



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Agricultura biosalina y perspectivas de futuro

Alumno/a: Ana Belén Estrada Valverde

Julio, 2021



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Facultad de
Ciencias Experimentales 

Trabajo Fin de Grado

Agricultura biosalina y perspectivas de futuro



Alumno: Ana Belén Estrada Valverde

Jaén, Julio, 2021

ÍNDICE	PÁGINAS
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Las plantas halófitas.....	2
1.2. Hábitats de las halófitas.....	3
1.3. Tipos de las halófitas.....	5
1.4. Mecanismos de tolerancia en las halófitas.....	5
1.5. Utilidad de las halófitas.....	7
1.5.1. <i>Halófitas para consumo humano.....</i>	<i>7</i>
1.5.2. <i>Halófitas y su aplicación en la fitorremediación.....</i>	<i>9</i>
1.5.3. <i>Halófitas como plantas medicinales.....</i>	<i>10</i>
1.5.4. <i>Halófitas como combustible.....</i>	<i>11</i>
1.5.5. <i>Halófitas como forraje y alimentación para ganado</i>	<i>12</i>
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivos específicos.....	13
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
4. RESULTADOS.....	14
4.1 Género <i>Atriplex</i>.....	14
4.2 <i>Chenopodium quinoa</i>.....	16
4.3 <i>Crithmum maritimum</i>.....	18
4.4 <i>Diplotaxis tenuifolia</i>.....	19
4.5 <i>Distichlis palmeri</i>.....	21
4.6 <i>Mesembryanthemum crystallinum</i>.....	23
4.7 <i>Pennisetum glaucum</i>.....	24

4.8	Género <i>Salicornia</i> y Género <i>Sarcocornia</i>	26
4.9	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	28
4.10	Género <i>Suaeda</i>	30
5.	DISCUSIÓN.....	33
5.1.	Género <i>Atriplex</i>	33
5.2.	<i>Chenopodium quinoa</i>	33
5.3.	<i>Crithmum maritimum</i>	34
5.4.	<i>Diploaxis tenuifolia</i>	34
5.5.	<i>Distichlis palmeri</i>	35
5.6.	<i>Mesembryanthemum crystallinum</i>	35
5.7.	<i>Pennisetum glaucum</i>	36
5.8.	Género <i>Salicornia</i> y Género <i>Sarcocornia</i>	36
5.9.	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	36
5.10.	Género <i>Suaeda</i>	37
6.	CONCLUSIÓN.....	37
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	39

RESUMEN

El continuo crecimiento de la población humana conlleva una gran demanda de alimentos que no se puede sustentar con los cultivos agrícolas tradicionales. Además, el deterioro de las superficies agrícolas producido por la mala práctica de cultivo (abuso de pesticidas, fertilizantes, etc.), los factores ambientales extremos propios del cambio climático (temperaturas extremas, sequías, salinización del suelo, etc.) y la industrialización, reducen aún más la producción de alimentos. Las plantas halófitas pueden ser una alternativa a los cultivos agrícolas, ya que a diferencia de los cultivos actuales, son tolerantes a la salinidad y pueden vivir en muy diferentes hábitats y en condiciones extremas. En esta revisión bibliográfica se han elegido 10 géneros y especies pertenecientes a la Familia Amaranthaceae, Apiaceae, Brassicaceae, Poaceae, y Aizoaceae debido a su alto valor nutricional, pudiendo ser utilizadas en agricultura biosalina como fuente de alimento para consumo humano y forraje, reduciendo la presión sobre los cultivos agrícolas y mejorando la calidad de las tierras de cultivo. Este estudio es todavía emergente, pero si se impulsa su desarrollo e implementación comercial, las halófitas pueden ayudar a paliar la problemática actual de forma ecológica y sostenible.

ABSTRACT

The continuous growth of human population entails a great food demand that cannot be sustained by current agricultural crops. Furthermore, deterioration of agricultural surfaces produced by poor agricultural practices (pesticide misuse, fertilizers, etc.), extreme environmental factors caused by climate change (extreme temperatures, droughts, soil salinization, etc.) and industrialization, reduces food production even more. Halophytes may be an alternative to agricultural crops, since, unlike current crops, they tolerate salinity and can survive in different habitats and conditions. In this review 10 genera and species from the Amaranthaceae, Apiaceae, Brassicaceae, Poaceae and Aizoaceae families have been chosen because of their highly nutritional values, which make them great candidates to be used in biosaline agriculture as a source of food for human consumption and forage, lessening the pressure on agricultural crops and improving the quality of agriculture lands. These studies are still emerging, but if development and commercial implementation are promoted, halophytes can help alleviate the current problem in an ecological and sustainable way.

1. INTRODUCCIÓN

Con el inicio del siglo XXI la población mundial está en continua expansión. Actualmente coexisten casi 8 mil millones de personas en la tierra, no obstante para el año 2050 se estima que se superará la barrera de los 9 mil millones de habitantes (Panta *et al.*, 2014).

Por otro lado, el cambio climático lleva consigo un incremento de las temperaturas, periodos de sequía más largos y estaciones lluviosas irregulares y torrenciales. El mayor afectado en esta problemática es el suelo, principal sustento de la alimentación humana, que se está viendo cada vez más degradado conforme las condicionales ambientales son más extremas (Leisner, 2020). El deterioro de las superficies tradicionales cultivables está provocando una disminución de tierra dedicada a la agricultura: la salinidad y la escasez de agua, sumadas a las temperaturas extremas, dejan a los suelos inertes e impiden el desarrollo de las plantas para consumo tradicional. Además, de la problemática ambiental hay que añadir el vertido de residuos industriales, la creciente demanda de agua, la urbanización desmesurada y el abuso de fertilizantes y pesticidas sobre cultivos tradicionales para aumentar la producción agrícola (Leisner, 2020).

Teniendo todo esto en cuenta se hace evidente la necesidad de encontrar alternativas a las plantas tradicionales, para aliviar la creciente presión sobre la producción agrícola, que se estima debería aumentar un 70% de cara a cumplir con la demanda de alimentos que habrá en 2050 (Panta *et al.*, 2014). Se requieren organismos vegetales que sirvan de apoyo a la agricultura actual, que sobrevivan en condiciones extremas de salinidad y sequía, y que además ayuden a recuperar los suelos salinizados y degradados. En esta descripción encajan perfectamente las plantas halófitas, plantas tolerantes a la salinidad, capaces de sobrevivir bajo condiciones ambientales adversas (Kumari *et al.*, 2015).

1.1 Las plantas halófitas

Las halófitas representan el 2% de la flora terrestre (Flowers y Colmer, 2008). Tienen la capacidad de completar su ciclo biológico en ambientes ricos en sales,

siendo estas zonas lugares donde la gran mayoría de especies, sensibles a la sal (glucófitas), morirían debido al efecto osmótico e iónico que produce el estrés salino. Por desgracia la mayoría de los cultivos agrícolas actuales son sensibles a la salinidad y a la sequía, por tanto, las halófitas deben ser consideradas como una vía complementaria a esos cultivos agrícolas (Glenn y Brown, 1999).

Las halófitas han desarrollado una serie de estrategias a nivel morfológico, anatómico, fisiológico, bioquímico y genético que les permite adaptar las estrategias más adecuadas para mantener la homeostasis iónica celular y la integridad de membranas, evitando la peroxidación lipídica, protegiendo proteínas y pigmentos y manteniendo una alta capacidad antioxidante (Bueno y Cordovilla, 2020). A nivel germinativo las halófitas utilizan estrategias como la adaptación al heteromorfismo de sus semillas, producción de banco de semillas, dormancia, rápida germinación y recuperación de la germinación después de un shock salino, de manera que favorecen las estrategias de supervivencia de las plantas (Bueno, 2019).

1.2 Hábitats de las halófitas

Las halofitas habitan en todo el planeta en diferentes ecosistemas, desde desiertos hasta prados, bosques de manglares, marismas y zonas costeras. Han colonizado hábitats creados por el hombre como zonas de vertido industrial, tierras de cultivo e incluso han sido utilizadas como planta ornamental en áreas urbanas. Un ejemplo de una halófito cosmopolita es *Spartina anglica*, que domina marismas, humedales y tierras de cultivo con mal drenaje, e incluso crece en las zonas contaminadas con sales de las ciudades, como por ejemplo carreteras que han sido descongeladas con sal (Kapler, 2019).

Los humedales son zonas de tierra cuya superficie está cubierta de agua durante largos periodos, aunque puede presentar periodos de sequía, son típicos de zonas templadas. El movimiento de las masas de agua y de los sedimentos depende en gran medida de las mareas y del viento, pudiendo sumergirse una zona varias veces al día. El suelo en su mayoría es barro, compuesto por los sedimentos arrastrados y el detritus, y suele estar cubierto de pastizales, herbáceas y matorral bajo. Algunas de las especies halofitas que podemos encontrar en los humedales europeos son *Salicornia europaea*, *Suaeda maritima*, *Spartina anglica*, *Juncus balticus* spp. *littoralis*, *Triglochin marítima*, etc. (Hasanuzzaman et al., 2019).

Los bosques de manglares son un ecosistema único que se encuentra en las zonas de mareas tropicales y subtropicales. Se localizan en zonas donde hay gran acumulación y movimiento de sedimentos, y los componen mayoritariamente los mangles, halofitas que se han adaptado a esas condiciones de gran salinidad proveniente del mar. Son bosques donde solo existen unas pocas familias, siendo las más comunes *Rhizophoraceae*, *Avicenniaceae*, *Lythraceae*, *Combretaceae*, *Meliaceae* y *Arecaceae*, en contraste con la gran variedad de especies presentes en las selvas tropicales (Kapler, 2019). Los manglares protegen las costas de la erosión producida por el oleaje, son un ecosistema refugio para algunas especies y además son usados por el hombre de forma tradicional por sus múltiples usos (Hamilton, 2013).

Los acantilados son paredes verticales erosionadas con el paso de los años por la sal, el oleaje y el viento del mar. Suelen tener una vegetación diversa de lianas, herbáceas y arbustos pequeños, adaptadas a los aerosoles salinos provenientes del agua del mar y a la sequedad extrema del suelo. Estas especies proporcionan sujeción al propio suelo y retrasan los efectos de la erosión (Kapler, 2019).

Los desiertos son zonas áridas en las que apenas existen precipitaciones con lo cual pocas comunidades vegetales son capaces de establecerse y desarrollarse. Hoy en día, un tercio de la superficie mundial ya es considerada árida o semiárida. La desertización avanza rápidamente, agravada por el mal uso del agua, la escorrentía y la evaporación de masas de agua salada, lo cual propicia la aparición de desiertos salados. En los desiertos salinos de Norte América abunda el género *Atriplex*: *Atriplex confertifolia*, *A. canescens*, *A. polycarpa*, etc. (Hasanuzzaman *et al.*, 2019).

Los lagos salados y las estepas salinas son zonas con concentraciones muy altas de sales en las que solo pueden habitar plantas con una gran adaptación a sus condiciones. Este tipo de zonas están presentes en varias partes de Europa, donde la vegetación no solo debe soportar la salinidad del suelo sino que también debe adaptarse a los cambios de temperatura que conllevan los veranos cálidos y los inviernos muy fríos. Abundan pastizales altos, comunidades en mosaico y matorral pequeño (Török *et al.*, 2016).

También existen comunidades que viven áreas urbanizadas, o directamente han sido introducidas para uso ornamental, o revegetación de zonas secas y salinas. Son abundantes en zonas donde se han vertido aguas salobres proveniente de las

fábricas, zonas de cultivo contaminadas donde se ha hecho mal uso del regadío, y zonas donde se utilizan gran cantidad de sales como factor para derretir el hielo tras fuertes nevadas. En Europa, en las zonas contaminadas destacan las especies *Kochia scoparia*, *Atriplex tatarica*, *Polygonum Aviculare*, *Elymus repens* y *Puccinellia distans* (Kapler, 2019).

