



Universidad de Jaén
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Halófitas como alternativa en la fitorremediación, producción agrícola y otros usos

Alumno: José Gutiérrez Segura

Julio, 2018



Universidad de Jaén
Facultad de Ciencias Experimentales



Trabajo Fin de Grado

Halófitas como alternativa en la fitorremediación, producción agrícola y otros usos

Alumno: José Gutiérrez Segura

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Jose'.

Firma:

Julio, 2018

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Halófitas en la fitorremediación.....	6
1.2. Halófitas como posible alternativa a cultivos glicófitos.....	8
1.3. Halófitas para consumo humano.....	9
1.4. Halófitas para alimentación de ganado	11
1.5. Halófitas como semillas oleaginosas.....	13
1.6. Halófitas como cultivos energéticos.....	14
1.7. Halófitas como plantas medicinales y otros usos comerciales...	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. Objetivos específicos.....	18
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
4. RESULTADOS.....	19
4.1. Familia Juncaceae.....	19
4.1.1. <i>Juncus acutus</i>	20
4.1.2. <i>Juncus maritimus</i>	20
4.2. Familia Amaranthaceae.....	21
4.2.1. <i>Atriplex halimus</i>	22
4.2.2. <i>Atriplex rosea</i>	23
4.2.3. <i>Salicornia ramosissima</i>	24
4.2.4. <i>Salicornia patula</i>	26
4.2.5. <i>Salsola soda</i>	26

4.2.6. <i>Salsola vermiculata</i>	28
4.3. Familia Tamaricaceae.....	28
4.3.1. <i>Tamarix boveana</i>	28
4.3.2. <i>Tamarix canariensis</i>	29
5. DISCUSIÓN.....	30
5.1. Halófitas andaluzas de la Familia Juncaceae y utilidad.....	30
5.2. Halófitas andaluzas de la Familia Amaranthaceae y utilidad.....	31
5.3. Halófitas de la Familia Tamaricaceae y utilidad.....	33
6. CONCLUSIONES.....	34
7. BIBLIOGRAFÍA.....	35

RESUMEN

La agricultura actual tiene serios problemas para mantener la gran demanda de alimentos, que se necesitan para una población (a nivel mundial) en continuo crecimiento. Por otro lado, la disminución de tierras cultivables, debido a la sequía, salinización de suelos, urbanización y cambio climático, son otros de los problemas con los que se enfrenta la agricultura hoy en día. Por tanto, encontrar cultivos agrícolas y forrajeros alternativos, que puedan crecer en suelos cada vez más afectados por la salinización, y restaurar aquellas áreas afectadas, son una prioridad en la producción agrícola. Esta revisión resume, la diversidad de utilidades, que se pueden obtener de las plantas halófitas (adaptadas a crecer en medios ambientes salinos y secos), para ser consideradas como cultivos alternativos y complementarios a los cultivos agrícolas actuales, que en su mayoría son glicófitos (sensibles a la sal). Nos hemos centrado en especies de halófitas crecidas en Andalucía, pertenecientes a la Familia Juncaceae, Amaranthaceae, y Tamaricaceae, y su utilidad en diferentes campos como la fitorremediación, recuperación de suelos salinos para producción agrícola y forraje, y obtención de metabolitos secundarios con fines medicinales y otros usos comerciales. Por tanto, proponemos que las halófitas pueden ser una vía comercial complementaria, gracias a su adaptación a ambientes secos y salinos como los que se localizan en zonas mediterráneas.

Palabras claves: Halófitas andaluzas, Juncaceae, Amaranthaceae, Tamaricaceae, usos

ABSTRACT

Current agriculture has serious problems to maintain the high demand for food, which is needed for a population (worldwide) in continuous growth. On the other hand, the decrease of arable land, due to drought, soil salinization, urbanization and climate change, are other problems that agriculture has today. Therefore, finding alternative agricultural and forage crops, which can grow on soils increasingly affected by salinization, and restore those affected areas, are a priority in agricultural production. This summary review, the diversity of utilities that can be obtained from halophytic plants (adapted to grow in saline and dry environments), to be considered as alternative crops and complementary to current agricultural crops, which are mostly glycophytes (sensitive to salt). We have focused this study on halophyte species grown in Andalusia, belonging to the Family Juncaceae, Amaranthaceae, and Tamaricaceae, and their usefulness in different fields such as phytoremediation, recovery of saline soils for agricultural production and forage, and obtaining secondary metabolites for medicinal purposes and other commercial uses. Therefore, we propose that halophytes can be a complementary commercial pathway, thanks to their adaptation to dry and saline environments such as those found in Mediterranean areas.

Key words: Andalusian halophytes, Juncaceae, Amaranthaceae, Tamaricaceae, uses

1. INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos en el mundo, teniendo en cuenta que la población mundial será de 9.1 billones de habitantes para el año 2050, es cada vez más problemática, por tanto incrementar la producción agrícola en toda el planeta es uno de los principales objetivos de la investigación actual, no obstante la extensión de tierras de cultivo arables son cada vez menores, como resultado de la degradación de los suelos, riego con agua de mala calidad, urbanización desmesurada y cambio climático, por tanto, se hace necesario buscar estrategias y alternativas que permitan suplir la pérdida de esta producción agrícola (Golldack et al., 2014).

La salinidad de los suelos junto a la sequía es, hoy en día, uno de los principales retos con los que se enfrentan los agricultores. Aproximadamente un 7% de suelos están afectados por sal en todo el mundo, mientras que los suelos sódicos ocupan una mayor extensión de tierras (Flowers et al., 1997). En España, se calcula que existen unas 840.000 hectáreas (ha) afectadas por procesos de salinización (Szabolcs, 1989). Para un mayor conocimiento de las zonas de regadío afectadas por salinidad en España, el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, durante el año 2002, delimitó y clasificó las zonas de regadío en grados de afectación (www.agrosal.ivia.es/)

- **Valle del Ebro:** Con unas 320.000 has afectadas, localizadas principalmente en las Bârdenas reales, Monegros, Ablitas, Cascade-Tudela, Vega de Queiles, Llanos de Urgell y Delta del Ebro.
- **El curso medio y bajo del rio Gualdalquivir, el valle del Guadalentin, en Andalucía.** El Saltador-Pulpi, valle de Almanzora, Campo de Níjar, Campo de Dalias (Almería), Barbate-La Janda, Guadalhorce, y el curso bajo de Odiel y Rio Tinto.
- **Varios puntos de la zona costera mediterránea** como la vega baja del rio Segura (Alicante y Murcia), el Valle del Guadalentín y Mazarrón y las áreas regadas por el embalse de Quipar (Murcia). Otras zonas afectadas por la intrusión salina como el campo de Cartagena en Murcia, la Plana Baja y Alta de Castellón, el Alt Empordá en Gerona, el Maresme en Barcelona, los deltas de los ríos Besós, Llobregat, y Marenases en Cataluña.

- **Las regiones insulares:** El área meridional de Mallorca (Islas Baleares). En Canarias el grado de afectación por salinidad, en islas como Fuerteventura, tienen hasta un 54% de su territorio afectado, Lanzarote un 30%, Gran Canaria un 12%, la Gomera un 10%, y Tenerife un 9%.

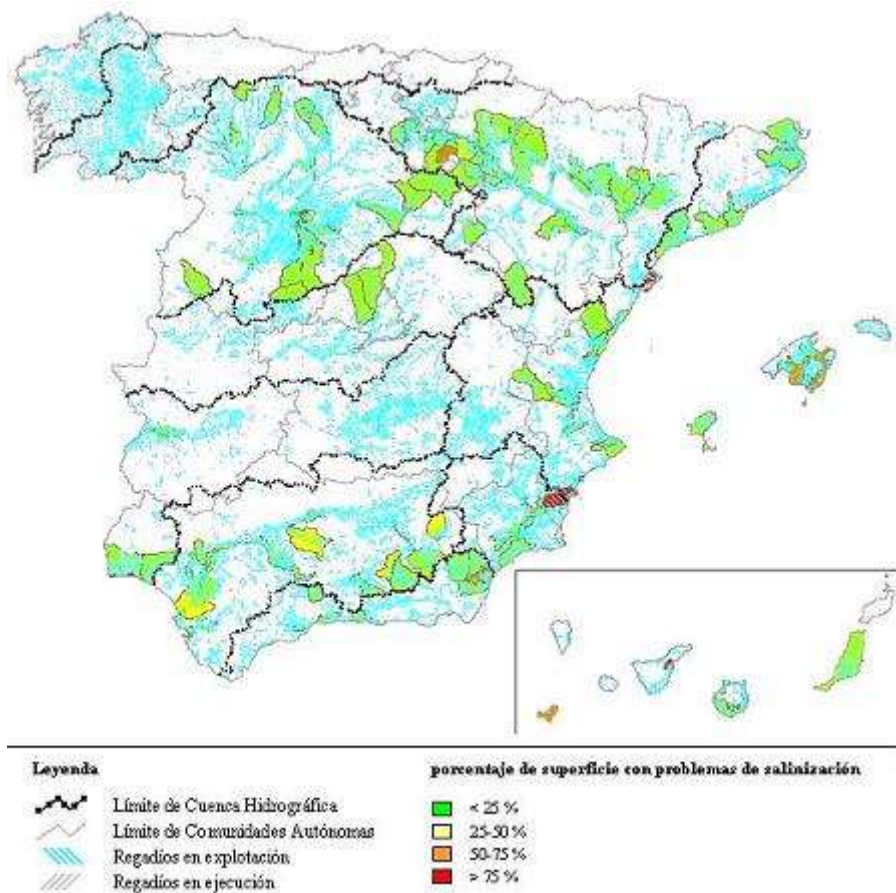


Fig. 1. Distribución de la superficie de regadío con problemas de salinización en España. (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2002)

La mayoría de especies de cultivo y especies forrajeras que se usan en la agricultura son glicófitas (sensibles a la sal), por tanto, una elevada concentración de sales en el suelo, disminuye la germinación, y reduce el crecimiento y la productividad, de manera que algunas semillas se convierten en no viables para consumo humano. La tolerancia a la salinidad es un carácter poligénico, por tanto desde el punto de vista fisiológico como genético, seleccionar cultivos tolerantes es una tarea difícil (Flowers, 2004). En los últimos años, se han publicado una gran variedad de “artículos científicos”, con estudios realizados en mutantes y plantas transgénicas, para conseguir plantas con mejor tolerancia a la salinidad, sin

embargo, pocos de estos productos han sido evaluados en el campo (Liu et al., 2014; Jiang et al. 2018). Otra opción para combatir la salinidad de los suelos, sería encontrar cultivos alternativos para que los agricultores puedan utilizarlos, además de conseguir restaurar las áreas afectadas por la salinidad. En este contexto la utilización de especies halófitas (tolerantes a la sal), pueden ser una vía comercial alternativa para aliviar la presión sobre la producción agrícola, y sobre los terrenos y agua de buena calidad, siendo las tierras degradadas por salinidad, útiles para cultivos resistentes a la sal.

Las halófitas representan aproximadamente entre el 1-2 % de la flora mundial, y crecen y sobreviven en diferentes ambientes salinos. Estas plantas están ampliamente distribuidas en regiones áridas, semi-áridas y humedales, a lo largo de las zonas tropicales y templadas del planeta (Gul et al. 2013). Aunque las halófilas se han estudiado desde hace muchos años, presenta definiciones variadas, la más sencilla: *“plantas amantes de la sal”*, en el caso de halófitas extremas *“plantas cuyo crecimiento se beneficia, al tener algunas cantidades sustanciales de sal en el medio”* (Shabala y Mackay, 2011), incluso plantas que *“tienen una capacidad para completar su ciclo de vida, a una concentración salina de NaCl de al menos 200 mM”*, otra clasificación de las halófilas, se basa en las características de los hábitats naturales salinos donde crecen, la composición química o la capacidad de secretar iones a través de vesículas o glándulas salinas (Flowers y Colmer, 2008).

La tolerancia a la salinidad depende de características fisiológicas y ecológicas, que permiten crecer y completar su ciclo de vida en condiciones salinas. La coordinación que se produce entre procesos fisiológicos, cambios metabólicos y expresión de genes, son los responsables de la tolerancia a la salinidad en estas plantas. Las estrategias de supervivencia incluyen varios mecanismos tales como: *“exclusión o acumulación de iones, control de la toma de K^+ por las raíces y su transporte hacia las hojas, jugando un papel fundamental en la apertura y cierre de estomas, compartimentalización iónica a nivel celular y de la planta en general, biosíntesis de solutos compatibles y osmoprotectores, cambios en la fotosíntesis, activación de sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, e inducción y modulación de las hormonas vegetales”* (Kumari et al. 2015). Además, características morfológicas y anatómicas como glándulas salinas, pelos vesiculares, y el desarrollo de succulencia, sirven para expulsar o diluir el exceso de sal, y son

mecanismos evolutivos que presentan algunas halófitas (Pérez Cuadra y Cambi, 2014).

Se ha encontrado una gran utilidad de estas plantas, en diferentes campos, que pasamos seguidamente a enumerar.

1.1. Halófitas en la fitorremediación

Las plantas halófilas son capaces de acumular altas concentraciones de sales en sus tejidos, sin llegar a presentar síntomas de toxicidad, por tanto, algunas especies, pueden ser utilizadas para rehabilitar suelos afectados por sales, mediante la extracción de la mismas por estas plantas. Aunque cualquier reducción de la salinidad, dependerá no sólo de la eliminación de la sal, sino también de si hay o no una continuidad de entrada de sales en los suelos (Barrett-Lennard, 2002).

