

Evaluación del comportamiento biológico del Girasol (*Helianthus annuus L.*) y de la Avena (*Avena sativa L.*) como alternativa de adaptabilidad en escenarios de salinidad (Na^+) bajo condiciones controladas.

Jenny Marcela Moncada Fontecha

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Tunja, Colombia

2023

Evaluación del comportamiento biológico del Girasol (*Helianthus annuus L.*) y de la Avena (*Avena sativa L.*) como alternativa de adaptabilidad en escenarios de salinidad (Na^+) bajo condiciones controladas.

Jenny Marcela Moncada Fontecha

Trabajo de grado para obtener el Título de Ingeniera Ambiental

Director de proyecto:

Ing. Esp. MSc. Ramiro Andrés Colmenares Cruz

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Tunja, Colombia

2023

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, Colombia 2023

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado primeramente a Dios, por darme sabiduría y permitirme culminar mi carrera profesional, él ha sido mi guía y protector en todo momento. A mi esposo Wilder Daza, tu ayuda ha sido fundamental, siempre estas motivándome y acompañándome hasta donde tus alcances lo permiten. Gracias por ser mi fuente de inspiración, eres y serás parte importante en el logro de mis metas tanto profesionales como personales. A mis padres que siempre estuvieron brindándome su apoyo, a mis hermanos y sobrinos que son el motor que impulsan mis sueños.

Hoy concluyo mis estudios y les dedico a cada uno ustedes este nuevo logro.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por sus grandes bendiciones, por darme la vida y guiarme en este proceso importante para mí. Gracias a mi esposo y familia por su apoyo, ustedes jugaron un papel muy importante en mi formación como profesional. Gracias a la Universidad Nacional Abierta y a

Distancia, por abrirme sus puertas y permitirme realizar mis estudios universitarios.

Así mismo quiero expresar mi más grande agradecimiento al Ing. Ramiro Andrés Colmenares cruz, que con su dirección, conocimiento y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, gracias a cada una de las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

Resumen

El recurso suelo es la capa superior de la tierra que sirve como sostenimiento y supervivencia de especies vegetales (Navarro & Navarro,2003). El empleo de índices de salinidad eficientes de los suelos es muy útil para aprovechar todo su potencial. Según Rahi & Singh (2011), la acumulación de K + en los tejidos foliares es un mecanismo que desarrollan las plantas bajo salinidad para aumentar la resistencia a los daños por altas concentraciones de sodio. Ejemplo de plantas que presentan dicho mecanismo son el Girasol (*Helianthus annuus L.*) y la Avena (*Avena sativa L*) (Grieve & Poss,2010). La salinidad de los suelos puede ser de origen natural o antropogénico; el primero debido al afloramiento de cuerpos de agua subterráneos que tienen presentes sales originarias de la roca madre del suelo, el segundo es el resultado de actividades agropecuarias inadecuadas, uso excesivo de fertilizantes y el mal manejo del regadío con el desarrollo de grandes proyectos hidrológicos, los cuales han generado cambios en la composición coloidal del suelo. Lo anterior lleva a una disminución en la diversidad de especies vegetales y la pérdida del carácter natural del suelo. El objetivo de esta investigación es evaluar dos especies de *Helianthus annuus L.* y *Avena sativa L.*, que tienen la capacidad de tolerar y actuar como bio-indicadoras de sales a nivel del suelo a través de su comportamiento biológico. La investigación se desarrolla mediante un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos y treinta réplicas para un total de 90 unidades experimentales. Se encontró que las especies (girasol y avena) manifestaron un comportamiento diferencial respecto a los diferentes niveles de salinidad edáfico inducido, en tanto que esto podría ser una actividad bio-indicadora para determinar la salinidad en los suelos.

Palabras claves: Adaptabilidad, Suelo, Halófitas, Bioindicadores, Conductividad eléctrica.

Abstract

The soil resource is the upper layer of the earth that serves as support and survival of plant species (Navarro & Navarro, 2003). The use of efficient soil salinity indices is very useful to take advantage of its full potential. According to Rahi & Singh (2011), the accumulation of K⁺ in leaf tissues is a mechanism that plants develop under salinity to increase resistance to damage by high sodium concentrations. Examples of plants that present this mechanism are the Sunflower (*Helianthus annuus L.*) and the Oats (*Avena sativa L.*) (Grieve & Poss, 2010). The salinity of the soils can be of natural or anthropogenic origin; the first is due to the outcrop of underground water bodies that have original salts present in the parent rock of the soil, the second is the result of inadequate agricultural activities, excessive use of fertilizers and poor irrigation management with the development of large hydrological projects, which have generated changes in the colloidal composition of the soil. This leads to a decrease in the diversity of plant species and the loss of the natural character of the soil. The objective of this research is to evaluate two species of *Helianthus annuus L.* and *Avena sativa L.*, which have the capacity to tolerate and act as bio-indicators of salts at ground level through their biological behavior. The research is carried out through an experimental design. completely randomized with three treatments and thirty replicates for a total of 90 experimental units. It was found that the species (sunflower and oats) showed a differential behavior regarding the different levels of edaphic salinity induced, while this could be a bio-indicator activity to determine salinity in the soils.

Key Words: Adaptability, Soil, Halophytes, Bioindicators, Electrical conductivity.

Tabla de Contenido

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	11
INTRODUCCIÓN	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
JUSTIFICACIÓN	18
OBJETIVOS	21
OBJETIVO GENERAL.....	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
MARCO CONCEPTUAL	22
SALINIZACIÓN	22
<i>Tipos de Salinización</i>	22
MARCO TEÓRICO	23
SALINIDAD EN SUELOS	23
PROBLEMAS POR SALINIDAD EN EL RECURSO SUELO	24

ESPECIES BIORREMEDIADORES DE SALINIDAD.....	26
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GIRASOL Y LA AVENA	26
MEDIDAS DE SALINIDAD.....	29
RESPUESTA BIOLÓGICA A LA SALINIDAD EN SUELOS	31
MARCO REFERENCIAL.....	33
LOCALIZACIÓN	33
METODOLOGÍA	34
TIPO DE INVESTIGACIÓN	34
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	34
VARIABLES POR DETERMINAR:.....	35
<i>Altura de las plantas</i>	35
<i>Diámetro del tallo</i>	35
<i>Numero de Hojas</i>	35
<i>Masa fresca y masa seca</i>	35
<i>Densidad estomática</i>	35
<i>Fluorescencia de clorofila</i>	36
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	36
ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS	48
EFECTO EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS PLANTAS	48
NÚMERO DE HOJAS.....	51
DENSIDAD ESTOMÁTICA.....	52

FLUORESCENCIA DE LA CLOROFILA	54
MATERIA SECA Y FRESCA	55
DIVULGACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	58
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
GLOSARIO	68
SIGLAS.....	69

Lista de Figuras

Figura 1	23
Componentes ecosistémicos afectados por la salinidad.....	23
Figura 2	24
Mapa de susceptibilidad a la degradación de suelos por salinización, E:1:100.000.....	24
Figura 3	33
Municipio de Barbosa, ubicado en el departamento de Santander, Colombia.	33
Figura 4	37
Germinación del Girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	37
Figura 5	38
Trasplante del Girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	38
Figura 6	38
Crecimiento del Girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	38
Figura 7	39
Primera aplicación 0.2 M de NaCl para el Girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.), a los 40 días después de la germinación al tratamiento 1.	39
Figura 8	40
Primera aplicación 0.4 M de NaCl para el Girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.), a los 40 días después de la germinación al tratamiento 2	40
Figura 9	40
Plantas de Girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) en estado de floración madura.	40
Figura 10	41

Segunda aplicación 0.4 M de NaCl para el Girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>), a los 80 días después de la germinación al tratamiento 1 y 2.....	41
Figura 11	42
Hidratación de girasoles con 0 M. de NaCl.....	42
Figura 12	42
Germinación de la Avena (<i>Avena sativa L.</i>).....	42
Figura 13	43
Trasplante de la Avena (<i>Avena sativa L.</i>).....	43
Figura 14	43
Crecimiento de la Avena (<i>Avena sativa L.</i>).....	43
Figura 15	44
Primera aplicación 0.2M de NaCl para la Avena (<i>Avena sativa L.</i>), a los 40 días después de la germinación al tratamiento 1.....	44
Figura 16	45
Primera aplicación 0.4 M de NaCl para la Avena (<i>Avena sativa L.</i>), a los 40 días después de la germinación al tratamiento 2.....	45
Figura 17	46
Segunda aplicación 0.2 M de NaCl para la Avena (<i>Avena sativa L.</i>) a los 80 días después de la germinación al tratamiento 1.....	46
Figura 18	46
Segunda aplicación 0.4 M de NaCl para la Avena (<i>Avena sativa L.</i>), a los 80 días después de la germinación al tratamiento 2.....	46
Figura 19	49

Altura de las plantas en función de los días después de la siembra en plantas de girasol y avena sometidas a diferentes niveles de salinidad.	49
Figura 20	50
Diámetro del tallo en función de los días después de la siembra en girasol y avena.....	50
Figura 21	51
Número de hojas en función de los días después de la siembra en plantas de girasol y avena.	51
Figura 22	53
Densidad estomática en plantas de girasol y avena sometidas a salinidad por NaCl.	53
Figura 23	54
Respuesta de la actividad de la Fv/Fm en plantas de girasol y avena sometidas a diferentes dosis de salinidad.	54
Figura 24	56
Acumulación de materia fresca y seca en plantas de girasol y avena sometidas a diferentes niveles de salinidad.	56
Figura 25	58
Certificado de participación del VIII Encuentro Interzonal de Investigación. UNAD, 2021.....	58

Introducción

La salinización de suelos, definida como el aumento de sales, es uno de los principales procesos de degradación de suelos a nivel mundial. Está presente en algunas zonas en Colombia, alterando las propiedades de los suelos, lo que trae como consecuencia un detrimento en funciones naturales y servicios ecosistémicos de estos. En este sentido, los suelos salinos se consideran aquellos que su concentración de sales afecta de manera determinante el desarrollo normal de un cultivo, presentando una conductividad eléctrica mayor a 4dS m^{-1} (36 mM NaCl) (Bui, 2013).

Dado a lo anterior, (Otero *et al.*, 2002) afirmó que el aumento de sales es uno de los principales procesos de degradación de suelos a nivel mundial. En Colombia está presente en algunas zonas costeras, llanuras de la región caribe, en los valles interandino y en las zonas costeras de la región del pacífico (Narváez *et al.*, 2014) y de esta manera se alteran las propiedades de los suelos, lo que trae como consecuencia un detrimento en funciones naturales y servicios ecosistémicos de estos (IDEAM, 2017).

Los suelos afectados por salinidad conllevan a un deterioro y disminución de la capacidad de desarrollar sus funciones biológicas, ambientales y la capacidad del ser humano de aprovechar este recurso (Rengasamy P., 2010). Es importante la identificación de variables que describan el comportamiento biológico de las especies vegetales para visibilizar su producción bajo condición de salinidad en escenarios reales.

La salinidad es uno de los factores que influyen en la degradación de la tierra y desencadena una amenaza significativa sobre el crecimiento sostenible y los beneficios económicos en el mundo (Hayat *et al.*, 2019), afectando principalmente a organismos como plantas, las dinámicas agroambientales y por ende la seguridad alimentaria del planeta.

En este trabajo se presenta un estudio de evaluación de la adaptabilidad a escenarios de salinidad bajo condiciones controladas del comportamiento biológico del girasol (*Helianthus annuus L.*) y la avena (*Avena sativa L.*). En particular se evaluó el crecimiento y desarrollo de las especies mencionadas sobre diferentes concentraciones de salinidad, medido a través de la conductividad eléctrica, también se planteó determinar si las condiciones de salinidad evaluadas ocasionan estrés en la planta a través de mediciones de fluorescencia de la clorofila y se termina con la determinación de la relación entre la respuesta de la fluorescencia de la clorofila y la cantidad de biomasa producida en diferentes condiciones de salinidad.