1.3 Tipos de halófitas

Las halófitas pueden clasificarse en halófitas obligadas o halófitas facultativas, en función de su sensibilidad a la sal. Las halófitas obligadas o euhalófitas ven su crecimiento estimulado por concentraciones moderadas de sal (\geq a 50 mM), mientras que las halófitas facultativas crecen en suelos ligeramente salinizados ($<$ 50nM) y se ven inhibidas si se eleva la concentración de sales del medio (Lauchili y Epstein, 1984).

Por otra parte, las glicófitas también pueden clasificarse según su tolerancia a la sal, en función de si pueden soportar una ligera concentración de sales en el medio, glicófitas, o si no pueden tolerar prácticamente ninguna concentración de sales ($<$ 10mM), glicófitas estrictas (Panta *et al.*, 2014).

1.4 Mecanismos de tolerancia en las halófitas

Las halófitas presentan varios mecanismos por los cuales son capaces de soportar altas concentraciones de sales. Se les conoce como “mecanismos de tolerancia”, y no solo les permite sobrevivir, sino que también les concede la capacidad de extraer sales del suelo, característica muy útil para el problema que nos atañe.

A nivel de planta, la exclusión salina es uno de esos mecanismos, un buen ejemplo es *Avicennia germinans*, o mangle blanco. Los manglares son plantas que habitan en zonas intermareales, desembocaduras de ríos y en lagos con alta concentración de sales, en zonas tropicales y subtropicales (Flowers y Colmer, 2008). Presentan un “filtrado” en las raíces que les permite evitar la entrada de la

mayoría de las sales, este proceso se encarga de excluir los iones Na^+ a través de las raíces mediante barreras físicas (Krishnamurthy *et al.*, 2014).

Otro de los mecanismos es la eliminación de sales mediante estructuras como glándulas secretoras y pelos vesiculares. Las glándulas secretoras, o glándulas salinas, son un conjunto de células presentes en las hojas encargadas de almacenar el exceso de sal y de su expulsión del organismo. Presentan células colectoras con paredes engrosadas e impermeables para evitar la salida de los líquidos, y varias células excretoras que llevan las sales al exterior mediante poros (Taiz y Zeiger, 2010). Este tipo de mecanismo se encuentra en varias familias de halófitas, como por ejemplo Gramineas (*Spartina*, *Leptochloa* (*Diplachne*)) y Plumbaginaceas (*Limonium*) (Gorham *et al.*, 1985). Los pelos vesiculares almacenan las sales temporalmente y aprovechan las condiciones atmosféricas o algún estímulo externo para desecharlas. La secreción de la sal permite reducir la concentración de sales en el tejido de la planta, lo que facilita un desarrollo normal en un entorno salino (Chen *et al.*, 2018).

La succulencia salina también es otro mecanismo adaptativo de las halófitas, estando más presente en las especies halófitas dicotiledóneas que en las monocotiledóneas. Permite a la planta "acomodar" los iones sin necesidad de glándulas secretoras o pelos vesiculares (Flowers y Colmer, 2008). La succulencia tiene lugar en el tallo o en las hojas, la planta acumula sal en sus vacuolas y eso permite mantener los iones fuera del citoplasma, evitando así su toxicidad. Esto a su vez hace descender el potencial hídrico de la planta, con lo cual se aumenta la absorción de agua que aumenta la succulencia de la planta y ayuda a diluir la concentración de sales. Otro método es la redistribución salina, se da en aquellas plantas donde las sales se acumulan en la periferia de los tallos para no perjudicar al xilema y floema, y/o bien se acumula en hojas viejas, cuando estas caen (abscisión), descargando cantidades importantes de sales, acumuladas en la planta, a través del tiempo (Chen *et al.*, 2018).

A nivel celular, la compartimentación, consiste en el aislamiento y acumulación de elementos tóxicos en zonas donde su presencia no sea dañina para la planta. En el caso de las halófitas, como acumulan gran cantidad de sales, presentan un gran gradiente iónico a través de la membrana citoplasmática y el tonoplasto. Mediante

ese gradiente las células transportan los iones desde el citoplasma a las vacuolas, o al apoplasto. Principalmente hablamos de iones Na^+ , muy tóxicos para la planta, que salen del citoplasma a través de la bomba H^+ -ATP-asa mediante un sistema de transporte del tipo antiporte (Lerner, 1985).

Algunas especies vegetales seleccionan activamente aquellos iones que les resulten más útiles o interesantes para su desarrollo, este mecanismo es denominado selectividad iónica. Algunas halófitas presentan una mayor preferencia de los iones K^+ sobre los iones Na^+ , de los iones Mg^{2+} sobre los Ca^{2+} y de los fosfatos sobre cloruros o nitratos. (Gorham *et al.*, 1985)

El último mecanismo es el ajuste osmótico. Es un proceso mediante el cual las células vegetales disminuyen su potencial hídrico hasta que sea menor que el del sustrato y así facilitar la absorción de agua (Chen *et al.*, 2018). Para conseguir esa disminución del potencial hídrico, la planta aumenta la concentración de los solutos (orgánicos e inorgánicos) presentes en sus células. La finalidad de este proceso es que al facilitarse la entrada de agua, las células aumenten su turgencia y que se produzca una dilución de la concentración salina. (Flowers, 1985) Frente a las glicófitas, las halófitas presentan un nivel basal de osmolitos más alto, lo cual les permite reaccionar de forma más rápida ante una situación de estrés hídrico. Los osmolitos son moléculas orgánicas de un peso molecular bajo, muy solubles y que no resultan tóxicas para la célula en altas concentraciones, son los encargados de proteger las estructuras celulares y mantener la homeóstasis en situaciones de estrés (Nikalje *et al.*, 2018).

1.5 Utilidades de las halófitas

Aunque son plantas que siempre han estado ahí, no ha sido hasta hace relativamente poco tiempo que se ha profundizado en el estudio de las halófitas y se ha ido ampliando el abanico de utilidades que pueden llegar a tener.

1.5.1 Halófitas para consumo humano

El 90% de la alimentación humana depende de solo 30 especies de plantas, siendo el 50% el arroz, el trigo y las patatas. El uso de cultivos halófitos podría ser

una alternativa sostenible para regiones donde el agua dulce es un bien escaso y los suelos están muy dañados por la salinidad ya que las halófitas pueden aprovechar esos suelos degradados, reduce sus contaminantes y los recupera (Panta *et al.*, 2014). Para que el cultivo sea productivo, hay que escoger especies de crecimiento rápido, que toleren bien el estrés y que sean versátiles (Nikalje *et al.*, 2018). Esta práctica agrícola se puede llevar a cabo en zonas degradadas por la salinidad o lugares donde los suelos arenosos estén disponibles para plantación, como desiertos y zonas costeras (Hasanuzzaman *et al.*, 2019).

Actualmente los cultivos halófitos están en auge, ya no solo se consumen en los países donde son el cultivo habitual, si no que se va abriendo un nuevo mercado en otros países donde están siendo vistos como una nueva fuente de alimentación. Son generalmente plantas ricas en proteínas, antioxidantes y nutrientes esenciales (minerales, vitaminas, aminoácidos, etc.). Sin embargo, aún les queda un largo camino para competir con la gran domesticación que han sufrido las plantas glicófitas a lo largo de los siglos (Boscaiu y Vicente, 2013).

Las plantas halófitas han sido parte de la dieta del ser humano desde hace siglos, por ejemplo, la hierba perenne *Distichlis palmeri* era cultivada y consumida por indígenas americanos. Es una especie endémica del Río Colorado, que puede crecer sin problema en condiciones de exceso de agua y salinidad (Glenn y Brown, 1999). El mangle es otra de las especies que se usa para consumo y uso humano, en Colombia sirven como alimento además de ser una fuente de madera, carbón y leña. Al igual que los tallos y las hojas de *Chenopodium album* y *Amaranthus spp.*, cuyas hojas se utilizan en ensaladas o cocinadas como vegetales (Panta *et al.*, 2014).

Actualmente la halófitas que más auge tienen en el mercado europeo es la quinoa (*Chenopodium quinoa*), alimento básico en Sudamérica, pero visto como una comida exótica en Europa. La quinoa tiene unos valores nutricionales mejores que los de los cereales que se consumen de forma tradicional en Europa, sus semillas son ricas en lisina, hierro, magnesio, vitamina E, cobre y fósforo, además de ser apta para celíacos (Panta *et al.*, 2014).

Las hojas de muchas halófitas tienen un sabor parecido a las de las ensaladas tradicionales, por ello las hojas de *Aster tripolium*, *Salicornia bigelovii*, *Batis marítima*, y *Plantago coronopus* se consumen crudas como ensalada o encurtidas. *Atriplex triangularis*, cuenta con unas hojas parecidas a las de las espinacas y se consume de forma regular en Bélgica, Países Bajos y Portugal (Centofanti y Bañuelos, 2019).

Otra gran cualidad de las halófitas es que al menos medio centenar de sus especies tienen semillas con una alta cantidad de proteínas y aceites comestibles (Panta *et al.*, 2014). *Salicornia bigelovii* es la más cultivada para la producción de semillas oleaginosas y biodiesel, ya ha sido probada en zonas del mundo como India, Medio Oriente, México y África.

De la misma forma, otras halófitas podrían ser utilizadas como fuente de aceite, como por ejemplo *Kosteletzkya virginica*, que produce semillas que contienen un 32% de proteínas y un 22% de lípidos, o las semillas de *Suaeda fruticosa*, que pueden usarse como fuente de aceite para consumo humano (Panta *et al.*, 2014).

1.5.2 Halófitas y su aplicación en la fitorremediación

La fitorremediación es el proceso por el cual se reduce la cantidad de sal en un suelo o en una masa de agua mediante el uso de plantas, que además de eliminar las sales, ayudan a rehabilitar el suelo recuperando su cubierta vegetal. Es un proceso de bajo costo, eficaz, no agresivo con el medio ambiente y puede recuperar suelos útiles para la agricultura (Panta *et al.*, 2014).

Normalmente se utilizan halófitas por su capacidad de crecer en suelos salinos y su facultad de captación y acumulación de sales. De hecho ya han sido utilizadas para ello y han mostrado resultados prometedores en la restauración de suelos agrícolas y en la recuperación de aguas residuales (Hasanuzzaman *et al.*, 2019). Se sabe que *Sarcocornia fruticosa* es capaz de eliminar más de 1088,6 kg de sal año y que *Suaeda marítima* y *Sesuvium portulacastrum* también pueden acumular una gran cantidad de sal en sus tejidos (Glenn *et al.*, 2013).

Pero las halófitas no solo son desalinizadoras, también son útiles como fitorremediadoras, es decir, son capaces de tratar los suelos contaminados con

metales pesados. A diferencia de las glicófitas, presentan una gran resistencia a los metales pesados y pueden absorberlos y acumularlos (Hasanuzzaman *et al.*, 2019).

Actualmente la contaminación por metales está en aumento debido al desarrollo industrial. Estos elementos, que son muy tóxicos para los seres vivos, se acumulan en el suelo y pueden pasar por escorrentía o lixiviación al agua (Panta *et al.*, 2014). Las halófitas que son capaces de crecer en estos suelos son recomendadas para la fitorremediación de esas zonas. Sus raíces toman los elementos y los almacenan en las partes superiores de la planta, tras esto pueden ser recogidas y eliminadas para sacar totalmente del medio ese elemento. Se ha comprobado que *Atriplex halimus* puede eliminar 4,15 kg de Cd y 2,2 kg de Zn por hectárea al año y, aunque *Suaeda marítima* no es un gran acumulador, es también capaz de tomar niveles razonables de Cu y Zn del suelo (Panta *et al.*, 2014).

1.5.3 Halófitas como plantas medicinales

Las halófitas también tienen un gran potencial en el campo de la medicina, ya que sintetizan un gran número de compuestos que actúan como osmoprotectores y osmoreguladores, y que les permite adaptarse a condiciones ambientales extremas manteniendo el metabolismo en situaciones de estrés. Entre los metabolitos secundarios que producen, destacan esteroides, alcaloides, flavonoides, fenoles, taninos, carotenoides, aminoácidos, terpenos, cumarinas, y ácidos orgánicos (Nikalje *et al.*, 2018). La gran mayoría de estos metabolitos son esenciales para la salud humana y pueden aplicarse como tratamiento para diversas enfermedades e infecciones, de hecho, han sido utilizadas tradicionalmente en muchas partes del mundo para paliar síntomas y tratar enfermedades.

