



Método de superficie de respuesta para la optimización de condiciones de riego de salicornia en la region de Coquimbo, Chile*

Mauricio Castillo-Vergara**, Oscar Contreras-González***, David Gómez Schwartz****

Surface response method for the irrigation of salicornia in the Coquimbo region, Chile

Método de superfície de resposta para a otimização de condições de irrigação de salicornia na região de Coquimbo, Chile

RESUMEN

Introducción. El 72 % de la superficie de Chile sufre de sequía en alguno de sus grados, afectando al 90 % de los habitantes. El 79,1 % del territorio, en tanto, tiene algún riesgo de degradación y el 21,7 % de sufrir desertificación, lo cual corresponde a 16.379.342 hectáreas. **Objetivo.** Optimizar el proceso de riego de la planta halófito *Salicornia* considerando agua salada y agua potable para establecer las condiciones que permitan el mejor desarrollo de esta especie en la zona de Puerto Aldea en la Región de Coquimbo, Chile. **Materiales y Métodos.** Se utilizó la metodología

superficie de respuesta (RSM) para establecer las condiciones óptimas para el crecimiento de la planta con las condiciones de riego y temperatura. **Resultados.** Se pudo establecer altos niveles de fibra de las especies analizadas, entre 38,2 y 45,84 g/100g, siendo la semilla quien presenta los niveles más altos. Se obtiene un mejor resultado con la tasa de riego igual a 750 cc salada y 250 cc dulce, donde se presentó una menor mortalidad de plantas (10 %) y mayor crecimiento. **Conclusiones.** El uso que tiene esta planta es diverso, considera no solo consumo humano, sino que otras industrias importantes también a nivel mundial, considerando los niveles

* Artículo original. derivado de proyecto de investigación financiado por el Gobierno Regional de Coquimbo FIC-R Factibilidad Técnico-Económica de la producción de biodiesel a partir de Salicornia en la Región de Coquimbo. ** Magister en Gestión de Empresas, Ingeniero Civil Industrial, Académico-Investigador Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de La Serena, Chile. mhcastillo@userena.cl *** Magister en Gestión de Empresas, Ingeniero Civil Industrial, Académico-Investigador Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de La Serena, Chile. **** Magister en Gestión de Empresas, Ingeniero Civil Industrial, Jefe de Proyectos Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de La Serena, Chile.

de fibra y carbohidratos de la especie analizada se sugieren futuras investigaciones como desarrollo de forraje para animales, adicional a la factibilidad técnico económica de obtención de biodiesel.

Palabras clave: salicornia, optimización, crecimiento, riego, sustentabilidad.

RESUMEN

Introduction. 72 % of Chile's territory suffers from some degree of draught, affecting 90% of its inhabitants. 79,1 % of that territory, then, has some degradation risk and 21,7 % of it can become a desert, and this percentage corresponds to 16.379.342 hectares. **Objective.** Optimize the irrigation of salicornia plants, considering both salt and fresh water to establish the conditions for best developing this species with the right irrigation and temperature in the Puerto Aldea region in Coquimbo, Chile. **Materials and methods.** The surface response methodology was used to establish the optimal conditions for the plants' growth with the right

irrigation and temperature. **Results.** High fiber levels could be established for the species analyzed, between 38,2 and 45,84 g/100g, and the highest levels are in the seeds. The best result is that with an irrigation of 750 cc of salt water and 250 cc of fresh water, as it had the lowest mortality of plants (10 %) and the highest growth rate. **Conclusions.** The usefulness of this plant is diverse, as not only is it good for human consumption but for other industries worldwide, considering its fiber and carbohydrates contents. Further research is suggested in areas such as animal forage development and the economic feasibility of obtaining biodiesel from it..

Key words: salicornia, optimization, growth, irrigation, sustainability.

RESUMO

Introdução. 72 % da superfície do Chile sofre de seca em algum dos seus graus, afetando a 90 % dos habitantes. 79,1 % do território, em tanto, tem algum risco de degradação e 21,7 % de sofrer desertificação, o qual corresponde a 16.379.342 hectares. **Objetivo.** Otimizar o processo de irrigação da planta halófito *Salicornia* considerando água salgada e água potável para estabelecer as condições que permitam o melhor desenvolvimento desta espécie na zona de Puerto Aldea na Região de Coquimbo, Chile. **Materiais e Métodos.** Se utilizou a metodologia superfície de resposta (RSM) para estabelecer as condições ótimas para o crescimento da planta com as condições de irrigação e temperatura.