Para esto se utiliza un diseño completamente al azar con 3 tratamientos y 30 réplicas por tratamiento para un total de 90 unidades experimentales, donde se tomó las concentraciones de Cloruro de Sodio (NaCl) en el suelo. El sustrato utilizado fue turba comercial con tres niveles de salinidad correspondiente a: Tratamiento uno (T1) con menos de 2 dS/m, Tratamiento dos (T2) con 6 dS/m, Tratamiento tres (T3) con 12 dS/m.

Planteamiento del problema

La salinización del suelo es una de las tensiones abióticas focales que se ha convertido en un problema ambiental importante que amenaza el éxito de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), principalmente de los objetivos: (2) hambre cero, relacionados con el hambre oculta, es decir, desnutrición reflejados con la seguridad alimentaria, la agricultura, y el objetivo (15) referente a la gestión sostenible para detener la degradación de las tierras y la conservación de recursos naturales según las Naciones Unidas (2018). Dentro de este orden de ideas, la actividad antrópica en el recurso suelo, ha incrementado notoriamente con el transcurso de los años, obteniendo acumulación de altas concentraciones de sales las cuales han ocasionado la degradación en la estructura del suelo, la deforestación, amenaza a la prestación de bienes y servicios ecosistémicos, pérdida de la biodiversidad, contaminación de aguas subterráneas por riego con aguas saladas o con aguas residuales no tratadas, problemas de seguridad alimentaria, salud ambiental y restricción del crecimiento económico a nivel local y regional para las Naciones Unidas (2021)

Aproximadamente 897 millones de hectáreas a nivel mundial se ven afectadas por esta situación, mientras que, para el caso de Colombia de acuerdo con el Mapa Nacional de degradación de suelos por salinidad, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM en 2017, establece que el 11,6% (más de 14 millones de ha) de los suelos del área continental e insular del país presenta algún grado de degradación por salinización. (IDEAM 2017).

Desde una perspectiva más puntual, la salinidad es, por lo tanto, uno de los factores que influyen en la degradación de la tierra y desencadena una amenaza significativa sobre el crecimiento sostenible y los beneficios económicos en el mundo (Hayat *et al.*, 2019), afectando

principalmente a organismos como plantas (específicamente una disminución en el secuestro o captura de carbono) que determinan las concentraciones de CO₂ (Dióxido de Carbono) de la tierra, las dinámicas agroambientales y por ende la seguridad alimentaria del planeta. Es así como la mayoría de investigaciones relacionadas con salinidad edáfica se han desarrollado teniendo como parámetros la cuantificación de sodio y potasio a través del método de digestión ácida, lo que genera mayores agentes contaminantes para su determinación y una lenta accesibilidad de sus resultados en campo. Además, otras metodologías utilizadas, que van más allá del alcance de este trabajo, para reducir las sales en los suelos utilizan inundación que genera mayor uso del recurso hídrico (Manzano et al., 2014).

Justificación

En relación con el recurso suelo, este se concibe como un sistema vivo, heterogéneo y dinámico que incluye componentes físicos, químicos, biológicos y sus interacciones. Por lo tanto, para evaluar su calidad resulta necesario la medición y descripción de sus propiedades (Luters & Salazar, 1999).

Cabe resaltar que el suelo como recurso natural y prestador de cuantiosos bienes y servicios ecosistémicos, permite que la sostenibilidad ambiental se alcance través del mantenimiento y conservación de la calidad del mismo Naciones Unidas (2018). Dicha calidad es definida como la “capacidad del suelo para funcionar”, y se evalúa midiendo un grupo mínimo de datos que corresponden a diversas propiedades edáficas como lo son físicas, químicas y biológicas (Vallejo, 2013). Desde siempre, las características químicas han sido criterios importantes para valorar el manejo o uso del recurso suelo, aspecto que hace relevante la identificación de nuevas especies que logren adaptarse a condiciones afectadas por la salinidad edáfica y que, además, sean objeto en la producción de alimentos para humanos y animales (Sahab *et al.*, 2021).

Los suelos afectados por salinidad conllevan a un deterioro y disminución de la capacidad de desarrollar sus funciones biológicas, sociales y ambientales. Por tanto, es importante la identificación de variables que describan el comportamiento biológico de las especies vegetales para visibilizar su producción bajo condición de salinidad en escenarios reales (Rengasamy, 2010), (Ramírez-Suárez & Hernández-Olivera, 2016).

Los cationes constituyentes de las sales solubles totales en los suelos son generalmente sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) y los aniones son cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}) y carbonato (incluido bicarbonato; $\text{CO}_3 \text{HCO}_3^-$). Sin embargo, el Na^+ domina los cationes y el Cl^- ,

los aniones en la mayoría de los suelos salinos en la medida en que el NaCl comprende del 50 al 80% del total de sales solubles (Rengasamy, 2010). Con esto en mente, en el presente trabajo se estudiará el comportamiento biológico del Girasol (*Helianthus annuus L.*) y de la Avena (*Avena sativa L.*) como alternativa de adaptabilidad en escenarios de salinidad (Na^+) bajo condiciones controladas.

Según Tanji (2002) a nivel mundial se cuenta con gran variedad de especies vegetales, las cuales han desarrollado capacidades para adaptarse y poder sobrevivir en suelos afectados por la salinidad. Estas especies de plantas desempeñan un papel importante a la hora de evaluar y estudiar si un suelo presenta algún grado de salinidad, ya que podrían establecerse como una especie colonizadora de suelos y aportar a diferentes sistemas de producción agropecuarios y agroalimentarios.

En esta investigación se selecciona trabajar con las especies *Helianthus annuus L.* y *Avena sativa L.*, mejor conocidas con nombre común como girasol y avena. El girasol es un cultivo de gran relevancia económica, ya que es la principal semilla oleaginosa de Europa (Perrot *et al.*, 2019) y la cuarta en el mundo solamente detrás de la soya, la palma y la canola (Abumereet *et al.*, 2019; Ullah & Akmal, 2018). Es responsable del 13% del aceite vegetal producido en el planeta (Nunes-Alveset *et al.*, 2019). La *Avena sativa L.* es extensamente cultivada para nutrición animal y humana. Su composición química, así como las propiedades terapéuticas, dietéticas y de protección en contra de enfermedades cardíacas de este grano han permitido el crecimiento del interés en la avena como una comida funcional. La adaptabilidad de estas especies a los entornos salinos, además de su abundancia a nivel mundial, las convierte en buenos candidatos de estudio como bioindicadores de varias propiedades (Krystofova *et al.*,

2009, Ceschin *et al.*, 2011, Novais *et al.*, 2019), incluida la salinidad del suelo bajo condiciones controladas.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la adaptabilidad a escenarios de salinidad bajo condiciones controladas del comportamiento biológico del girasol (*Helianthus annuus L.*) y la avena (*Avena sativa L.*).

Objetivos específicos

Evaluar crecimiento y desarrollo de las especies del girasol (*Helianthus annuus L.*) y la avena (*Avena sativa L.*) sobre diferentes concentraciones de salinidad, medido a través de la conductividad eléctrica.

Determinar si las condiciones de salinidad evaluadas ocasionan estrés en la planta a través de mediciones de fluorescencia de la clorofila

Determinar la relación entre la respuesta de la fluorescencia de la clorofila y la cantidad de biomasa producida en diferentes condiciones de salinidad (Na^+).

Exponer los resultados obtenidos a través de la proyección del conocimiento científico en eventos relacionados con el tema.

Marco conceptual

Salinización: “La salinización es un proceso químico de origen natural o inducido por las actividades antrópicas, mediante el cual ocurre el aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el suelo, lo cual tiene implicaciones negativas sobre los servicios y las funciones ecosistémicas y ambientales que ofrecen los suelos” (IDEAM, 2015).

Tipos de Salinización

Según la salinización del suelo (SAS), se clasifica en dos tipos: Salinización primaria: La salinización primaria proviene de recursos naturales como la erosión de las rocas, la erosión del suelo y el suelo derivado de la roca madre salina (Reddy *et al.*, 2017., Rui-Dong., 2017).

Salinización secundaria: La salinización secundaria es causada por actividades antropogénicas como prácticas de riego intensivo, aplicación de pesticidas, pastoreo excesivo, deforestación, minería, cultivos intensivos, construcción de carreteras y vías férreas que pueden causar restricciones de drenaje (Athar & Ashraf, 2009; Okhrel & Dubey, 2013; Reddy *et al.*, 2017; RuiDong, 2017).

Marco teórico

Salinidad en suelos

La salinidad en el suelo hace referencia a una elevada concentración de sales que perjudican las plantas por su efecto tóxico y disminución del potencial osmótico del suelo. Sin embargo, hay muchos otros efectos (ver figura 1).

Figura 1

Componentes ecosistémicos afectados por la salinidad



Nota. El grafico representa los componentes ecosistémicos que creemos podrían verse afectados.

Fuente. Propia, (2022)

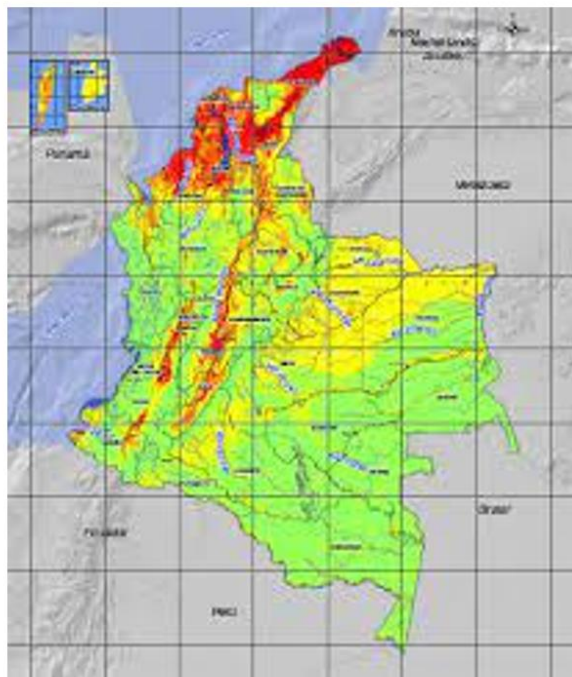
Según el IDEAM (2017) el 40% de la superficie de Colombia presenta algún grado de erosión y de esta el 3% se presenta de manera severa, el 45.5% del total del país tiene susceptibilidad a la degradación de suelos por concepto de salinización. Además, se estima que el 11.6% del área del país presenta algún grado de salinización, siendo el 1.5% grados severos y muy severos.

Problemas por salinidad en el recurso suelo

El 45% (51'270.290 ha) de la superficie continental e insular de Colombia presenta algún grado de susceptibilidad o propensión a la degradación de suelos por salinización_ (IDEAM 2017).

Figura 2

Mapa de susceptibilidad a la degradación de suelos por salinización, E:1:100.000



CATEGORÍA	%
Muy Alta	0,7
Alta	4,4
Media	7,6
Baja	32,2
Muy Baja	52,7
Otros	2,3

Nota: El gráfico representa el mapa de susceptibilidad a la degradación de suelos por salinización E: 1:100.000. Fuente (IDEAM 2017).

A continuación se explican las escalas presentadas en la figura 2, según Salamanca (2015) y Gantiva (2018): Muy baja cuando no hay degradación química del suelo por salinización, Baja cuando se presentan indicios de la fertilidad del suelo y de sus funciones ecosistémicas, Media cuando se presentan contenidos perjudiciales de sales en los suelos, los cuales pueden recuperarse con manejos especiales y alguna inversión económica, Alta cuando hay contenidos perjudiciales de sales en el suelo, disminuyendo altamente sus funciones y servicios y su recuperación tiene costos altos, y Muy Alta cuando se presentan altos contenidos de sales y sodio, que degradan el suelo químicamente, los cuales son suelos improductivos y es improbable su recuperación.

Conforme a la FAO (2015), la salinización de los suelos provocado por las actividades antrópicas afecta a unos 760.000 km² de tierras a nivel mundial, provocando gran pérdida de los servicios ecosistémicos de los suelos, principalmente los relacionados con la producción agrícola. Podemos resumir sus efectos así:

- Estrés hídrico.
- Alteración del pH.
- Generación de toxicidad.
- Afectación del movimiento del agua.
- Destruye la estructura del suelo.
- Reduce la biodiversidad de los suelos.
- Afecta los servicios ecosistémicos de los suelos: el almacenamiento hídrico, la regulación de procesos geoquímicos; se disminuye la acumulación de carbono orgánico debido a la poca actividad de microorganismos.