El potencial de algunas especies halófitas para este propósito de desalinización se resumen en la Tabla 1.

Especie vegetal	CE* (dS/m)		Sistema Experimental	Duración experimento	Na ⁺ quitado por t/ha	NaCl quitado por t/h/año	Referencias
	de	a					
<i>Anthroceum indicum</i>	75	23	Campo	1 año	1.65	4.19	Rabhi et al. (2009)
<i>Suaeda salsa</i>	16	13	Campo	120 días	1.92	4.87	Zhao (1991)
<i>Tecticornia indica</i>	57	12	Campo	180 días	0.75	3.53	Zorrig et al. (2012)
<i>Arthrocnemum indicum</i>	19	10	Maceta	170 días	0.71	1.80	Rabhi et al. (2009)
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	19	9	Maceta	170 días	2.5	6.35	Rabhi et al. (2009)
<i>Suaeda fruticosa</i>	19	12	Maceta	170 días	0.8	2.00	Rabhi et al. (2009)

**CE (conductividad eléctrica): mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. Cuanto mayor es la conductividad, mayor es la concentración de sales en el agua. Se mide en deciSiemens por metro (dS/m). (Tabla 1)*

Se puede observar en la Tabla 1 una gran disminución de la conductividad eléctrica (CE) del suelo, tanto en estudios de campo como en invernadero, que equivalen a la eliminación de entre 2 a 6 t de NaCl/ha/año (dependiendo del nivel de salinidad inicial en el suelo). No obstante, el uso de las halófitas como herramienta de desalinización puede verse afectada por algunos factores ambientales como la mayor o menor cantidad de lluvias o periodos de sequía. Así por ejemplo, el rendimiento anual, en Australia, de la halófito **Atriplex** (en zonas de bajas precipitaciones), fue sólo 0,4-0,7 t MS/ha (toneladas de Materia Seca/hectárea), en comparación con las 15-18 t/ MS/ha en condiciones de riego (Shabala, 2013). Por lo tanto, su uso para la fitorremediación en determinadas condiciones climáticas, puede variar, aunque parte de la sal que se acumula en la planta puede ser reciclada de nuevo al suelo en forma de hojarasca. Las prácticas agrícolas como el arado aumentan la lixiviación de la sal de los suelos superficiales hacia el subsuelo, y la densidad de la planta también puede tener un impacto en el equilibrio entre la capilaridad y la lixiviación, debido a las sombras proyectadas por las plantas en la superficie del suelo, que influyen en la temperatura de la misma, disminuyendo la evaporación de la superficie (Norman et al. 2008).

Por otro lado, hay que tener en cuenta que la contaminación del suelo, no solo es debido a las sales, sino también a los metales pesados, la acumulación de éstos debido a la rápida industrialización, ha dado lugar a una gran cantidad de metales pesados, en suelo y marismas, como arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb) y mercurio (Hg), que si llegan a las raíces producen toxicidad en especies sensibles (Govindasamy et al., 2011). Estos productos se obtienen de la industria y productos químicos fundamentalmente: arsénico (As), es un importante subproducto de pesticidas, Cd de pinturas y pigmentos, cromo (Cr) de las industrias de acero, Pb de la fabricación de baterías, herbicidas y producción de petróleo, y mercurio (Hg) de desechos médicos (Wuana y Okieimen, 2011). Estos elementos acumulados pueden ser un riesgo para los seres humanos y otros organismos vivos. Por tanto es necesario una limpieza de estos suelos contaminados, cuyos métodos convencionales, han sido siempre el lavado o la incineración de suelos (Sheoran et

al., 2011). Una estrategia alternativa sería utilizar plantas capaces de extraer estos metales, que luego son eliminadas para conseguir depurar estos suelos y que puede reducir el coste. Algunas plantas halófitas, pueden mostrar una habilidad para crecer en esas áreas contaminadas y se pueden usar para fitorremediación en técnicas de fitoextracción, fitoacumulación, fitoestabilización o fitodegradación (Manousaki y Kalogerakis, 2011). La fitoextracción se refiere al proceso de eliminación de un contaminante del suelo, por parte de la planta que lo acumula, durante este proceso las raíces absorben los contaminantes del suelo y los almacenan en sus partes aéreas; el siguiente paso sería recolectar la planta y eliminarla (Cambrollé et al., 2008). Ejemplos de estos tipos son las halófitas *Sporobolus virginicus* (Eid y Eisa, 2010), *Atriplex halimus*, *Tamarix smyrnensis* y *Sesuvium portulacastrum* (Lutts et al., 2004; Manousaki y Kalogerakis, 2011; Lokhande et al., 2011). La fitoestabilización consiste en aumentar la fijación de los metales sobre los componentes matriciales del suelo, gracias y las raíces y exudados de las plantas, así se reduce la solubilidad y biodisponibilidad del metal evitando la contaminación, sobre todo de acuíferos por lixiviación. Y la fitodegradación que consistiría en la transformación de contaminantes orgánicos a través de combinación de exudados radiculares en colaboración con la actividad microbiana (Montenegro et al., 2016).

1.2. Halófitas como posible alternativa a cultivos glicófitos

La gran mayoría de las especies que habitan la superficie terrestre son sensibles a la sal (glicófitos), incluidos casi todos las especies herbáceas y hortícolas, siendo el estrés salino (con su efecto iónico y tóxico), es decir disminución del potencial hídrico del suelo y acumulación de sales en los tejidos de las plantas, los más graves problemas con los que se encuentra la planta para mantener su turgencia y un metabolismo equilibrado, ello redundaría en una disminución de la germinación, crecimiento y productividad agrícola (Gupta y Huang 2014). Las halófitas, sin embargo, poseen la capacidad de completar su ciclo de vida, en un ambiente con elevada concentración salina, por tanto, algunas de ellas pueden ser útiles como posible alternativa de nuevos cultivos agrícolas (Glenn et al., 1999).

Las especies halófitas poseen una serie de características morfológicas, anatómicas, bioquímicas y fisiológicas altamente especializadas para combatir e incluso beneficiarse del ambiente salino (Flowers y Colmer, 2008). La principal

característica de todas las halófitas es su capacidad para usar iones inorgánicos como Na^+ y Cl^- , abundantes en el medio externo y capaces de ser tomados por la célula, realizando ajuste osmótico en sus tejidos, cuando se encuentran bajo condiciones salinas. Estas plantas toleran estos iones debido a su capacidad para secuestrar Na^+ citotóxico en la raíz y almacenarlo en las vacuolas de las células del mesófilo, un rasgo conferido gracias a la expresión constitutiva de las bombas H^+/Na^+ en el tonoplasto y la vacuola, complementados con canales iónicos (Bonales-Alatorre et al., 2013 a, b), de esta manera los iones tóxicos quedan acumulados en las vacuolas, quedando el núcleo y el citoplasma libre de la acción tóxica de estos iones. Como resultado, se observa el crecimiento óptimo de halófilas entre 100 y 200 mM (para las especies dicotiledóneas) y entre 50 y 100 mM (para monocotiledóneas) cuando el NaCl se encuentra en la solución del suelo (Flowers y Colmer, 2008). El hecho de que las plantas halófitas puedan crecer en medios, con ciertas concentraciones salinas, sería una solución para gestionar las aguas salobres, y permitir una agricultura sostenible donde se podrían aprovechar zonas desérticas, costeras y marismas (Glenn et al., 1998).

Durante la última mitad del siglo XX, ya empezó a investigarse el potencial que tenían las halófitas como posibles cultivos agrícolas. Por ejemplo, las investigaciones que se han llevado a cabo en zonas salinas en Israel condujo al desarrollo de una base de datos de halófilas y sus usos económicos (Aronson, 1989). Hasta ahora muchas halófilas han sido evaluadas para su uso potencial como plantas de cultivo agrícola, y también para el restablecimiento de la vegetación y remediación en áreas contaminadas por sal (Cassaniti et al. 2013; Buhmann y Papenbrock, 2013). También se han hecho estudios en la halófita *Salicornia* donde se han puesto a punto técnicas para seleccionar genotipos donde la optimización de cultivo sea ideal para la producción de biomasa a gran escala (Singh et al. 2014). Aunque todavía se necesita investigar mucho más, sobre las halófitas como cultivos agrícolas complementarios a los cultivos agrícolas tradicionales, se espera en el futuro que el aumento de la demanda de productos agrícolas, así como su encarecimiento, permitan el incremento de la demanda de estos cultivos alternativos (Rozema et al., 2013).

1.3. Halófitas para consumo humano

En la actualidad, la gran mayoría de especies de plantas pertenecientes al grupo de gramíneas, leguminosas y hortalizas, proporcionan casi toda la alimentación para consumo humano, siendo el arroz, el maíz, el trigo y la patata el 50% del total de especies (Khan et al., 2006). La mayoría de estas especies son sensibles a la sal, por tanto, encontrar cultivos alternativos, como por ejemplo las plantas halófitas, adaptadas a medios salinos, pueden ser vistos como una alternativa a los cultivos agrícolas tradicionales, sobre todo en países que por sus condiciones climáticas severas presentan bajas precipitaciones o irregularidad en las lluvias, temperaturas extremas y agua de riego de baja calidad o salinizada, como son países desérticos o de la cuenca mediterránea. Por lo tanto, el uso de diversas halófilas como cultivos comerciales valiosos, podrían ser una opción adecuada en tales ambientes hostiles.

Actualmente el consumo de productos de algunas plantas halófitas como la quinoa (*Chenopodium quinoa*), un pseudocereal originario de los Andes, va creciendo rápidamente y es incluido como alimento de una dieta saludable en muchos países de Europa y Estados Unidos (Jacobsen, 2011; James, 2009). Esta halófita es uno de los alimentos básicos de los nativos sudamericanos y pueden tolerar valores de CE de hasta 40 dS/m (Adolf et al. 2013). Tiene un alto valor nutritivo superando a los cereales tradicionales (como el trigo, el maíz, el arroz y la avena). Sus semillas contiene todos los aminoácidos esenciales, además de hierro, magnesio, vitamina E, cobre y fósforo, y no contienen gluten. Otra halófita útil es la hierba perenne *Distichlis palmeri*, que fue utilizada como el principal alimento básico para los indígenas que vivían a lo largo de la parte baja del río Colorado en México, esta especie tiene un mayor contenido de fibra que el trigo y se utiliza para la fabricación de galletas y pan en diversas partes del mundo (Yensen 2006). Esta planta puede ser cultivada, incluso en zonas encharcadas y condiciones hipersalinas (concentraciones próximas al agua del mar) y producir 1.25 t/ha de grano de alto valor nutricional (Pearlsteina et al., 2012). Del mismo modo, el mijo perla (*Pennisetum typhoides*) puede tolerar agua de riego con CE > 30 dS/m y puede cultivarse como cultivo alimenticio con un rendimiento de semilla de hasta 1.6 t/ha. Este rendimiento es similar al del trigo, bajo condiciones no salinas en tierras secas (Jaradat, 2003).

Se han realizado varios estudios en plantas halófitas que pueden ser utilizadas como verduras comestibles, presentando componentes bioactivos y efectos

beneficiosos para la salud, pudiendo ser una vía de producción de cultivos, a medida que aumenta la demanda de alimentos (Petropoulos et al., 2018), las hojas de estas plantas a menudo presentan un sabor similar al de los cultivos convencionales, que se usan para elaborar ensaladas y platos de verduras. Por ejemplo las hojas de *Atriplex triangularis* son similares a las de la espinaca y se utilizan para el consumo humano en países como Holanda, Bélgica y Portugal (Leith et al., 2000). Las hojas de *Salicornia bigelovii* se pueden utilizar como una fuente alternativa de ácidos grasos poliinsaturados omega-3 para consumo humano, esta especie crece en Estados Unidos y Europa, y también es una buena fuente del antioxidante β -caroteno (Ventura et al. 2011). *Diplotaxis tenuifolia* también es comúnmente cultivada y consumida como verdura en muchas partes del mundo (De Vos et al., 2013). Otras halófitas como *Sarcocornia perennis*, *Sarcocornia ramosissima* y *Arthrocnemum macro-stachyum* son consumidos en cocina de “gourmet”, ya que presentan un alto contenido de proteínas y ácidos grasos poliinsaturados y bajo contenido de metales tóxicos, además de un buen potencial de antioxidantes (Barreira et al. 2017). Muchas especies de manglares, así como los brotes jóvenes y hojas de *Chenopodium album* y *Amaranthus spp.* también se utilizan para ensaladas, así como frutas crudas de *Capparis decidua* (Rameshkumar y Eswaran, 2013), con lo que actualmente la cantidad de especies halófitas para consumo humano va en aumento.

1.4. Halófitas para alimentación del ganado

En países sobre todo desérticos o semi-áridos, el consumo de agua y la alimentación del ganado pasa por etapas limitantes cuando las condiciones climáticas son más adversas. Se sabe que algunas halófitas pueden utilizarse y cultivarse como forrajes alternativos a los forrajes típicos, en zonas salinas y secas. Arbustos salinos (*Atriplex* y *Maireana*) pueden ser utilizados como fuentes de forraje (Aslam et al., 1993). Por ejemplo, unas 100.000 hectáreas de tierra salina se han utilizado para plantar especies de *Atriplex* con la intención de producir forraje y recuperar tierras en la cuenca mediterránea (El Shaer, 2010), de esta manera la producción de halófitas pueden sustituir a los ingredientes tradicionales en las dietas de animales domésticos, aunque haya restricciones para su uso, debido al alto contenido en sales y compuestos no nutritivos presentes en algunas especies (Glenn et al., 1999).