Por ejemplo, las hojas de *Terminalia catappa* se han usado como tratamiento para dermatitis y hepatitis en India, mostrando mejor actividad antibacteriana que algunos antibacterianos de uso comercial (Panta *et al.*, 2014). Los extractos de algunas especies de manglares presentan propiedades anticancerígenas, antihistamínicas, antimicóticas, antiinflamatorias y antioxidantes. Las halófitas como *Haloxylon stocksii*, *Xylocarpus moluccensis* y *Portulaca oleracea*, han sido utilizadas para tratar trastornos digestivos, como el dolor de estómago, las úlceras, los vómitos, etc. Las especies *Solanum surattense*, *Capparis decidua* y *Aerva javanica*

se utilizan para aliviar trastornos respiratorios leves, al igual que *Fagonia indica*, *Heliotropium strigosum* y *Suaeda monoica* se aplican para el tratamiento de heridas y lesiones cutáneas (Hasanuzzaman *et al.*, 2019).

1.5.4 Halófitas como combustibles

Debido a la creciente demanda de combustibles se prevé que las reservas mundiales de petróleo estarán sustancialmente agotadas a mediados de este siglo y las reservas de carbón pueden acabarse en los próximos 100 años. Una alternativa sostenible es la producción de biocombustibles a partir de fuentes vegetales, el uso de este tipo de combustibles renovables es visto como una posible solución para la reducción de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático. Las halófitas pueden llegar a ser una gran fuente de biocombustibles, como el bioetanol, el biodiesel o la leña (Panta *et al.*, 2014). Lo ideal es conseguir que se llegue a una producción de biocombustible sostenible que no compita con la industria agrícola destinada a la alimentación, en este caso, las halófitas representan una gran ventaja, puesto que pueden ser plantadas en zonas no útiles para cultivos de glicófitas, como terrenos marginales contaminados, zonas cercanas a la costa o incluso desiertos, y ser regadas con agua salobre o salina, inútil para la agricultura de glicófitas (Hasanuzzaman *et al.*, 2019).

Actualmente ya se han probado varias especies halófitas para la producción a gran escala de biocombustibles y se han obtenido resultados prometedores. En la zona costera de China, se evaluaron distintas halófitas (*Tamarix chinensis*, *Phragmites australis*, *Miscanthus spp.* y *Spartina alterniflora*, entre otras) para ver su capacidad de producción de bioetanol (Nikalje *et al.*, 2018). Las especies del género *Tamarix* son halófitas perennes capaces de sobrevivir en condiciones de extrema salinidad, sequía, e incluso bajo inundaciones, y pueden producir una mayor cantidad de biomasa que los arbustos convencionales. A partir de las plantas de *Salicornia* se producen hasta 950 L de biodiesel por hectárea (Panta *et al.*, 2014), además, el aceite de sus semillas tiene cualidades que le permiten ser utilizado como componente de recubrimientos plásticos, productos farmacéuticos, cosméticos, detergentes, plaguicidas orgánicos, pinturas, barnices, etc. (Hasanuzzaman *et al.*, 2019).

1.5.5 Halófitas para forraje y alimentación de ganado

Hay una gran demanda de ganado, carnes y lácteos en todo el mundo, pero la disponibilidad de un buen forraje es limitada (Khan *et al.*, 2009). Se hace evidente la necesidad de encontrar una alternativa, y el forraje de halófitas puede llegar a ser un sustituto crucial. Los granjeros de zonas afectadas por la sal hacen frente a una gran escasez de alimentos, forrajes y piensos, sin embargo, si estas áreas fueran utilizadas para desarrollar pastizales con plantas halófitas, se podrían conseguir buenos rendimientos económicos (Ashraf *et al.*, 2006)

Para conseguir una agricultura de forraje eficiente hay que tener en cuenta la producción, la ingesta del ganado y el valor nutricional (Norman *et al.*, 2013). También hay que tener en cuenta la sensibilidad del ganado a según qué especies de halófitas, como por ejemplo las semillas de *Salicornia bigelovii*, que por su alto contenido en saponina no se puede suministrar en aves (Glenn *et al.*, 2013). Dado que el contenido en sales de las halófitas es elevado, se utilizan de forma complementaria junto con el forraje habitual. Las halófitas más productivas usadas como forraje son especies arbustivas de *Salicornia*, *Suaeda* y *Atriplex* (Hasanuzzaman *et al.*, 2019).

La halófitas para forraje mejor estudiada es *Atriplex* spp, ampliamente utilizada para el ganado ovino. De todas las especies de este género, *A. lentiformis* es la que más destaca de uso para forraje puesto que tiene un nivel nutricional muy parecido a la alfalfa y es capaz de tolerar altas salinidades y sequías (Glenn *et al.*, 2013). Algunas halófitas, como *Pennisetum clandestinum*, contienen propiedades anti-metanogénicas, con lo cual es una buena alternativa para reducir la emisión de metano que se produce en la industria ganadera (Panta *et al.*, 2014).

Aunque todavía queda mucho por avanzar para extender el uso de las halófitas, actualmente ya son utilizadas como forraje para reducir la carga de consumo que produce el ganado. Por ejemplo, en Argentina y Australia se utiliza el género *Atriplex*, en Irán *Haloxylon* y *Kochia*, y en Estados Unidos *Spartina alterniflora* y *Salicornia bigelovii* ya se usan ampliamente como sustitutos del forraje tradicional. (Nikalje *et al.*, 2018). En Egipto, *Leptochloa fusca*, *Spartina patens* y *Sporobolus virginicus* son usadas como forraje para ganado, el mismo uso que se les da en las

regiones costeras de India a los manglares y a especies como *Terminalia catappa* y *Brachiaria mutica* (Panta *et al.*, 2014).

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de esta revisión bibliográfica consiste en revisar y analizar la información publicada en los últimos años sobre las diferentes especies que hoy en día se pueden utilizar en agricultura biosalina. Esta agricultura puede ser muy útil como complemento para aliviar la presión que el cambio climático y el estrés están produciendo actualmente en los cultivos agrícolas. Debido a la amplia información obtenida, se han seleccionado 10 especies y géneros en función de su aplicación práctica y su potencial para su cultivo en suelos salinos.

2.1 Objetivos específicos

- Conocer las posibles utilidades de las halófitas y sus beneficios
- Averiguar qué halófitas tienen aplicación para agricultura biosalina
- Seleccionar aquellas especies que actualmente se encuentren extendidas y que pueden ser cultivadas en zonas secas y áridas donde una agricultura convencional es más dificultosa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para encontrar la documentación con la que llevar acabo esta revisión bibliografía se han utilizado varias páginas webs de ámbito científico, bases de datos, libros y artículos, todos ellos relacionados con las halofitas y sus usos.

La selección de artículos y textos se hizo a través de portales de búsqueda, aplicando los correspondientes filtros para encontrar los textos de la temática deseada con la máxima precisión. Entre esos portales destacan:

- **Web of Science:** es una base de datos a la que se puede acceder a través de la Universidad de Jaén. Su contenido es multidisciplinar y de alto nivel académico.
- **Google Académico:** es un buscador que te permite acceder a una gran cantidad de documentos académicos (tesis, citas, artículos, etc.), además de libros y resúmenes de numerosas fuentes, disciplinas y ámbitos.
- **Scopus y SpringerLink:** son dos plataformas que contienen numerosas bases de datos con buen contenido en libros, artículos, revistas, referencias, protocolos, etc.

En estos buscadores se han introducido las palabras clave como: “Halophytes plants”, “Edible halophytes”, “Biosaline agriculture”, “Halophytes mechanisms”, “Halophytes forage”, “Halophytes fodder”, etc.

También se ha consultado **eHALOP**, una base de datos que sirve para buscar información acerca de las aplicaciones de las halófitas en fitorremediación, restauración ecológica, rehabilitación de suelos degradados y agricultura biosalina. URL: <http://www.sussex.ac.uk/affiliates/halophytes>

Una vez seleccionadas las especies que consideramos apropiadas para ser utilizadas en agricultura biosalina, buscamos sus nombres en los buscadores para obtener una información más detallada sobre sus características, propiedades y requisitos. De nuevo, al utilizar los buscadores, se usan filtros para minimizar la densidad de la búsqueda y conseguir los artículos más adecuados para el trabajo. Además de los filtros de palabras específicas, acotamos la búsqueda en artículos que se hubieran escrito en los últimos 20 años.

4. RESULTADOS

4.1 Género *Atriplex*

El género *Atriplex* pertenece a la subfamilia de las quenopodiáceas actualmente incluidas en la familia Amaranthaceae, son hierbas o arbustos pequeños que pueden

soportar condiciones ambientales extremas de temperatura, salinidad y escasez de lluvia. Se distribuyen en casi todo el globo, Europa, Asia, América del Norte y del Sur, y Australia. Se consume desde hace siglos como alimento o forraje, aunque también tiene aplicaciones estéticas o con acción fitorremediadora (Arif et al 1994).

-Artículo: “Halophytes of the Mediterranean Basin—Under utilized Species with the Potential to Be Nutritious Crops in the Scenario of the Climate Change” responsables de la publicación A. Agudelo, M. Carvajal y M.C. Martínez-Ballesta (2021): En este artículo evaluaron las propiedades nutricionales de varias halófitas mediterráneas, entre ellas *Atriplex halimus*. Para ello las plantas se cultivaron a diferentes concentraciones de NaCl (0, 100, 200 y 300 mM), posteriormente se analizó su crecimiento y contenido en proteínas, lípidos, polifenoles y elementos minerales.

Atriplex halimus mostró crecimiento con los diferentes tratamientos salinos, de hecho no se vieron efectos negativos en su crecimiento hasta que se alcanzaron los 400 mM NaCl. Esta planta es capaz de seguir creciendo a altas concentraciones de NaCl, y aunque la tasa de crecimiento de las hojas puede disminuir conforme aumenta la concentración, las raíces y tallo siguen creciendo hasta los 800 mM. En condiciones de estrés salino, 400 mM, se encontraron niveles altos de K, Ca, Mg, P y S, y un aumento de flavonoides y fenoles. A partir de esta concentración los antioxidantes decaen porque se ven afectados por la salinidad.

La mayor preocupación a la hora de consumir halófitas es el contenido en sal en las partes comestibles, en el caso de *Atriplex halimus* (acumulador de sal), parte es excretada mediante los pelos vesiculares que hay en la superficie de sus hojas, por lo que consumiendo 100 g de sus hojas, consumiríamos poco más de 1 gramo de NaCl. Teniendo en cuenta que esa cantidad no está por encima de lo recomendado para consumo diario, se puede considera óptima para ser un cultivo a gran escala que permita recuperar suelos degradados y salinizados.

-Artículo: “Functional Food from Endangered Ecosystems: *Atriplex portulacoides* as a Case Study” responsables de la publicación L. Zanella, y F. Vianello, (2020): Este artículo es una revisión bibliográfica sobre la composición y productividad de

Atriplex portulacoides, con el fin de ver su capacidad como posible cultivo para consumo y para forraje.

Atriplex portulacoides vive en hábitats que sufren inundaciones de agua del mar de forma frecuente, es un arbusto halófilo perenne, que se distribuye por las costas europeas y el norte de África, con alguna presencia en Asia y América del norte. Actualmente se consume cruda en ensalada, cocida o como encurtido. Tiene una buena proporción de proteínas, esteroides, fenoles, carotenoides y lípidos, entre los cuales están los ácidos grasos insaturados oleico y linoleico. También es una gran fuente de minerales como el Ca, Fe, Zn, Cu, Co y Mn. Esta planta tiene un gran número de metabolitos secundarios, con lo cual también es interesante para la industria farmacéutica. Tiene propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antihipertensivas y antitrombóticas, además de prevenir enfermedades cardiovasculares y procesos degenerativos

Atriplex portulacoides también se puede usar como forraje, aunque su contenido en ceniza, metabolitos secundarios no deseados y sales puede causar reticencia a la hora de su implementación a mayor escala. En comparación con la alfalfa, tiene parámetros de producción similares, pero menor cantidad de proteínas. Aun así, su proporción proteica es mayor que el mínimo requerido para el mantenimiento de peso del ganado ovino y bovino. *Atriplex portulacoides* es rico en elementos en los cuales otros forrajes son deficientes, por lo que si se usa de forma complementaria puede servir como un suplemento muy interesante.