- Disminución de la productividad primaria y, en términos agrícolas, disminuye la producción de los cultivos.

Los suelos salinos tienen sus propias comunidades microbianas, que se han adaptado a este tipo de ambientes designadas como halófilos. Los halófilos son organismos extremófilos que se enfrentan no sólo a la alta composición iónica sino también a otros factores ambientales como baja disponibilidad de oxígeno, altas o bajas temperaturas, valores de pH alcalino, presencia de metales u otros compuestos tóxicos (Gohel ED *et al.*, 2015 & Tripathi *et al.*, 2015).

Especies biorremediadores de salinidad

En algunos casos se han usado cultivos forrajeros para el mejoramiento de suelos salinos, ya que estos cultivos tienen la capacidad de sobrevivir bajo situaciones de salinidad, esto representa una alternativa económica y sustentable, ya que por una parte se está reduciendo la salinidad y por otra, estos cultivos pueden ser aprovechados como cultivos de amplia cobertura en grandes extensiones de suelos, disminuir los problemas de erosión y se produce forraje para alimentar el ganado (Ruíz-Cerda *et al.*, 2007).

Otras especies que han mostrado tolerancia alta a la salinidad son (Eva van Zelm *et al.*, 2020): halófito *Salicornia* al sur de Francia, *Solanum pennellii*, un pariente salvaje del tomate en Perú, Quinoa en campos experimentales en la Universidad de Wageningen y *Arabidopsis thaliana* y su pariente halófito *Schrenkiella*.

Características generales del girasol y la avena

El Girasol (*Helianthus annuus* L.) es uno de los cultivos más utilizados para aceite combustible de alta calidad, constituyéndose en una de las más importantes fuentes de aceite al lado de la soya, maní colza y palma de aceite (Bastidas, 1986).

El girasol es originario del Noroeste de América, entre el norte de México y el estado de

Nebraska en Estados Unidos. Algunos arqueólogos sugieren que el girasol se pudo haber cultivado antes que el maíz (Schneiter, 1997).

En 1580 es introducido a España como planta ornamental, se le conocía como flor peruana del sol. En el siglo XVIII su cultivo comienza a implementarse en Francia y Rusia. Es en este último, en donde gana importancia económica, al adoptarse como planta productora de aceite. No es hasta 1966 que esta planta se convierte en un cultivo importante en Estados Unidos. Pertenece a la familia de las compuestas. Es una planta anual, erecta, con una raíz pivotante que puede alcanzar más de un metro de profundidad, llegando incluso hasta los tres metros; posee muchas raíces secundarias en forma de extensa cabellera, alcanzando diámetros de hasta 50 cm, permitiéndole soportar periodos de sequía, buena absorción de nutrientes y una mayor resistencia al volcamiento.

Consta de un tallo cilíndrico. Su altura define las variedades bajas (menor de 2 m), medias (entre 2 y 2.5 m) y altas (mayor de 2.5 m). Estos tallos pueden ir desde los 50 cm hasta los 4 m de altura con un diámetro entre 1.5 cm y 9 cm.

Las hojas son alternas, pecioladas cuyo número varia de ocho a setenta. Las hojas pueden llegar a medir 30 cm y varían en tamaño, forma y presencia o ausencia de pelos. La inflorescencia denominada capítulo tiene un diámetro de 6 a 40 cm que puede llegar a contener entre 500 a 3000 flores bisexuales, su configuración puede ser plana, cóncava o convexa. La mejor configuración, en términos de cosecha, es la configuración plana, ya que forma una inclinación importante con el tallo.

Uno de los grandes rasgos del girasol es su adaptabilidad. Puede darse a diferentes latitudes, climas y suelos. Sus requerimientos térmicos son temperaturas entre 17 a 23°C. Su germinación es óptima entre 7 a 8 °C, catalogándola como una especie resistente a heladas,

soportando temperaturas de -5 a -6 °C en germinación y -2 a -3 °C en floración y fructificación. El girasol soporta algo de salinidad, pero no prospera en suelos ácidos, encharcados o compactos.

El girasol ha sido el protagonista de varios estudios relacionando su comportamiento en diferentes situaciones. (Temme, et. Al., 2019) exploran cómo la disminución de biomasa, en respuesta a la salinidad, se relaciona con las características de las hojas en 20 genotipos de girasol cultivado (*Helianthus annuus*). También (Khatoon, et. al., 2000) estudian el comportamiento de algunos parámetros de crecimiento para el girasol bajo condiciones de salinidad, por citar un par de ejemplos. Incluso en el 2021 sigue siendo relevante el estudio de sus características (Tahmish & Naveen, 2021; Zhang *et al.*, 2021).

La avena (*Avena sativa L.*), comúnmente conocida como "avena" pertenece a la familia Poaceae, corresponde a un cereal, y es cultivado principalmente en todo el mundo. Además, se da en una amplia variedad de formas de suelo, elevaciones y circunstancias de precipitación. Un ambiente moderado y subtropical es una opción perfecta para el desarrollo. La temperatura óptima durante el período de crecimiento es de 16-32°C y la buena distribución de la precipitación es de 400 mm, que es abundante para cumplir con su demanda tanto de forraje como de calidad de la avena (Bhatti, 1992). Contiene calcio 0.82%, fósforo 0.27%, proteína 9.23%, grasa 3.56% y fibra 30,44% (Chaudhary, 1994).

La avena proporciona alimento nutritivo y es popular entre los animales. Es el alimento preferido para muchos de los animales y su paja es más suave que la del trigo y la cebada. La avena se utiliza como grano, y forraje, como paja, y heno. La avena se utiliza como cereal para el desayuno y otros ingredientes alimentarios. Son cereales básicamente nutritivos, con un alto contenido en fibra y proteínas. El contenido de proteína en las harinas de avena es generalmente

más alto que el de los granos. Muchos de los minerales con vitaminas de la avena se incorporan al salvado y al germen. La mayoría de los alimentos a base de avena utilizan cereales integrales para convertirlos en un grano muy rico en minerales. La avena tiene una historia de 2000 años y se utiliza para la alimentación de mamíferos y papilla humana. Al compararla con la cebada y el trigo, la avena es más sensible a las condiciones climáticas, teniendo poca resistencia al frío y a la sequía.

La avena desempeña un papel importante en la agricultura mundial para cubrir la demanda de alimentos debido al incremento en la población (Danty Larraín *et. al.*, 2018). La avena le provee alimento a más del 60% de la población total. La avena se utiliza como alimento debido a su naturaleza nutritiva. En 2020, el área total absoluta de siembra de avena fue de aproximadamente 9,6 millones de hectáreas, con un rendimiento de 2,4 toneladas por hectárea, una disminución del 11% respecto al año anterior (FAO, 2020). Agriculturas basadas en el cultivo de avena como principal fuente de ingresos aportan 3,0% al valor agregado y el 0,6% del PIB.

No hay nada de las especies asociadas a condiciones de salinidad o que hayan sido utilizadas como plantas indicadoras.

Medidas de salinidad

Un suelo es salino cuando acumula sales disueltas en la zona de raíces de los cultivos a unos niveles tales que afectan negativamente su producción. Cuando la sal es visible en la superficie del suelo su nivel de salinidad puede ser muy elevada y el cultivo estará afectado casi con seguridad. Para adelantarse a la aparición de estos problemas (por ejemplo: alteraciones en desarrollo y crecimiento, fases fenológicas, entre otras), se deben utilizar herramientas capaces de evaluar el nivel de sales del suelo antes de que se aprecien los síntomas de salinidad.

Según Aragués & Urdanoz (2006), la Conductividad Eléctrica (CE) es la forma más usual de medida de la salinidad total del suelo y sus unidades son deciSiemens por metro (dS/m). La CE se mide tradicionalmente en un extracto acuoso del suelo llamado extracto saturado y recibe el nombre de conductividad eléctrica del extracto (CEe). Aunque existen otros métodos de medida de la salinidad, la CEe sigue siendo el parámetro de referencia a nivel mundial. En base a esta CEe y a la respuesta de los cultivos, los suelos se clasifican en: no salinos ($CEe < 2$ dS/m), ligeramente salinos (entre 2 y 4 dS/m), moderadamente salinos (entre 4 y 8 dS/m) y muy salinos ($CEe > 8$ dS/m). Estos umbrales de CEe se han elegido porque la mayoría de los cultivos no tienen pérdidas de rendimiento con valores inferiores a 2 dS/m, sufren pérdidas de moderadas a altas (según su tolerancia) con valores entre 2 y 8 dS/m, y tienen generalmente pérdidas muy elevadas con valores superiores a 8 dS/m. Un factor limitante importante de la CEe es que mide adecuadamente el total de sales disueltas, pero no puede distinguir qué tipo de iones conforman esta salinidad. El tipo de iones presentes puede tener un efecto específico negativo para el rendimiento de los cultivos y para la estabilidad estructural de los suelos. Aunque estos aspectos no son objeto de este trabajo, cabe citar que el ion sodio (tanto su concentración absoluta como la relativa a los iones calcio y magnesio o "Relación de Adsorción de Sodio") puede ser muy negativo para ciertos cultivos sensibles a la "toxicidad específica del sodio" (sobre todo en riego por aspersión) y puede inducir a la pérdida de la estructura de ciertos suelos susceptibles a la "dispersión" y/o "hinchamiento" de las arcillas.

Por ello, es importante diferenciar los suelos salinos de los suelos sódicos. Otro factor limitante de la medida de la CEe es su laboriosidad, ya que exige tomar muestras de suelo, llevarlas al laboratorio, secarlas al aire, molerlas, tamizarlas, preparar la "pasta saturada", y extraer mediante filtrado con vacío el denominado "extracto saturado". Este proceso tan

farragoso debe efectuarse en un número suficiente de muestras tomadas a distintos tiempos y en distintos puntos y profundidades con el objetivo de establecer de forma satisfactoria la típica variabilidad temporal y espacial de la salinidad edáfica.

Con el objetivo de facilitar el diagnóstico de la salinidad de los suelos, en las últimas dos décadas se han desarrollado distintos métodos de campo que evitan o reducen el muestreo de suelos. Entre ellos, cabe resaltar el sensor electromagnético (SE). Existen varios modelos de SE de dos casas comerciales canadienses (Geonics: www.geonics.com y Dualem: www.dualem.com). Los SE recomendables para medir salinidad de suelos son el modelo EM38RT de Geonics y el modelo 1S de Dualem. Aunque estos modelos difieren en algunas características, el principio en que se basan es similar: una bobina transmisora establece un campo magnético primario a través del suelo que, en función de su capacidad conductora, induce un campo magnético secundario que es detectado por una bobina receptora situada a una distancia de un metro de la bobina inductora. Un circuito electrónico convierte estos campos a valores de CEa (conductividad eléctrica aparente del suelo) relacionados, a su vez, a la CEe y a la salinidad del suelo.

Respuesta biológica a la salinidad en suelos

Para Moreno *et al.*, (2008) la salinidad de suelos introduce una conexión entre la fluorescencia de la clorofila con información sobre la salinidad del suelo: ‘En las plantas, las moléculas de clorofila a asociadas a los fotosistemas I y II (PSI, PSII) son las responsables de la emisión de la fluorescencia, sin embargo, a la temperatura de ambiente (25°C), la contribución del PSI a la emisión total es mínima en comparación con el PSII’. Además, mencionan que la emisión de la fluorescencia se ve afectada por diversos factores físicos y químicos, entre ellos la salinidad.

Es entonces imperativo conocer la relación existente entre la respuesta de la fluorescencia de la clorofila y la acumulación de materias frescas y secas de las especies vegetales evaluadas en los suelos salinizados.

