



ARTÍCULO

Aproximación a la distribución potencial de *Atriplex nummularia* Lindl. en la Región de La Araucanía, Chile.

Manuel Vial Alarcón^{1*}.

¹INIA Carillanca, Chile. manuel.vial@inia.cl

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.564>

Recibido: 07.07.2022; Aceptado 26.7.2022

RESUMEN

Las actuales condiciones climáticas y procesos provocados por el cambio climático obligan a indagar la posibilidad de establecimiento de nuevas especies en la Región de La Araucanía, particularmente en los sectores de secano. De aquí surge el interés por *Atriplex nummularia* Lindl. (Chenopodioideae) que es un arbusto perenne caracterizado por su elevada capacidad adaptativa y su uso multipropósito, principalmente como forraje en época de escasez y protección de suelos.

Se presentan resultados sobre capacidad de acogida y distribución potencial de la especie en La Araucanía (37° Lat S, Chile) a partir de la ejecución del programa Maxent, basado en el nicho ecológico y ubicación geográfica de la presencia de la especie, sumando variables climáticas (BIO) (1970-2000), valores cualitativos de calidad de suelo (SQ) y un modelo digital de elevación (MODELEV).

Se originó un mapa que estima la capacidad de acogida de la especie en la Región, donde los distritos agroclimáticos Angol y Chillan del secano interior dan la mejor acogida para el crecimiento y desarrollo de la especie; en menor grado los distritos agroclimáticos de Traiguén, Temuco y Concepción; por el contrario, la parte este del valle central, precordillera y cordillera andina son zonas con menor o nula capacidad de acogida. Estos resultados se deben considerar a nivel general, dado que por la escala de análisis pueden existir sectores o condiciones fisiográficas particulares que el modelo y mapa de salida no distinguieron.

Palabras clave: Secano interior, *Atriplex nummularia* Lindl., Región de La Araucanía, capacidad de acogida, nicho ecológico.

SUMMARY

The current climatic conditions and processes caused by climate change make it necessary to investigate the possibility of establishing new species in the La Araucanía Region, particularly in dryland sectors; given this, interest arises in *Atriplex nummularia* Lindl. (Chenopodioideae), a perennial shrub characterized by its high adaptive capacity and used for various purposes, mainly as fodder for livestock and soil protection.

Results about possible occupation and potential distribution of *the species* in La Araucanía (37°Lat S, Chile) is presented using Maxent software, which is based on the concept of ecological niche and geographical location of the presence of the species, adding climatic variables (BIO) (1970-2000), soil quality values (SQ) and a digital elevation model (MODELEV).

The analysis procedure produced an output map that allows us to approximate the possible occupation capacity of the species in the Region, where the macro zone of drylands and specifically the agro-climatic areas of Angol and Chillan provide the best conditions for the species to establish and develop; to a lesser degree the agro-climatic areas of Traiguén, Temuco and Concepción; on the other hand, the eastern part of the central valley, the low mountain range and the Andean mountain range are the areas with the least or no possible occupation capacity. These results should be considered at a general level given that, due to the scale of analysis, there may be particular sectors or physiographic conditions that the model and output map did not perceive.

Key words: Drylands, *Atriplex nummularia*, Araucanía region, possible occupation, ecological niche.

INTRODUCCIÓN

Características de la Especie

Atriplex nummularia Lindl. es una especie arbustiva perenne perteneciente a la familia de las quenopodiáceas; crece de forma erguida con una configuración basítona con hábito clasificado como nanofanerófito; presenta ramaje extendido y profuso, alcanzando entre 3 a 4 m; es nativa de Australia y actualmente con amplia distribución en varios países, principalmente en zonas áridas y semiáridas; se adapta a varios tipos de suelos, siendo reconocida por su condición de planta halófito, con alta tolerancia a suelos salinos y sódicos, desarrollándose además en suelos que no reúnen esa condición; en general, no crece en suelos excesivamente densos, compactados (atributos físicos desfavorables), o con problemas de anegamiento y mal drenaje, lo cual también ocurre con *A. semibaccata* (Saquella *et al.*, 1996; Ruiz y Parera, 2013).