De entre las especies estudiadas, se ha encontrado que *Salicornia bigelovii* puede ser cultivada, con irrigación de agua marina en la región costera oriental de la península arábiga, demostrándose que puede reemplazar el 25% de la alfalfa en las dietas del ganado ovino (Abdal, 2009). Corderos con una dieta basada en halófitas como *A. barclayana*, *Suaeda esteroa* y *S. bigelovii* durante los 84 días entre el destete y su sacrificio, aumentaron de peso, a la misma velocidad que los alimentados con un pasto convencional (ej. *Cynodon dactylon*) (Swingler et al., 1996). En Egipto, las halófilas *Leptochloa fusca*, *Spartina patens* y *S. virginicus* se utilizan para la producción de forraje. Su materia seca (MS) varió entre 1.1 y 6.5 t/ha/año haciéndolos ideales como cultivos en las zonas desérticas donde sólo se dispone de agua con altas concentraciones salinas para el riego (Ashour et al., 1999). En las regiones costeras de la India, algunas especies de manglares y otras halófilas, como *Terminalia catappa*, *Aeluropus lagopoides*, *C. dactylon*, y *Brachiaria mutica* se utilizan como forraje para diferente tipo de ganado como camellos y cabras (Dagar, 2005). En 2011, el Centro Cultural de Agricultura Biosalina (ICBA) han realizado varios proyectos en colaboración con otras entidades, investigando en Arabia Saudi, Pakistan y Bangladesh el desarrollo de forraje biosalino en especies como *S. virginicus*, *D. spicata*, y especies de *Atriplex* (*A. halimus*, *A. nummularia* y *A. lentiformis*). Otros modelos de halófitas que se han investigado en los últimos años, han sido *Panicum antidotale* y *Desmostachya bipinnata* en las que se ha utilizado tierras secas de Pakistán para su cultivo, sin invadir tierras de cultivo productivas y utilizar agua de riego; unas 100 especies de halófitas son económicamente potenciales para alimentación del ganado en este país (Gul et al., 2014). Otra de las especies estudiadas ha sido *Spartina alterniflora* que puede utilizarse como forraje potencial alternativo, para el ganado lechero, pudiendo sustituir en al menos un 25% la dieta forrajera del animal, aliviando los costes de alimentación y controlando parcialmente la rápida propagación de esta planta invasora en las marismas de China (Qin et al., 2016). Por otro lado, hay que tener en cuenta, que la utilización de forraje salino tiene sus efectos sobre la dieta del ganado: el aumento de las cantidades de sal en la dieta del animal producen un incremento en el consumo de agua, que podría afectar al peso del animal y aumento de la energía necesaria para metabolizar la alimentación, por otro lado, los niveles de energía metabolizables son generalmente más bajos en halófilas en comparación con otros forrajes (Norman et al. 2013), también hay que tener en cuenta que muchas de estas plantas presentan

un buen valor nutricional, pero la presencia de nitratos, taninos, glucósidos, compuestos fenólicos, saponinas, oxalatos y alcaloides que tienen estas plantas, hace que el sabor puede ser desagradable para los animales y de esta manera, reducirían la ingesta de alimentos y el uso de nutrientes, no obstante sería beneficioso que una parte del forraje fuera utilizado por los animales debido a su alto valor nutritivo; aunque el uso de las halófitas como único forraje no se puede considerar único, si puede usarse como complementario a la producción de forraje para el ganado, en zonas donde su producción es limitada (Abd et al., 2018).

1.5. Halófitas que producen semillas oleaginosas

Se han encontrado alrededor de unas 50 especies de plantas halófilas que presentan semillas como fuente potencial de aceite y proteínas comestibles con alto valor proteico. Las más conocidas son: *Salicornia bigelovii*, *Suaeda moquinii*, *Kosteletzkya virginica*, *Suaeda aralocaspica*, *Salvadora persica*, *Batis maritima*, *Crithmum maritimum*, *Zygophyllum album*, *Nitraria sibirica*, *Suaeda salsa*, *Chenopodium glaucum* y *Descurainia sophia*; en estas semillas no hay una elevada concentración de sal como sí la puede haber en otras partes de la planta (Jaradat, 2003). *S. bigelovii* se ha puesto a prueba en diversas partes del mundo como en Oriente Medio (Abdal, 2009), India (Rameshkumar y Eswaran, 2013), México (Grattan et al., 2008) y África (Zerai et al., 2010). La producción comercial de *Salicornia* puede ser ya encontrada en USA, Eritrea y Arabia Saudi. *S. bigelovii* se cultivó más en el desierto de México que los cultivos convencionales de semillas oleaginosas como girasol y soja, también esta especie ha demostrado altos rendimientos (tanto en biomasa como en semillas). Bajo el riego de agua de mar (salinidad 40 g de NaCl/L) el rendimiento de la semilla fue de 2 t/ha que es equivalente a la de los cultivos convencionales bajo condiciones de salinidad normales (Glenn et al., 1999). La semilla de *S. bigelovii* tiene un contenido de aceite y proteína de 30% y 35%, respectivamente (Zerai et al., 2010). Del mismo modo *Kosteletzkya virginica* produce una semilla que contiene 32% de proteína y 22% de lípidos (Gallagher, 1985). El fruto de *Crithmum maritimum* es rico en lípidos (aproximadamente 44% en peso seco) con ácido oleico como su mayor componente (78.6% de los ácidos grasos totales) (Atia et al., 2011). Las semillas de *Suaeda fruticosa* podrían ser utilizadas como una fuente de aceite comestible para el hombre ya que tiene un 74% de ácidos grasos insaturados (Weber et al., 2007). La semilla

de *Salvadora persica* se utiliza como una fuente de aceite en la India y se puede cultivar en suelos con valores CE que van desde 25 a 65 dS/m y además la semilla de esta planta contiene entre el 40-45% de aceite rico en ácidos láurico (C12) y ácido mirístico (C14), ampliamente utilizado en las industrias cosméticas y farmacéuticas (Reddy et al., 2008).

1.6. Halófitas como cultivos energéticos

Debido al crecimiento constante de la población, más que nunca se necesitan fuentes de energía renovables. La biomasa de las plantas puede utilizarse como fuente bioenergética y productos biocombustibles para satisfacer la demanda de energía sostenible; sin embargo, las plantas compiten con cultivos alimenticios, que no deben de ser desperdiciado para producir energía. Las halófitas no compiten con cultivos convencionales en las áreas de cultivo, ya que crecen naturalmente en ecosistemas salinos, principalmente en áreas semiáridas y áridas. El uso de halófitas para la producción de biocombustibles puede proporcionar una alternativa, económicamente viable, y ser una solución ambientalmente sostenible para producir bioenergía, contribuyendo, al mismo tiempo, a la creación de áreas salinas, que se han considerado improductivos durante mucho tiempo, haciéndolas más valiosos (Debez et al. 2017).

Las halófitas pueden ser una fuente de combustibles para la obtención de bioetanol, biodiesel y madera. A nivel mundial, cerca de 1.3 billones de personas viven sin acceso a la electricidad y 2.6 billones carecen de instalaciones de cocina, sobre todo en países en desarrollo (Asia, África). Esta población, a menudo, depende de la madera que obtienen de diversas especies de plantas obtenidas del medio ambiente en el que viven. Por otro lado, las reservas mundiales de petróleo se agotarán a mitad de este siglo si se sigue utilizando al ritmo actual, mientras que las reservas de carbón pueden agotarse en los próximos 100 años (Shafiee y Topal, 2009). Debido a ello, el uso de bioetanol como fuente de energía renovable se ha ido incrementando en los últimos años (Demirbas et al., 2011; Abideen et al., 2012) y puede ser considerado como un sustituto para la gasolina en el sector de transporte (Del Campo et al., 2006). En Brasil, aproximadamente el 20% de todo el combustible para coches se obtiene a partir de bioetanol producido a partir de caña de azúcar (Eshel et al., 2010). Sin embargo, tal demanda está dando lugar a una mayor

competencia entre la producción de cultivos para alimentos y para biocombustibles, ya que actualmente los biocombustibles se producen a partir de cultivos convencionales como pueden ser la caña de azúcar, soja y maíz (Del Campo et al., 2006; Abideen et al., 2011).

Las halófitas pueden cultivarse sin competir por los mismos recursos de suelo y agua con los cultivos alimentarios (Rozema y Flores, 2008; Qadir et al., 2008) pudiendo explotar tierras salinas como las zonas costeras (Liu et al., 2012). Este biocombustible a partir de biomasa lignocelulósica halófila (es decir, plantas de materia seca que se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina) podrían ser una alternativa para la alimentación y obtención de fuel (Abideen et al., 2012). Especies como *Tamarix chinensis*, *Phragmites australis*, *Miscanthus spp.* y *Spartina alterniflora* sirven como cultivos de biocombustibles para la producción de etanol en la zona costera de China (Liu et al., 2012). Halófilas cultivadas en la región costera de Pakistán (*Halopyrum mucronatum*, *Desmostachya bipinnata*, *Phragmites karka*, *Typha domingensis* y *P. turgidum*) también demostraron servir para la producción de bioetanol (Abideen et al., 2011). Otras especies halófilas pertenecientes a los géneros *Prosopis* y *Tamarix* también son adecuados para la producción de madera. Entre 800 y 1000 litros de biodiesel pueden llegar a producirse a partir de plantas cultivadas de *Salicornia* en una hectárea de tierra costera (Christiansen, 2008). Concretamente en los últimos años, se ha evaluado *Salicornia sinus-persica*, una halófito suculenta por su potencial para ser utilizada como materia prima para la producción de bioetanol. La fermentación directa del zumo extraído, utilizando *Saccharomyces cerevisiae* (una levadura) no mostró inhibición por sal y se alcanzaron rendimientos de etanol de ~ 70%. Debido a estos resultados, sería interesante ampliar el cultivo de estas especies dedicándole mayor cantidad de hectáreas de terreno, para conseguir la mayor producción comercial posible en aquellos países donde las condiciones edáficas y de clima permitan su crecimiento y producción a gran escala (Alassali et al. 2017).

En muchas halófitas, el aceite producido a partir de las semillas y la biomasa lignocelulósica pueden ser muy útiles para la producción de biocombustibles, entre estas especies como *Phragmites australis*, *Panicum virgatum*, *Halopyrum mucronatum*, *Typha domingensis*, *Eleusine indica*, etc. donde los contenidos de

celulosa, hemicelulosa y lignina presentan porcentajes elevados para ser utilizados como cultivos energéticos (Sharma et al., 2016).

1.7. Halófitas como plantas medicinales y otros usos comerciales

Las halófitas también pueden ser utilizadas con fines medicinales, gracias a que se puede aprovechar una gran cantidad de metabolitos secundarios (terpenos, fenoles y alcaloides) que la planta sintetiza e utiliza como mecanismos de protección frente a condiciones ambientales adversas; no obstante, el hombre ha conseguido sacar provecho de estos metabolitos en la industria farmacéutica y cosmética. Desde hace muchos años las plantas han sido aprovechadas por sus propiedades curativas e utilizadas como medicamentos en la medicina tradicional. La especie *Ipomoea pes-caprae* se usa para aliviar la fatiga, la artritis y el reumatismo (Rameshkumar y Eswaran, 2013); las especies de *Ipomoea* contienen una gran cantidad de metabolitos secundarios con efectos beneficiosos para la salud como son alcaloides, compuestos fenólicos, cumarinas, flavonoides, etc. que han demostrado propiedades analgésicas, antimicrobianas y anticoagulantes (Meira et al. 2012). Las hojas de *Terminalia catappa* son usadas para mejorar enfermedades relacionadas con el hígado en Taiwan, y en la India son usadas como estimulantes cardiacos, para la hepatitis y por sus propiedades antibacterianas (Chanda et al., 2011). Otra especie con una alta tolerancia a la salinidad, es la halófita extrema *Mesembryanthemum crystallinum* rica en polioles, que también se ha relacionado para la prevención de algunas enfermedades (Agarie et al. 2009). Otra de las plantas utilizadas por sus propiedades beneficiosas es la especie *Tamarix gallica*, la cual tiene componentes bioactivos como los fenoles, taninos, glicósidos, alcaloides, flavonoides y saponinas, interesantes para tratar enfermedades del hígado (Ksouri et al., 2009), los componentes fenólicos de estas especies son conocidas por sus propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias y antienvjecimiento (Mandloi et al., 2013). Otra especie también interesante por sus propiedades nutricionales y medicinales es *Crithmum maritimum* rica en componentes minerales, vitamina C, aceites esenciales y otras biomoléculas (Atia et al., 2009; Meot-Duros et al., 2010). La extracción de aceite de estas plantas demuestra la presencia de una alta concentración de ácidos grasos omega-3 y omega-6 importantes para combatir enfermedades coronarias (Guil-Guerrero and Rodríguez-García, 1999).

Continuamente se sigue investigando y cada año aparecen una veintena de publicaciones sobre las propiedades medicinales de las halófitas, derivadas de la gran cantidad de metabolitos secundarios que acumulan. En los últimos años se ha descubierto que *Reaumuria vermiculata* presenta propiedades anti-inflamatorias que son activas contra el carcinoma de pulmón e incluye una fuente potencial de compuestos bioactivos con propiedades beneficiosas sugiriendo su uso en medicina (Karker et al. 2016). El consumo de hojas de *Carpobrotus edulis* puede contribuir a una dieta equilibrada que puede mejorar las funciones cognitivas, así también son interesantes las aplicaciones biotecnológicas en la industria alimenticia y/o farmacéutica (Rocha et al. 2017). *Salicornia brachytous* y *Limonium tetragonum* se han estudiado por su alto contenido de polifenoles, relacionados con su actividad antioxidante y anti-inflamatoria lo que la hacen ideales para ser utilizados en farmacología (Dae-Sung 2018).