Resultados. Se pôde estabelecer altos níveis de fibra das espécies analisadas, entre 38,2 e 45,84 g/100g, sendo a semente quem apresenta os níveis mais altos. Se obteve um melhor resultado com a taxa de irrigação igual a 750 cc salgada e 250 cc doce, onde se apresentou uma menor mortalidade de plantas (10 %) e maior crescimento. **Conclusões.** O uso que tem esta planta é diverso, considera não só consumo humano, senão que outras indústrias importantes também a nível mundial, considerando os níveis de fibra e carboidratos da espécie analisada se sugerem futuras investigações como desenvolvimento de forragem para animais, adicional à factibilidade técnica económica de obtenção de biodiesel.

Palavras chave: salicornia, otimização, crescimento, irrigação, sustentabilidade.

INTRODUCCIÓN

El 72 % de la superficie de Chile sufre de sequía en alguno de sus grados, afectando al 90 % de los habitantes. El 79,1 % del territorio, en tanto, tiene algún riesgo de degradación y el 21,7 % de sufrir desertificación, lo cual corresponde a 16.379.342 hectáreas, con una población afectada

de 6.816.661 habitantes de 156 comunas, siendo la región de Coquimbo la más afectada (CONAF, 2016).

La Región de Coquimbo en Chile, posee limitantes de crecimiento debido a la disminución de la disponibilidad del recurso agua, que se presenta con proyecciones negativas al 2025,

donde la disponibilidad de agua por m³ por persona al año alcanza los 1020 m³ para esta región (Ministerio de Obras Públicas, 2012). “Se prevé que las necesidades de agua para la producción de energía crezcan dos veces más rápido que la demanda de energía” (International Energy Agency, 2012), los recursos hídricos son de extrema importancia, ya que la sequía es uno de los principales retos que enfrenta el planeta a la luz del cambio climático (Castillo-Vergara et al., 2013).

Cerca del 50 % del total de los suelos irrigados en el mundo están afectados por la salinización y/o alcalinización, estas características promueven el crecimiento de las plantas halófitas, las cuales se conforman por una amplia gama de especies (alrededor de 3,000), abarcando desde zacates, arbustos y matorrales. Uno de los géneros que destaca se encuentra la *Salicornia bigelovii*, los estudios correspondientes a esta planta indican que es una halófito que pertenece a la familia *Chenopodiaceae* y que en estado adulto es altamente tolerante a la salinidad (Rueda Puente et al., 2011). De hecho, es una de las plantas con mayor tolerancia a la sal conocida actualmente por la ciencia (Park, Lee y Lee, 2001). Wang et al., (2013) han enfatizado la importancia de las propiedades de esta planta como posible fuente de grasas polisaturadas, como alimento funcional, así como planta medicinal. Por otra parte, han evaluado sus capacidades antioxidantes, antitumorales, entre otras propiedades. Por medio del estudio realizado por (Kadereit, 2007) se identificaron las unidades evolutivas de la *Salicornia*, cuyo fin consistía en entender los patrones de diversificación morfológica, e identificar las principales especies de este género. Entre los lugares de los que se obtuvo la muestra se consideraron; Escandinavia, Islas Británicas, Francia, Región Mediterránea, Península Ibérica, Italia, Turquía, Egipto, Siria, Irak, Medio Oriente, Siberia, Asia, China, América del Norte, África.

Salicornia bigelovii es una especie que completa su ciclo de vida en 205-250 días y las floraciones van de febrero a abril en el hemisferio sur. Se desarrolla bajo un amplio rango de temperaturas, que varían de 5 a 35° C aunque el rango óptimo

de temperatura máxima diaria es de 20° C al comienzo del ciclo y de 35° C al final. El rango óptimo de temperaturas mínimas diarias va de 5 a 27° C. *S. bigelovii* crece en las zonas donde la precipitación anual oscila entre 80 y 300 mm (Falasca, Ulberich y Acevedo, 2014).