Es una especie tolerante a la sequía, que se desarrolla en condiciones áridas y semiáridas, en un rango de pluviometría anual de entre 180 y 600 mm. Es una planta de fotosíntesis tipo C4, que crece activamente en temperaturas a partir de los 10-13°C (coincidente a parte de la primavera, verano y parte del otoño en clima mediterráneo) (Pham Thi *et al.*, 1982; Squella *et al.*, 1985). Las temperaturas medias para el crecimiento óptimo de la especie van entre los 30-35°C; temperaturas menores a 0°C provocan daños, teniendo como rango de tolerancia el comprendido entre los -8° y -12°C, bajo lo cual la planta debería morir; sin embargo, se ha informado de su sobrevivencia en localidades donde se registran temperaturas de entre -10 y -15°C (Otal y Correal, 2011; Falasca *et al.*, 2014). Autores señalan que la condición del suelo en el sitio-específico de plantación es de alta relevancia para el desarrollo de la planta, condicionando significativamente su desarrollo y productividad final en biomasa (Azócar *et al.*, 2007; Díaz *et al.*, 2020). Se ha utilizado como especie multipropósito (protección de suelos, abastecedora de material leñoso y forraje) en sistemas áridos y semiáridos; al respecto, se ha manejado como especie útil para el control de la erosión, conservación de suelos y combate a la desertificación (Le Houerou, 1992; Guevara *et al.*, 2005; Zucca *et al.*, 2013; Gacitúa-Ferrer, 2017).

La eficiencia del uso de la lluvia puede ser muy alta en condiciones casi óptimas de secano, llegando hasta 15-20 kg MS/ha por año y por mm de precipitación (Gintzburger *et al.*, 2000). Dada su elevada productividad de biomasa y persistencia, *Atriplex nummularia* Lindl. ha sido considerada como especie cultivable, principalmente de uso forrajero como recurso alimenticio estratégico durante el periodo seco (verano tardío y otoño), cuando no hay disponibilidad de forraje en praderas de ambientes semiáridos y climas mediterráneos secos; también puede suplir el suministro urgente de forraje en época primaveral o periodos de escasez por sequías catastróficas (Le Houérou, 1985); además se han observado efectos positivos sobre la tasa de crecimiento de la lana y peso corporal del ganado ovino bajo condiciones controladas; asimismo, es utilizado como suministro dietario complementario en raciones para cabras y ovinos, observándose un mejor aprovechamiento por el ganado caprino (Hyder, 1981; Abou El Nasr *et al.*, 1996; Norman *et al.*, 2004; Franklin-McEvoy *et al.*, 2007; Norman *et al.*, 2008; Ben Salem *et al.*, 2010; Askar *et al.*, 2016).

En Chile, el género *Atriplex* ha sido ampliamente utilizado para la recuperación de suelos, lucha contra la desertificación y uso como suplemento forrajero, concentrando plantaciones en la región de Coquimbo; siendo la principal especie *Atriplex nummularia* Lindl, pero además se encuentran las especies nativas como *Atriplex repanda* Phil. y *Atriplex deserticola* Phil.; el éxito del programa de forestación ha llevado a que al año 2016 existiesen 62.090 ha plantadas con *A. nummularia* (Meneses *et al.*, 2012; ODEPA, 2019).

Situación en el Secano Interior

Modelos de escenarios climáticos al año 2050 pronostican una severa modificación climática en el secano interior y valle central de la Región de La Araucanía (Latitud 37° Sur, Chile), cambiando de una condición húmeda a subhúmeda y de zonas subhúmedas a zonas semiáridas (AGRIMED, 2017). Indicadores como el Índice de aridez y Régimen de aridez apuntan a una mayor cantidad de meses secos y extensión continua de periodos bajo esa condición (Cuadro 1); al respecto, el indicador de

transición a condiciones semiáridas ha sido el Régimen de Aridez o Régimen Hídrico, usado además para establecer las zonas de riesgo de desertificación mediante la intensidad de la sequía estival en meses acumulados bajo el rango de $<0,5$ (UNESCO, 2010). Dicho escenario obliga a indagar la capacidad adaptativa de nuevas especies forrajeras o multipropósito para condiciones semiáridas.