Su buena productividad en ambientes tanto salinos como no salinos lo convierte en un cultivo que puede despertar un gran interés económico. Es una alternativa sostenible con una gran adaptabilidad a cambios climáticos que puede ayudar a diversificar la agricultura, tanto la orientada a consumo humano como la orientada a forrajes. Su plantación a gran escala puede suponer una oportunidad para desarrollar la economía en áreas áridas o zonas cuyo único recurso de riego es el agua salada.

4.2 *Chenopodium quinoa*

Chenopodium quinoa es un pseudocereal de la familia de las Amaranthaceae, se ha cultivado durante siglos en la región andina y actualmente su expansión está en pleno auge, sus principales productores son Bolivia, Perú, Estados Unidos, Ecuador y Canadá, y su cultivo se está expandiendo por Europa, África, India y Brasil. Es una halófito con una gran calidad nutricional que tiene una gran capacidad de adaptación a climas extremos, lo cual la hace ideal como cultivo para recuperar suelos en zonas con esas condiciones ambientales. Puede sobrevivir en una gran oscilación de temperaturas, salinidad y humedad relativa, con lo cual es un posible candidato como plantación agrícola en zonas donde la agricultura glicófita no es posible por las condiciones edáficas y ambientales: suelos salinos, zonas áridas y semiáridas, alta montaña, suelos litorales, etc (Boscaiu and Vicente, 2013).

-Artículo: “Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security” responsable de la publicación FAO (2011): La quínoa es un grano con muchas características interesantes que hacen que tenga un gran potencial como cultivo a gran escala, destacan son su amplia variabilidad genética, su adaptabilidad a diversas condiciones climáticas, su gran calidad nutricional y su bajo coste de producción. *Chenopodium quinoa* puede adaptarse a muchas zonas geográficas pertenecientes a diferentes climas, desde zonas desérticas salinizadas a zonas húmedas, incluso a climas fríos, puede desarrollarse bajo una humedad relativa que oscile entre el 40% y el 88%, soporta temperaturas que van desde los -4°C a los 38°C y crece de forma productiva bajo escasez de nutrientes y agua.

En cuanto a su composición, la quínoa es un alimento muy completo nutricionalmente hablando. Es una gran fuente de proteínas de alta calidad, entre el 16% y el 20% del peso de la semilla son proteínas, que además contienen un gran número de aminoácidos esenciales, que se pueden aportar con la dieta. El aceite obtenido de sus semillas es rico en ácidos grasos insaturados, entre los que destacan el linoléico ($\approx 50\%$) y el oléico ($\approx 26\%$). Los carbohidratos presentes en la quínoa contienen entre un 58% y un 68% de almidón y un 5% de azúcares, por lo que es una buena fuente de energía de liberación lenta por ese gran contenido en fibra. En cuanto a los minerales y las vitaminas, destaca la presencia de Ca, Fe, el K, Mg, P, Zn, Mn y pequeñas cantidades de Cu y Li por parte de los minerales, y de vitamina A, E y B1 por parte de las vitaminas. Todos estos componentes le otorgan

capacidades muy interesantes: puede mejorar la función inmunológica, prevenir enfermedades cardiovasculares, evitar el daño hepático, regular el colesterol, mejorar la función motora y regular la flora intestinal. Además, también tiene propiedades antiproliferativas, antioxidantes, antidepresivas, ansiolíticas y antiinflamatorias.

Chenopodium quinoa se usa en medicina popular desde hace siglos y se consume de muchas formas a lo largo del mundo, en sopas, postres, bebidas, refrescos, cereales, papillas, etc. También se usa en repostería para hacer dulces, con la gran ventaja de que no contiene gluten, con lo cual su harina es apta para celíacos, lo que abriría otra gran posibilidad de mercado si se decidiese a cultivarla a gran escala. También puede ser aprovechada por la industria química, cosmética y farmacéutica gracias a su gran variedad de metabolitos secundarios entre los que destacan las saponinas. El contenido en saponinas de la quínoa oscila entre un 0,1 y un 5%, este compuesto le da un sabor amargo al grano pero se puede eliminar cociéndolo, sin embargo es de gran interés para la industria ya que tiene propiedades antibióticas, antifúngicas y debido a su toxicidad a gran escala, también puede ser usado como insecticida.

4.3 *Crithmum maritimum*

Crithmum maritimum es una halófito perenne que ha sido consumida durante siglos, aún se recoge de forma manual en las marismas saladas y en las costas rocosas de Europa. Comúnmente se le conoce como hinojo marino, y es una planta de unos 60 centímetros con varias ramas y hojas suculentas. Su semilla tiene una alta capacidad de flotación y el aceite producido con ella contiene un alto contenido en ácidos grasos monoinsaturados (Renna, 2018).

-Artículo: “Practical Uses of Halophytic Plants as Sources of Food and Fodder” responsables de la publicación T. Centofanti y G. Bañuelos. (2019): Esta halófito es rica en minerales, vitamina C y aceites esenciales. Sus hojas se consumen frescas en ensaladas o encurtidas como complemento, incluso su inflorescencia se usa como adorno ornamental. Sin embargo, este autor comenta que el hecho de que su

germinación se inhiba significativamente cuando las concentraciones de NaCl son mayores de 50mM, puede llegar a ser un obstáculo para su cultivo a gran escala.

- Artículo: “Edible halophytes of the Mediterranean basin: Potential candidates for novel food products” responsables de la publicación S.A. Petropoulos, A. Karkanis, N. Martins y I.C.F.R. Ferreira. (2018): Según este autor, las hojas de *Crithmum maritimum* pueden ser consumidas frescas, encurtidas o deshidratadas, y tanto sus flores como sus tallos se pueden utilizar para infusiones. La gran capacidad antioxidante de su extracto puede llegar a ser un gran reclamo para la producción de bebidas beneficiosas y saludables. Esta especie tiene una gran variedad de constituyentes químicos, compuestos antimicrobianos y biomoléculas, lo que la convierte en una potencial fuente de recursos para la industria farmacéutica. De forma tradicional se usa como diurético, depurativo, antiescorbútico, antiinflamatorio y digestivo.

-Artículo: “Reviewing the Prospects of Sea Fennel (*Crithmum maritimum* L.) as Emerging Vegetable Crop” responsable de la publicación M. Renna. (2018): En la zona mediterránea de Europa se consume de forma tradicional, tanto como para remedios caseros como para alimentación (sopas, ensaladas, pastas, etc.), y también se usa para enaltecer platos como colorante, aromatizante o saborizante. El aceite de sus semillas es similar en composición al aceite de canola y de oliva, tiene altas concentraciones de ácidos grasos omega-3 y omega-6, beneficiosos contra enfermedades coronarias. También puede ser utilizado como insecticida contra algunas especies de insectos.

4.4 *Diplotaxis tenuifolia*

Diplotaxis tenuifolia es una herbácea perenne que pertenece a la familia Brassicaceae, conocida comúnmente como rúcula. Es originaria del mediterráneo y Asia occidental, aunque actualmente es considerada cosmopolita, su amplia distribución se debe a su capacidad adaptativa, su gran competitividad y su facilidad de propagación. También es capaz de crecer en suelos duros y calcáreos, de hecho puede crecer de forma natural en zonas costeras por debajo de los 400 metros. Su relevancia como alimento se ha visto fomentada durante los últimos años, y ya se

cultiva tanto en espacios abiertos como en invernaderos, principalmente en Italia. Pero a pesar de ser consumida tan ampliamente, hay zonas del mundo, como Australia, América del sur y Estados Unidos, en las que es considerada una especie invasora por su capacidad de desplazar otras especies mediante sustancias alelopáticas, compuestos procedentes del metabolismo secundario (terpenos, fenoles y alcaloides) de las plantas que puede inhibir el crecimiento de otras plantas (Nicoletti *et al.*, 2007).

-Artículo: “*Diplotaxis tenuifolia*: Biology, production and properties.” Responsables de la publicación R. Nicoletti, F. Raimo y G. Miccio (2007): El consumo de esta planta como verdura se conoce desde el siglo XIX, es utilizada como alimento y como recurso de la medicina tradicional, donde incluso hoy en día se recomienda para problemas de estómago. Actualmente es muy común usarla para ensalada, guarniciones e incluso sopas.

Su cultivo se ve favorecido por el hecho de que sea una planta perenne, y se puede llevar a cabo en campo abierto o en invernadero, incluso como cultivo hidropónico. En Italia se planta en sistemas flotantes, lo que permite reducir la presencia de patógenos y enfermedades, dejando a la planta prácticamente lista para su envasado sin mucha manipulación. Después de su cosecha debe ser envasada rápidamente, ya que una vez arrancada se activan sistemas de senescencia que conllevan a la pérdida de propiedades nutricionales y la reducción de su vida útil. El contenido de nutrientes de *D. tenuifolia* es similar al de otras hojas para ensaladas, pero su contenido en fibra es mayor. Sus hojas presentan altos niveles de glucosinolatos, metabolitos secundarios que la planta usa para protegerse, calcio, hierro, potasio y algunas vitaminas como la A y la C. Todos los tejidos de *Diplotaxis tenuifolia*, salvo las raíces, contienen flavonoides, cuya función biológica está relacionada con la resistencia a patógenos y plagas, de hecho los flavonoides junto con la vitamina C son los principales proveedores de la actividad antioxidante de esta planta, lo que le confiere propiedades anticancerígenas y preventivas de enfermedades cardiovasculares.

El aceite extraído de sus semillas tiene un rendimiento del 36%, y aunque su contenido en ácido erúrico no lo hace apto para consumo humano, si se le puede dar utilidad como lubricante para industrias o como componente para jabones.

Teniendo en cuenta los compuestos extraídos de sus hojas (alcaloides, carotenoides, fenoles, esteroides, glucosinolatos y ácidos grasos), esta planta también podría servir a la industria farmacéutica como fuente de recursos para sus productos.

-Artículo: “Developing and testing new halophyte crops: A case study of salt tolerance of two species of the Brassicaceae, *Diplotaxis tenuifolia* and *Cochlearia officinalis*” responsables de la publicación A.C. Vos *et al.* (2013): Este estudio determinó la respuesta de dos brassicáceas, *D. tenuifolia* y *C. officinalis* frente a un aumento de la salinidad. Para ello analizaron sus tasas de crecimiento relativo (TCR), sus componentes y su composición mineral en condiciones de salinidad crecientes hasta llegar por encima de los 200 mM NaCl.

En el caso de *Diplotaxis tenuifolia*, a pesar de ser una especie ampliamente cultivada, no se han llevado a cabo muchos estudios que comprueben su tolerancia a altas concentraciones salinas, pero teniendo en cuenta que es capaz de crecer en zonas de costa, está claro que será capaz de tolerar la sal en según qué concentración.

El resultado para *Diplotaxis tenuifolia* en condiciones de máxima salinidad fue una reducción del crecimiento, además de cambios morfológicos y aumento de succulencia en las hojas, pero sin síntomas de toxicidad. Teniendo en cuenta que la planta sobrevivió a esas condiciones, aunque con cambios, se la puede considerar halófita con potencial en el cultivo de agricultura biosalina.

4.5 *Distichlis palmeri*

Distichlis palmeri es una halófita perenne endémica y dominante del delta del río Colorado, donde forma parches que cubre varias hectáreas a lo largo de la orilla del río. Su grano es apto para consumo humano y ya era consumido, en forma de harina o como espesante, por los nativos de la tribu Cucapá, que vivían a lo largo del río Colorado (Bresdin y Glenn, 2016). Es una planta que funciona bien en suelos inundados en condiciones hipersalinas, su producción es de 1,25 t/ha de grano (Panta *et al.*, 2014).