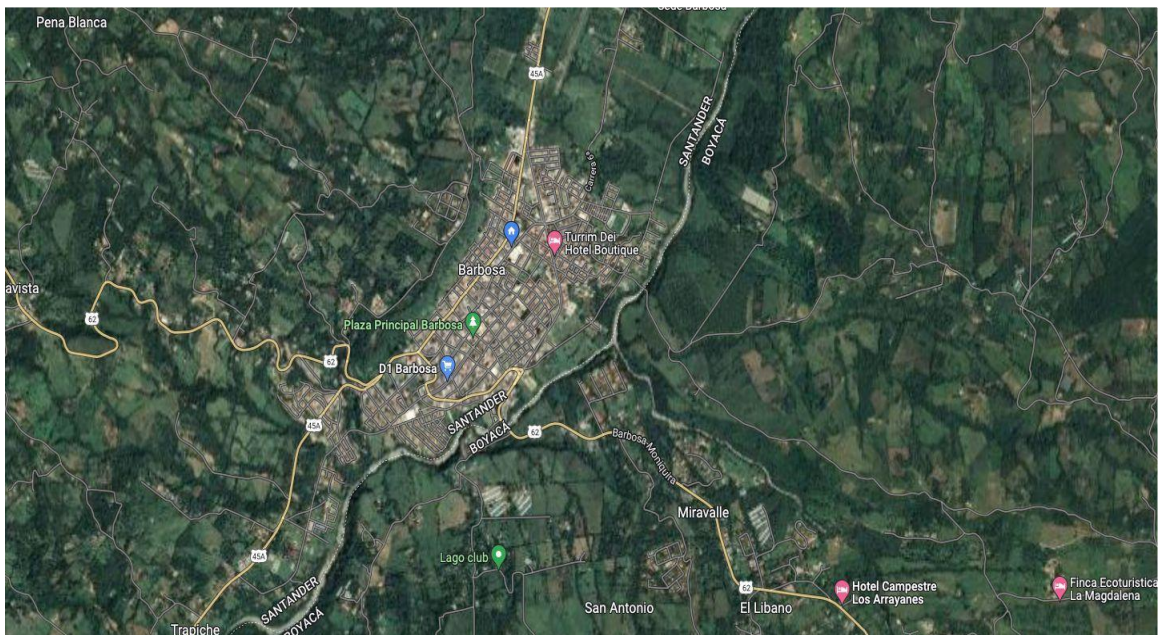
Marco Referencial

Localización

El proyecto aplicado se llevó a cabo en Barbosa, Santander, Colombia (Figura 3); con una altitud de 1588 metros sobre el nivel del mar, temperatura promedio de 19°C, sus coordenadas son 05° 55' 57" latitud norte y 73° 37' 16" longitud oeste del meridiano de Greenwich, y un promedio anual de precipitaciones de 2250 mm (ver: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/precipitacion-santander.pdf>).

Figura 3

Municipio de Barbosa, ubicado en el departamento de Santander, Colombia.



Nota: EL gráfico representa el municipio de Barbosa Santander, Colombia. Fuente Google maps (2022).

Metodología

Tipo de Investigación

Con el objetivo de identificar especies vegetales promisorias en la recuperación de suelos salinos bajo condiciones controladas, se emplea una investigación con un enfoque cuantitativo, en donde pretendemos evaluar la adaptabilidad a escenarios de salinidad bajo condiciones controladas del comportamiento biológico del girasol (*Helianthus annuus L.*) y la avena (*Avena sativa L.*).

El alcance de este proyecto es exploratorio, puesto que examina un tema poco estudiado y prepara el terreno para posteriores investigaciones altamente estructuradas (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010) y que puedan dar luz a soluciones de manera concisa y apropiada para el caso. También definimos este estudio como descriptivo-evaluativo, en donde es necesario profundizar más en el tema para llegar a correlaciones definitivas.

La metodología se estructura bajo condiciones climáticas controladas donde el parámetro de evaluación será las dosis de salinidad en el sustrato.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con 3 tratamientos y 30 réplicas por tratamiento para un total de 90 unidades experimentales, donde se tomó las concentraciones de NaCl en el suelo. Para poder determinar los tratamientos se utilizó un sustrato a neutralidad y se agregó las concentraciones de salinidad hasta lograr los grados de desiSimens por metro (dS/m) a través del uso de un conductímetro portátil y una solución 1:2 sustrato: agua. El sustrato utilizado fue turba comercial con tres niveles de salinidad correspondiente a: Tratamiento uno (T1) 0M que correspondió a menos de 2 dS/m, Tratamiento dos (T2) 0.2M con 6 dS/m y Tratamiento tres (T3) 0.4 M con 12 dS/m, el manejo se desarrolla en 2 aplicaciones la primera 40 días después de

la germinación y la segunda 80 días después de la germinación, el riego se realiza a capacidad de campo y el manejo fitosanitario (métodos y técnicas para la prevención, de las enfermedades de las plantas, procurando la estabilidad y bienestar del cultivo) a requerir durante el ensayo.

Variables por determinar:

Altura de las plantas

Se midió con flexómetro rígido, desde la base del tallo hasta la parte terminal de la inflorescencia.

Diámetro del tallo

El diámetro se midió con un pie de rey a la altura de la base del tallo.

Numero de Hojas

El conteo de hojas se estableció de manera manual.

Masa fresca y masa seca

Se mide la masa seca y masa fresca en hojas, tallos, raíz y total, 10 días después de cada aplicación siguiendo lo propuesto por Bascuñán-Godoy *et al.*, (2018) separando cada uno de los órganos para ser pesados con una balanza digital de precisión 10-3 g y posteriormente secados a 80°C por tres horas, seguido de secado a 60°C por 42 horas, para posteriormente pesarlos y obtener la masa seca.

Densidad estomática

La densidad estomática se evaluó en el haz de las hojas tomando una hoja de cada tercio de la planta en tres plantas de cada tratamiento. Las hojas fueron cubiertas con esmalte y

observadas a 20x en un microscopio y con ayuda de un videobeam.

Fluorescencia de clorofila

Se hace una medición en hojas completamente expandidas, y por triplicado utilizando un fluorómetro portátil Junior PAM. Previo a cada una de las mediciones, las hojas se someten a oscuridad en bolsas de papel aluminio, por 30 minutos, obteniendo eficiencia fotoquímica del fotosistema II (FSII) (Ecuación I) y fluorescencia variable, estimada por los datos de fluorescencia máxima (Fm) y fluorescencia mínima (F0) siguiendo las mismas metodologías seguidas por Casierra-Posada *et al.*, (2011); Fghire *et al.*, (2015) y Shabala *et al.*, (2013).

Para este caso se reportará la eficiencia cuántica máxima del fotosistema II

$$\text{Eficiencia Fotoquímica FSII} = \frac{Fv}{Fm} = \frac{Fm - F0}{Fm} \quad \text{Ecuación I}$$

Procedimiento Experimental

Una vez se plantan las semillas de Girasol (Figura 4-6), se esperan 40 días después de la germinación para hacer la primera aplicación. La aplicación se hace a 3 concentraciones salinas diferentes: 0.2 M, 0.4 M y la de control 0 M. Para la preparación de las diferentes concentraciones, con 1 Litro de agua como solvente, hallamos la cantidad de sal:

Concentración 0.2 M:

$$0.2 \text{ mol NaCl} \times \frac{58.45 \text{ g}}{1 \text{ mol NaCl}} = 11.69 \text{ g NaCl} ,$$

Así que, por cada litro de agua, debemos agregar 11.69 gramos de NaCl, para tener una concentración al 0.2 M

$$0.4 \text{ mol NaCl} \times \frac{58.45 \text{ g}}{1 \text{ mol NaCl}} = 23.38 \text{ g NaCl}$$

Así que, por cada litro de agua, debemos agregar 23.38 gramos de NaCl, para tener una concentración al 0.4 M

La aplicación se hace directamente sobre las plántulas (Figura 8-10). Los días posteriores a la primera aplicación se mantiene la hidratación normal sin contenido de sales. Entre la primera y la segunda aplicación se aprecian cambios físicos a simple vista. Aquellas plántulas con aplicaciones de concentración 0.4 M se ven más decaídas en comparación con el grupo de control. Las aplicaciones de concentración 0.2M no presentan cambios a este punto en comparación con el grupo control.

La germinación de las semillas de avena se realiza directamente en las bolsas. Mientras que a los 40 días (Figura 12-18) de la germinación se realizó la primera aplicación de las soluciones salinas.

En las siguientes figuras (4 a la 11) mostramos el registro fotográfico y la metodología desarrollada para el Girasol (*Helianthus annuus L.*):

Comenzamos con la parte de la germinación, se consiguió una cubeta para germinar y una tierra abonada de una finca de un familiar. En la figura se observa como las semillas ya se ven germinadas a la derecha.

Figura 4

Germinación del Girasol (Helianthus annuus L.)



Nota. El gráfico representa la germinación del girasol (*Helianthus annuus L.*). Fuente, propia.

Una vez las plántulas eran lo suficientemente grandes, las trasplanté a bolsas medianas en donde podían crecer con mayor libertad.

Figura 5

Trasplante del Girasol (Helianthus annuus L.)



Nota. El gráfico representa la trasplante del girasol (*Helianthus annuus L.*). Fuente, propia.

Ya sin mucha limitación, las plántulas se vuelven plantas y acá vemos ese proceso en las tres fotos mostradas.

Figura 6

Crecimiento del Girasol (Helianthus annuus L.)

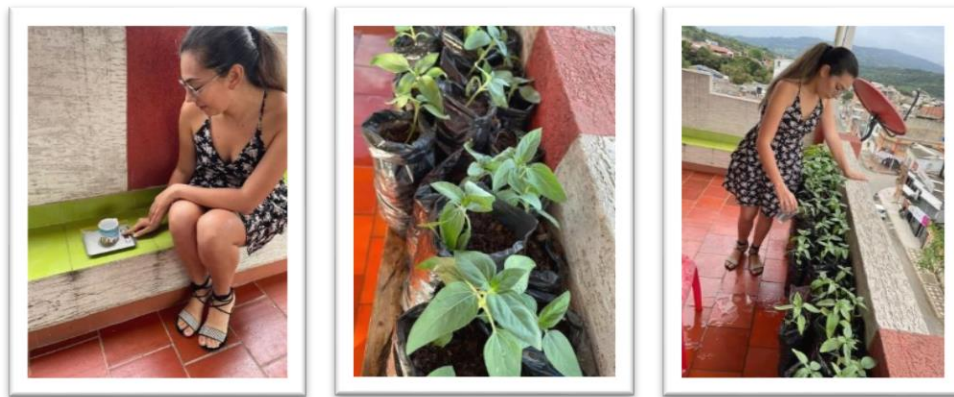


Nota. El gráfico representa el crecimiento del girasol (*Helianthus annuus L.*). Fuente, propia.

Una vez pasaron 40 días después de la germinación, se realiza la primera aplicación de una mezcla de agua y sal en concentración 0.2M para nuestras plantas. Las fotos en la figura muestran el proceso de preparación de la mezcla, el tamaño que tenían las plantas y el momento en el que se hace la aplicación.

Figura 7

*Primera aplicación 0.2 M de NaCl para el Girasol (*Helianthus annuus L.*), a los 40 días después de la germinación al tratamiento 1.*



Nota. El gráfico representa la primera aplicación 0.2 M de NaCl para el Girasol (*Helianthus annuus L.*), a los 40 días después de la germinación al tratamiento 1. Fuente, propia.

El mismo día 40, se realiza la primera aplicación de una mezcla de agua y sal en concentración 0.4M. También mostramos el momento en que alistamos la sal para preparar la mezcla y el tamaño de las plantas justo antes de la aplicación.

Figura 8

*Primera aplicación 0.4 M de NaCl para el Girasol (*Helianthus annuus* L.), a los 40 días después de la germinación al tratamiento 2*

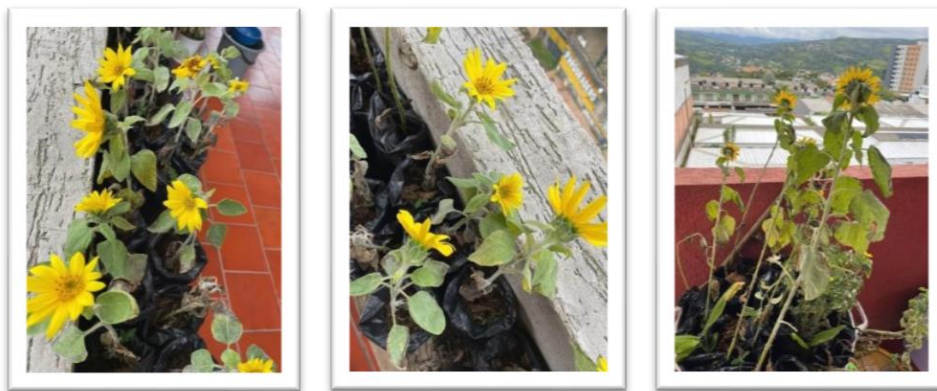


Nota. El gráfico representa Primera aplicación 0.4 M de NaCl para el Girasol (*Helianthus annuus* L.), a los 40 días después de la germinación al tratamiento 2. Fuente, propia.