Cuadro 1. Datos climáticos de estaciones ubicadas en el secano interior y clasificación del Régimen hídrico clasificado según la longitud del período con déficit de agua. $LP_D=N^\circ$ de meses secos = $P_m/ET_0 < 0,5$. Período 2018-2022.

Estación agrometeorológica ⁽¹⁾	Período interanual	N° meses secos continuos ($P_m/ET_0 < 0,5$)	Clasificación por Longitud de Estación Seca
El Vergel, Angol. 37°82'S; 72°66'O; 81 msnm.	2018-2019	7	Semiárido
	2019-2020	8	Semiárido
	2020-2021	8	Semiárido
	2021-2022	6	Subhúmedo
San Rafael, Los Sauces. 38°04'S; 72°43'O; 175 msnm.	2017-2018	4	Húmedo
	2018-2019	6	Subhúmedo
	2019-2020	8	Semiárido
	2020-2021	7	Semiárido
	2021-2022	7	Semiárido

(1) Red agrometeorológica de INIA. <https://agrometeorologia.cl/>

El objetivo del presente trabajo es formular una primera aproximación de la distribución potencial de adaptación de *Atriplex nummularia* en la Región de La Araucanía (Chile), mediante la aplicación de un modelo fundamentado en la ocupación natural georreferenciada, capacidad adaptativa de la especie y ocupación potencial de nicho ecológico de acogida.

MATERIAL Y METODO

Área de Estudio

El área de estudio corresponde a la Región de La Araucanía (31.842 km²), sin embargo, con el fin de congregarse datos referenciales aportados por las diversas fuentes utilizadas se consideró para análisis preliminar el mapa de Sudamérica (coordenadas EPSG:4326 - WGS 84) y luego recorte del espacio regional.

Presencia de la Especie

Los registros con presencia de numularia se obtuvieron desde bibliografía específica y base de datos disponibles en GBIF (Global Biodiversity Information Facility) correspondientes a las especies citadas: *Atriplex nummularia* Lindl., *Atriplex nummularia* Lindl. subsp. *nummularia*, *Atriplex nummularia* Lindl. subsp. *omissa* Aellen, *Atriplex nummularia* Lindl. subsp. *spathulata* Aellen.

Con tales registros se generó una base de datos de 3227 puntos georreferenciados utilizando el *plugin GBIF occurrences* en Qgis®. Con el fin de focalizar el análisis en las condiciones de Sudamérica, se consideró 57 puntos a los cuales se sumaron nuevas ubicaciones, considerando la presencia de la especie en parte de la Patagonia Argentina (Junín, Cuyo, Mendoza, Zapala-Neuquén, Camarones-Chubut), norte de Chile (Región Coquimbo principalmente) y sitios de seguimiento en la Región de La Araucanía, (Squella *et al.*, 1985; Ciano *et al.*, 2006; Meneses *et al.*, 2012) generando un archivo para proceso (*.csv). Los puntos de ubicación y polígonos fueron procesados con Qgis® 3.16.

Método de Simulación

Se utilizó el método de máxima entropía determinado por la salida del programa Maxent versión 3.2b (Phillips *et al.*, 2006). El modelo que ejecuta el software se basa en el concepto de ocupación del nicho ecológico, arrojando la distribución potencial de la especie, al analizar e integrar variables ecológico-bioclimáticas asociadas a poblaciones de la especie (presencia), determinando su desarrollo y tendencia a la colonización. El método permite encontrar áreas potenciales donde las especies aún no han habitado y que potencialmente pueden ocupar. Se ingresó los registros de la presencia de la especie (*.csv) delimitando el espacio de análisis y simulando una distribución de probabilidad de ocurrencia de presencia de la especie, o de capacidad de acogida, sobre la base de variables climáticas, edáficas y elevación.

Antes de la realización de las iteraciones con el programa Maxent, se ajustó las capas, dejando homologable cada pixel para el análisis; posteriormente se elevó la resolución de cada capa llegando a un pixel mínimo entre 735 m por 935 m, equivalente a 68,7 hectáreas por pixel de resolución asociado a la salida modelada.