- Artículo: “*Distichlis Palmeri*: Perennial Grain Yields under Saline Paddy-Style Cultivation of Grains on Seawater” responsables de la publicación C. Bresdin y E. P. Glenn. (2016): *Distichlis palmeri* es una halófito extremadamente tolerante a la sal, es capaz de crecer de forma natural en aguas saladas cuya salinidad oscila entre los 28 y 42 g/mL. Su grano se usaba como cereal principal en la dieta de los Cucapá y nutricionalmente es muy parecido al grano de arroz. Se especula que necesita varios años de crecimiento vegetativo antes de poder llegar a su máximo potencial reproductivo, dado que los primeros intentos de cultivos no han sido demasiado fructíferos en comparación con la producción que tiene en la naturaleza.

-Artículo: “Nipa (*Distichlis palmeri*): A perennial grain crop for saltwater irrigation.” Responsables de la publicación S. Pearlstein *et al.* (2012): Los granos de esta halófito están constituidos aproximadamente por un 8% de proteínas, un 80% de carbohidratos digeribles (de los cuales el 8% son azúcares) y un 10% de fibra. Esta composición nutricional hace que el grano de *Distichlis palmeri* se parezca mucho a los granos de cultivos convencionales como el trigo y el arroz. El hecho de que pueda crecer en suelos muy encharcados es uno de los factores más interesantes para tener en cuenta su producción como cultivo, ya que actualmente muchos deltas sufren graves problemas de salinización, debido en parte a la subida en el nivel del mar. Con lo cual esta planta aprovecharía esos suelos hipersalinizados donde por ejemplo el arroz no puede ser plantado, o zonas donde el único regadío disponible es el agua salobre.

-Artículo: “Characterization of the proteins and flour of *Distichlis palmeri* (Vasey) grain and *Distichlis spp.* fiber.” responsable de la publicación S.B. Yensen (1995): Este autor comenta que debido al alto consumo de cereales en el mundo y a su importancia en las dietas, *Distichlis palmeri* es un gran candidato para ser cultivado a gran escala, además de que abre la posibilidad de recuperar suelos que no están produciendo por condiciones de hipersalinidad. Su desarrollo no competiría con ningún otro cultivo de grano, y permitiría ayudar a los países en vías de desarrollo donde el agua dulce es un bien escaso y preciado. Su composición es muy parecida a la de los cereales convencionales y no tiene gluten, además su alto contenido en fibra puede ser muy útil para dietas como la americana, que generalmente es baja en fibra. En su grano no cuenta con inhibidores de tripsina, por lo que no presenta

efectos adversos en cuanto a la digestión de las proteínas. Además de para consumo humano, también tiene grandes cualidades para usarse como forraje y pienso para animales, ya que tiene muy baja concentración de sodio, lignina y grasas, y muy buen contenido en fibra detergente ácida, por lo que es una fibra de fácil digestión. Tanto el contenido en minerales, como el calcio, magnesio, zinc y cobre, como su rendimiento y biomasa son muy similares a los de la alfalfa, que se usa como forraje habitual. Las ganancias de peso del ganado son equivalentes a las que se obtienen cuando se alimenta a los animales con el forraje convencional y la palatabilidad de sus productos cuando son alimentados con *Distichlis palmeri* es buena también, tanto de lácteos como de carnes de ganado bovino, ovino, cunícola (cría de conejos), avícola y equino.

4.6 *Mesembryanthemum crystallinum*

Mesembryanthemum crystallinum es una halófita suculenta anual que pertenece a la familia Aizoaceae. Es originaria del desierto de Namibia, localizado en el suroeste africano, aunque ya se distribuye por el sur de Europa y parte de Asia. Tiene una buena tolerancia a la salinidad y a la sequía, comúnmente se la conoce como “anémona de tierra”, “hierba de plata”, “escarchada”, etc. Actualmente se ha conseguido su plantación en invernaderos y plantaciones con luz artificial. (Burana *et al.*, 2020)

-Artículo: “Halophyte Common Ice Plants: A Future Solution to Arable Land Salinization” responsables de la publicación D. Loconsole, B. Murillo-Amador, G. Cristiano y B. De Lucia (2019): Como la mayoría de las halofitas, *Mesembryanthemum crystallinum* se desarrolla mejor en un ambiente salino, una concentración de NaCl de entre 50 y 250 Mm estimula su crecimiento y producción, siendo capaz de tolerar hasta 300 mM sin síntomas de toxicidad y pudiendo sobrevivir hasta los 800 mM. Además de resistencia a la salinidad, también está muy bien adaptada a la sequía, de hecho produce mejor si habita en zonas con poca agua.

Tiene una gran variabilidad de antioxidantes y compuestos fenólicos, entre los que destacan taninos y catequinas, también puede almacenar minerales como Ca,

Mg y Zn. Su metabolito más interesante es el d-pinitol, que tiene capacidad antidiabética y ayuda contra el deterioro de la memoria, su presencia en la planta se produce como respuesta a las condiciones ambientales extremas. Debido a esto, *Mesembryanthemum crystallinum* puede resultar de interés como productor de compuestos para la industria farmacéutica. También puede ser utilizada como fitorremediadora, ya que puede sobrevivir en zonas contaminadas y es capaz de captar tanto la sal como determinados metales del suelo, entre los que destaca el Cd.

Como alimento se consume para ensaladas y zumos, principalmente en India, California, Australia, Nueva Zelanda, Alemania y Países Bajos. Su utilización más acentuable se da en la medicina popular, donde destaca su uso como remedio contra las infecciones oculares y de garganta. También se ha usado como tratamiento para el cáncer, enfermedades fúngicas y bacterianas, y trastornos como la diabetes y la obesidad, incluso como medicamento antiinflamatorio y como calmante para picaduras de arañas y garrapatas.

Teniendo en cuenta como la demanda de alimentos, la escasez de agua y la salinización del suelo aumentan, los cultivos que puedan soportar estas condiciones son de vital importancia para el futuro de muchas poblaciones. *Mesembryanthemum crystallinum* cumple esos requisitos, con lo que puede ser un gran aliado para una agricultura biosalina sostenible.

4.7 *Pennisetum glaucum*

Pennisetum glaucum, comúnmente conocido como “mijo perla”, es una planta anual de crecimiento rápido, perteneciente a la familia de las Poaceae. Es capaz de crecer y producir en condiciones extremas de salinidad, temperatura, nutrientes y fertilidad. Es una buena fuente de carbohidratos y antioxidantes, y puede rivalizar nutricionalmente con cultivos de cereal tradicionales como el arroz, la avena o el trigo. Se cultiva principalmente en las zonas áridas y semiáridas de África e India, donde es una parte fundamental de la dieta (Jukanti *et al.*, 2016).

-Artículo: “Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: food security, processing, health benefits and nutritional products” responsables de la publicación A.M. Dias-Martins *et al.* (2018): *Pennisetum glaucum* tienen una composición en fibra, minerales, proteínas y antioxidantes a niveles similares o incluso superiores a los que hay en los granos de arroz. Su composición nutricional es de 72.2% de carbohidratos, 11.8% de proteínas, 6.4% de lípidos, 7.8 % de fibra y un 1.8% de minerales, aunque todo puede variar según las condiciones climáticas en las que se desarrolle la planta. En su mayoría, los carbohidratos son almidón, y en los lípidos, el ácido graso principal es el linoleico. En cuanto a los aminoácidos, tiene altos niveles de ácido glutámico, leucina e isoleucina, pero bajos de metionina. Esto suplementaría bien la dieta de un adulto pero no cumpliría los requisitos nutricionales para la edad infantil por la cantidad de aminoácidos esenciales. También tiene cantidades considerables de fósforo, potasio y magnesio, al contrario que de minerales como el calcio, el hierro y el zinc, de los que hay una menor concentración. Debido a esa baja concentración de hierro y zinc, se ha comenzado a promover la biofortificación (técnica de mejoramiento genético convencional (fitomejoramiento) para incrementar los niveles nutricionales de los cultivos, tales como proteínas, minerales y vitaminas) del mijo perla para conseguir que sea un alimento más completo de cara a cubrir las deficiencias nutricionales en los países donde se consume principalmente este cereal.

Es una buena fuente de compuestos fenólicos y antioxidantes naturales, presenta propiedades antiinflamatorias, antihipertensivas y anticancerígenas, e incluso el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Tampoco tiene gluten, así que es una buena alternativa para celíacos o personas sensibles al gluten.

También tiene factores antinutricionales, como el ácido fítico y los flavonoides, ambos con acción quelante sobre varios minerales imprescindibles para la nutrición, por lo que su consumo puede llevar a un descenso de la absorción de minerales como el zinc, el calcio o el hierro. El ácido fítico también afecta a la digestión de las proteínas al inhibir las proteasas del tracto digestivo. Sin embargo, estos factores antinutricionales pueden ser reducidos e incluso eliminados mediante procesos tan sencillos como la cocción, el tostado o la fermentación.

A diferencia del resto de cereales, el mijo perla es capaz de resistir condiciones extremas sin ningún tipo de problema, lo cual lo hace un candidato ideal como cultivo biosalino en zonas donde esas condiciones son las habituales. El mayor impedimento que *Pennisetum glaucum* ha encontrado para ser considerado un cultivo apropiado para la agricultura a gran escala es su “bajo” rendimiento, el mijo perla produce 0.8 t/ha, a diferencia de otros cultivos como el maíz, el arroz o el trigo, que superan las 2 t/ha. Sin embargo, esta baja producción se podría mejorar si se aumentara la inversión en investigación para optimizar el cultivo mediante la ingeniería genética, como se hace con el resto de los cultivos.

En África e India los granos de *Pennisetum glaucum* se usan como papillas, panes, cuscús, dulces y bebidas alcohólicas y no alcohólicas. La harina de este cereal tiene potencial para usarse en todo el mundo para preparaciones o como sustituto de la harina de trigo. En Brasil de momento solo se usa como forraje o como pienso para animales.

4.8 Género *Salicornia* y Género *Sarcocornia*

El género *Salicornia* es un grupo de plantas euhalófitas anuales, mientras que las especies del género *Sarcocornia* son halófitas perennes, ambos géneros pertenecen a la familia Amaranthaceae. Tienen una morfología muy parecida y crecen de forma rápida en los ambientes salinos costeros y de interior de América del Norte, América del Sur, Asia, África y Europa. Presentan un rango de tolerancia de la salinidad variable según qué especie y en qué condiciones climatológicas se desarrolla. Comúnmente se les llama “esparrago de mar”, y se consume desde hace muchos años como alimento y como remedio popular, gracias a su gran cantidad de compuestos bioactivos. En los mercados europeos y norteamericanos cada vez es más común ver estas plantas, pero aun así su cultivo no está tan extendida como debería, ya que puede ser un gran cultivo de agricultura biosalina debido a sus características y propiedades (Lopes *et al.*, 2020), (Barreira *et al.*, 2015).

-Artículo: “Glassworts: From Wild Salt Marsh Species to Sustainable Edible Crops” responsables de la publicación D. Loconsole, G. Cristiano y B. De Lucia (2019): Ambas especies crecen en marismas arenosas o fangosas, que son

cubiertas por el agua a diario. Según la especie y el género, las plantas muestran una mayor o menor tolerancia salina. Se ha demostrado que *Sarcocornia fruticosa* es la que presenta una mayor tolerancia y un mejor desarrollo bajo una gran salinidad, 510 mM NaCl, seguida de *Salicornia brachiata* y *Salicornia persica* que pueden tolerar una salinidad de 200 mM. Mientras que las especies de *Salicornia europea*, *Salicornia bigelovii* y *Salicornia herbacea* pueden soportar una salinidad que oscile entre los 170 mM y los 340 mM de NaCl.

Ambos géneros presentan grandes cantidades de proteínas, vitaminas y minerales, y debido a su carácter halófito producen metabolitos antioxidante, ideales para la dieta humana. Las semillas de *Salicornia* están compuestas principalmente de ácido linoleico (75.6 %) y oleico (13%), y otros ácidos como el palmítico y el esteárico.