Tiempo después de la primera aplicación monitoreaba el crecimiento de las plantas. En la siguiente figura mostramos las plantas en estado de floración madura luego de la aplicación de las mezclas de agua con sal a salinidades 0.2M y 0.4M

Figura 9

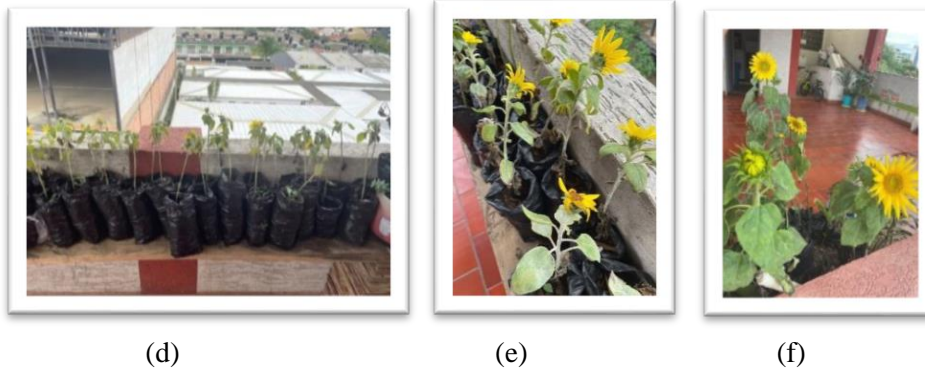
*Plantas de Girasol (*Helianthus annuus* L.) en estado de floración madura.*



(a)

(b)

(c)

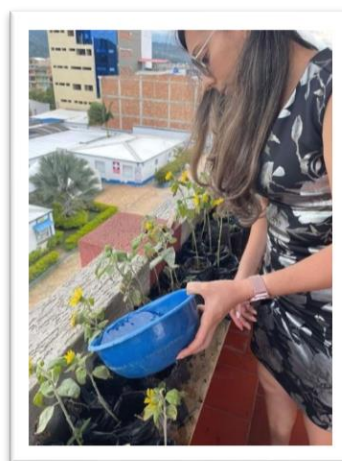


Nota. La gráfica corresponde a las plantas de Girasol (*Helianthus annuus L.*) en estado de floración madura. a,b,c corresponden a 0.2M y d,e,f corresponden a 0.4M. Fuente, propia.

A los 80 días de la germinación se repite la producción de mezcla de agua y sal en concentración 0.4M y 0.2 M y se procede a aplicarla a las plantas.

Figura 10

*Segunda aplicación 0.4 M de NaCl para el Girasol (*Helianthus annuus L.*), a los 80 días después de la germinación al tratamiento 1 y 2.*



Nota. El gráfico representa la Segunda aplicación 0.4 M de NaCl para el Girasol (*Helianthus annuus L.*), a los 80 días después de la germinación al tratamiento 1 y 2. Fuente, propia.

Durante todo el proceso se les hacía seguimiento e hidratación a las plantas, incluido el grupo de control. En las siguientes imágenes vemos el proceso de hidratación al grupo de control.

Figura 11

Hidratación de girasoles con 0 M. de NaCl.



Nota. El gráfico representa la hidratación de girasoles con 0.M de NaCl. Fuente, propia.

En las siguientes figuras (12 a la 18) mostramos el registro fotográfico para la Avena (*Avena sativa L.*). Se comienza con el proceso de germinación, para este caso no usamos la cubeta, sino que pusimos todas las semillas en un contenedor (balde) con tierra abonada, por facilidad.

Figura 12

Germinación de la Avena (Avena sativa L.)



Nota. El gráfico representa la germinación de la avena (*Avena sativa* L.). Fuente, propia.

Luego presenciamos la germinación de las semillas. La figura muestra el momento antes de trasplantarlas a bolsas individuales. Fuente, propia.

Figura 13

Trasplante de la Avena (Avena sativa L.)



Nota. El gráfico representa la trasplante de la Avena (*Avena sativa* L.). Fuente, propia.

Después de la trasplante presenciamos el crecimiento de la Avena y las fotos a continuación nos muestran cómo se veían. Fuente, propia.

Figura 14

Crecimiento de la Avena (Avena sativa L.)





Nota. El gráfico representa el crecimiento de la Avena (*Avena sativa L.*). Fuente, propia.

De la misma manera que con los girasoles, esperamos 40 días y realizamos la primera aplicación de la mezcla de agua y sal en concentración 0.2M. Las siguientes imágenes muestran este proceso de aplicación. Fuente, propia.

Figura 15

*Primera aplicación 0.2M de NaCl para la Avena (*Avena sativa L.*), a los 40 días después de la germinación al tratamiento 1.*



Nota. El gráfico representa la Primera aplicación 0.2M de NaCl para la Avena (*Avena sativa L.*), a los 40 días después de la germinación al tratamiento 1. Fuente, propia.

Ese mismo día, realizamos la aplicación de la mezcla de agua y sal en concentración 0.4M al otro grupo de plantas.

Figura 16

Primera aplicación 0.4 M de NaCl para la Avena (Avena sativa L.), a los 40 días después de la germinación al tratamiento 2.



Nota. El gráfico representa la pimera aplicación 0.4 M de NaCl para la Avena (Avena sativa L.), a los 40 días después de la germinación al tratamiento 2. Fuente, propia.

Todos los días se revisaban las plantas, para registrar su evolución. En las siguientes figuras se muestran imágenes de las plantas después de la segunda aplicación de la mezcla de agua y sal en concentraciones 0.2M y 0.4M, respectivamente.

Figura 17

Segunda aplicación 0.2 M de NaCl para la Avena (Avena sativa L.) a los 80 días después de la germinación al tratamiento 1.



Nota. El gráfico representa la segunda aplicación 0.2 M de NaCl para la avena Avena (Avena sativa L.) a los 80 días después de la germinación al tratamiento 1. Fuente, propia.

Figura 18

Segunda aplicación 0.4 M de NaCl para la Avena (Avena sativa L.), a los 80 días después de la germinación al tratamiento 2.



Nota. El gráfico representa la segunda aplicación 0.4 M de NaCl para la Avena (*Avena sativa* L.), a los 80 días después de la germinación al tratamiento 2. Fuente, propia.

Así culmina el registro fotográfico del proceso de germinación y crecimiento de las plantas, además de las aplicaciones de las mezclas de agua y sal a concentraciones 0.2M y 0.4M. El tratamiento de los datos se expone en la siguiente sección.

Análisis de datos obtenidos

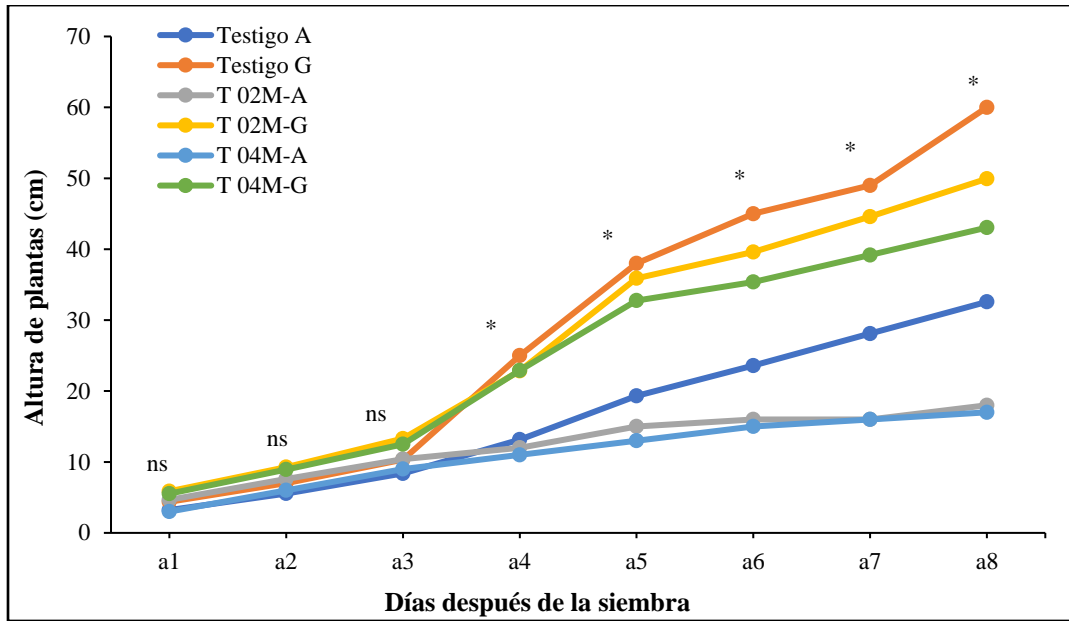
Los datos obtenidos en el experimento se tabulan utilizando el programa Excel; se realiza una prueba de homogeneidad de variedad con el método de Bartlett y una prueba de normalidad con el método de Shapiro-Wilk. Se realiza así mismo un análisis de varianza (ANOVA) en caso de obtener normalidad de los datos y una prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de 0.05 utilizando el programa R versión 3.3.0

Efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas

Uno de los efectos más relevantes dentro de la evaluación de cada uno de los tratamientos y sobre cada una de las especies evaluadas es la dinámica de crecimiento que presentan las plantas. En este sentido la figura 19 muestra que las dos especies evaluadas manifiestan en sus tratamientos testigo un crecimiento exponencial a través del tiempo, manifestando uno los promedios más altos en comparación con las plantas sometidas a los diferentes niveles de salinidad.

Figura 19

Altura de las plantas en función de los días después de la siembra en plantas de girasol y avena sometidas a diferentes niveles de salinidad.



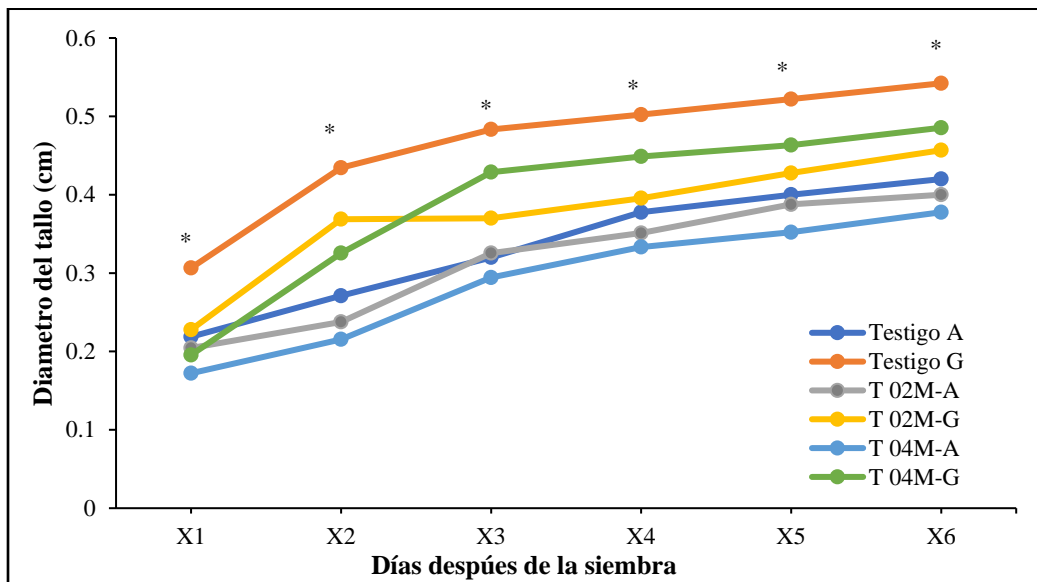
Nota. El gráfico representa la altura de las plantas en función de los días después de la siembra en plantas de girasol y avena sometidas a diferentes niveles de salinidad. Las medidas se realizaron cada 15 días después de la germinación. ns: no significancia, * diferencias estadísticas significativas. Notación: $ai=i*15$ días, T 0(2/4)M-A/G representa al tratamiento con concentración 0.2M (o 0.4M) para la Avena (A) (o el Girasol (G)). Fuente, propia.