La biomasa de las algas marinas se utiliza a menudo para la producción de ingredientes en cosméticos, esto pues, los ingredientes pueden tener alguna de las tres funciones principales; lo primero como aditivos que contribuyen a las propiedades organolépticas, en segundo lugar, que se utilizan en la estabilización y conservación del producto o, por último, que son compuestos bioactivos que cumplen una función real en la actividad cosmética (Bedoux et al., 2014). Un estudio realizado en la costa portuguesa a 18 macroalgas y los resultados apuntan al posible interés de la incorporación de los extractos de estas especies en productos alimenticios, preparados nutracéuticos y farmacéuticos para la salud humana, ya que puede suprimir la hiperglicemia e inhibir colinesterasas (Andrade et al., 2013).

Trabajar con halófitas ha demostrado que las plantas bien adaptadas pueden mantener altos rendimientos, incluidas aquellas que crecen con agua de mar, pero los problemas agronómicos, como el tamaño pequeño de la semilla, la maduración de la semilla irregular y la tendencia de las semillas para romperse, les han impedido ser ampliamente adaptadas para la producción de cultivo (Glenn et al., 2013). Chile tiene una extensa costa y gran parte de la zona costera es adecuada para el crecimiento de las algas. En el pasado, Chile ha sido uno de los mayores productores de alginato, agar y carragenina, todos los cuales se derivan de macroalgas. En Chile, el cultivo de macroalgas en gran medida se ha restringido a las algas rojas y más específicamente *Gracilaria chilensis*, debido a los métodos de cultivo relativamente simples que se han desarrollado (Aitken et al., 2014).

Este estudio es parte del proyecto “FIC-R Factibilidad Técnico-Económica de la producción de biodiesel a partir de *Salicornia* en la Región

de Coquimbo”, cuyo propósito final es analizar la factibilidad de producir biodiesel a partir de la salicornia. El objetivo de esta investigación es caracterizar la planta *Salicornia* y optimizar el proceso de riego considerando agua salada y agua potable para determinar el óptimo para extraer la mayor cantidad del aceite, para posteriormente hacer las pruebas de conversión a biodiesel.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

Puerto Aldea es una localidad ubicada al sur de la Playa Grande de Tongoy, en la IV Región de Coquimbo. Tiene una población cercana a 300 personas, donde la principal y más importante ocupación es la pesca artesanal, en este sector se propaga de forma natural la planta *Salicornia* en el sector denominado Lagunillas. A fin de comparar comportamientos de la planta silvestre, se desarrolló además un cultivo propio para el análisis y estudio. El material biológico para la propagación (esquejes) se obtuvo de la zona de Lagunillas, coordenadas Latitud: -30.1011 Longitud: -71.3819, aproximadamente a 20 km. al suroeste de La Serena. El terreno experimental es de 5000 m², en el sector de Puerto Aldea, Tongoy, en coordenadas 30°17'31"S 71°36'32"O / -30.29194, -71.60889. La zona presenta un clima semiárido, con temperaturas costeras homogéneas las que disminuyen hacia el interior, un promedio de precipitaciones de 100 mm anuales con un período seco de ocho a nueve meses.

Materia Prima

Las semillas de la misma población de la zona fueron sembradas en arena gruesa en cajas de madera de 1 m² y 20 cm de altura. Las plantas se regaron durante 47 semanas después de la siembra.

Se extrajeron muestras de vaina con semillas, planta en crecimiento y semillas después de 12 semanas desde la siembra para el análisis proximal. Una vez extraídas las muestras fueron

dispuestas en cancha de secado al sol, por un periodo de 1 mes y 23 días, a temperatura ambiente promedio de 18°C, posteriormente las muestras fueron divididas en fragmentos más finos de 10 gramos, las que luego de pesar en una balanza analítica con error $\pm 0,01$, fueron finalmente colocadas en papel filtro de 1.61 gramos pesados previamente. Todas las muestras fueron preparadas en triplicado. Se utilizaron tres perfiles de muestras de cultivo propio previamente homogeneizadas, los tres perfiles fueron Planta en Crecimiento, Vaina con Semillas y Semillas.