En la salida de datos, Maxent aplica el test de Jackknife y AUC (Area Under the Curve), midiendo la importancia de cada variable en el desarrollo del modelo. El área bajo la curva (AUC) es un indicador efectivo del comportamiento del modelo (Manel *et al.*, 2001). Se considera adecuado si la línea de prueba se ubica cerca del tope superior izquierdo, dado que tiene mayor capacidad de predecir las presencias de la muestra de prueba. Usualmente se clasifica la confiabilidad del modelo en base a los valores de AUC con la siguiente escala: no confiable (AUC menor de 0,5); confiabilidad baja (0,5 a 0,7); aplicación útil del modelo (0,7 a 0,9); y confiabilidad alta del modelo (AUC mayor que 0,9).

Se consideró la salida logística, lo cual proporciona una estimación entre cero y uno de la probabilidad de presencia, asumiendo que el diseño del muestreo es tal que las típicas localizaciones tienen una probabilidad de presencia desde 0,5. A partir de los datos se realiza una clasificación para mejorar la visualización de la variabilidad de datos e interpretación a nivel visual y geográfico (Cuadro 2).

Cuadro 2: Codificación por Clasificación de rango en mapa de salida.

Clasificación	Rango de la salida logística (0-1)
0	0-0,1
1	0,1-0,25
2	0,25-0,5
3	0,5-0,75
4	0,75-1

Variables Climáticas

Las variables climáticas representan tendencias anuales (temperatura media anual, precipitación anual), estacionalidad (rango anual de temperatura y precipitación) y factores ambientales extremos o limitantes (temperatura del mes más frío y cálido, y precipitación de los meses más húmedo y cálido), entre otros. Las capas fueron obtenidas de la base de datos WorldClim¹ (Fick & Hijmans, 2017) versión 2.1 con datos entre 1970-2000, considerando 19 variables con el indicativo *BIO* bajo un recuadro de pixel en archivo ASCII (*.asc) (X: 2160 Y: 1080). La codificación y detalle se indican en el Cuadro 3.

¹ <https://www.worldclim.org/data/index.html>

Cuadro 3: Detalle de las variables climáticas consideradas para la confección del modelo.

Código	Detalles por indicador
BIO 1	Temperatura Media Anual
BIO 2	Intervalo medio diario (media mensual (t° máxima – t° mínima))
BIO 3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (x100).
BIO 4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar x100)
BIO 5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO 6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO 7	Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)
BIO 8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO 9	Temperatura Media del Cuarto Más Seco
BIO 10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO 11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO 12	Precipitación Anual
BIO 13	Precipitación del mes más lluvioso
BIO 14	Precipitación del mes más seco
BIO 15	Estacionalidad de la Precipitación (Coeficiente de Variación)
BIO 16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO 17	Precipitación del Trimestre Más Seco
BIO 18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO 19	Precipitación del trimestre más frío

Variables Edáficas

Para la confección de las salidas del modelo se utilizó los parámetros del suelo proporcionados por HWSD² (Harmonized World Soil Database) (Fischer *et al.*, 2008; FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, 2012), que considera siete cualidades del suelo importantes para la producción de cultivos, como: disponibilidad de nutrientes, capacidad de retención de nutrientes, condiciones de enraizamiento, disponibilidad de oxígeno para las raíces, exceso de sales, toxicidad y viabilidad de uso productivo.

Las cualidades del suelo están relacionadas con su viabilidad de uso agrícola, más específicamente, con los requisitos y tolerancias específicos de los cultivos. Cada pixel se origina en datos ASCII (*.asc) (X: 4320 Y: 2160). El indicativo de los aspectos de calidad de sitio y detalles se señalan en la Cuadro 4.

Cuadro 4: Detalle de las cualificaciones de indicadores de calidad de suelo (HWSD).