De acuerdo con lo obtenido, las plantas de girasol tienen en promedio una altura que varía entre 2 y 4 metros según las características de clima y suelo donde se establezcan (Escalante, 1999). Tal razón, afirma la pertinencia que puede tener esta especie como bioindicadora del estado natural del suelo. Es por esto, que se ha logrado identificar que el girasol, presenta altos niveles de estrés fisiológico cuando se encuentra influenciada por factores

de tipo abiótico (Jimenez-Suancha *et al.*, 2015), entre los factores más influyentes se encuentra la salinidad edáfica, que causan en las plantas de girasol, una reducción significativa en la biomasa de sus órganos, principalmente en lo que se asocia a la arquitectura vegetal que soporta su crecimiento (dos Santos *et al.*, 2017), aspectos que concuerdan con lo obtenido en esta investigación. En este sentido, la avena tiene en promedio una altura que varía entre 30 y 60 cm, dependiendo de las condiciones de las condiciones de producción y del carácter genético de la variedad. Así, la avena se considera una planta halófila facultativa por lo que la presencia de sales en el suelo no determina en un alto grado su comportamiento biológico.

Figura 20

Diámetro del tallo en función de los días después de la siembra en girasol y avena.



Nota. El gráfico representa el diámetro del tallo en función de los días después de la siembra en girasol y avena. Las medidas se realizaron cada 15 días después de la germinación. ns: no significancia, * diferencias estadísticas significativas. Notación: $X_i = i * 15$ días, T 0(2/4) M-A/G representa al tratamiento con concentración 0.2M (o 0.4M) para la Avena (A) (o el Girasol (G)).

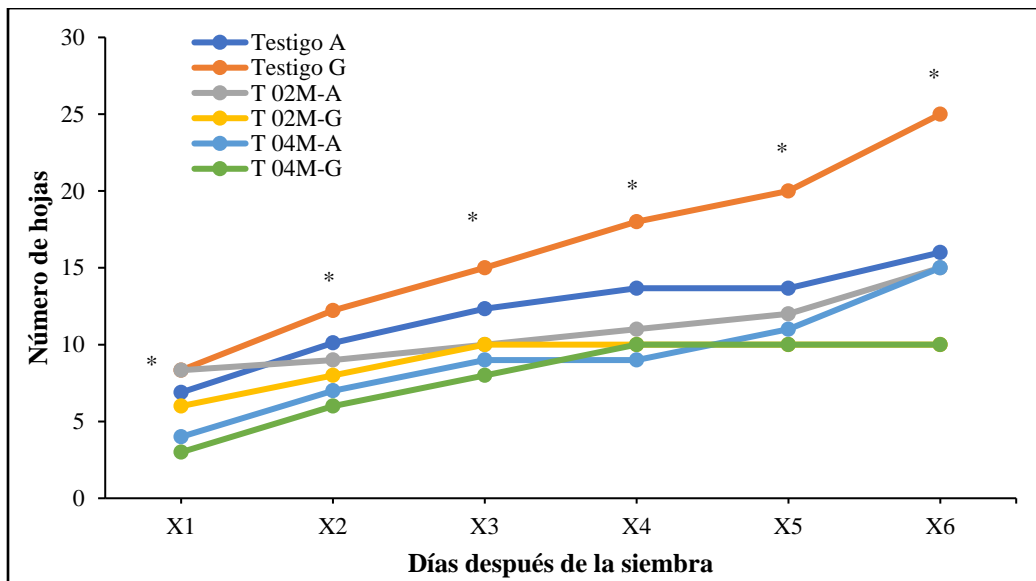
Fuente, propia.

Número de hojas

El número de hojas es uno de los factores de las plantas, más importantes dados a que reflejan la capacidad que tiene estas para tolerar las condiciones propias del entorno y por tanto manifiestan su bienestar. De acuerdo con la siguiente tabla es preciso encontrar que se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Al comparar la dinámica de producción de hojas, las plantas de girasol que no fueron sometidas a salinidad presentaron el mayor número de hojas en comparación a las dos dosis subsecuentes de NaCl, fenómeno que no fue similar en las plantas de avena, ya que su número de hojas no cambió mucho sin importar la salinidad a la que era sometida.

Figura 21

Número de hojas en función de los días después de la siembra en plantas de girasol y avena.



Nota. El gráfico representa el número de hojas en función de los días después de la siembra en plantas de girasol y avena. Las medidas se realizaron cada 15 días después de la germinación. ns: no significancia, * diferencias estadísticas significativas. Notación: $X_i = i * 15$ días, T 0(2/4) M-

A/G representa al tratamiento con concentración 0.2M (o 0.4M) para la Avena (A) (o el Girasol (G)). Fuente, propia.

Lo anterior, es la manifestación de un comportamiento natural de las plantas, pues la producción de hojas es el resultado de la actividad fotosintética de las plantas y por ende de las características propias del entorno. Tal situación establece que existen plantas que logran actuar como bioindicadores a través de respuestas en sus órganos, por lo que el girasol, al ser una planta altamente susceptible al entorno biótico y abiótico, refleja en su crecimiento y desarrollo el estado de los elementos donde se encuentra (Jiménez-Suanca et al., 2015).

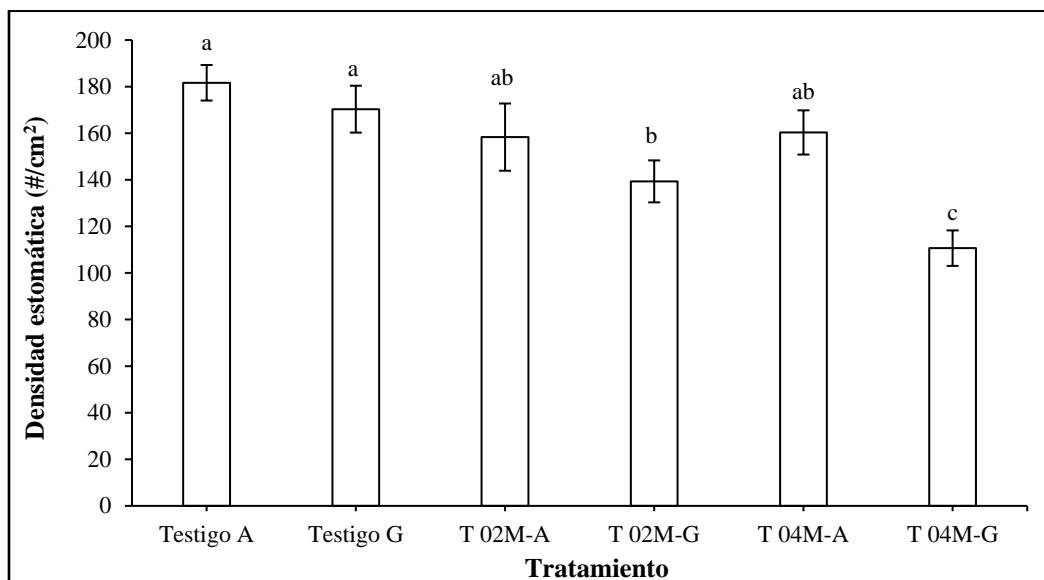
Por el contrario, las plantas de avena manifiestan un comportamiento tendiente al grupo de las especies halófitas facultativas, dado a que tienen la capacidad de acumular sales en el tejido radical, transportándolas a las hojas para eliminarlas por las estomas mediante la evapotranspiración, o en su defecto, acumulándolas como osmolitos en las vacuolas. Lo que genera que no manifieste comportamientos tan marcados en la producción de las hojas a raíz de presentar mecanismos fisiológicos y morfológicos que favorecen la producción de biomasa.

Densidad estomática

Dentro de las características naturales de las plantas, los estomas son canales entre el interior y el exterior de las hojas, por lo cual logran regular el paso de energía. En los estomas se realiza el intercambio de energía con el medio ambiente. En este sentido, la siguiente figura muestra que se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, siendo las plantas de girasol, las más susceptibles a la salinidad, pues la densidad de estomas se redujo de manera significativa en comparación a los demás tratamientos, mientras que en las plantas de avena no se presentaron diferencias estadísticas significativas (representado con la letra a).

Figura 22

Densidad estomática en plantas de girasol y avena sometidas a salinidad por NaCl.



Nota. El gráfico representa la densidad estomática en plantas de girasol y avena sometidas a salinidad por NaCl. Las medidas se realizaron cada 15 días después de la germinación. ns: no significancia, * diferencias estadísticas significativas. Letras diferentes indican diferencias significativas. Fuente, propia.

La salinidad es sin duda uno de los factores que más afecta el recurso suelo, afectando principalmente sus propiedades y por ende sus características naturales. Así, existen plantas bioindicadores que logran manifestar el efecto a través de la densidad estomática, aumentando o reduciendo su número por unidad de área.

Algunas investigaciones se han basado en el estudio de especies con alta capacidad halófila, para así poder identificar la tolerancia que tienen algunas especies cultivables bajo condiciones edáficas adversas. Sin embargo, son pocas las investigaciones que se han

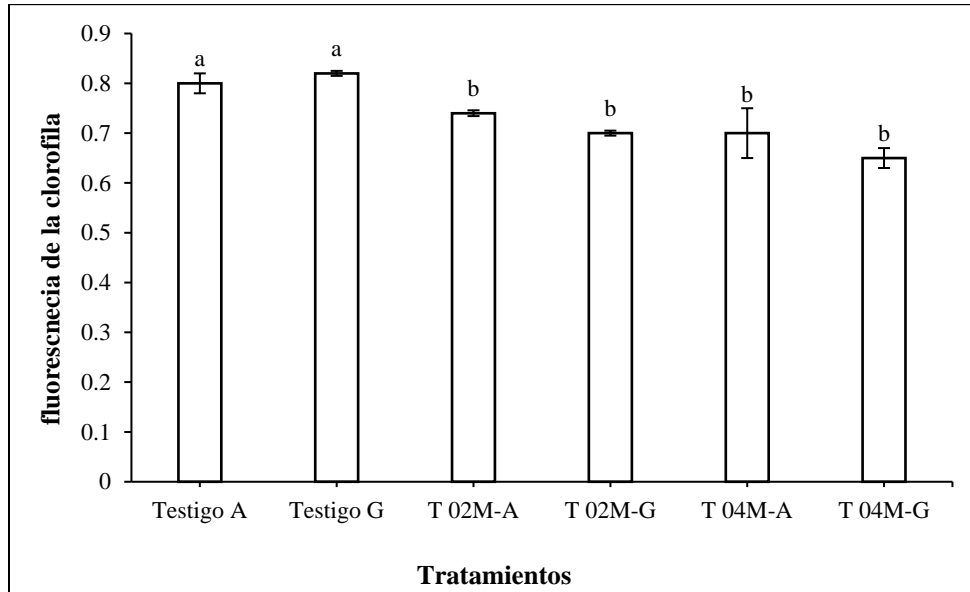
desarrollado para indagar factores cambiantes en especies bio-indicadores de suelos salinos y sin duda, de acuerdo con esta investigación, se contempla la densidad de las estomas.

Fluorescencia de la clorofila

Las plantas manifiestan el estrés a través de respuestas fisiológicas que se pueden capturar de manera instantánea. Por esta razón, la Figura 23 muestra diferencias estadísticas significativas en la eficiencia fotoquímica del fotosistema II ($FSII=Fv/Fm$) de las plantas de girasol y avena sometidas a los diferentes niveles de salinidad. En este sentido, los tratamientos de 0,2M y 0,4 M presentaron la mayor susceptibilidad en la actividad fotosintética de las plantas.

Figura 23

Respuesta de la actividad de la Fv/Fm en plantas de girasol y avena sometidas a diferentes dosis de salinidad.