Riego

El método de regadío fue por riego tecnificado, aplicando goteros autocompensantes por planta, para asegurar la misma cantidad de agua por cada una, el riego se efectuó una vez a la semana/planta considerando 1.000 cc según lo recomendado por Rueda Puente et al. (2011), por las tardes cuando la temperatura descende aproximadamente a las 20:00 hrs. Se establecieron tres tipos de mezclas de agua para riego, el primero considera una mezcla de 250 centímetros cúbicos (cc) de agua salada y 750 cc de agua dulce, el segundo considera 500 cc de agua salada y dulce respectivamente y el último considera 750 cc de agua salada y 250 cc de agua dulce.

Medición de Crecimiento

El crecimiento fue medido con regla convencional cada semana, y se registraba dicha medida en milímetros (mm) a 30 ejemplares, considerando 10 medidas para cada mezcla de agua de riego. La temperatura en °C fue obtenida desde el sitio electrónico www.meteored.cl para cada semana en estudio.

Análisis Proximal

El contenido de proteína cruda se determinó utilizando el método de Kjeldahl con un factor de conversión de 6,25. Se obtuvo el contenido de lípidos gravimétricamente después de la extracción Soxhlet, usando éter de petróleo (Merck, pa) como disolvente de acuerdo al

método descrito en el método AOAC No. 920.39 (AOAC, 1990). El contenido de fibra en bruto se estimó por el método de Weende a través de una hidrólisis ácida / alcalina de residuos insolubles, como se describe en el método AOAC No. 962.09 (AOAC, 1990). El contenido de ceniza bruta se calculó mediante incineración en un horno de mufla (Felisa, FE-341, Jalisco, México) a 550 ° C. Todas las metodologías siguieron las recomendaciones de los Métodos Oficiales de Análisis (AOAC, 1990). El hidrato de carbono disponible se estimó por diferencia. El nivel de humedad se determinó mediante el método AOAC No. 934.06 (AOAC, 1990). Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

Tratamiento de Datos

Las determinaciones del análisis proximal se realizaron por triplicado, se utilizó la herramienta STATGRAPHICS Centurion XVI 32-bit edition ®, aplicando un análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias entre los valores medios se analizaron mediante la diferencia menos significativa (DMS) de prueba con un nivel de significación de $\alpha = 0,05$ y un intervalo de

confianza del 95 % ($P < 0,05$). Además, se utilizó la prueba de rango múltiple (MRT) incluido en el programa estadístico para demostrar la existencia de grupos homogéneos dentro de los parámetros humedad, ceniza, proteína, lípidos, fibra y carbohidratos totales.

Los datos experimentales para establecer el crecimiento, se analizaron aplicando la metodología superficie de respuesta (RSM) y un diseño experimental centrado frontal factorial de 3 niveles: 3^2 el cual estudiará los efectos de 2 factores (temperatura media semanal y relación agua salada) en 13 corridas, incluyendo 4 puntos centrales por bloque, con un nivel de significancia del 5 %, Para establecer el ajuste al modelo, se observan los coeficientes de determinación, la falta de ajuste y los gráficos de residuos.

RESULTADOS

La Tabla I muestra el análisis proximal a las tres muestras en estudio. Se observan diferencias significativas en Humedad, Ceniza, Proteína, Fibra Cruda y Carbohidratos.

Tabla I. Análisis proximal de las muestras analizadas. Valores expresan las medias \pm desviación estándar (n=3). Letras diferentes en el exponente de la misma fila muestran que hay diferencias significativas (p-valor < 0,05)

Muestra	Humedad [g/100g]	Desv St.	Ceniza [g/100g]	Desv St.	Proteína [g/100g]	Desv St.
Vaina con Semillas	5,4167 ^b	0,28	38,7067 ^a	4,72	11,1170 ^a	0,09
Planta en Crecimiento	4,5933 ^a	0,52	38,4667 ^a	5,13	7,2600 ^b	0,12
Semilla	3,8733 ^a	0,29	49,8867 ^b	4,18	6,7467 ^c	0,05