Las hojas tiernas y los brotes son los que se destinan a alimentación, se consumen como ensaladas o sopas, o como acompañamiento al pescado. También se usan como forraje para ganado, como es el caso de *Salicornia brachiata* que se le da al ganado bovino, ovino y caprino.

Actualmente se cultivan en campo abierto, bajo invernadero o incluso hidropónico. El mayor problema a la hora de cultivar especies no domesticadas es que tienen caracteres propios de su evolución que no tienen interés y que carece de otros que los cultivos ya domesticados si tienen.

-Artículo: “*Salicornia*: evaluating the halophytic extremophile as a food and a pharmaceutical candidate” responsable de la publicación S. Patel (2016): Este género tiene un buen contenido en fibra, proteínas, flavonoides, lípidos, minerales (Mg, Ca, Fe, K), compuestos fenólicos, esteroides, aceites, saponinas, alcaloides y taninos.

Salicornia herbacea ha demostrado ser una de las más prometedoras debido a sus propiedades y composición. De su extracto se han encontrado moléculas con actividad inmunomoduladora, anticancerígena, antioxidante, antibacteriana, antiinflamatoria, oseoprotectora y hepatoprotectora, y el aceite de sus semillas es

muy estable frente a la oxidación y podría ser usado para el procesamiento de alimentos.

El extracto de *Salicornia ramosissima* presentaba ácidos grasos esterificados y libres, alcohol graso, esteroides y derivados de aminoácidos. Y en el caso de *Salicornia brachiata*, es rica en aminoácidos azufrados y ácidos grasos poliinsaturados, además de tener selenio, un micronutriente esencial para el desarrollo del sistema inmunológico.

Debido a su sabor salado, se usa como ingrediente para ensaladas, sopas o como encurtido. Sus hojas se consumen cuando son tiernas y verdes ya que cuando madura y su color se torna rojizo, se vuelven muy saladas y contienen demasiado sílice para comerse, ya que el sílice endurece los tejidos. En algunas zonas de Asia se usa como estimulante de la fermentación en la fabricación de vinos y vinagres. También podría ser un sustituto de la sal de mesa, dado que el polvo resultante de su triturado puede usarse como sazonador. Debido a sus propiedades y a los compuestos que se pueden extraer de este género, puede servir como fuente de recursos para la industria farmacéutica y cosmética. Actualmente algunas especies se cultivan para la fabricación de biodiesel o piensos, como es el caso de *Salicornia bigelovii*, cuyas semillas son una gran materia prima para la fabricación de biodiesel ya que son ricas en aceites.

4.9 *Sesuvium portulacastrum*

Sesuvium portulacastrum es una halófito facultativa perenne de distribución pantropical (crece en los 5 continentes), esta gran distribución se debe a la gran capacidad de propagación de sus fragmentos vegetativos, que toleran la salinidad del agua marina y viajan en las corrientes (Lonard y Judd, 1997). Además de una gran tolerancia a condiciones salinas extremas, también puede soportar las altas temperaturas y la escasez de nutrientes. Esta halófito puede crecer sin problema alguno entre 100 y 400 mM NaCl, y soporta hasta 1000 mM NaCl sin presentar ningún efecto de la toxicidad en sus hojas (Nikalje *et al.*, 2018).

Es una planta suculenta tapizante, que crece en las playas y zonas costeras arenosas, donde actúa como planta pionera y promueve la formación de dunas en la arena, formando colonias que sujetan la arena y evitan que sea movida por el viento y el oleaje. Además de en playas arenosas también ha sido encontrada en acantilados, cayos, marismas, zonas de marea, estuarios y manglares. (Lonard y Judd, 1997)

-Artículo: “*Sesuvium portulacastrum*, a plant for drought, salt stress, sand fixation, food and phytoremediation. A review ”responsables de la publicación V. Lokhande *et al.* (2013): Esta halófito tiene adaptaciones moleculares y fisiológicas que le permite adaptarse y sobrevivir bajo condiciones de estrés como la sequía, la salinidad y la presencia de metales pesados. De su composición aproximadamente el 11% son proteínas, un 0.25% son ácidos grasos, el 45.5% son carbohidratos, un 10% es fibra y el 33% restante son cenizas. Además la planta es rica en alcaloides, aminoácidos, polisacáridos, minerales, saponinas, esteroides y terpenos.

Estos metabolitos secundarios presentan un gran potencial como sustitutos de algunos materiales sintéticos que se utilizan en la industria farmacéutica y en el sector de perfumería y cosmética. Ha sido usada en la medicina tradicional asiática y africana como remedio para la fiebre y enfermedades del riñón, y su cataplasma es considerado un buen remedio para picaduras de peces venenosos.

El extracto de sus hojas tiene actividad antibacteriana, tanto para bacterias Gram positivas como negativas, antifúngicas y antioxidante. Esto se atribuye principalmente a la presencia de terpenos, los cuales tienen efectos tóxicos sobre la integridad de la membrana bacteriana o fúngica.

Se ha investigado su uso como posible abono o fertilizante, con resultados positivos. En el estudio, hubo un aumento significativo en el crecimiento y en la producción de biomasa de un cultivo de *Arachis hypogaea* cuando este se abonó a partes iguales con un compost hecho con halófitas (*S. portulacastrum*, *Suaeda maritima* e *Ipomoea pes-caprae*) y compost habitual, incluso se descubrió que la microflora del suelo mejoró durante la investigación. Teniendo en cuenta los problemas que causan los fertilizantes químicos en los suelos por su aplicación excesiva, se podría considerar implementar el uso de un abono hecho de halófitas

como fuente alternativa a los fertilizantes químicos tradicionales, puesto que es más accesible, menos contaminante y ayudaría a mantener una agricultura sostenible.

-Artículo: “*Sesuvium portulacastrum* (L.) L. a promising halophyte: cultivation, utilization and distribution in India” responsables de la publicación V.H. Lokhande, T.D. Nikam y P. Suprasanna (2009): *Sesuvium portulacastrum* se reproduce vegetativamente por esquejes del tallo o sexualmente a través de semillas, pero la tasa de viabilidad de sus semillas es mucho menor que la de sus fragmentos vegetativos dado que las semillas son más sensibles a las condiciones ambientales, con lo cual la propagación a través de los esquejes del tallo sería el mejor método para su cultivo a gran escala. Su cultivo podría aprovecharse tanto para producción de alimentos como para forrajes, en Asia ya ha sido cultivada como verdura, ya que su sabor salado y su hoja carnosa la hacen ideal para ensaladas, y como complemento al forraje de animales domésticos, sobre todo ganado ovino. Además, también es una fuente importante de hormonas ecdisteroides, hormonas reguladoras que forman parte del proceso de desarrollo y muda de los insectos. En China, ya se utiliza esta hormona en la industria de la sericultura, puesto que ayuda a acelerar la maduración del último estadio larvario de los gusanos de seda.

También puede cumplir un gran papel en la fitorremediación y descontaminación de suelos, ya que es capaz de acumular una gran cantidad de sodio y de metales pesado de los suelos sin resultar dañada.

4.10 Género *Suaeda*

El género *Suaeda* tiene un gran número de especies halófitas, entre las que destacan *Suaeda fruticosa*, *Suaeda marítima*, *Suaeda salsa*, *Suaeda glauca* y *Suaeda vera*. Son plantas perennes, que crecen en suelos ricos en sales que suelen estar inundados periódicamente, como las marismas. (Hasanuzzaman *et al.*, 2019). Como otras halófitas, *Suaeda* produce 2 tipos de semillas con carácter dimórfico, unas de color negro sensibles a la salinidad y otras de color marrón que pueden germinar incluso a 600mM (Flowers y Colmer, 2008).

- Artículo: “Edible halophytes of the Mediterranean basin: Potential candidates for novel food products” responsables de la publicación S.A. Petropoulos, A. Karkanis, N. Martins, I.C.F.R. Ferreira. (2018): Las plantas de *Suaeda fruticosa* pueden llegar a soportar niveles de salinidad de 300 mM, pudiendo usarse como fitorremediadora para recuperar suelos contaminados con sales y metales pesados. Sus semillas producen aceite que puede ser utilizado para consumo humano y sus hojas se usan como alimento y como forraje para el ganado. Esta halófito tiene un gran potencial farmacológico relacionado con su composición: ácidos grasos (oleico y linoleico), vitaminas (A, B, D y E), minerales (aluminio, calcio, fósforo, potasio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, zinc, cobalto, cromo y níquel) y gran cantidad de fenoles, flavonoides, taninos, carotenoides, alcaloides y saponinas. Su extracto tiene actividad anticancerígena contra el cáncer de pulmón y colon y una gran cantidad de antioxidantes, ha sido usado en medicina tradicional de forma efectiva como agente hipoglucémico e hipolipemiante.

-Artículo: “Using euhalophytes to understand salt tolerance and to develop saline agriculture: *Suaeda salsa* as a promising model” responsables de la publicación J. Song y B. Wang (2015): Muchas halófitas del género *Suaeda* pueden llegar a ser cultivadas para extraer aceite, el mejor ejemplo son las semillas de *Suaeda aralocaspica*, que en peso seco contienen un 29% de aceite, del cual el 93% son ácidos grasos insaturados, esto hace a esta especie una muy buena fuente de aceite para uso humano. *Suaeda fruticosa* y *Suaeda salsa* también presenta una gran cantidad de ácidos grasos insaturados en el aceite extraíble de sus semillas, el aceite de esta última ya se utiliza como tratamiento para enfermedades cardíacas, puesto que reduce la tensión arterial y el azúcar en sangre. Esto hace que este género de halófitas sea un potencial cultivo biosalino del que extraer aceite para uso humano. *Suaeda salsa* suele crecer y germinar con una concentración de NaCl de 200 mM, pero también es capaz de crecer en concentraciones de 400 mM o incluso de 10 mM. Sus ramas y hojas son aptas para el consumo humano y el aceite de sus semillas la hacen prometedora como posible cultivo biosalino. Este género de halófitas ya se utiliza como forraje para ganado, siendo los resultados similares a los que obtendrían con dietas convencionales. Teniendo en cuenta que la sal que los animales pueden consumir es limitada, se debería incorporar el forraje de halófitas mezclado con el forraje habitual. La productividad de estas halófitas es comparable a

la de los cultivos convencionales destinados a forraje cuando son regadas con agua salina.

Tabla 4.1. Especies que se han utilizado para la preparación del trabajo fin de grado

Espece Vegetal	Familia	Adaptación morfológica a la salinidad	Usos	Partes utilizables de la planta	Lugares de consumo habitual	Propiedades
Género <i>Atriplex</i>	Amaranthaceae	Glándulas salinas y pelos vesiculares	Alimentación humana y forrajes	Hojas	América del norte y del Sur, Asia, Australia y Europa	Antioxidantes, anticancerígenas, antiinflamatorias y antihipertensivas
<i>Chenopodium quinoa</i>	Amaranthaceae	Glándulas salinas y pelos vesiculares	Alimentación humana	Semillas	América del Sur, Asia, América del Norte y Europa	Antioxidantes, antiproliferativas, antiinflamatorias y antidepresivas. Mejora respuesta inmunológica
<i>Crithmum maritimum</i>	Apiaceae	Suculencia	Alimentación humana, ornamentación, aceite y biocombustible	Hojas, tallos, frutos y flores	Italia, España, Islas Griegas, Turquía e Islas Británicas	Alto contenido en antioxidantes y vitamina C
<i>Diplotaxis tenuifolia</i>	Brassicaceae	Selectividad iónica	Alimentación humana	Hojas	Cosmopolita	Antioxidantes
<i>Distichlis palmeri</i>	Poaceae	Glándulas salinas	Alimentación humana, piensos y forraje	Semillas/grano y brotes	Delta del río Colorado.	Propiedades nutricionales equivalentes a los cultivos glicófitas de cereal
<i>Mesembryanthemum crystallinum</i>	Aizoaceae	Suculencia	Alimentación humana	Hojas	África, Asia, Australia y Europa	Antioxidantes, antiinflamatorias y antibacterianas. Fitorremediación.
<i>Pennisetum glaucum</i>	Poaceae	Compartimentación	Alimentación humana, forrajes y piensos.	Semillas/grano	África subsahariana e India	Antioxidantes, anticancerígenas, antiinflamatorias y antihipertensivas
Género <i>Salicornia</i>	Amaranthaceae	Suculencia	Alimentación humana, piensos y producción de biocombustible	Hojas	América del norte, África, Asia y Europa	Antioxidantes, anticancerígenas, antiinflamatorias, etc. Fitorremediación.
Género <i>Sarcocornia</i>	Amaranthaceae	Suculencia	Alimentación humana, forraje y forraje	Hojas	América del norte, América del sur y Europa	Antioxidantes, antibacterianas, antiinflamatorias, etc. Fitorremediación
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Aizoaceae	Suculencia	Alimentación humana, piensos, forraje y extracción de metabolitos.	Tallos y hojas	India, África, Indonesia y el sur de China	Antifúngicas, antibacterianas y antioxidantes. Buen fertilizante