Las halófitas también tienen otros usos, por ejemplo, *Pandanus fascicularis* es rica en metil-éter de β -fenil-etilalcohol (65-80%) y es usado como perfume y aromatizante (Dutta et al., 1987). La especie *Parthenium argentatum* es una fuente de caucho natural que puede crecer a concentraciones salinas de 7.5 dS/m (Hoffman et al., 1988). *Paspalum vaginatum* y *Sporobolus virginicas* son usadas comercialmente para producción de césped para campos de golf (Depew y Tillman, 2006). *Suaeda monoica* es una planta usada en la industria del papel en India (Rameshkumar and Eswaran, 2013). Hay otras especies que son usadas en el campo de la floricultura donde los niveles de salinidad tienen rangos entre 5-15 dS/m. Por ejemplo en Israel, la especie *Maireana sedifolia* es usada por sus cortas ramas y exportada a Europa (Cassaniti et al., 2013).

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de esta revisión bibliográfica, consistió en revisar y analizar la información publicada en los últimos años, sobre las diferentes utilidades que actualmente se encuentran en las plantas halófitas, con el fin de mostrar una visión actualizada de los últimos avances en este campo de investigación. Debido a la amplia información obtenida, se han seleccionado 3 Familias, incluyendo las

Amaranthaceas, por ser la que presenta más especies adaptadas a ambientes salinos.

2.1. Objetivos específicos

- Conocer las halófitas que crecen en Andalucía
- Seleccionar Familias de plantas halófitas andaluzas y averiguar que especies tienen usos y beneficios, que puedan ser interesantes investigar en el futuro, para obtener el máximo beneficio de estas plantas

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para localizar la información necesaria para realizar esta revisión, se han utilizado distintas bases de datos, así como libros, varias páginas webs de ámbito científico y destacados artículos, los cuales ofrecen información sobre las utilidades de las halófitas. La forma de ejecución consistió en seleccionar títulos de artículos científicos a través del buscador Google Académico, con sus correspondientes palabras clave y filtros de búsqueda para la inclusión o exclusión de diversas fuentes

- **Google Académico “Google Scholar”**: Es un Buscador de google especializado, en el que podemos encontrar gran cantidad de documentos académicos, numerosas revistas científicas, resúmenes y distintas citas correspondientes a numerosas disciplinas y fuentes, a la vez que permite acceder a diversas fuentes desde un solo lugar. Se puede acceder a este buscador a través de la siguiente URL: scholar.google.es
- **Web of Science** a la que se puede acceder a través de la biblioteca de la Universidad de Jaén, utilizando palabras claves como “Halophytic plants and uses”, etc., realizándose búsquedas a partir del año 2000
- La búsqueda en varias revistas científicas como **Environmental Experimental Botany, Frontiers Plants Science, New Phytologist, Acta Physiologia Plantarum, Plant and Soil, Journal Agricultural Crop Science, Industrial Crop and Products, Science Horticulturae, Environmental Science**

Pollution Research, International Journal Environmental Science, etc. han sido de vital importancia, ya que en ella se han podido encontrar numerosos artículos de interés para nuestra revisión bibliográfica. Se puede acceder a ella a través de la web of Science

- **Pubmed**: es un motor de búsqueda a la base de datos MEDLINE que tiene acceso a artículos de texto. Su acceso es gratis desde la UJA y su link es <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>.

En los buscadores se han introducido las palabras clave “Halophytes plants”, “halophytes plants and uses”, “Halophytes in Andalusia”. Una vez que encontramos halófitas más representativas de Andalucía, introducimos el nombre de estas en los buscadores, “*Juncus acutus* L.”, “*Juncus maritimus* Lam.”, “*Atriplex halimus* L.”, “*Atriplex rosea*”, “*Salicornia ramosissima*”, “*Salicornia patula*”, “*Salsola soda*”, “*Salsola vermiculata*”, “*Tamarix boveana*”, “*Tamarix canariensis*”. Dentro de los buscadores se usan filtros para minimizar la búsqueda y obtener resultados que más conciernen.

Con las palabras clave “**Halophytes plants**” encontramos 1508 resultados, para seleccionarlos le añadimos varios filtros, entre ellos que fueran “de acceso abierto” y tuvieran el “texto completo”, de esta manera la búsqueda se nos redujo a 563 resultados. Le añadimos un filtro más, y quisimos que sean artículos publicados en los últimos 10 años, así se nos redujo la búsqueda a 494 resultados.

4. RESULTADOS

4.1. Familia Juncaceae

Esta familia está distribuida en zonas húmedas de todo el mundo, y también en zonas costeras y continentales de España; se desarrollan sobre suelos húmedos, especialmente con sales de cloruro de sodio y carbonatos alcalinos (Bosciau et al., 2011). En Andalucía se localiza en las provincias béticas y gaditano-onubo-algarviense y sector almeriense, es decir, prácticamente en todas las provincias. Se han encontrado 3 especies: *Juncus acutus* L., *Juncus maritimus* Lam. y *Juncus subulatus* Forsskäl (Lendínez et al. 2011), de las cuales 2 de ellas presentan múltiples usos.

4.1.1. *Juncus acutus* L.

- Revisión bibliográfica: “Halophytic herbs of the Mediterranean basin: An alternative approach to Health” responsables de la publicación: Petropoulos, S.A., Karkanis, A., Martins, N, Ferreira, I.C.F.R. Food and Chemical Toxicology (2018): es una especie tolerante a la sal, que se encuentra en las marismas costeras de zonas mediterráneas. La tolerancia a la salinidad de esta especie está asociado con el osmoprotector prolina y con la acumulación de Ca^{2+} y Mg^{2+} , contribuyendo a los mecanismos de defensa a través de la osmoregulación, también acumulan gran cantidad de componentes fenólicos y flavonoides, bajo condiciones de elevada salinidad. Esta especie es interesante, por la gran cantidad de metabolitos secundarios, que usan como estrategias de protección frente al estrés (cumarinas, esteroides, terpenos y carotenoides), también son ricas en carbohidratos solubles (myo-inositol, sorbitol, fructosa y glucosa); estos metabolitos pueden ser usados por sus efectos beneficiosos para la salud, por su actividad antioxidante tienen propiedades antiinflamatorias, antileucémicas y propiedades de mejora cognitiva, sin ningún efecto tóxico para la salud.

4.1.2. *Juncus maritimus* Lam.

- Artículo: “Effect of petroleum hydrocarbons in copper phytoremediation by a salt marsh plant (*Juncus maritimus*) and the role of autochthonous bioaugmentation”, responsables de la publicación: Montenegro, I.P.F.M., Mucha, A.P., Reis, I., Rodrigues, P., Almeida, C.M.R. Environ. Sci. Pollut. Res. (2016): el objetivo de este trabajo fue investigar, bajo condiciones ambientales controladas, los efectos de la presencia de contaminantes inorgánicos y orgánicos (cobre e hidrocarburos de petróleo), sobre el potencial fitorremediador de la planta *Juncus maritimus*, además se probó la bioacumulación con un consorcio microbiano autóctono (CMA) resistente al cobre, con el objetivo de aumentar el potencial de remediación de esta planta. Esta especie presentaba sus raíces unidas a sedimentos, y posteriormente fueron recolectadas e introducidas en vasos mantenidos en invernaderos bajo una simulación de marea. Los sedimentos fueron contaminados con cobre y petróleo, y el CMA se añadió a los vasos. Después de 5 meses, los vasos acumulaban cantidades significativas de cobre, pero solo en las estructuras que había debajo de la tierra. La cantidad de cobre fue incluso más alta en la presencia de petróleo. La adición de CMA incrementó la acumulación de cobre en estos tejidos, a pesar de

disminuirse la biodisponibilidad de cobre, promoviendo el potencial fitoestabilizador de *J. maritimus*. Por tanto, se demuestra un potencial fitorremediador en sedimentos contaminados, y la bioacumulación autóctona, puede ser una estrategia a tener en cuenta para la recuperación y gestión de estuarios moderadamente contaminados.

- Artículo: “Biocontrol activity of effusol from the extremophile plant, *Juncus maritimus*, against the wheat pathogen *Zymoseptoria tritici*” responsables de la publicación Sahli, R., Rivière, C., Siah, A., Smaoui, A., Samaillie, J. et al. Environ. Sci. Pollut. Res. (2017): *Zymoseptoria tritici* es el patógeno más importante del trigo. Es un hongo filamentoso de la familia de los Ascomicetos, bastante resistente a los fungicidas. No obstante, el control de este parásito se realiza por la aplicación de fungicidas sintéticos, pero su uso es un tema controvertido actualmente, por eso se están desarrollando estrategias alternativas para evitar su utilización. Los extractos metanólicos de 8 plantas extremófilas procedentes de Túnez (incluyen 3 xerófitas y 5 halófitas) fueron testadas frente a *Z. tritici* y solo el extracto de los rizomas de *J. maritimus* demostraron significativa actividad antifúngica “in vitro”. Se recolectaron varias muestras de rizomas de *J. maritimus*, en diferentes etapas de desarrollo, en diferentes periodos y a partir de diferentes sustratos, para comparar su actividad antifúngica. Los resultados sugieren que el medio ambiente de la planta, especialmente el sustrato del suelo, debe de ser tenido en cuenta a la hora de identificar fuentes naturales de productos antifúngicos. Los productos analizados muestran una gran actividad anti-fúngica frente al patógeno, con una concentración inhibitoria entre $19 \mu\text{g mL}^{-1}$ y $9.8 \mu\text{g mL}^{-1}$. Los derivados fenantrenos analizados pueden ser unas prometedoras moléculas de biocontrol frente al patógeno. *Z. tritici*.

4.2. Familia Amaranthaceae

Esta familia se distribuye por zonas cálidas, desarrollándose en suelos salinos como marismas y saladares. Entre la gran variedad de especies halófitas que presenta esta familia, se encuentran una gran variedad de especies con fines ampliamente variados. De las 8 especies encontradas en Andalucía del género *Atriplex* (*A. chenopodioides*, *A. glauca*, *A. halimus*, *A. patula*, *A. prostrata*, *A. rosea*, *A. semibaccata*, y *A. tornabenei*) (Lendínez et al. 2011), algunas tienen cierto efecto fitorremediador, como por ejemplo *A. patula* y *A. prostrata*, no obstante hemos

elegido las 2 especies donde se ha encontrado más información sobre sus utilidades.

4.2.1. *Atriplex halimus* L.

- Revisión bibliográfica: “*Atriplex halimus* L.: its biology and uses” responsables de la publicación Walker, D. J., Lutts, S., Sánchez-García, M., Correal, E. J. Arid Environ. (2014): Sus usos tradicionales son la alimentación del ganado, remediación de suelos y medicina tradicional y farmacología moderna. Es una planta que crece en zonas áridas del mediterráneo, y que sirve de alimentación a pequeños rumiantes (oveja y cabra), y también a camellos. Hay unas 10000 hectáreas de esta planta distribuidas por Argelia, Península Arábiga, Egipto, Iraq, Israel, Jordania, Libia, Marruecos, España y Túnez. Ello refleja la importancia y la capacidad que tiene *A. halimus* para proporcionar forraje durante todo el año, presentando una tolerancia a la sal mucho mayor, en relación con muchas otras especies de pasto. Los arbustos de *A. halimus* producen un forraje rico en nitrógeno, pero la micoflora de los animales necesita tiempo para ajustarse a esta fuente de nitrógeno, ya que alrededor de 40-45% de este nitrógeno no es proteico (prolina y glicina-betaína), el contenido de este último, tiene efectos beneficiosos sobre animales monogástricos como los cerdos o las aves de corral, ya que sirve de osmoprotector de células y microbios intestinales y mejora la digestión de la fibra, de hecho ha sido consumido por humanos en tiempos de escasez de alimentos. Es rica en proteínas y la retención de nitrógeno asimilable es superior al de otras especies forrajeras como la alfalfa, mientras que la digestibilidad de la proteína cruda, materia orgánica, y fibra cruda fue similar o incluso mayor que la de otras especies. El cultivo intercalado de *Atriplex* en cultivos de cebada proporciona forraje para ovejas y cabras en el sudeste de España en el verano y principios del otoño, cuando las fuentes alternativas son más escasas. La plantación de *Atriplex* en suelos ricos en selenio (Se) puede representar un riesgo, considerando la capacidad de otras especies de *Atriplex* de acumular este elemento que, después de la ingestión de grandes cantidades, podría ser perjudicial para el hígado de los animales.

La ceniza de las plantas quemadas se usa como álcali para hacer jabón, mientras que los brotes se pueden quemar para producir un polvo antiácido. Los herbolarios indígenas árabes emplean las hojas para tratar las enfermedades del

corazón y la diabetes (decocción) y reumatismo (un extracto preparado con agua hervida que se agrega al agua del baño). Los extractos de las partes aéreas de *Atriplex* obtenidos con metanol o hexano (y que contienen alcaloides, esteroides, flavonoides, y glucósidos) mostraron actividad antibacteriana contra diversas bacterias patógenas gram-positivas y negativas. Los hongos endofíticos aislados de *Atriplex* tienen efectos antimicrobianos contra especies de bacterias que poseen resistencia a los antibióticos.