Muestra	Lípidos [g/100g]	Desv St.	Fibra Cruda [g/100g]	Desv St.	Carbohidratos [g/100g]	Desv St.
Vaina con Semillas	10,0900 ^a	0,90	38,4267 ^a	0,64	34,6700 ^{ab}	4,91
Planta en Crecimiento	10,1767 ^a	0,81	41,9000 ^b	0,06	39,5033 ^b	4,63
Semilla	10,4033 ^a	1,10	45,4867 ^c	0,47	29,0900 ^a	4,00

Fuente: elaborado por los autores

Los resultados de la optimización de crecimiento considerando los tres tipos de mezclas de agua para riego y las temperaturas se presentan en la tabla 2, el Análisis de varianza de crecimiento divide la variabilidad de crecimiento en piezas separadas para cada uno de los efectos, entonces

prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0 %.

Tabla 2. Análisis de Varianza para Crecimiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Agua	696,819	1	696,819	310,37	0
B:temperatura	0,256267	1	0,256267	0,11	0,747
AA	13,8624	1	13,8624	6,17	0,0475
AB	73,2736	1	73,2736	32,64	0,0012
BB	28,8643	1	28,8643	12,86	0,0116
Error total	13,4707	6	2,24512		
Total (corr.)	816,885	11			

Fuente: elaborado por los autores

El estadístico R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica 98,35 % de la variabilidad en Crecimiento. El estadístico R^2 ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 96,98 %. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1,50. El error medio absoluto (MAE) de 0,84 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0 %, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0 %.

El coeficiente de regresión para crecimiento se presenta a continuación (Ecuación 1), en donde

las variables están especificadas en sus unidades originales.

$$\text{Crecimiento} = -58,8208 + 0,0642121 * \text{Agua Salada} + 5,5492 * \text{Temperatura} + 0,00003648 * \text{Agua Salada}^2 - 0,00311273 * \text{Agua Salada} * \text{Temperatura} - 0,10876 * \text{Temperatura}^2$$

(Ecuación 1)

Se presenta a continuación en la Tabla 3, la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Crecimiento sobre la región indicada. El Valor Óptimo se obtiene con 750 cc y temperatura de 14,75°C, la representación gráfica se presenta en la Figura 1.

Tabla 3. Respuesta Optimización

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Agua	250	750	750
Temperatura	13	24	14,75

Fuente: elaborado por los autores

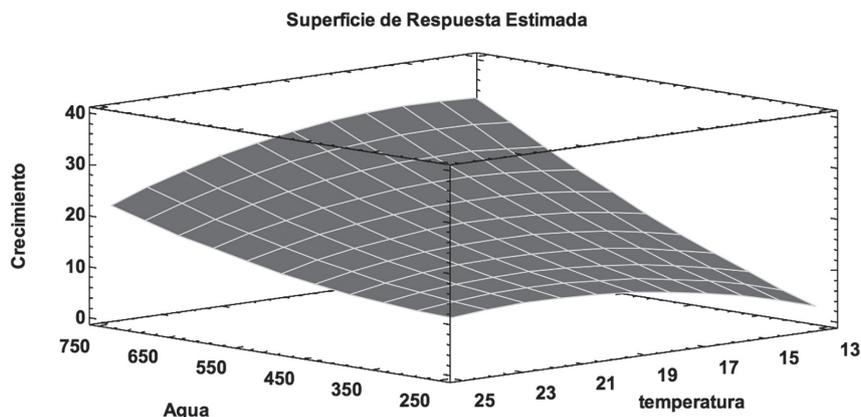


Figura 1. Superficie Respuesta Estimada.

Fuente: elaborado por los autores

DISCUSIÓN

El estudio de Díaz, Benes y Grattan en 2013 en la parte occidental del Valle de San Joaquín en California, también encontró altos índices de ceniza para esta planta, es en la semilla donde se reportan los mayores niveles de ceniza.

La proteína presenta diferencias significativas en las tres muestras, los valores promedios son menores a los reportados en la especie analizada bajo condiciones de campo en el estudio de Rueda et al., (2005) realizado en México.