Género <i>Suaeda</i>	Amaranthaceae	Suculencia	Alimentación humana, forraje y aceites.	Tallos, hojas y semillas	China y Europa	Antioxidantes, anticancerígenas, reduce enfermedades cardiovasculares.
----------------------	---------------	------------	---	--------------------------	----------------	--

5. DISCUSIÓN

5.1 Género *Atriplex*

La mayoría de los cultivos que hay en el mundo son de glicófitas, plantas cuyo crecimiento y rendimiento se ve muy afectado por la salinidad del suelo, lo contrario que las halófitas, que ven su crecimiento estimulado por la salinidad a concentraciones moderadas de sal (100-200 mM NaCl), por esto son consideradas como una buena alternativa complementaria a eso cultivos tradicionales de glicófitas. *Atriplex halimus* tiene un mejor crecimiento y rendimiento de biomasa bajo condiciones de estrés salino, por lo que se podría cultivar en suelos degradados y zonas afectadas por la salinidad. Es una especie que cuenta con un buen nivel de minerales y proteínas, por lo que puede servir como fuente alternativa de proteínas y así reducir el consumo de productos de origen animal. En el caso de *Atriplex portulacoides*, puede desarrollarse sin problemas en suelos agrícolas sin salinidad, por lo que puede servir para diversificar la agricultura de cualquier ambiente. Destaca su cantidad de ácidos grasos poliinsaturados, esteroides y compuestos fenólicos, moléculas de gran interés nutricional para la dieta humana y para ganado lechero, ya que se transfieren a la leche y la fortifican. Además, el género *Atriplex* posee muchas características para ser un alimento nutricionalmente completo y que puede contribuir a la diversificación de la agricultura sostenible. (Agudelo et al., 2021; Zanella y Vianello, 2020).

5.2 *Chenopodium quinoa*

Ante la necesidad global de encontrar cultivos que produzcan alimentos de calidad, la quinoa representa una gran oportunidad debido a su bajo coste de producción, sus beneficios nutricionales y su versatilidad agrícola para ser un cultivo en países donde la producción de alimentos está limitada por las condiciones

ambientales o donde la población tiene escaso acceso a fuentes de proteínas y aminoácidos esenciales. *Chenopodium quinoa* está en proceso de expansión en muchas regiones del mundo gracias a su gran capacidad adaptativa a las condiciones climáticas extremas: tiene un bajo requerimiento hídrico, buena tolerancia a la salinidad y resiste altas y bajas temperaturas. Es un grano con un buen potencial económico, su gran valor nutricional y sus características fisicoquímicas le permiten ser aprovechado por la industria alimentaria, química, cosmética y farmacéutica. (FAO, 2011).

5.3 *Crithmum maritimum*

Las halofitas pueden proporcionar grandes beneficios al medio ambiente, a la alimentación, a la industria y a la agricultura, y pueden ser tanto económicos como nutricionales. *Crithmum maritimum* tiene un gran potencial como cultivo emergente, ya que además de como alimento y forraje, puede ser una fuente de recursos para la industria farmacéutica y agrícola gracias a su gran número de moléculas bioactivas. Su único inconveniente para fines comerciales es que hasta su germinación debe ser regada con agua que no supere los 50 mM NaCl, tras esto, su tolerancia a la salinidad asciende y se puede cultivar ambientes salinos. Se debe seguir estudiando cómo implementarla en el mercado para que su comercialización a gran escala sea posible y exitosa. (Centofanti y Bañuelos, 2019; Petropoulos *et al.*, 2018; Renna, 2018).

5.4 *Diploaxis tenuifolia*

De momento el número de variables de halofitas es bastante bajo si se tiene en cuenta la creciente demanda de mercado, por ello se está aumentando el esfuerzo para recolectar nuevo germoplasma dado que una mejora genética puede aumentar la rentabilidad de los cultivos de halófitas. En el caso de *Diploaxis tenuifolia*, que se ha cultivado de forma local desde hace muchos años, pero su consumo está en auge actualmente, es necesaria esa mejora para que pueda cubrir las expectativas nutricionales y la demanda. Al cultivar *Diploaxis tenuifolia* en condiciones de alta

salinidad se observó que creció menos que otras halofitas que tienen mayor tolerancia a la sal, sin embargo, a pesar de no crecer, sí que soportó esas condiciones de salinidad extrema, con lo cual sí que puede ser considerada apta para la agricultura biosalina a gran escala (Nicoletti *et al.*, 2007; Vos *et al.*, 2013).

5.5 *Distichlis palmeri*

Casi todos los cultivos dedicados a cereales en el mundo son glicófitos, con lo cual necesitan regadío con agua dulce, labrado y siembra anual, por el contrario, el cultivo de halófitas perennes no necesita ninguno de esos cuidados. *Distichlis palmeri* es una halófito perenne cuyos valores nutricionales se parecen mucho a los del arroz y el trigo, por lo que su domesticación como cultivo de cereal resultaría muy positivo, sin embargo, hay que tener en cuenta que puede tardar unos años en alcanzar su producción máxima. También se puede aprovechar como forraje, ya que tienen unos valores de rendimiento de biomasa muy parecidos a los de la alfalfa. *Distichlis palmeri* también tiene la capacidad de crecer bajo suelos inundados, lo que puede servir para recuperar y aprovechar tierras de zonas costeras que se han inundado con agua salina debido al aumento del nivel del mar (Bresdin y Glenn, 2016; Pearlstein *et al.*, 2012; Yensen, 1995).

5.6 *Mesembryanthemum crystallinum*

Ante la creciente salinización de los suelos destinados a cultivo se necesita una agricultura sostenible que pueda adaptarse a esas nuevas condiciones. *Mesembryanthemum crystallinum* es una halófito silvestre con potencial como cultivo salino ya que tiene una gran capacidad de aclimatación a la salinidad, a las altas temperaturas y a la sequía. Su gran contenido en compuestos bioactivos la hacen interesante tanto nutricionalmente como para fines industriales, además es una excelente fitorremediadora. Si se plantea una mejora en el sistema de cultivo de estas plantas es muy posible que se pueda llevar a cabo una producción a gran escala (Loconsole *et al.*, 2019).

5.7 *Pennisetum glaucum*

Pennisetum glaucum es uno de los cereales principales en África e India, sus granos son un alimento muy completo gracias a sus buenas características nutricionales, como su alto contenido en proteínas, fibras y minerales. Al igual que los cereales glicófitos, sirve como materia prima para la elaboración de numerosos platos dulces y salados. Se debería llevar a cabo una mejora genética en esta especie para aumentar su rendimiento y que sea un cereal más productivo, ya que gracias a su bajo costo y su capacidad para soportar condiciones extremas, sería una gran ayuda para cubrir la demanda de alimentos en aquellos países donde las condiciones ambientales y económicas impiden que la agricultura de glicófitas se lleve a cabo (Dias-Martins *et al.*, 2018).

5.8 Género *Salicornia* y Género *Sarcocornia*

A pesar de que el interés por las halófitas en el ámbito científico y agrícola ha ido en aumento durante los últimos años, especies pertenecientes a los géneros *Salicornia* y *Sarcocornia* aún se ven de cara al público como “vegetales secundarios” o “alimento en caso de extrema necesidad”, en gran medida debido al desconocimiento general de las propiedades de estas plantas. Sin embargo, son vegetales con un interesante perfil fitoquímico y un gran valor nutricional, de estos géneros destacan *Salicornia herbácea*, como recurso para la industria farmacéutica debido a sus grandes propiedades medicinales, *Salicornia bigelovii* como forraje complementario al forraje tradicional por su buena palatabilidad y valor nutricional, y *Sarcocornia fruticosa* como cultivo y fitorremediadora por su gran tolerancia y capacidad desarrollo bajo condiciones de salinidad extrema. Ambos géneros son candidatos muy buenos para su uso debido a su gran distribución, su funcionalidad y sus propiedades beneficiosas para la salud (Patel, 2016; Loconsole *et al.*, 2019).

5.9 *Sesuvium portulacastrum*

El estudio de las halófitas puede aportar información sobre los mecanismos de resistencia a la sal y los genes que contiene su genoma pueden ser interesantes

para su transferencia a los cultivos convencionales ya que éstos en su mayoría son plantas glicófitas. *Sesuvium portulacastrum* puede ser una buena fuente de información sobre estos mecanismos ya que tiene una gran tolerancia a la sal y a diferentes estreses abióticos. Debido a esto, también es una gran productora de metabolitos secundarios de gran importancia comercial y económica. Su cultivo puede ayudar a recuperar terrenos agrícolas en zonas áridas y semiáridas gracias a su potencial como fitorremediadora, y la biomasa producida en esos cultivos puede servir como alimento y forraje complementarios a los tradicionales, apoyando así la economía local y reforzando la alimentación convencional (Lokhande *et al.*, 2009, 2013).

5.10 Género *Suaeda*

Las especies pertenecientes al género *Suaeda* tienen una gran tolerancia a la sal y una gran composición nutricional con un buen contenido en ácidos grasos, minerales, fenoles y flavonoides. Destaca *Suaeda fruticosa*, que gracias a su composición, al aceite que se extrae de sus semillas y a su gran número de compuestos bioactivos, es una gran candidata para la industria alimentaria y forrajera. También es muy importante *Suaeda salsa*, cuyo mercado destaca en China. Tiene un gran valor económico y medicinal, ya que de sus metabolitos pueden ser usados por la industria farmacéutica y su aceite utilizarse como base para hacer bioetanol. También es un alimento muy rico nutricionalmente y al igual que *Suaeda fruticosa*, tienen una gran aplicación como forraje. Este género contiene plantas con un gran potencial de mercado aún por explotar, se deben ampliar los conocimientos sobre ellas y evaluar las condiciones propicias para su cultivo a gran escala (Song y Wang, 2015; Petropoulos *et al.*, 2018).

6. CONCLUSIÓN

- Todas las especies estudiadas se pueden utilizar en agricultura biosalina, algunas de hecho ya se cultivan en algunos países de forma complementaria a la agricultura convencional como es el caso de *Diploaxis tenuifolia*.

- Casi todas las especies tratadas pueden sobrevivir bajo condiciones de temperaturas extremas, sequía y salinidad durante toda su vida.
- El género *Atriplex* destaca por su buen rendimiento en suelos salinizados, junto con *Chenopodium quinoa*, son una gran fuente alternativa de proteínas que pueden ayudar a reducir el consumo de productos de origen animal sin disminuir la calidad de la dieta.
- Actualmente, *Chenopodium quinoa* es la más consumida a nivel internacional dado que en los últimos años su mercado se ha expandido enormemente, en gran parte debido a sus pocos requisitos como cultivo, su gran capacidad adaptativa y sus grandes propiedades nutricionales, incluso superiores a los cereales tradicionales.
- Los géneros *Salicornia* y *Sarcocornia* son buenos fitorremediadores y grandes productores de biomasa, sirven como alimento y fuente de aceite para uso industrial y humano.
- Los valores nutricionales de los cereales *Pennisetum glaucum* y *Distichlis palmeri* son muy similares a los del trigo y el arroz, con lo cual son una buena alternativa para cultivar en zonas donde las condiciones climáticas están afectando a los cultivos de cereales tradicionales que requieren una gran demanda de agua y sensibles a la sal.
- *Mesembryanthemum crystallinum* y *Sesuvium portulacastrum* son grandes fuentes de compuestos bioactivos y buenas plantas fitorremediadoras, con lo cual son óptimas para recuperar suelos y destinar su producción a la industria farmacéutica y cosmética. Son aptas también para el consumo humano y teniendo en cuenta sus propiedades sería de gran interés incorporarlas a la dieta
- *Crithmum maritimum* y los géneros *Atriplex*, *Suaeda*, *Salicornia* y *Sarcocornia* son las mejores opciones como forraje. Su aplicación en complemento al

forraje tradicional mejora la dieta del ganado gracias a los metabolitos y minerales que le aporta. Hay que tener en cuenta que solo se pueden utilizar como complemento al forraje tradicional debido a la concentración de sal en los tejidos de las plantas.