Sus nuevos usos se centran en la fitorremediación y descontaminación de suelos, ya que puede crecer en suelos con una gran variedad de salinidad, además de estar adaptada a estreses por alta intensidad luminosa, temperatura y sequía, y ser utilizada por mamíferos y artrópodos como alimento en ecosistemas naturales, y muy útil como especie forrajera para el ganado ovino y caprino. No obstante, en los últimos años se ha investigado su uso como planta fitorremediadora de suelos contaminados con elementos traza y explotación de su biomasa como fuente de energía renovable, utilización en sistemas agrícolas etc., hacen de esta especie una planta de vital importancia en regiones de baja precipitación.

La madera obtenida de *A. halimus* también ha sido utilizada durante siglos para dar calor y cocinar, y sigue utilizándose incluso hoy en día en medios rurales. Las tierras agrícolas abandonadas, son consideradas sitios óptimos para la producción de biomasa energética, sin afectar a la producción agrícola, ya que no hay competición en esas zonas. La madera de esta especie, concretamente tiene una biomasa seca con bajo contenido de humedad, y adecuada para gasificación, pirólisis y combustión. Las propiedades de interés de esta “masa seca” como fuente de energía es su bajo contenido de humedad, valor calórico, proporciones de carbono fijado y volátil, contenido de residuo/ceniza y contenido de metal alcalino.

4.2.2. *Atriplex rosea*

- Revisión bibliográfica “Effects of heavy metals on antioxidant activities of *Atriplex hortensis* and *Atriplex rosea*” responsables de la publicación: Kachout, S.S., Ben Mansoura, A., Leclerc, J.C. et al. J. Applied Bot. Food Quality (2009). En estas plantas, se estudió el efecto de la contaminación de metales pesados sobre sistemas antioxidantes tales como superóxido dismutasa (SOD), ascorbato peroxidasa (APX), glutatión reductasa (GR) y catalasa (CAT), en hojas de plantas de

Atriplex crecidas en suelos contaminados con diferentes metales pesados (Cu, Ni, Pb). Se produjo una disminución de crecimiento, tanto de la parte aérea como radicular, siendo el efecto más negativo sobre las raíces debido a la toxicidad de los metales. Las 2 especies mostraron un nivel intermediario de tolerancia a los metales. SOD y APX disminuían por la toxicidad metálica, sin embargo la actividad CAT y GR se incrementaban por el estrés. Por tanto, la actividad antioxidante parece ser un mecanismo importante de respuesta adaptativa de las especies de *Atriplex* frente a metales pesados.

4.2.3. *Salicornia ramosissima*

- Artículo “*Salicornia* as a crop plant in temperate regions: selection of genetically characterized ecotypes and optimization of their cultivation conditions” responsables de la publicación Singh D, Buhmann AK, Flowers TJ, Seal CE, Papenbrock J. AoB PLANTS (2014). El aumento del nivel del mar y la salinización de las aguas subterráneas, debido al cambio climático global, han dado como resultado una disminución de las fuentes de agua dulce. Por lo que es importante encontrar alternativas para los cultivos alimenticios y vegetales. La mayoría de especies cultivables son glicófitas, inhibiéndose la germinación y el crecimiento en condiciones salinas. Los miembros del grupo de las *Salicornias*, son candidatos prometedores, para ser utilizadas en agricultura en suelos con cierto grado de salinidad, debido a su alta tolerancia a las sales. El objetivo de este trabajo fue desarrollar líneas genéticamente caracterizadas de *Salicornia* y *Sarcocornia* para determinar las condiciones óptimas de cultivo. Para obtener un grupo genético grande y diverso, las semillas fueron recolectadas de diferentes países y condiciones ecológicas. Los datos obtenidos mostraron una clara distinción entre los dos géneros. Los experimentos revelaron que el porcentaje de germinación fue mayor a bajas salinidades y con temperaturas de 20°C/10°C (día / noche). *Salicornia ramosissima* produjo más biomasa aprovechable que *Salicornia dolichostachya* en agua de mar artificial, que contiene 257 mM de NaCl. Por lo tanto, *S. ramosissima* es una candidata útil para la producción de biomasa en suelos con elevados niveles de salinidad.

- Artículo “The influence of cadmium contamination and salinity on the survival, growth and phytoremediation capacity of the saltmarsh plant *Salicornia ramosissima*”

responsables de la publicación: Pedro, C. A., Santos, M. S., Ferreira, S. M., & Goncalves, S. C. Marine environmental research (2013). El principal objetivo de este estudio, fue evaluar la capacidad de *Salicornia ramosissima* como fitorremediador de cadmio bajo distintas salinidades y, en consecuencia, los efectos tóxicos en el desarrollo de la planta. En invernadero se realizó un experimento, utilizando dos concentraciones de Cd (50 y 100 $\mu\text{g L}^{-1}$) con diferentes concentraciones salinas (0, 5 y 10 mM NaCl). La mortalidad y la variación de peso observadas al final del experimento mostraron diferencias significativas, lo que implica que se vieron afectadas en función de la salinidad y concentraciones de Cd. La mayor acumulación de Cd se detectó en las raíces y disminuyó con el aumento de la salinidad. Por lo tanto, se deduce que *S. ramosissima* es un candidato potencial para la fitorremediación de Cd siendo su efecto mayor a concentraciones salinas más bajas, y sus capacidades de fitoacumulación y fitoestabilización de Cd resultaron bastante interesantes. La optimización de los procesos de fitorremediación por *S. ramosissima*, podrían posibilitar el uso de esta planta, en la recuperación de ecosistemas contaminados con metales pesados.

- Artículo "*Salicornia ramosissima*: Secondary metabolites and protective effect against acute testicular toxicity" responsables de la publicación: Ferreira, D., Isca, V. M., Leal, P., Seca, A. M., Silva, H., de Lourdes Pereira, M. & Pinto, D. C. Arabian Journal of Chemistry (2016). *Salicornia ramosissima* no solo muestra un gran potencial como planta de cultivo en desiertos y suelos altamente salinos, sino que también tiene valor en la medicina tradicional, presentando actividades biológicas prometedoras. El estudio presente, fue diseñado para evaluar el efecto del extracto etanólico de *S. ramosissima* en testículos de ratón, previamente dañados debido a la toxicidad por tetracloruro de carbono (CCl_4), además de identificar los metabolitos secundarios presentes en el extracto. El análisis histopatológico mostró que el pre-tratamiento con el extracto etanólico, antes de la administración de CCl_4 , evitó significativamente trastornos en el epitelio del tubo seminífero de ratones. En el estudio fitoquímico se identificaron compuestos fenólicos y alifáticos conocidos como: linoleato de etilo, sitostanol, octadecilo, eicosanol, 2-hidroxicinamato, escopoletina, y triacilglicerol de ácido tetracosanoico, y dos nuevos compuestos: saliramoéster, un triéster de cadena larga, y saliramofenol, un derivado de

propiofenona. Sus estructuras químicas se elucidaron mediante estudios espectroscópicos detallados.

4.2.4 *Salicornia patula*

-Artículo “Rehabilitation of abandoned areas from a Mediterranean nature reserve by *Salicornia* crop: Influence of the salinity and shading” responsables de la publicación Santos, E. S., Salazar, M., Mendes, S., Lopes, M., Pacheco, J., & Marques, D. *Arid land research and management* (2017): En la Reserva Natural de Castro Marim y Vila Real de Santo Antonio (SE de Portugal), la mayoría de las marismas y salinas están abandonadas, lo que contribuye a su degradación y, en consecuencia, a la alteración de este suelo. Estas áreas se pueden rehabilitar mediante cultivos de *Salicornia*, contribuyendo a su mejora económica y ambiental, estimulando los procesos biogeoquímicos del suelo y la comercialización de biomasa de la planta. Sin embargo, se necesita el desarrollo de técnicas agrícolas adaptadas a las especies y condiciones ambientales variables del Mediterráneo, para mejorar el cultivo de *Salicornia*. Este estudio tuvo como objetivo evaluar: i) el uso potencial de plántulas de invernadero en el cultivo de campo; y ii) supervivencia, crecimiento y rendimiento de *Salicornia* bajo condiciones de sombra y diferentes condiciones de salinidad de los suelos y aguas de riego. Las especies autóctonas de *Salicornia* empleadas fueron *S. ramosissima* y *S. patula*. Las pruebas de germinación se llevaron a cabo bajo condiciones controladas. Los ensayos se realizaron con plántulas sometidas tanto a condiciones naturales como a condiciones de invernadero, y a suelos y aguas con salinidades diferentes. Las salinidades intermedias y altas (25-45 dS/m) afectaron solo la germinación de *S. patula*.

4.2.5. *Salsola soda*

- Artículo “Evaluation of the halophyte *Salsola soda* as an alternative crop for saline soils high in selenium and boron” responsables de la publicación Centofanti, T., & Bañuelos, G. *Journal of environmental management* (2015). En este estudio, se presenta el caso de suelos salinos, en el lado oeste de California Central que contienen selenio natural (Se), boro (B) y otras sales, tales como NaCl, CaCl₂, Na₂SO₄ y Na₂SeO₄. Para sostener la producción de cultivos en suelos áridos y salinos cargados de Se y B, se investigó el potencial de la halófita *Salsola soda* L.

como cultivo alternativo. El objetivo del estudio de invernadero fue examinar la adaptabilidad, la tolerancia al B, y la acumulación de Se, si se cultivara en estos suelos de cultivo, cargados de salinas, ubicados en el lado oeste del Valle de San Joaquín. En los resultados se mostró que *S. soda* tolera la solución salina ($EC \sim 10 \text{ dS m}^{-1}$), y en los suelos cargados de B (10 mg B L^{-1}), con el riego adicional de solución salina y agua rica en B ($EC \sim 3 \text{ dS m}^{-1}$ y 4 mg B L^{-1}). Bajo estas condiciones, la planta puede acumular altas concentraciones de Na (80 g Na kg^{-1} peso seco), B (100 mg B kg^{-1} peso seco) y Se ($3\text{-}4 \text{ mg Se kg}^{-1}$ peso seco), sin mostrar síntomas de toxicidad. Por lo tanto, *S. soda* mostró un gran potencial como una especie de planta que puede cultivarse en suelos salinos cargados de B, además de acumular parte del Se y Na que se encuentran acumulado en el suelo.

- Artículo "Comparison of two halophyte species (*Salsola soda* and *Portulaca oleracea*) for salt removal potential under different soil salinity conditions" responsables de la publicación Karakas, S., Cullu, M. A., & Dikilitas, M. Turkish Journal of Agriculture and Forestry (2017). Para este estudio, se cultivaron especies halófitas de *Salsola soda* L. y *Portulaca oleracea* L., en macetas con cuatro niveles de suelos salinos. Los suelos tenían los siguientes niveles de salinidad: 1) suelo no salino (SNS, 0.9 dS m^{-1}), 2) suelo ligeramente salino (SLS, 4.2 dS m^{-1}), 3) moderadamente suelo salino (SMS, 7.2 dS m^{-1}), y 4) suelo altamente salino (SAS, 14.1 dS m^{-1}). Para evaluar la capacidad de tolerancia a la sal por parte de las halófitas, se investigaron los parámetros fisiológicos y bioquímicos, así como la acumulación de iones Na^+ y Cl^- en las mismas. A los suelos se le evaluó adicionalmente las concentraciones de conductividad eléctrica, pH e iones del suelo, antes de la siembra y de la cosecha siguiente. El peso fresco y seco de ambas halófitas aumentó al aumentar los niveles de salinidad con diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Los contenidos de prolina de *S. soda* y *P. oleracea* fue 3.1 y 4.6 veces mayor, respectivamente, que dentro de la misma especie cultivada bajo condiciones control. Solo *P. oleracea* mostró mayor daño a la membrana en condiciones de alta salinidad. De manera similar, el contenido de clorofila de ambas halófitas no se vio afectado por todos los niveles de salinidad. Las concentraciones de Na^+ y Cl^- disminuyeron significativamente en los suelos que fueron plantados con ambas halófitas ($p \leq 0.05$). El impacto de *S. soda* en la eliminación de Na^+ de suelos con alta salinidad, fue significativamente mayor que la de *P. oleracea*.

4.2.6. *Salsola vermiculata*

-Artículo “Impacts of future climate scenarios on hypersaline habitats and their conservation interest” responsables de la publicación Mercado, F. G., de Haro Lozano, S., & López-Carrique, E. Biodiversity and conservation (2017): Este estudio se enfoca en determinar el comportamiento de cinco comunidades de plantas salinas a dos variables ambientales: inundación y salinidad. Una vez que se conoce este comportamiento, se pueden abordar los impactos del cambio climático futuro, debido a que algunas de estas variables podrían verse alteradas por este, y la dinámica futura de la vegetación podría indicar la tendencia que sigue este cambio, por lo que las comunidades vegetales pueden usarse como bioindicadores. La investigación se llevó a cabo en algunos pequeños humedales costeros, ubicados en una región mediterránea semiárida. En estas zonas, se presentaban bajos valores de diversidad debido a un gran efecto de inundación, seguidos de salinidad. Los "matorrales halófilos mediterráneos" como en el caso de *Salsola vermiculata* son bioindicadores de inundaciones estacionales y cambios en la salinidad. En la actualidad, los matorrales halófilos mediterráneos son la comunidad más extendida, lo que podría interpretarse como una consecuencia de un clima con cambios bruscos en las estaciones. Esta investigación aporta la hipótesis de que los futuros escenarios del cambio climático, en los que se involucren aumentos de inundaciones fomentaría una disminución de la diversidad, por lo que se reducirían las comunidades de plantas de valor ecológico. Por el contrario, un escenario futuro en el que disminuyen las inundaciones beneficiaría a una comunidad más diversa y valiosa.

