seis especies de crasuláceas en tres sustratos derivados de residuos orgánicos  
*Mairalejandra Ramírez Cuenca, Daniel Rodríguez Acosta*

---

## Parámetros de publicación para autores

La Revista NOVA es una publicación del Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del SENA - SENNOVA para fortalecer y visibilizar la investigación en Colombia. Se propone publicar artículos de alta calidad científica para promover y divulgar los resultados de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación enfocados hacia la industria, con el fin de establecer un intercambio científico activo a nivel local, regional y global.

### Objeto de la convocatoria

Convocar a los investigadores de los Centros de Formación Profesional del SENA y grupos de investigación para que presenten artículos producto de la investigación aplicada, la innovación y el desarrollo tecnológico, tendientes al fortalecimiento de la visibilidad y difusión de resultados, a través de las siguientes modalidades:

- A. Artículos científicos terminados que muestren resultados de investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico. Máximo 15 páginas.
- B. Artículos de reflexión que presenten resultados de investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor. Máximo 15 páginas.
- C. Artículos de revisión que analicen, sistematicen e integren los resultados de investigaciones publicadas o no, sobre investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Máximo 15 páginas.

Artículos cortos que presenten resultados originales, preliminares o parciales, de investigación

aplicada, innovación y desarrollo tecnológico. Máximo 10 páginas.

### Requisitos de participación

#### Envío de resúmenes

1. Los autores interesados en publicar deben enviar un resumen de su artículo al correo [revistanova@sena.edu.co](mailto:revistanova@sena.edu.co) máximo de 400 palabras, en el que identifiquen la investigación de la cual se origina su artículo, el problema que se aborda, la metodología y los resultados obtenidos.
2. El resumen debe ir acompañado de la siguiente información:
  - a. Título del artículo (en español).
  - b. Datos del autor o los autores con los nombres y apellidos completos.
  - c. Fecha elaboración del resumen.
  - d. Centro de formación al que pertenece.
  - e. Grupo de investigación al que pertenece.
  - f. Línea de investigación o Red de Conocimiento a la que pertenece.
  - g. Correo electrónico de los autores.
  - h. Dirección, teléfono fijo, celular.
3. La recepción de los resúmenes no implica necesariamente la publicación del artículo en tanto los textos deben seguir un riguroso proceso de evaluación realizado por pares académicos.
4. Las personas cuyos resúmenes sean aprobados recibirán un correo electrónico con el plazo máximo de entrega del artículo final.

Si los árbitros llegaron a sugerir ajustes, los autores se comprometerán a entregar la nueva versión en un plazo no mayor a dos semanas (15 días calendario), luego de recibidas las observaciones.

#### Parámetros de publicación:

1. Los artículos remitidos deben ser inéditos, originales, escritos en español o en inglés y no publicados con anterioridad o simultáneamente en otra revista o en línea.
2. Para su publicación, los artículos deben ser enviados en las fechas establecidas dentro del cronograma del proceso de edición; la recepción de los artículos se hará con el rigor de estas fechas.
3. Los artículos deben ser enviados al correo electrónico [revistanova@sena.edu.co](mailto:revistanova@sena.edu.co). El autor o los autores deben presentar el artículo en formato digital, en una versión reciente de Microsoft Word, tamaño carta, interlineado doble, fuente Arial y tamaño de fuente 11.
4. El proceso de producción editorial iniciará cuando los artículos cumplan con las características de entrega establecidas en los parámetros de publicación.
5. El artículo científico debe tener una extensión máxima de 15 páginas y una mínima de 10 páginas.
6. El artículo debe contener el título, resumen, palabras clave y cuerpo del trabajo (materiales y métodos, resultados, conclusiones y bibliografía).
7. En la primera página del artículo debe contener lo siguiente:
  - a. Título del artículo (en español).
  - b. Datos del autor o los autores con los nombres y apellidos completos.
  - c. Reseña del autor o de los autores con una extensión máxima de 800 caracteres con formación, ocupación actual y cargos anteriores.
  - d. Centro de formación al que pertenece.
  - e. Grupo de investigación al que pertenece.
  - f. Línea de investigación o Red de Conocimiento a la que pertenece.
  - h. Correo electrónico, dirección, teléfono fijo, número de celular del autor o los autores.
8. Imágenes, gráficos y tablas: para mapas, cuadros, tablas, formulas o ilustraciones, estas deben estar descritas, enumeradas y en orden, en los programas originales como Microsoft Excel y/o formatos gráficos: jpg, tiff, bmp con resolución de 300 dpi (dots per inch o puntos por pulgada).
9. La información de texto, gráficos e imágenes debe ser presentada en una sola tinta y debe tener su correspondiente autorización para la publicación.
10. Cada tabla, cuadro, figura o imagen debe llevar una leyenda que describa con claridad el material presentado y la fuente en normas APA.
11. En caso de ser necesario, anexar los permisos para la reproducción de tablas, cuadros, figuras e imágenes que estén protegidos por el derecho de autor.
12. El artículo debe traer un resumen en español con una extensión máxima de 250 palabras que sintetizen los objetivos, metodología, resultados y conclusiones de la investigación.
13. Adicionar de 4 a 6 palabras clave.
14. Presentar el resumen (Abstract) y las palabras clave (Keywords) en inglés.
15. Los artículos de la revista de investigación utilizarán el sistema de referencias norma APA 2016.
16. Los artículos serán sometidos a una evaluación del comité científico y editorial y de árbitros anónimos. Estos estudiarán cada artículo y decidirán si es conveniente su publicación.
17. En algunos casos, podrán aceptar el artículo con algunas modificaciones o podrán sugerir la forma más adecuada para su presentación.

18. El artículo definitivo se remite al autor o a los autores para la aprobación de su versión final.
19. La aceptación y el rechazo para la publicación de este, serán notificadas al autor a los autores, quienes conocerán el concepto de los jueces anónimos que participaron en su evaluación.
20. En el caso de ser aceptado, el autor o los autores deben firmar una autorización cuyo formato será suministrado por el profesional de apoyo a la gestión editorial. El documento se debe entregar en un archivo de Word (Versión 2000 en adelante).
21. Una vez publicado el volumen de forma digital, el autor o los autores podrán consultar en el sistema de Bibliotecas Virtual SENA.





### SERVICIOS TECNOLÓGICOS

Laboratorio de Ensayos para la Calidad de Café

**SEMILLEROS|NOVA**  
DE INVESTIGACIÓN



### CENTRO DE DESARROLLO AGROEMPRESARIAL Y TURÍSTICO DEL HUILA

Cra. 7 N° 5-67, La Plata Huila - Colombia  
Teléfono: (8) 837 0987 Ext. 83737 - 83733  
[www.sena.edu.co](http://www.sena.edu.co)  
<http://senaceath.blogspot.com>

### REVISTA NOVA

Cra. 7 N° 5-67, La Plata Huila - Colombia  
Correo: [revistanova@sena.edu.co](mailto:revistanova@sena.edu.co)  
Teléfono: (8) 837 0987 Ext. 83737  
<http://revistas.senaedu.co/index.php/rnova/index>