Destacables son los altos valores de fibra de las especies analizadas, los que varían entre 38,2 y 45,85 g/100g, muy por encima de los 5,3 % del estudio realizado por Glenn et al. (2013), en Puerto Peñasco, México. Se aprecian diferencias significativas en las muestras, y es la semilla la que posee los niveles más altos.

Los niveles más altos de carbohidratos se encuentran en la planta en crecimiento y en menor medida en la muestra semilla. En cuanto a los lípidos, no existen diferencias significativas en las muestras estudiadas, sin embargo, los valores son menores respecto a los analizados en la especie del estudio de Rueda et al. (2005).

A medida que disminuye la concentración de agua dulce, y la temperatura se torna alrededor de los 14°C, se obtiene un óptimo de crecimiento,

siendo la media de temperatura en la zona de estudio del orden de los 18°C. En el estudio realizado por Falasca et al. (2014) las condiciones de crecimiento señalan que no es adecuado el crecimiento para cultivo en zonas menores a los 20°C, y añade que las precipitaciones deben oscilar entre los 80 y 300 mm en la zona, esta variable no fue estudiada por encontrarse en sequía hidrológica la zona de estudio.

Katschnig, Broekman & Rozema en 2013, determinaron en su estudio realizado en los Países Bajos que el crecimiento aumentó en la *S. dolichostachya* cuando las concentraciones de sal aumentaron desde 50 a 300 mM NaCl y el crecimiento se redujo a mayor concentración de sal 500 mM NaCl.

CONCLUSIONES

Los cultivos no convencionales son vistos como una alternativa para la agricultura en zonas de sequía, el uso de halófitos como cultivos comerciales puede impactar de manera importante en una sociedad. Se pudo establecer altos niveles de fibra de las especies analizadas, entre 38,2 y 45,84 g/100g, siendo la semilla quien presenta los niveles más altos.

Se obtuvo un mejor resultado con la tasa de riego igual a 750 cc salada y 250 cc dulce, donde

se presentó una menor mortalidad de plantas (10 %), si este resultado es comparado con la tasa de riego igual a 500 cc salada y 500 cc dulce obtuvo una tasa de mortalidad de 30% y la mezclas 250 cc salada y 750 cc dulce la mortalidad alcanzó un 70%.

Igualmente, se alcanza el óptimo de crecimiento con la mezcla de 750 cc de agua salada y 250 cc de agua dulce, para una temperatura de 14,75 °C, por lo cual se sugiere trabajar en un invernadero que permita mantener dicha temperatura para optimizar el crecimiento de la planta.

El uso que tiene esta planta es diverso, considera no solo consumo humano, sino otras industrias importantes a nivel mundial. Considerando los niveles de fibra y carbohidratos de la especie analizada se sugieren futuras investigaciones como desarrollo de forraje para animales, adicional a la factibilidad técnico económica de obtención de biodiesel.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto fue financiado por el Gobierno Regional de Coquimbo a través de un Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC) y ejecutado por la Universidad de La Serena suscrito al proyecto PMI 1401 “Eficiencia Energética y Sustentabilidad Ambiental”, los autores agradecen el apoyo financiero e institucional de ambas instituciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aitken, D.; Bulboa, C.; Godoy, A.; Turrion, J. & Antizar, B. (2014). Life cycle assessment of macroalgae cultivation and processing for biofuel production. *Journal of Cleaner Production*, 75(15), 45-56.
- A.O.A.C. (1990). *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemist. EUA: AOAC.
- Andrade, P.; Barbosa, M.; Matos, P.; Lopes, G.; Vinholes, J.; Mougá, T. & Valentão, P. (2013). Valuable compounds in macroalgae extracts. *Food Chemistry*, 138(2-3), 1819-1828.
- Bedoux, G.; Hardouin, K.; Burlot, A. & Bourgougnon, N. (2014). Chapter Twelve - Bioactive components from seaweeds: cosmetic applications and future development. *Advances in Botanical Research*, 71, 345-378.
- Castillo, M.; Alvarez, A.; Carvajal, S. & Salinas, S. (2015). Implementation of a Cleaner Production Agreement and impact analysis in the grape brandy (pisco) industry in Chile. *Journal of Cleaner Production*, 96, 110-117.
- Corporación Nacional Forestal de Chile. (2016). Marco de Gestión Ambiental y Social. De la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales de Chile. Chile: La Corporación.
- Chile. Ministerio de Energía. (2012). Estrategia Nacional de Energía 2012 – 2030. Chile: El Ministerio.
- Chile. Ministerio de Obras Públicas. (2012). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, 2012 – 2025. Chile: El Ministerio.
- Daroch, M.; Geng, S. & Wang, G. (2013). Recent advances in liquid biofuel production from algal feedstocks. *Applied Energy*, 102, 1371-1381.
- Díaz, F.; Benes, S. & Grattan, S. (2013). Field performance of halophytic species under irrigation with saline drainage water in the San Joaquin Valley of California. *Agricultural Water Management*, 118, 59-69.
- Falasca, S.; Ulberich, A. & Acevedo, A. (2014). Identification of Argentinian saline drylands suitable for growing *Salicornia bigelovii* for bioenergy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(16), 8682-8689
- Glenn, E.; Anday, T.; Chaturvedi, R.; Martinez, R.; Pearlstein, S.; Soliz, N. & Felger, R. (2013). Three halophytes for saline-water agriculture: An oilseed, a forage and a grain crop. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 110-121.
- International Energy Agency. (2012). *World Energy Outlook 2012*. Francia: IEA Publications Available at: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Spanish.pdf>
- Kadereit, G.; Ball, P.; Beer, S.; Mucina, L.; Sokoloff, D.; Teege, P.; Yaprak, A. & Freitag, H. (2007). A taxonomic nightmare comes true: phylogeny and biogeography of glassworts (*Salicornia* L., *Cenopodiaceae*). *Taxon*, 56(4), 1143-1170.