4.3. Familia Tamaricaceae

En esta familia cabe destacar el género *Tamarix* del cual podemos encontrar en Andalucía las especies *Tamarix boveana*, *Tamarix canariensis*, y *Tamarix dalmática*. Mientras la primera y la tercera especie se localizan, principalmente, entre Granada y Almería, la segunda se encuentra extendida por todas las provincias (Lendínez et al. 2011). De ellas, en las dos primeras se han encontrado una gran cantidad de compuestos secundarios útiles.

4.3.1. *Tamarix boveana*

- Revisión bibliográfica “Chemical composition and antimicrobial activity of volatile compounds of *Tamarix boveana* (Tamaricaceae)” responsables de la publicación: Saidana, D., Mahjoub, M. A., Boussaada, O., Chriaa, J., Chéraif, I., Daami, M. & Helal, A. N. Microbiological research (2008): se analizó la composición química de los aceites volátiles de *Tamarix boveana*, obtenidos a partir de flores, hojas y tallos, mediante destilación al vapor. Se identificaron sesenta y dos componentes. El ácido hexadecanoico (18.14%), docosano (13.34%), germacreno D (7.68%), acetato de linalilo (7.34%), y benzoato de bencilo (4.11%) fueron los principales componentes en todas las partes aéreas. Respecto al compuesto más abundante, según las partes de la planta: 2,4-Nonadienal era el compuesto principal en las flores (12.13%), mientras que germacreno D era el componente principal en las hojas (31.43%) y ácido hexadecanoico en los tallos (13.94%). Para evaluar la actividad antimicrobiana “in vitro”, todos los aceites volátiles se probaron contra seis bacterias Gram-positivas y Gram-negativas y cuatro hongos. Los aceites volátiles de *T. boveana* exhibieron, una actividad antibacteriana interesante, contra todas las cepas probadas excepto en *Pseudomonas aeruginosa*. Pero no se detectó actividad antifúngica.

4.3.2. *Tamarix canariensis*

- Revisión bibliográfica “Resorcinol and *m*-guaiacol alkylated derivatives and asymmetrical secondary alcohols in the leaves from *Tamarix canariensis*” responsables de la publicación: Basas-Jaumandreu, J., López, J., & de las Heras, F. X. C. Phytochemistry Letters (2014). Se ha descubierto que las hojas de la planta de *Tamarix canariensis*, son una fuente de resorcinoles y guayacoles. En concreto, las ceras de las hojas contienen altas cantidades de 5-n-alkilresorcinol (AR, 17 g / kg de peso seco), 5-n-alkil-m-guaiacol (AG, 14 g / kg de peso seco) y alcoholes secundarios (44 g / kg de peso seco). Los resultados obtenidos indican la existencia de 5-n-alkilresorcinoles (AR) de cadena larga en la familia Tamaricaceae. Estos compuestos son homólogos a los anteriores y casi exclusivamente de cereales y abarcan las fórmulas n-C14 a n-C27, de los cuales el más abundante es n-C21, aunque dominan los compuestos impares. También esta investigación proporciona información sobre 11 homólogos de 5-n-alkil-m-guaiacol (AG) como compuestos naturales de la planta derivados de trimetilsilil (TMS). Los AG (guayacoles) contienen un grupo hidroxilo en el carbono 1, un grupo metoxi en la posición 3, y una cadena

lineal de alquilo ligada al anillo de benceno en la posición 5. Abarcan las fórmulas n-C13 a n-C27, el más abundante de los cuales es n-C21. Finalmente, también son aislados de *Tamarix* una serie de ocho alcoholes secundarios asimétricos, cuyas fórmulas van desde n-C25 a n-C35 y cuyo principal homólogo es n-hentriacontan-12-ol.

Los compuestos obtenidos de *T. canariensis* son interesantes productos aprovechados por el hombre. El guaiacol es un precursor de varios saborizantes, como el eugenol y la vanilina (compuesto primario de la vaina de la vainilla) y el resorcinol, es el sustrato de partida de diversos productos, desde fármacos hasta colorantes como la fluoresceína y también son utilizados como antiséptico dermal.

5. DISCUSIÓN

5.1. Halófitas andaluzas de la Familia Juncaceae y utilidad

La cuenca mediterránea es considerada un importante reservorio de plantas medicinales, concretamente las halófitas producen gran cantidad de metabolitos secundarios; estos metabolitos son sintetizados como mecanismos de protección frente a condiciones medioambientales adversas, de manera que cuanto más estrés tiene la planta mayor producción de metabolitos. Estas especies han sido utilizadas durante siglos por sus propiedades terapéuticas, pero actualmente hay un reciente incremento de la demanda global de plantas medicinales y suplementos alimenticios. Hay una gran diversidad de componentes químicos y bioactivos entre las diferentes especies vegetales, por lo que es necesaria una revisión de componentes químicos y efectos beneficiosos para la salud de estas especies, así como posibles efectos tóxicos y antinutricionales. No obstante, todavía hay que entender los mecanismos de acción, farmacocinética, componentes bioactivos y su disponibilidad en estudios clínicos. De la revisión que se ha hecho sobre halófitas crecidas en terrenos salinos andaluces, hemos encontrado algunas de estas especies, que pueden ser utilizadas con fines terapéuticos y medicinales. Así por ejemplo, *J. acutus* L. donde en su parte aérea se han encontrado fenantrenos alquilados, con una importante actividad antioxidante y efecto positivo sobre varias enfermedades relacionadas con síntomas

inflamatorios, leucemia y salud mental. Los beneficiosos de esta familia de plantas con efecto fitorremediador, antifúngico y sobre la salud, merecen la pena ser investigados más profundamente. Por otro lado, el principal papel encontrado en halófitas deriva de las adaptaciones que presentan como consecuencia de poder sobrevivir en suelos con cierto grado y variedad de sales, o incluso de elementos pesados. La capacidad que tienen de absorber estos elementos en su metabolismo, sin conferirles elevados daños tóxicos o iónicos, hacen de estas plantas interesantes aliados para poder ser utilizadas en la descontaminación de suelos y aguas. Así se ha encontrado a *J. maritimus*, un potente fitorremediador para el cobre y petróleo, incluso el petróleo facilita la penetración del metal en las raíces, utilizando mecanismos de fitoestabilización y fitoacumulación, por tanto son útiles como estrategia de descontaminación de estuarios y áreas costeras. Esta halófitas también se ha encontrado efectiva frente a la acción del hongo *Z. tritici* (uno de los más importantes patógenos del trigo). A raíz de los resultados obtenidos de los derivados de fenantrenos de esta planta, estos metabolitos podrían ser utilizados como prometedoras moléculas de control biológico. (Petropoulos et al., 2018; Montenegro et al., 2016; Sahli et al., 2017).

5.2. Halófitas andaluzas de la Familia Amaranthaceae y utilidad

Otras plantas con capacidad fitorremediadora son *A. patula* y *A. prostrata*, aunque la más conocida y donde se han realizado más estudios es en *A. halimus*, esta planta tiene capacidad para la estabilización de suelos y tolerancia a concentraciones elevadas de elementos traza. Debido a la minería, actividades industriales y bajas precipitaciones, estos suelos se contaminan fácilmente en el área mediterránea. Esta especie restringe la acumulación de As y Pb en la parte aérea de la planta, consiguiendo la estabilización de estos contaminantes en el suelo y en las raíces, también puede ser utilizada en la fitoextracción de suelos contaminados de Cd y Zn. También se utiliza para regenerar cubiertas vegetales en suelos contaminados de As. Se ha demostrado que esta especie es capaz de formar endomicorrizas en suelos contaminados con elementos traza, con lo que aumenta la disponibilidad de agua y nutrientes, especialmente fósforo, y limitar la toma de elementos traza. *A. halimus* debería seguir utilizándose para la protección del suelo y en los sistemas agrícolas de baja intensidad de las zonas semiáridas donde, junto con los residuos de los cultivos y el pastoreo, puede formar parte de una dieta

equilibrada para el ganado. También podría tener un papel en la fitorremediación de sitios moderadamente contaminados, donde reduciría el movimiento de contaminantes provocado por el viento y el agua (fitoestabilización). En todos los casos, *A. halimus* tiene una gran potencial, con múltiples usos para su cultivo porque es relativamente poco exigente, en términos de manejo y puede prosperar en suelos degradados. *A. rosea* es otra planta, con no tantas utilidades como la anterior, pero que puede crecer en suelos contaminados, debido a su tolerancia a metales, su alta capacidad antioxidante la protege de los efectos tóxicos que encuentra en estos suelos contaminados (Walker et al., 2014; Kachout et al., 2009;).

En esta familia, la temperatura y la salinidad son factores importantes que afectan a la germinación de las semillas. Por ejemplo a una salinidad equivalente a agua marina artificial (NaCl 257 mM) *S. ramosissima* produce una biomasa más alta que otras halófitas, como *S. dolichostachya*, pero a una mayor salinidad (similar a 513 mM de NaCl) se inhibe el crecimiento de ambas. Por lo que se podría iniciar una investigación para promover un genotipo mejorado de *Salicornia spp.* que tengan una mayor tolerancia a la sal y darle un uso comercial para programas de desalinización. Aunque podemos llegar a la conclusión de que el Cd es un factor de estrés para *S. ramosissima*, se comprueba que es una planta que puede vivir en sitios afectados por este metal pesado, además de presentar capacidad de bioacumulación de Cd, que disminuye con el aumento de la salinidad, dicha acumulación de Cd ocurre especialmente en las raíces. Lo ideal sería un experimento en un ecosistema abierto ya que condiciones idénticas son difíciles de simular en un laboratorio, sin embargo se puede suponer que esta especie en particular puede ser exitosa para utilizarla en fitorremediación, concretamente en bioacumulación y fitoestabilización, actuando así como un depósito para este metal, retirándolo del medio y evitando la intoxicación de otros organismos. No debemos olvidar que el rendimiento de esta planta es más eficiente, cuando se somete a bajas salinidades, por lo que se debe tomar en cuenta al elegir las condiciones adecuadas para la fitorremediación. Sabemos también que *S. ramosissima* tiene efectos positivos sobre la intoxicación por CCl₄, que causa una disfunción testicular temprana en los ratones, ya que el extracto etanólico de la misma es capaz de prevenir las lesiones, que se han comprobado por histopatología. Los compuestos extraídos de *S. ramosissima* tienen un valor terapéutico en el sistema reproductivo

masculino, especialmente debido a la acción antioxidante de sus constituyentes, además de efectos nutricionales de ciertos compuestos aislados. Por lo tanto, se puede promover el uso de plantas con fines medicinales, aunque hagan falta más estudios para verificar la seguridad general del extracto. En general, *Salicornia* que crece en suelos con baja salinidad acumula gran cantidad de biomasa fresca independientemente del origen de las plántulas (condiciones naturales o de invernadero). Las condiciones de sombra parecen mejorar la acumulación de biomasa fresca y el rendimiento, y en condiciones mediterráneas, el trasplante de *Salicornia* del invernadero al campo fue una técnica prometedora, independientemente de las condiciones de salinidad. Por lo que las áreas abandonadas y salinas, se pueden rehabilitar con un cultivo sostenible de *Salicornia*, que a su vez generan una gran cantidad de biomasa fresca aunque las condiciones sean adversas. (Singh D et al., 2014; Pedro, C. A et al., 2013; Ferreira, D et al., 2016)

Debido a la rápida propagación de la salinidad y la escasez de agua, principalmente causada por el cambio de clima, el cultivo de plantas halotolerantes y resistente a la sequía, puede ayudar a abordar la creciente demanda de productos agrícolas eficientes. En el caso de *S. soda* tolera la solución salina (suelo $CE > 10 \text{ dS m}^{-1}$) y suelos con B (10 mg L^{-1}) y puede llegar a acumular altas concentraciones de Na, B y Se sin mostrar ningún síntoma de toxicidad. Por lo tanto, *S. soda* puede ser un potencial promotor como un cultivo alternativo vegetal, y como una planta cultivada bajo suelos con concentraciones de Na, B, y Se. *Salsola soda* es capaz de acumular iones Na^+ y Cl^- en las hojas en condiciones de alta salinidad y usan iones de sal para el ajuste osmótico de sus hojas y raíces. Teniendo en cuenta esta capacidad, esta especie halófila podría ser una solución biológica para la rehabilitación de suelos con altas concentraciones de sal, eliminándolas del medio (fitorremediación). Por lo tanto, no solo es capaz de producir una gran cantidad de biomasa en condiciones desfavorables, sino que tiene la capacidad de extraer cantidades significativas de sal de los suelos (Karakaş, 2013; Shabala, 2013; Centofanti, T. & Bañuelos, 2015)

5.3. Halófitas andaluzas de la Familia Tamaricaceae y utilidad

Aunque no se demostró actividad antifúngica con los aceites volátiles de la parte aérea de *T. boveana* (tallos, hojas, flores), la actividad de un aceite también depende de la configuración química de los componentes, las proporciones en las que se encuentran y las interacciones entre ellos. No obstante, sí puede considerarse que los aceites volátiles de *T. boveana* tienen propiedades antimicrobianas. Los resultados obtenidos contribuyen a una mejor valorización de esta planta medicinal, por lo que valdrá la pena buscar más actividades de esta planta. Desde el punto de vista fitoquímico, las investigaciones se planearán para identificar y caracterizar los principios activos y evaluar la toxicidad en ensayos de laboratorio. Tras analizar los extractos de lípidos de *T. canariensis* se encuentran varios compuestos orgánicos. Los análisis revelaron que esta planta es una de las principales fuente de fenoles derivados de policétidos no isoprenoides, incluidos 5-n-alquilresorcinoles y 5-n-alquil-m-guayacoles. Estas dos clases de compuestos exhibieron patrones estructurales similares: cada clase presenta cadenas de alquilo de longitud de C13 a C27 generalmente en C impares. Guaiacol y resorcinol son interesantes compuestos con fines medicinales y aromatizantes que hacen de esta especie objeto de estudios más profundos. (Saidana, D. et al., 2006; Basas-Jaumandreu et al., 2014).