- El género *Suaeda* es una gran fuente de aceite con uso industrial, para consumo humano y como biocombustible.
- Más estudios son necesarios para mejorar la producción de estas especies e incluir más especies como cultivo biosalino y como llevar a cabo su implementación en el mercado y en la dieta, para que su posible comercialización a gran escala sea exitosa.

7. BIBLIOGRAFIA

Agudelo, A., Carvajal, M., Martínez-Ballesta, M.C. (2021): “Halophytes of the Mediterranean Basin—Underutilized Species with the Potential to Be Nutritious Crops in the Scenario of the Climate Change”, *Foods*, 10 (1), 119.

Arif, A., Tiedeman, J., Chriyaa, A. y Derkaoui, M. (1994) “Atriplex as forage for arid areas of morocco: a review” en M. Elgharous, M. Karrou y E.M. Rabat (ed): *Aquis and perspectives of the agronomic research in the arid and semi-arid regions in Morocco*. Proceedings of symposium, p. 641

Ashraf, M.Y., Sarwar, G., Ashraf, M., Hussain, F., Wahed, R.A. y Iqbal, M.M. (2006): “Growth performance and nutritional value of salt tolerant plants growing under saline environments”, en M. Ozturk, Y. Waisel, M. Ajmal-Khan y G. Gork (eds): *Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plant*, Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Berlin, pp. 35-44.

Barreira, L., Resek, E., Rodrigues, M.J., Rocha, M.I., Pereira, H., Bandarra, N., da Silva, M.M., Varela, J. y Custodio, L. (2015): “Halophytes: Gourmet food with nutritional health benefits?” *Journal of Food Composition and Analysis*, 59, pp. 42-35

Boscaiu, M. y Vicente, O. (2013): "Halophytic crops for a salinising world" *Bulletin UASVM Horticulture*, 70(1), pp. 1–9.

Bresdin, C., y Glenn, E.P. (2016): "Distichlis Palmeri: Perennial Grain Yields under Saline Paddy-Style Cultivation of Grains on Seawater" *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 5(2), pp.1-7.

Bueno, M. (2019): "Adaptation to halophytes to different habitats", en J.C. Jiménez López (ed.): *Seed dormancy and Germination*, Oxford, IntechOpen

Bueno, M. y Cordovilla, M.P. (2020): "Ecophysiology and uses of halophytes in diverse habitats", en M. N. Grigore (ed.): *Handbook of Halophytes*, Cham, Springer, pp. 1613-1636.

Burana, C., Congtrakultien, M. y Kamthornsiriwimol, N. (2020): "A Novel Growth and Development of *Mesembryanthemum crystallinum* (Aizoaceae) in Thailand", *International Scientific Journal of Engineering and Technology*, 4(1), pp. 1-5.

Centofanti, T. y Bañuelos, G. (2019): "Practical uses of halophytic plants as sources of food and fodder", en M. Hasanuzzaman, S. Shabala y M. Fujita (eds): *Halophytes and Climate Change: Adaptive Mechanisms and Potential Uses*, p. 324.

Chen, M., Yang, Z., Liu, J., Zhu, T., Wei, X., Fan, H. y Wang, B. (2018): "Adaptation mechanism of salt excluders under saline conditions and its applications" *International Journal of Molecular Sciences*, 19(11), p. 3668.

Dias-Martins, A.M., Pessanha, K.L., Pacheco, S., Rodrigues, J.A.S., Carvalho, C.W.P. (2018): "Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: food security, processing, health benefits and nutritional products", *Food Research International*, 109, pp.175-186.

FAO (2011): *Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security*. Santiago: Regional Office for Latin America and the Caribbean, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Flowers, T. y Colmer, T. (2008): "Salinity tolerance in halophytes", *The New phytologist*, 179, pp. 945-63.

Flowers, T.J. (1985): "Physiology of halophytes", *Plant and Soil*, 89, pp. 41-56.

Glenn, E.P. y Brown, J.J. (1999): "Salt tolerance and crop potential of halophytes. Critical Reviews", *Plant Science*, 18(2), pp. 227–255.

Glenn, E.P., Anday, T., Chaturvedi, R., Martinez-Garcia, R., Pearlsteina, S., Soliza, D., Nelsona, S.G. y Felgera, R.S. (2013): "Three halophytes for saline water agriculture: an oilseed, a forage and a grain crop", *Environmental and Experimental Botany*, 92, pp. 110–121.

Gorham, J., Wyn Jones, R. G. y McDonnell, E. (1985): "Some mechanisms of salt tolerance in crop plants", *Plant and soil*, 89, pp.15-40

Hamilton, S. (2013): "Assessing the role of commercial aquaculture in displacing mangrove forest", *Bulletin of Marine Science*, 89(2), pp. 585–601.

Hasanuzzaman, M., Shabala, S. y Fujita, M. (2019): *Halophytes and Climate Change: Adaptive Mechanisms and Potential Uses*, CABI.

Jukanti, A. K., Laxmipathi Gowda, C.L., Rai, K.N., Manga, V.K. y Bhatt, R.K. (2016): "Crops that feed the world 11. Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.): an important source of food security, nutrition and health in the arid and semi-arid tropics.", *Food Security*, 8 (2), pp. 307-329

Kapler, A. (2019): "Habitats of halophytes", en M. Hasanuzzaman, S. Shabala y M. Fujita (eds): *Halophytes and Climate Change: Adaptive Mechanisms and Potential Uses*, pp. 19-37.

Khan, M.A., Ansari, R., Ali, H., Gul, B. y Nielsen, B.L. (2009): "*Panicum turgidum*: a sustainable feed alternative for cattle in saline areas", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129, pp. 542-546

Krishnamurthy, P., Jyothi-Prakash, P.A., Qin, L., He, J., Lin, Q., Loh, C.S. y Kumar, P.P. (2014): "Role of root hydrophobic barriers in salt exclusion of a mangrove plant *Avicennia officinalis*", *Plant, Cell and Environment*, 37, pp. 1656-1671.

Kumari, A., Das, P., Parida, A.K. y Agarwal, P.K. (2015): "Proteomics, metabolomics, and ionomics perspectives of Salinity tolerance in halophytes", *Frontier in Plant Science*, 6, p. 537.

- Lauchli, A. y Epstein, E. (1984): "Mechanisms of salt tolerance in plants", *Hilgardia*, 38(10), pp.18- 21
- Leisner, C.P. (2020): "Review: Climate change impacts on food security-focus on perennial cropping systems and nutritional value.", *Plant Sci*, 293, p. 110412
- Lerner, H.R. (1985): "Adaptation to salinity at the plant cell level", *Plant Soil*, 89, pp. 3–14.
- Loconsole, D., Cristiano, G., De Lucia, B. (2019): "Glassworts: From Wild Salt Marsh Species to Sustainable Edible Crops", *Agriculture*, 9(1), p. 14.
- Loconsole, D., Murillo-Amador, B., Cristiano, G., y De Lucia, B. (2019): "Halophyte Common Ice Plants: A Future Solution to Arable Land Salinization", *Sustainability*, 11(21), p. 6076.
- Lokhande, V., Gor, B., Desai, N., Nikam, T. y Suprasanna, P. (2013): "*Sesuvium portulacastrum*, a plant for drought, salt stress, sand fixation, food and phytoremediation. A review", *Agronomy for Sustainable Development*, 33(2), pp. 329-348.
- Lokhande, V., Nikam, T. y Suprasanna, P. (2009): "*Sesuvium portulacastrum* (L.) L. a promising halophyte: Cultivation, utilization and distribution in India", *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56, pp.741-747.
- Lonard, R.I. y Judd, F.W. (1997): "The Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands. *Sesuvium Portulacastrum* (L.) L.", *Journal of Coastal Research*, 13(1), pp. 96–104.
- Lopes, M., Castilho, M.D.C., Sanches-Silv, A., Freitas, A., Barbosa, J., Gonçalves, M.J., Cavaleiro, C. y Ramos, F. (2020): "Evaluation of the mycotoxins content of *Salicornia spp.*: a gourmet plant alternative to salt." *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance*, 13(3), pp. 162-170.
- Nicoletti, R., Raimo, F., Miccio, G. (2007): "*Diploaxis tenuifolia*: Biology, production and properties" *The European journal of plant science and technology*, 1(1), pp. 36–43.

- Nikalje, G.C., Srivastava, A.K., Pandey, G.K. y Suprasanna, P. (2018): "Halophytes in biosaline agriculture: Mechanism, utilization, and value addition" *Land Degradation and Development*, 29, pp.1081-1095
- Norman, H.C., Masters, D.G. y Barrett-Lennard, E.G. (2013): "Halophytes as forages in saline landscapes: Interactions between plant genotype and environment change their feeding value to ruminants", *Environmental and Experimental Botany*, 92, pp. 96–109.
- Panta, S., Flowers, T., Lane, P., Doyle, R., Haros, G., y Shabala, S. (2014): "Halophyte agriculture: Success stories", *Environmental and Experimental Botany*, 107, pp.71-83.
- Patel, S. (2016): "Salicornia: evaluating the halophytic extremophile as a food and a pharmaceutical candidate", *3 Biotech*, 6.
- Pearlstein, S., Felger, R., Glenn, E., Harrington, J., Al-Ghanem, K.A., y Nelson, S.G. (2012): "Nipa (*Distichlis palmeri*): A perennial grain crop for saltwater irrigation." *Journal of Arid Environments*, 82, pp. 60-70.
- 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 in Food Science and Technology*, 74, pp. 69-84.
- Renna, M. (2018): "Reviewing the Prospects of Sea Fennel (*Crithmum maritimum L.*) as Emerging Vegetable Crop", *Plants*, 7(4), p. 92.
- Santos, J., Alo-Azzawi, M., Aronson, J., Flowers, T.J. (2016): "eHALOP a database of salt-tolerant plants: helping put halophytes to work", *Plant and Cell Physiology*, 57(1), e10.
- Song, J. y Wang, B. (2015): "Using euhalophytes to understand salt tolerance and to develop saline agriculture: *Suaeda salsa* as a promising model", *Annals of botany*, 115(3), pp. 541–553.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2010): *Plant Physiology (5th Edition)*, Sinauer Associates Inc.

Török, K., Szilágyi, K., Halász, K., Zsigmond, V., Kósa, G. *et al.* (2016):“Seed collection data encompassing half of the vascular flora of the Pannonian Ecoregion stored by the Pannon Seed Bank”, *Acta Botanica Hungarica*, 58(3-4), pp. 435–445.

Vos, A.C., Broekman, R., de Almeida-Guerra, C.C., van Rijsselberghe, M. y Rozema, J. (2013): “Developing and testing new halophyte crops: A case study of salt tolerance of two species of the Brassicaceae, *Diploaxis tenuifolia* and *Cochlearia officinalis*”, *Environmental and experimental botany: an international journal*, 92, pp. 154-164

Yensen, S.B. (1995): *Characterization of the proteins and flour of Distichlis palmeri. Vasey Grain and Distichlis SPP Fiber*, PhD Dissertation, Faculty of Nutritional Sciences, University of Arizona.

Zanella, L. y Vianello, F. (2020): “Functional Food from Endangered Ecosystems: *Atriplex portulacoides* as a Case Study” *Foods*, 9(11), p. 1533.