- Katschnig, D.; Broekman, R. & Rozema, J. (2013). Salt tolerance in the halophyte *Salicornia dolichostachya* Moss: Growth, morphology and physiology. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 32-42.
- Khan, Z.; Hussain, A.; Ashraf, M. & McDowell, L. (2006). Mineral status of soils and forages in southwestern Punjab-Pakistan: Micro-minerals. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 19(8), 1139.
- Panta, S.; Flowers, T.; Lane, P.; Doyle, R. Haros, G. & Shabala, S. (2014). Halophyte agriculture: Success stories. *Environmental and Experimental Botany*, 107, 71-83.
- Park, J.; Lee, K. & Lee, E. (2001). Effects of CO₂ addition on flame structure in counterflow diffusion flame of H₂/CO₂/N₂ fuel. *International Journal of Energy Research*, 25(6), 469-485.
- Rueda, E.; Dieguez, E.; Cervantes, T.; Murillo, B.; Vega, O. & De Leon, L. (2005). Modificación del Valor Nutricional de Ácidos Grasos en Semilla de la Halofita *Salicornia bigelovii* Torr. con la Interacción de Bacterias Promotoras del Crecimiento de Plantas (*Azospirillum halopraeferens* y *Klebsiella pneumoniae*). *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 36.
- Rueda, E.; Beltrán, F.; Ruíz, F.; Valdez, R.; García, J.; Ávila, N.; Partida, L.; Murillo, B. (2011). Opciones de manejo sostenible del suelo en zonas áridas: Aprovechamiento de la halofita *Salicornia bigelovii* (Torr.) y uso de biofertilizantes en la agricultura moderna. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2), 157-167.
- Schultz-Jensen, N.; Thygesen, L.; Tjalfe, T.; Roslander, C.; Lilholt, B. (2013). Pretreatment of the macroalgae *Chaetomorpha linum* for the production of bioethanol – Comparison of five pretreatment technologies. *Bioresource Technology*, 140, 36-42.
- Shpigel, B.; Shauli, L.; Sagi, M.; Ventura, Y.; Samocha T. & Lee, J. (2013). Constructed wetland with *Salicornia* as a biofilter for mariculture effluents. *Aquaculture*, 412-413(1), 52-63.
- Wang, X.; Zhang, M.; Zhao, Y.; Wang, H.; Liu, T. & Xin, Z. (2013). Pentadecyl ferulate, a potent antioxidant and antiproliferative agent from the halophyte *Salicornia herbacea*. *Food Chemistry*, 141(3), 2066-2074.