6. CONCLUSIONES

- La mayoría de especies investigadas son interesantes por su aplicación en la descontaminación y rehabilitación de suelos y aguas, y fines terapéuticos y medicinales.

- Familia Juncaceae: sus metabolitos presentan efectos beneficiosos para la salud (actividad anti-inflamatoria, anti-leucémica y mejora cognitiva), fitorremediador para contaminantes inorgánicos y orgánicos como el cobre y el petróleo, por lo tanto ideal para la descontaminación de estuarios y aguas costeras. Interesantes moléculas de control biológico para gramíneas por su actividad antifúngica.

- Familia Amaranthaceae:

1.- Especies de Atriplex, plantas fitorremediadoras y fitoestabilizadoras para sales y varios metales pesados. Interesante para producción de forraje como alimento para el ganado. Se pueden utilizar en programas de desalinización y rehabilitación de suelos y explotación de su biomasa como fuente de energía renovable.

2.- Especies de Salicornia, interesantes para la producción de biomasa, fitorremediador de metales pesados y rehabilitación de suelos, estudios incipientes para posible terapéutica con fines medicinales en humanos.

3.- Especies de Salsola fundamentalmente se han encontrado con función fitorremediadora y como bioindicadores de suelos salinos.

- Familia Tamaricaceae: obtención de gran cantidad de metabolitos secundarios con actividad anti-bacteriana, fines medicinales y productos cosméticos.

- Se puede proponer una línea de investigación para estudiar aquellas especies halófitas, que crecidas en Andalucía, puedan ser utilizadas:

- a) con fines fitorremediadores, para desalinización de suelos degradados por la sequía y sal y descontaminación de metales pesados, para la recuperación de tierras agrícolas. Seleccionar las que presenten mejores resultados fitorremediadores.

- b) analizar aquellas plantas con metabolitos secundarios capaces de ser utilizados con fines para control biológico, evitando la aplicación de sustancias químicas (fungicidas) en el campo.

- c) seleccionar aquellas especies vegetales que producen metabolitos secundarios con fines medicinales, y otros usos, y buscar estrategias para potenciar la obtención de estos compuestos (ej. manipulando la concentración de sales, tiempo de exposición etc.)

7. BIBLIOGRAFIA

Abd, M.E., El-Hack, D.H., Samak, A.E., Noreldin, M., Arif, H.S., Yaqoob, A.A. (2018). Towards saving freshwater: halophytes as unconventional feedstuffs in livestock feed: a review. Environ. Sci. Poll. Res. 25, 14397-14406

- Abdal, M.S. (2009). *Salicornia* production in Kuwait. World Applied Sci. J. 6, 1033-1038
- Abideen, Z., Ansari, R., Khan, M.A. (2011). Halophytes: potential source of lignocellulosic biomass for ethanol production. Biomass and Bioenergy 35, 1818-1822
- Abideen, Z., Ansari, R., Gul, B., Khan, M.A. (2012). The place of halophytes in Pakistan's biofuel industry. Biofuels 3, 211-220
- Adolf, V.I., Jacobsen, S.E., Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environ. Exp. Bot. 92, 43-54
- Agarie, S., Kawaguchi, A., Kodera, A., Sunagawa, H., Kojima, H., Nose, A., Nakahara, T. (2009). Potential of the common ice plant, *Mesembryanthemum crystallinum* as a new high-functional food as evaluated by polyol accumulation. Plant Prod. Sci. 12, 37-46
- Alassali, A., Cybulska, I., Rios Galván, A., Thomsen, M.H. (2017). Wet fractionation of the succulent halophyte *Salicornia sirus-persica*, with the aim of low input (water saving) biorefining into bioethanol. Applied Microbiology and Biotechnology 10,: 1769-1779
- Aronson, J.A. (1989). HALOP: A database of salt tolerant plants of the world. Office of arid land studies, University of Arizona, Tucson, Arizona
- Ashour, N., Arafat, S.M., El-Haleem, A.A., Serag, M., Mandour, S., Makki, B. (1999). Growing halophytes in Egypt for forage production and desertification control. Bulletin of National Research Center (Cairo) 4(3), 349-360
- Aslam, Z., Mujtab, M., Alshtar, J., Waheed, R.A., Malik, K.A., Naqvi, M. (1993). Biological methods for economically utilizing salt-affected soils in Pakistan. In: David-son, N., Galloway, R. (eds). The productive use of saline land, proceedings of a Workshop held in Perth, ACIAR Proceedings 42, Western Australia, pp. 29-31
- Atia, A., Debez, A., Barhoumi, Z., Abdelly, C., Smaoui, A. (2009). Histochemical localization of essential oils and bioactive substances in the seed coat of the halophyte *Crithmum maritimum* L. (Apiaceae). J. Plant Biol. 52, 448-452

- Atia, A., Barhoumi, Z., Mokded, R., Abdelly, C., Smaoui, A. (2011). Environmental ecophysiology and economical potential of the halophyte *Crithmum maritimum* L. (Apiaceae). J. Medicinal Plants Res. 5, 3564-3571
- Barreira, L., Resek, E., Rodrigues, M.J., et al. (2017). Halophytes: Gourmet food with nutritional health benefits? J. Food Composition and Analysis 59, 35-42
- Barret-Lennard, E.G. (2002). Restoration of saline land through revegetation. Agric Water Manag. 53, 213-226
- Basas-Jaumandreu, J., López, J., & de las Heras, F. X. C. (2014). Resorcinol and m-guaiacol alkylated derivatives and asymmetrical secondary alcohols in the leaves from *Tamarix canariensis*. Phytochemistry Letters, 10, 240-248
- Bonales-Alatorre, E., Pottosin, I., Shabala, I., Chen, Z.H., Zeng, F.R., Jacobsen, S.E., Shabala, S. (2013a). Differential activity of plasma of vacuolar membrane transporters contributes to genotypic differences in salinity tolerance in a halophyte species, *Chenopodium quinoa*. Int J. Mol. Sci. 14, 9267-9285
- Bonales-Alatorre, E., Shabala, S., Chen, Z.H., Pottosin, I. (2013b). Reduced tonoplast fast-activating and slow-activating channel activity is essential for conferring salinity tolerance in a facultative halophyte, quinoa. Plant Physiol 162, 940-952
- Boscaiu, M., Ballesteros, G., Naranjo, M.A., Vicente, O., Boira, H. (2011). Responses to salt stress in *Juncus acutus* and *Juncus maritimus* during seed germination and vegetative plant growth. Plant Biosyst. 154, 770-777
- Buhmann, A., Papenbrock, J. (2013). Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: basic principles, current uses and future perspectives. Environ. Exp. Bot. 92, 122-133
- Cambrolle, J., Redondo-Gómez, S., Mateos-Naranjo, E., Figueroa, M.E. (2008). Comparison of the role of the two *Spartina* species in terms of phytostabilization and bioaccumulation of metals in the estuarine sediment. Marine Poll. Bull. 56, 2037-2042
- Cassaniti, C., Romano, D., Hop, M.E.C.M., Flowers, T.J. (2013). Growing floricultural crops with brackish water. Environ. Exp. Bot. 92, 165-175

- Centofanti, T., & Bañuelos, G. (2015). Evaluation of the halophyte *Salsola soda* as an alternative crop for saline soils high in selenium and boron. *Journal of environmental management*, 157, 96-102
- Chanda, S., Rakholiya, K., Nair, R. (2011). Antimicrobial activity of *Terminalia catappa* L. leaf extracts against some clinically important pathogenic microbial strains. *Chinese Medicine* 2, 171-177
- Christiansen, R.C. (2008). Sea Asparagus can be oil Feedstock, *Biomass Magazine*.
<http://www.biodieselmagazine.com/articles/2600/sea-asparagus-can-be-oil-feedstock/>.(accessed 10.01.13)
- Dae-Sung, L (2018). Antioxidant and Anti-Inflammatory activity of six halophytes in Korea. *Natural Products Sciences* 24, 40-46.
- Dagar, J. (2005). Ecology, management and utilization of halophytes. In: Gupta, S.R., Matta, N.K., Aggarwal, A., Kohli, R.K., Chawla, A.K. (eds), *Ecology and Environmental Management: Issues and Research Needs*, vol. 15. *Bulletin of the National Institute of Ecology*, pp.81-97
- Debez, A., Belghith, I., Friesen, J., Montzka, C., Ellenche, S. (2017). Facing the challenge of sustainable bioenergy production: Could halophytes be part of the solution? *Biological Engineering* 11, 27
- Del Campo, I., Alegría, I., Zazpe, M., Echeverría, M., Echeverría, I, (2006). Diluted acid hydrolysis pretreatment of agri-food wastes for bioethanol production. *Ind. Crops and Products* 24, 214-221
- Demirbas, M.F., Balat, M., Balat, H. (2011). Biowastes-to-biofuels. *Energy Conversion and Management* 52, 1815-1828
- Depew, M.W., Tillman, P.H. (2006). Commercial application of halophytic turfs for golf and landscape developments utilizing hyper-saline irrigation. In: Khan, M.A., Weber, D.J. (eds), *Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants*. Springer, Berlin, Germany, pp. 255-278
- De Vos, A.C., Broekman, R., Guerra, C.C.D., Van Rijsselberghe, M., Rozema, J. (2013). Developing and testing new halophyte crops: a case study of salt tolerance

- of two species of the Brassicaceae, *Diplotaxis tenuifolia* and *Cochlearia officinalis*. Environ. Exp. Bot. 92, 154-164
- Dutta, P.K., Saxena, H.O., Brahaman, M. (1987). Kewda perfume industry in India. Economic Bot. 41, 403-410
- Eid, M.A., Eisa, S.S. (2010). The use of some halophytic plants to reduce Zn, Cu, and Ni in soil. Aust. J. Basic App. Sci. 4, 1590-1596
- El Shaer, H.M. (2010). Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the Near East region. Small Ruminant Res. 91, 3-12
- Eshel, A., Zilberstein, A., Alekparov, C., Eilam, T., Oren, I., Sasson, Y., Valentini, R., Waisel, Y. (2010). Biomass production by desert halophytes: alleviating the pressure on food production. In: Rosen, M.A., Perryman, R., Dodds, S., Mizi, F., Yuji, W., Polkowsaka, Z., Sobik, M. (eds.). Recent Advances in Energy and Environment: Proceeding of the 5th IASME/WSEAS International Conference on Energy and Environment (EE'10). WSEAS Press, Stevens Point WL, pp. 362-367
- Ferreira, D., Isca, V. M., Leal, P., Seca, A. M., Silva, H., de Lourdes Pereira, M. & Pinto, D. C. (2016). *Salicornia ramosissima*: Secondary metabolites and protective effect against acute testicular toxicity. Arabian Journal of Chemistry
- Flowers, T.J. (2004). Improving crop salt tolerance. J. Exp. Bot. 55, 307-319
- Flowers, T.J, Colmer, T.D. (2008) Salinity tolerance in halophytes. New Phytol 179, 945-963.
- Flowers, T.J., García, A., Koyama, M., Yeo, A.R. (1997). Breeding for salt tolerance in crops plants. The role of molecular biology. Acta Physiologia Plantarum 19,427-433
- Gallagher, J.L. (1985). Halophytic crops for cultivation at seawater salinity. Plant and Soil 89, 323-336
- Glenn, E.P., Brown, J.J., O' Leary, J.W. (1998). Irrigation crops with seawater. Scientific American, 76-81
- Glenn, E.P., Brown, J.J., Blunwald, E. (1999). Salt tolerance and crop potential of halophytes. Crit. Rev. Plant Sci. 18, 227-255

- Golldack, D., Li, C., Mohan, H., Probst, N. (2014). Tolerance to drought and salt stress in plants: unraveling the signaling networks. *Front. Plant Sci.* 5, 151
- Govindasamy, C., Arulpriya, M., Ruban, P., Francisca, J.L., Ilayaraja, A. (2011). Concentration of heavy metals in seagrasses tissue of the Palk Strait, Bay of the Bengal. *Int. J. Env. Sci.* 2,145-153
- Grattan, S.R., Benes, S.E., Peters, D.W., Diaz, F. (2008). Feasibility of irrigating pickleweed (*Salicornia bigelovii*. Torr) with hyper-saline drainage water. *J. Environ. Quality* 37, 149-156
- Guil-Guerrero, J.L., Rodríguez-García, I. (1999). Lipid classes, fatty acid and carotenes of the leaves of six edible wild plants. *European Food Res. Technol.* 209, 313-316
- Gul, B., Ansari, R., Ali, H., Adnan, M.Y., Weber, D.J., Nielsen, B.L., Koyro, H.W., Khan M.A. (2014). The suitable utilization of saline resources for livestock feed production in arid and semi-arid regions: A model from Pakistan. *Environ. J. Food Agric.* 26, 1032-1045
- Gul, B., Ansari, R., Flowers, T.J., Khan, M.A. (2013) Germination strategies of halophyte seeds under salinity. *Environ Exp Bot* 92, 4-18
- Gupta B, Huang B. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *Int. J. Genom* 2014, 1-18
- Hoffman, J.G., Shannon, M.C., Mass, E.V., Grass, L. (1988). Rubber production of salt-stressed guayule at various plant populations. *Irrigation Sci.* 9, 213-226
- ICBA, 2012. Biosalinity News. Newsletter of the International Center for Biosaline Agriculture 13, 4
- Jacobsen, S.E. (2011). The situation for quinoa and its production in Southern Bolivia: from economic success to environmental disaster. *J. Agr. Crop Sci.* 197, 390-399
- James, I.E.A. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Adv. Food Nut. Res.* 58, 1-31