Nota. El gráfico representa la respuesta de la actividad de la Fv/Fm en plantas de girasol y avena sometidas a diferentes dosis de salinidad. Las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas. Fuente, propia.

Se ha determinado que la fluorescencia de la clorofila, específicamente la eficiencia fotoquímica máxima del fotosistema II es una de las principales respuestas vegetales que indican el nivel de estrés que puede darse en una planta por el efecto de un factor de tipo biótico o abiótico (García-Parra et al., 2021). En este sentido, de acuerdo con lo propuesto por Jiménez-Suancha et al. (2015) los valores de la eficiencia fotoquímica del fotosistema II, F_v/F_m , menores a 0,7 indican que las plantas manifiestan un algún porcentaje estrés fotosintético, lo que logra manifestarse en la producción de órganos vegetales como hojas y tallos principalmente.

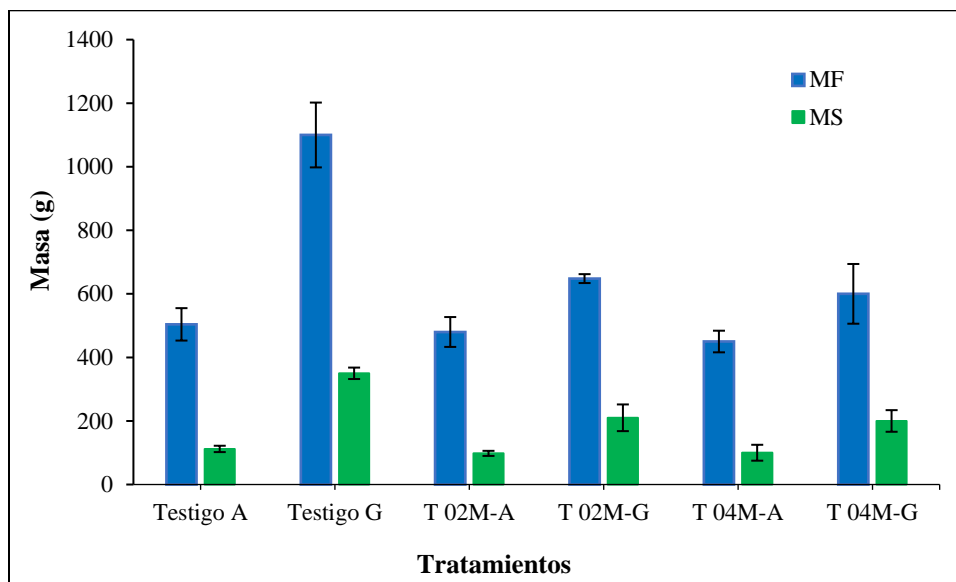
Adicionalmente, se logra evidenciar una mayor susceptibilidad en las plantas de girasol a la salinidad edáfica, lo que permite establecer a esta especie como potencialidad bio-indicadora de factores adversos como la salinidad edáfica. Así mismo, se logró identificar que las plantas de avena presentaron diferencias estadísticas significativas. Lo que indica que a pesar de que la avena es una planta halófila facultativa, manifiesta alteraciones en la actividad fotosintética a causa de la presencia de sales en el suelo, lo que se atribuye a la formación de especies reactivas de oxígeno y la oxidación de proteínas.

Materia seca y fresca

Una de las variables de mayor vulnerabilidad a factores externos de tipo biótico y abiótico es la acumulación de materia en las estructuras vegetales. Así la siguiente figura (Figura 24) muestra la capacidad de acumulación de materia seca y fresca que presentaron las plantas de girasol y de avena sometidas a salinidad edáfica. En este sentido, se logra establecer que las plantas de girasol presentan un descenso en la acumulación de materia fresca hasta en un 48%, lo que no fue similar en las plantas de avena, donde su reducción se dio en menos de un 20%. Para el caso de la materia seca, las plantas de girasol presentaron una reducción en su acumulación en al menos un 40%, mientras que en plantas de avena en menos de un 15%.

Figura 24

Acumulación de materia fresca y seca en plantas de girasol y avena sometidas a diferentes niveles de salinidad.



Nota. El gráfico representa la acumulación de materia fresca y seca en plantas de girasol y avena sometidas a diferentes niveles de salinidad. Las barras indican la desviación estándar. MF: masa fresca, MS: masa seca. Fuente, propia.

La respuesta dada en esta investigación es el comportamiento natural que se daría en las plantas que se encuentran sometidas a factores adversos como la salinidad. Autores como Panelli et al. (2017) establecen que la agricultura ha aumentado las zonas que son propensas a tener problemas de salinidad y por tanto la identificación de organismos con capacidad bioindicadora o biorremediadora se hace necesario. Sin embargo, es de reconocer que identificar factores que afectar la naturaleza propia del recurso suelo a través de plantas, permite tomar medidas desde la gestión ambiental para hacer frente a la problemática y que impacta de manera subsecuente al sector agropecuario, pero también al ambiente. En este sentido, uno de los mayores indicadores

de fitorremediación en suelo ha sido la producción de biomasa, debido principalmente a que es una variable que se puede evaluar *in situ* y *ex situ* dependiendo de la naturaleza propia de la especie, pero además de considerar a las especies vegetales biorremediadores como alternativas alimentarias para los pobladores de las regiones afectadas por salinidad edáfica.

De acuerdo con los tratamientos propuestos se logró identificar un desarrollo variante en las plantas, sin embargo, se presentó una afectación como consecuencia de la presencia de sales a nivel edáfico, lo que indica que las plantas de girasol y avena se podrían establecer como bio-indicadoras por influencia de la acumulación de solutos en el recurso edáfico.

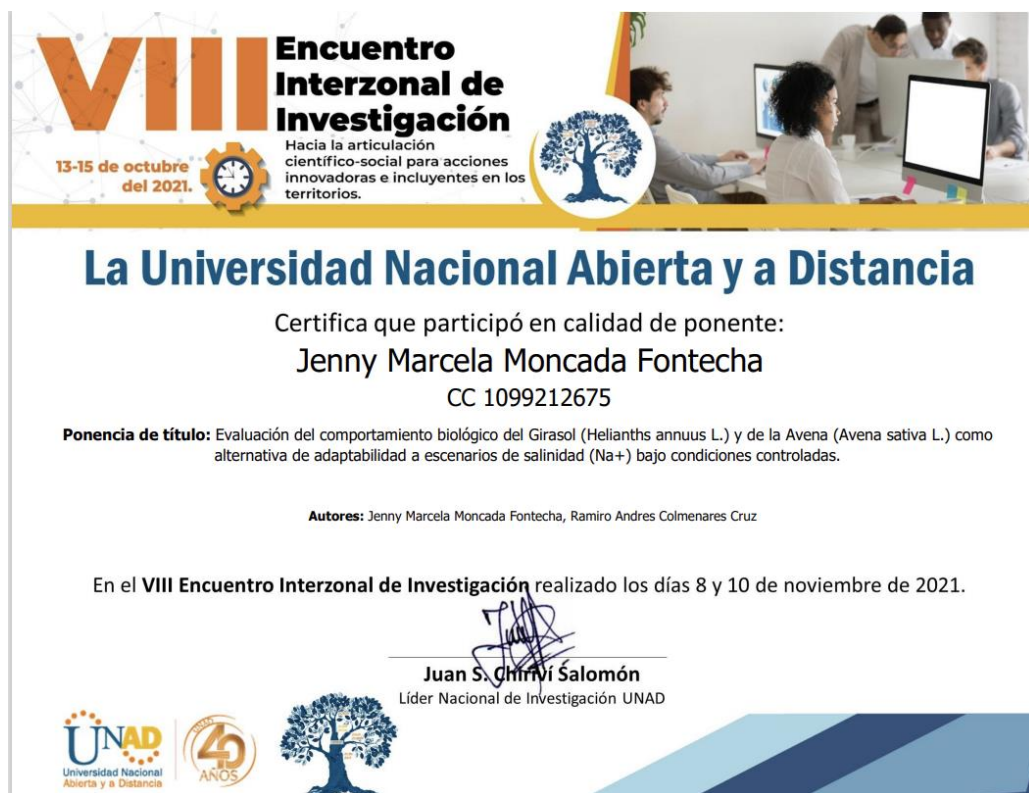
Se organizaron los tratamientos teniendo en cuenta que la conductancia eléctrica aumenta a medida que se agrega NaCl al suelo, dado a que se potencializa la presencia de sales que inducen la reducción del potencial osmótico en el suelo. En este sentido, mediante la medición de los tratamientos se evidenció un aumento en los valores de estas variables a causa de que la conductividad eléctrica mide la concentración de sales solubles presentes en el medio (García, M.A *et al.*, 2018)

Divulgación de los resultados obtenidos

Se realizó a través de la proyección del conocimiento científico en el VIII Encuentro Interzonal de Investigación hacia la articulación científico-social para acciones innovadoras e incluyentes en los territorios realizado por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD, desde la participación del semillero de investigación en Sostenibilidad Ambiental SoAm

Figura 25

Certificado de participación del VIII Encuentro Interzonal de Investigación. UNAD, 2021.



Nota. El gráfico representa el certificado de participación del VIII Encuentro Interzonal de Investigación. UNAD, 2021.

Conclusiones

Se encuentra que el crecimiento y desarrollo de las especies de Girasol y Avena sobre concentraciones de salinidad 0.2M manifiestan una afectación de la salinidad en variables como altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas y densidad estomática. En todos los casos hay una medida menor a la del grupo testigo. Para la avena, sorpresivamente, los tratamientos con mayor salinidad tuvieron una menor afectación, con respecto al testigo., lo que obedece a la capacidad halófila facultativa de la especie y por ende su resistencia a los niveles de salinidad en el suelo.

Se observa que las condiciones de salinidad evaluadas influyen en el estrés vegetal, causando en las plantas cambios en la dinámica de producción de hojas y densidad estomática principalmente.

Adicionalmente, se logró identificar que las plantas de girasol se consideran organismos con potencial biológico para llevar a cabo evaluaciones de capacidad biorremediadora, debido a la alta susceptibilidad a la salinidad, mientras que las plantas de avena logran una mayor tolerancia y que se manifiesta a través de la dinámica de crecimiento y desarrollo, y la acumulación de biomasa.

Finalmente, se identifica que la actividad fotosintética de las plantas especialmente la fluorescencia de la clorofila presenta una alta susceptibilidad a la presencia de sales en el suelo sin importar el carácter genético de resistencia, por lo que esta variable no presenta una correlación directa con la acumulación de biomasa a razón de que la producción de materia fresca y materia seca varía dependiendo de la dosis de concentración de NaCl.

Recomendaciones

Se recomienda que los profesionales del sector ambiental puedan profundizar y realizar investigaciones aplicadas que den solución a problemáticas del uso y manejo del recurso suelo en los contextos locales.

Se debe tener en cuenta para futuras investigaciones evaluar una mayor cantidad de dosis de salinidad en los tratamientos.

Hacer evaluación de componentes de rendimientos en campo.

También se hace necesario, evaluar la respuesta de las plantas a suelos salinos naturales. Con el fin de evaluar el efecto de la salinidad por calcio, potasio nitratos y nitritos.