- Jaradat, A.A. (2003). Halophytes for sustainable biosaline farming systems in the Middle East. In: Alsharhan, A.S., Fowler, A., Goudie, A.S., Abdellatif, E.M., Wood, W.W. (eds), Desertification in the third Millenium. Taylor and Francis, pp.185-204
- Jiang, Y., Ling, L., Zhang, L., Wang, K. et al. (2018). Comparison of transgenic Bt rice and their not-Bt counterpart in yield and physiological response to drought stress. *Fields Crop Research* 217, 45-52
- Kachout, S.S., Ben Mansoura, A., Leclerc, J.C. et al. (2009). Effects of heavy metals on antioxidant activities of *Atriplex hortensis* and *Atriplex rosea*. *J. App. Bot. Food Quality* 83, 37-43
- Karakas, S., Cullu, M. A., & Dikilitas, M. (2017). Comparison of two halophyte species (*Salsola soda* and *Portulaca oleracea*) for salt removal potential under different soil salinity conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41(3), 183-190
- Karker, M., Falleh, H., Msaada, A., Smaouri, A., Abdelly, C., Legault, J., Ksouri, R. (2016). Antioxidant, anti-inflammatory and anticancer activities of the medicinal halophyte *Reaumuria vermiculata*. *EXCLI Journal* 15, 297-307
- Khan, M.A., Ansari, R., Gul, B., Quadir, M. (2006). Crop diversification through halophyte production on salt-prone land resources. *CAB Reviews: perspectives in Agriculture, Veterinary Science. Nutrition and Natural Resources*, 1-048
- Ksouri, R., Falleh, H., Megdiche, W., Trabelsi, N., Mhamdi, B., Chaieb, K., Bakrouf, A., Magné, C., Abdelly, C. (2009). Antioxidant and antimicrobial activities of the edible medicinal halophyte *Tamarix gallica* L. and related polyphenolic constituents. *Food Chem. Toxicol.* 47, 2083-2091
- Kumari, A., Das, P., Parida, A.K., Agarwal, P.K. (2015) Proteomics, metabolomics, and ionomics perspectives of salinity tolerance in halophytes. *Front Plant Sci.* 6, 537
- Leith, H., Lohmann, M., Guth, M., Menzel, U. (2000). Cash crop halophytes for future halophytes growers. *Institute Environ System Res, University of Osnabreuck, Germany*, pp 32

- Lendínez, M.L., Marchal, F.M., Salazar, C. (2011). Estudio florístico de los medios húmedos salinos de Andalucía (S. España). Catálogo y análisis de la flora vascular halófila. *Lagascalia* 31, 77-130
- Liu T, Dobashi H, Kim DW, Sagor GHM, Niitsu M, Berberich T, Kusano T. 2014. *Arabidopsis* mutant plants with diverse defects in polyamine metabolism show unequal sensitivity to exogenous cadaverine probably based on their spermine content. *Physiol. Mol. Biol. Plants* 20, 151-159
- Liu, X.Z., Wang, C.Z., Su, Q., Li, C.K. (2012). The potential resource of halophytes for developing bio-energy in China coastal zone. *Herald J. Agric. Food Sci. Res.* 1, 044-051
- Lokhande, V.H., Srivastava, S., Patade, V.Y., Dwivedi, S., Tripathi, R.D., Nikan, T.D., Suprasanna, P. (2011a). Investigation of arsenic accumulation and tolerance in *Sesuvium portulacastrum* (L.). *Chemosphere* 82, 529-534
- Lutts, S., Lefèvre, I., Delperee, C., Kivits, S., Dechamps, C., Robledo, A., Correia, E. (2004). Heavy metal accumulation by the halophyte species Mediterranean saltbush. *J. Environ. Quality* 33, 1271-1279
- Mahmoud, A.H., Basmali, S.M., El-Shaikh Y., Swelum, A.A., Abouhief, M.A.A. (2016). Effect of halophyte *Salicornia bigelovii* Torr and graded levels of dietary crude protein on feed performance and carcass traits of camels. *Revista Brasileira de Zootecnia* 45, 704-708
- Mandloi, S., Mishra, R., Verma, R., Mugal, S., Rajshree, S. (2013). Phytochemical analysis of the leaf extracted of *Terminalia catappa* L. *Indian J. App. and Pure Biol.* 28, 65-70
- Manousaki, E., Kalogerakis, N. (2011). Halophytes present new opportunities in phytoremediation of heavy metals and saline soils. *Ind. Eng. Chem Res* 50, 656-660
- Meira, M., Silva, E.P., David, J.M., David, J.P. (2012). Review of the genus *Ipomoea*: traditional uses, chemistry and biological activities. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 22, 682-713

- Meot-Duros, L., Cérantola, S., Talarmin, H., Le, M.C., Le, F.G., Magné, C. (2010). New antibacterial and cytotoxic activities of faltarindiol isolated in *Crithmum maritimum* L. leaf extract. Food Chem. Toxicol. 48, 553-557
- Mercado, F. G., de Haro Lozano, S., & López-Carrique, E. (2017). Impacts of future climate scenarios on hypersaline habitats and their conservation interest. Biodiversity and conservation, 26(11), 2717-2734
- Montenegro, I.P.F.M., Mucha, A.P., Reis, I., Rodrigues, P., Almeida, C.M.R. (2016). Effect of petroleum hydrocarbons in copper phytoremediation by a salt marsh plant (*Juncus maritimus*) and the role of autochthonous bioaugmentation. Environ. Sci. Pollut. Res. 23, 19471-19480
- Norman, H.C., Masters, D.G., Barret-Lennard, E.G. (2013). Halophytes as forages in saline landscapes: interactions between plant genotype and environment change their feeding value to ruminants. Environ. Exp. Bot. 92, 96-109
- Norman, H.C., Masters, D.G., Wilmot, M.G., Rintoul, A.J. (2008). Effect of supplementation with grain, hay or straw on the performance of wanner Merino sheep grazing old man (*Atriplex nummularia*) or river (*Atriplex amnicola*) saltbush. Grass and Forage Science 63,179-192
- Panta, S., Flowers, T., Lane P., Doyle R, Haros, G., Shabala, S. (2014). Halophyte agriculture: success stories. Environ. Exp. Bot. 107, 71-83
- Pearlsteina, S.I., Felger, R.S., Glenn, E.P., Harringtond, J., Al-Ghanem, K.A., Nelsona, S.G. (2012). NyPa (*Distichlis palmeri*): a perennial grain crop for saltwater irrigation. J. Arid Environ 82, 60-70
- Pérez Cuadra, V., Cambi, V. (2014). Morphoanatomical functional traits in xerophytic species of a saline environment. Int. J. Exp. Bot. 83: 389-396
- Pedro, C. A., Santos, M. S., Ferreira, S. M., & Goncalves, S. C. (2013). The influence of cadmium contamination and salinity on the survival, growth and phytoremediation capacity of the saltmarsh plant *Salicornia ramosissima*. Marine environmental research, 92, 197-205

- Petropoulos, S.A., Karkanis, A., Martins, N., Ferreira, I.C.F.R. (2018). Edible halophytes of the Mediterranean basin: potential candidates for novel food products. *Trends Food Sci. Technol.* 74, 69-84
- Petropoulos, S.A., Karkanis, A., Martins, N., Ferreira, I.C.F.R. (2018). Halophytic herbs of the Mediterranean basin: An alternative approach to health. *Food Chem. Toxicol.* 114, 155-169
- Qadir, M., Tubeileh, A., Akhtar, J., Larbi, A., Minhas, P.S., Khan, M.A. (2008). Productivity enhancement of salt-affected environments through crop diversification. *Land Degradation and Development* 19, 429-453
- Qin, F., Tang, B., Zhang, H., Shi, C., Zhong, W., Ding, L., Qin, P. (2016). Potential use of *Spartina alterniflora* as forage for dairy cattle. *Ecological Engineering* 92, 173-180
- Rabhi, M., Haïsi, C., Lakhdar, A., Hajji, S., Barhoumi, Z., Hamrouni, M.H., Abdelly, C., Smaouri, A. (2009). Evaluation of the capacity of three halophytes to desalinize their rhizosphere as grown on saline soils under non-leaching conditions. *African J. Ecol.* 47, 463-468.
- Rameshkumar, S., Eswaran, K. (2013). Ecology, utilization and coastal management of salt tolerant plants (halophytes and mangroves) of Mypad coastal regions, Andhra Pradesh India. *Int. J. Environ Biol.* 3, 1-8
- Reddy, M.P., Shah, M.T., Patolia, J.S. (2008). *Salvadora persica*, a potential species for industrial oil production in semiarid saline and alkali soils. *Industrial Crop and Products* 28, 273-278
- Rocha, M.I., Rodrigues, M.J., Pereira, C. et al. (2017). Biochemical profile and in vitro neuroprotective properties of *Carpobrotus edulis* L., a medicinal and edible halophyte native to the coast of South Africa. *South Africa J. Botany* 111, 222-231
- Rozema, J., Flowers, T. (2008). Crops for a salinized world. *Sci.* 322, 1478-1480
- Rozema, J., Schats, H. (2013). Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. *Environ. Exp. Bot.* 92, 83-95
- Sahli, R., Rivière, C., Siah, A., Smaoui, A., Samailie, J., Hennebelle, T., Rouny, V., Ksouri, R., Halama, P. (2017). Biocontrol activity of effusol from the extremophile

- plant, *Juncus maritimus*, against the wheat pathogen *Zymoseptoria tritici*. *Eviron. Sci. Pollut. Res.* 1-9
- Saidana, D., Mahjoub, M. A., Boussaada, O., Chriaa, J., Chéraif, I., Daami, M., & Helal, A. N. (2008). Chemical composition and antimicrobial activity of volatile compounds of *Tamarix boveana* (Tamaricaceae). *Microbiological research*, 163(4), 445-455
- Santos, E. S., Salazar, M., Mendes, S., Lopes, M., Pacheco, J., & Marques, D. (2017). Rehabilitation of abandoned areas from a Mediterranean nature reserve by *Salicornia* crop: Influence of the salinity and shading. *Arid land research and management*, 31(1), 29-45
- Shabala, S. (2013). Learning from halophytes: physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops. *Ann Bot* 112, 1209-1221
- Shabala, S., Mackay, A. (2011). Ion transport in halophytes. *Adv. Bot. Res.* 57, 151-199
- Shafiee, S., Topal, S. (2009). When will fossil fuel reserves be diminished? *Energy Policy* 27, 181-189
- Sharma, R., Wungrampha, S., Singh, V., Pareek, A., Sharma, M.K. (2016). Halophytes as bioenergy crops. *Front. Plant Sci.* 7, 1372
- Sheoran, V., Sheoran, A., Poonia, P. (2011). Role of hyperaccumulators in phytoextraction of metals from contaminated mining sites: a review. *Critical Rev. Environ Sci Technol* 41, 168-214
- Singh D, Buhmann AK, Flowers TJ, Seal CE, Papenbrock J. 2014. *Salicornia* as a crop plant in temperate regions: selection of genetically characterized ecotypes and optimization of their cultivation conditions. *AoB PLANTS* 6
- Swingler, R., Glenn, P., Squires, S. (1996). Growth performance of lambs fed mixed diets containing halophyte ingredients. *Animal Food Sci. Technol.* 63, 137-148
- Szabolcs, I. (1989) *Salt-Affected soils*. CRC Press Inc., Boca Raton.
- Ventura, Y., Wuddineh, W.A., Myrzabayera, M., Alikulov, Z., Khozin-Goldberg, I., Shpigel, M., Samocha, T.M., Sagi, M. (2011). Effect of seawater concentration on

- the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. *Sci. Hort.* 128, 189-196
- Walker, D.J., Lutts, S., Sanchez-García, M., Correal, E. (2014). *Atriplex halimus* L.: its biology and uses. *J. Arid Environ.* 100, 111-121
- Weber, D.J., Ansari, R., Gul, B., Khan, M.A. (2007). Potential of halophytes as source of edible oil. *J. Arid Environ.* 68, 315-321.
- Wuana, R.A., Okieimen, F.E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available for remediation. *ISRN Ecology* 2011, 1-20
- Yensen, N.P. (2006). Halophyte uses for the twenty-first century. In: Khan, M.A., Weber, D.J. (Eds.), *Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants. Tasks for Vegetation Science*, vol. 40. Springer, Berlin/Heidelberg/New York, pp. 367-396
- Zerai, D.B., Glenn, E.P., Chattervedi, R., Lu, Z., Mamood, A.N., Nelson, S.G., Ray, D.T. (2010). Potential for the improvement of *Salicornia bigelovii* through selective breeding. *Ecology Engineering* 36, 730-739
- Zhao, K.F. (1991). Desalinization of saline soils by *Suaeda salsa*. *Plant Soil* 135, 303-305
- Zorrig, W., Rabhi, M., Ferchichi, S., Smaouri, A., Abdelly, C. (2012). Phytodesalination: a solution for salt-affected soils in arid and semi-arid regions. *J. Arid Land Studies* 22(1), 299-302