Es importante evaluar otras variables biológicas que permitan identificar el efecto de la salinidad en las plantas como la cantidad de clorofila alta y beta, el movimiento de las sales a nivel celular e intercelular y la actividad de la eficiencia cuántica y no cuántica de la clorofila

Referencias Bibliográficas

- Abumere, V. I., Dada, O. A., Adebayo, A. G., Kutu, F. R., & Togun, A. O. (2019). *Different Rates of Chicken Manure and NPK 15-15-15 Enhanced Performance of Sunflower (Helianthus annuus L.) on Ferruginous Soil*. International Journal of Agronomy, e3580562.
- Acosta, B. (2016). *Impactos ambientales de la minería de carbón y su relación con los problemas de salud de la población del municipio de Samacá (Boyacá)*, según reportes asis 2005-2011.
- Albert A. Schneiter, ed. Sunflower Technology and Production, (The American Society of Agronomy No. 35, 1997) 1-19.
- Aragüés R., Urdanoz V. (2006) *Nuevas técnicas para la medida rápida y sencilla de la salinidad del suelo*. Surcos de Aragón, ISSN 1699-4744, N° 98, págs. 30-34. https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/979/1/10532-104_22.pdf
- Ashraf, Muhammad & Ozturk, Munir & Athar, Habib. (2009). Salinity and Water Stress: Improving Crop Efficiency. 10.1007/978-1-4020-9065-3.
- Bascuñán-godoy, L., Sanhueza, C., Hernández, C. E., Cifuentes, L., Pinto, K., Álvarez, R., & González-teuber, M. (2018). Nitrogen Supply Affects Photosynthesis and Photoprotective Attributes During Drought-Induced.
- Bastidas Ramos, G. (1986) *Origen, historia e investigación del girasol en Colombia*. Instituto Colombiano Agropecuario. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/23867>
- Bhatti, M.B.A., A. Hussain, and D. Muhammad. (1992). *Potential for forage production of different varieties of oats under two cutting systems*. Pak. J. Agric. Res. 13(2):184-190.
- Casierra-Posada, F., Peña-Olmos, J., & Ulrichs, C. (2011). *Crecimiento y eficiencia fotoquímica*

del fotosistema II en plantas de fresa (Fragaria sp.) afectadas por la calidad de la luz: implicaciones agronómicas. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 14(2), 43–53.

Ceschin, S., Kumbaric, A., Caneva, G., & Zuccarello, V. (2012). *Testing flora as bioindicator of buried structures in the archaeological area of Maxentius's villa (Rome, Italy).* *Journal of Archaeological Science*, 39(5), 1288–1295. doi:10.1016/j.jas.2011.10.036

Dangol, D.R. and N.K. Chaudhary (1994). Wheat-weed interactions at Rampur, Chitwan. In. F.P. Neupane (ed), IAAS Research Reports (1992-1993), Institute of Agriculture and Animal Science, Rampur, Chitwan, Nepal.

Do Santos, J., Marengo, C., Vieira, C., Raj, H., Soanes, G. y de-Lira, V. (2017). Crecimiento de girasol (*Helianthus annuus*) en función de la salinidad del agua de riego en fertilización nitrogenada.

Danty Larraín et. al., (2018). Prospectivas del mercado mundial de la avena para consumo humano.

E.N. Bui. (2013). *Soil salinity: A neglected factor in plant ecology and biogeography*, *Journal of Arid Environments*, Volume 92, Pages 14-25, ISSN 0140-1963.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.12.014>

Escalante, J. (1999). Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*. 17(2): 149-157.

Fghire, R., Anaya, F., Ali, O. I., Benlhabib, O., Ragab, R., & Wahbi, S. (2015). *Physiological and photosynthetic response of quinoa to drought stress.* *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(2), 174–183. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000200006>

García-Parra, M., Stechauner-Rohringer, R., Roa-Acosta, D., Ortíz-González, D., Ramirez-

- Correa, J., Plazas-Leguizamón, N. & Colmenares-Cruz, A. (2020). *Chlorophyll fluorescence and its relationship with physiological stress in Chenopodium quinoa Willd. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 48(4), 1742-1755.
- García, M. A., García Molano, J. F., & Quito Martínez, C. A. (2018). *Efecto de la salinidad por NaCl en el crecimiento y desarrollo de plantas de Chenopodium quinoa Willd. Ciencia en Desarrollo*, 10(1), 19–29. <https://doi.org/10.19053/01217488.v10.n1.2019.8341>
- Hayat, K., Bundschuh, J., Jan, F., Menhas, S., Hayat, S., Haq, F., Shah, M., Chaudhary, H., Ullah, A., Zhang, D., Zhou, Y. & Zhou, P. (2019) *Combating soil salinity with combining saline agriculture and phytomanagement with salt accumulating plants. Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 50 (11) 1085-1115.
- Huang, Rui-dong. (2018). *Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. Journal of Integrative Agriculture*. 17. 739-746. 10.1016/S2095-3119(17)61728-3.
- IDEAM. (2015). *Sistema de Información Ambiental de Colombia*. Salinización.
- IDEAM. (2017). *Mapa nacional de degradación de suelos por salinidad*. Bogotá D.C.
- Inja Naga, Bheema Lingeswar Reddy & Kim, Beom-Ki & Yoon, In-Sun & Kim, Kyung-Hwan & Kwon, Taek-Ryoun. (2017). *Salt Tolerance in Rice: Focus on Mechanisms and Approaches. Rice Science*. 24. 123-144. 10.1016/j.rsci.2016.09.004.
- Jimenez-Suancha, S., Alvarado, O y Balaguera-Lopez, H. (2015). *Fluorescencia como indicador de estrés en Heliantus annuus L. Una revisión. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*.
- Khatoun, A., Hussain, M. K., & Sadiq, M. (2000). Effect of salinity on some growth parameters of cultivated sunflower under saline conditions. *International Journal of Agriculture &*

Biology, 2, 210-213.

Krystofova, Olga et al. “Sunflower Plants as Bioindicators of Environmental Pollution with Lead (II) Ions.” *Sensors (Basel, Switzerland)* 9 (2009): 5040 - 5058.

Luters, J.C., & Salazar, J.P. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Buenos Aires: United States Department of Agriculture, CRN-CNIA-INTA. 88 p.

Manzano, J., Rivera, P., Briones, F. & Zamora, C. (2014). *Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México*. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 211-219.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000300211

Ministerio de Agricultura. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. (2018). Informe final: *Prospectivas del mercado mundial de la avena para consumo humano*. Gobierno de Chile.

Moreno, Sergio & Perales-Vela, Hugo & Alvarez, Martha. (2008). *La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas*. *Revista de Educación Bioquímica*. 27. 119-129.

Naciones Unidas (2018), *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe* (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago.

Navarro, S. & Navarro, G. (2003). *Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos necesarios para la vida vegetal*. (Segunda ed.). España: Ediciones Mundi-Prensa.

Narvaez M., Humberto; Combatt C., Enrique and Bustamante Barrera, Iván. (2014). *Distribución espacial de la salinidad en suelos del área de influencia de la desembocadura del río sinú (córdoba, colombia)*. *rev.udcaactual.divulg.cient*. vol.17, n.2, pp.433-443. ISSN 0123-4226.

- Novais J., Mendes K.F., Inoue M.H., Maciel C.D.G, Helvig E.O., Stanieski C.M.. (2022) Use of Sunflower and Soybean as Bioindicators to Detect Atrazine Residues in Soils. *Planta Daninha*. v. 37. ISSN 0100-8358. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100153>
- Nunes-Alves, A., Guedes-de-Souza, F., Garófalo-Chaves, L. H., Alves-de-Sousa, J., & Feitosa-de-Vasconcelos, A. C. (2019). *Effect of nutrient omission in the development of sunflower BRS-122 in greenhouse conditions*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(1), 8663-8671. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n1.69388>
- Otero, J.; Gómez, C.; Sánchez, R. (2002). Zonificación de los procesos de salinización de los suelos de Colombia. Subdirección de Geomorfología y Suelos. IDEAM. 44p.
- Ullah, S., & Akmal, M. (2018). Response of sunflower to integrated management of nitrogen, phosphorus and sulphur. *Sarhad Journal of Agriculture*, 34(4), 740-748. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2018/34.4.740.748>
- Panelli, S., Capelli, E., Comandatore, F., Landinez-Torres, A., Granata, M., Tosi, S., Picco, A. (2017). *A metagenomic-based, cross-seasonal picture of fungal consortia associated with Italian soils subjected to different agricultural managements*. *Fungal Ecology*. 30, 1-9.
- Perrot, T., Gaba, S., Roncoroni, M., Gautier, J.-L., Saintilan, A., & Bretagnolle, V. (2019). *Experimental quantification of insect pollination on sunflower yield, reconciling plant and field scale estimates*. *Basic and Applied Ecology*, 34, 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.09.005>
- Pokhrel, Lok & Dubey, Brajesh. (2013). Pokhrel LR, Dubey B. *Global scenarios of metal mining, environmental repercussions, public policies, and sustainability: A review*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 2013, 43, 1-37. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 43.

10.1080/10643389.2012.672086.

Ramírez-Suárez, W. & Hernández-Olivera, L. (2016). Tolerancia a la salinidad en especies cespitosas. Estación experimental de pastos y forrajes “Indio Hatuey”. 39(4)235-245 <https://www.redalyc.org/journal/2691/269149518001/html/>

Reddy, I.N.B.L., Lee, S.Y., Park, Y.J. (2017) *Exploring diversity among rice germplasms based on their physiological traits responses to salinity*. J. Crop Sci. Biotechnol. 20, 137–152. <https://doi.org/10.1007/s12892-017-0030-0>

Rengasamy P.(2010). *Soil processes affecting crop production in salt-affected soils*, Australian Journal of Soil Research. vol. 37 (pg. 613-620).

Sahab,S., Suhani,I., Srivastava,V., Chauchan,PS., Singh,RP., Prasad,V. (2021). *Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: Current status and management strategies*. Science of the Total Environment. 764: 1-69. Senescence in Quinoa. Frontiers in Plant Science, 9(994). <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00994>

Shabala, S., Hariadi, Y., & Jacobsen, S. E. (2013). *Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na⁺ loading and stomatal density*. Journal of Plant Physiology, 170(10), 906–914. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.01.014>

Tahmish Fatima, Naveen Kumar Arora (2021). *Pseudomonas entomophila PE3 and its exopolysaccharides as biostimulants for enhancing growth, yield and tolerance responses of sunflower under saline conditions*. Microbiological Research, Volume 244, 126671, ISSN 0944-5013, <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126671>.

- Tanji, K. K. (2002). *Salinity in the soil environment. Salinity: Environment-plants-molecules.* (pp. 21–51). Dordrecht: Springer.
- Temme, A. A., Kerr, K. L., & Donovan, L. A. (2019). Vigour/tolerance trade-off in cultivated sunflower (*Helianthus annuus*) response to salinity stress is linked to leaf elemental composition. *Journal of Agronomy and Crop Science.* doi:10.1111/jac.12352
- Ullah, S., & Akmal, M. (2018). *Response of sunflower to integrated management of nitrogen, phosphorus and sulphur.* *Sarhad Journal of Agriculture*, 34(4), 740-748.
<https://doi.org/10.17582/journal.sja/2018/34.4.740.748>
- Vallejo, V (2013) *Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles.* *Colombia Forestal*, 16(1):83-99.
- Zhang, W., Zhao, Y., Wang, S. (2021) *Combined Application of Flue Gas Desulfurization Gypsum and Straw Pellets to Ameliorate Sodidity, Nutrient Content, and Aggregate Stability of Sodic Soil.* *J Soil Sci Plant Nutr.* <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00481-5>

Glosario

Bioindicador: Plantas que proporcionan información química, física y biológica del estado del suelo.

Conductividad eléctrica: Cuantificación de la capacidad que posee un cuerpo para permitir el paso de corriente eléctrica.

Control fitosanitario: Son todos los métodos y técnicas para la prevención, control y eliminación o curación de las enfermedades de las plantas, procurando la estabilidad y bienestar del cultivo o agroecosistema.

Digestión ácida: La digestión ácida es un procedimiento en el cual se busca reducir la interferencia de la materia orgánica y convertir el metal asociado a las partículas en una forma que pueda determinarse por espectrometría de absorción atómica.

Edáfico: Pertenece al suelo.

Fotosíntesis: Proceso mediante el cual las plantas convierten la energía lumínica es convertida en energía química.

Halófito: Especies que pueden sobrevivir en escenarios salinos.

Materia seca: Aquel material excedente después de deshidratar la muestra de manera controlada en un laboratorio.

Plasticidad: Respuesta flexible ante los cambios que ocurren en el entorno.

Salinidad: Medida de la cantidad de sales contenidas en una muestra.

Sostenibilidad: Capacidad de suplir las necesidades actuales sin aumentar las de las generaciones futuras.

Siglas

CE: Conductividad eléctrica.

CEa: Conductividad eléctrica aparente del suelo.

CEe: Conductividad eléctrica del extracto.

dS/m: deciSiemens por metro.

FAO: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura.

FM: Fluorescencia máxima.

FO: Fluorescencia mínima.

ODS: Objetivos de desarrollo sostenible.

PSI: Fotosistema I.

PSII: Fotosistema II.

SE: Sensor electromagnético.