Indicativo e información aportada	Características del suelo
SQ1 Disponibilidad de nutrientes	Textura del suelo, carbono orgánico del suelo, pH del suelo, bases intercambiables totales.
SQ2 Capacidad de retención de nutrientes	Suelo Carbono orgánico, textura del suelo, saturación de bases, capacidad de intercambio catiónico del suelo y de la fracción arcillosa.
SQ3 Condiciones de enraizamiento	Texturas del suelo, densidad aparente, fragmentos gruesos, propiedades vérticas del suelo y fases del suelo que afectan la penetración de las raíces y la profundidad y el volumen del suelo.
SQ4 Disponibilidad de oxígeno para las raíces.	Drenaje del suelo y fases del suelo que afectan el drenaje del suelo.
SQ5 Exceso de sales.	Salinidad del suelo, sodicidad del suelo y fases del suelo que influyen en las condiciones de sal.
SQ6 Toxicidad	Carbonato de calcio y presencia de yeso.
SQ7 Viabilidad para su utilización y facilidad mecánica de labranza	Textura del suelo, profundidad/volumen efectivo del suelo y fases del suelo que limitan el manejo del suelo (profundidad del suelo, afloramiento rocoso, pedregosidad, grava/concreciones y capas duras).

² <http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/>

Datos de Altitud (Modelo Digital de Elevación)

Como aporte a la confección del modelo se utilizó el archivo de elevación digital global (MODELEV) GTOPO30, generado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), con un espacio de cuadrícula horizontal de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 kilómetro), y que tiene su origen en varias fuentes raster y vectoriales de información topográfica en mosaicos. Cada pixel se configura bajo un recuadro de archivo (*.asc) (X: 4800 Y: 6000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Salida Gráfica

La salida grafica (a) de la Figura 1, señala un valor AUC de 0,99; indicando una alta confiabilidad del modelo y amplia distribución de la especie con los datos que fundamentan el análisis. El grafico Jackknife (Figura 1, (b)) determinó que la variable de mayor importancia es BIO 18 (precipitación del trimestre más cálido), atribuyéndose el mayor contenido de información útil de manera aislada. La segunda variable con mayor ganancia es BIO 6 (temperatura mínima del mes más frío), mostrándose muy cercana de la variable B15 (estacionalidad de la Precipitación).

En relación a variables de calidad de suelo (SQ) se asocian aportes de SQ4 (disponibilidad de oxígeno para las raíces) y SQ 6 (toxicidad) en proporciones similares, contribuyendo ambos con información de influencia determinante para el proceso de arraigo de la especie. Asociado a lo anterior, el modelo de elevación (MODELEV) evidencia que la elevación es una variable que tiene elevada presencia en todos los aspectos de análisis, tanto de influencia por sí mismo, como en aspectos de constitutivos del modelo y su expresión geográfica.

El Cuadro 5 proporciona estimaciones de las contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo de Maxent. En él se observa que 3 variables inciden sobre el modelo en un 83,5%, siendo la principal el modelo de elevación y luego la estacionalidad de las precipitaciones, seguida por la precipitación del trimestre más cálido.

Al agrupar por temáticas interpretadas como determinantes, que congregan las variables y su porcentaje de contribución (Cuadro 6) se obtiene que el suministro de agua y el momento en que se produce dicho abastecimiento (1) contribuye, junto con la topografía asociada con la altitud (2) en un 83,7%, seguido de las diferencias de temperatura y calidad de suelo (3, 4) con un 16,3%.

La determinante *Momento y suministro de agua* (1) concentra componentes como la estacionalidad de la precipitación y el suministro en el trimestre más cálido. Al respecto, el desarrollo de biomasa es funcional al suministro de agua que recibe la planta (Azocar *et al.*, 2007); en zonas desérticas (Negev, Israel), con pluviometría de 227 mm/año, se producen 3,2 t/MS/ha con una densidad de 10.000 plantas/ha y 0,9 t/MS/ha con una densidad de 625 plantas/ha (Benjamin *et al.*, 1995); en Australia Occidental (Yealering, Perth), con 362 mm/año logran producir 0,5 t/MS/ha con una densidad de rodal de 670 plantas/ha (Norman *et al.*, 2008). En contraste, Watson *et al.* (1987), bajo condiciones de riego (Safford, Arizona), obtuvo una producción de 12,7 t/MS/ha/año con una densidad de 17.078 plantas/ha.

En el norte de Chile (Lat. 31°, terrazas costeras) se registran producciones anuales altamente variables en función de la pluviometría, la condición de sitio y el régimen de pastoreo al cual ha sido sometida la plantación; en Los Vilos, con plantas de 30 meses, la producción fue de 0,21 t/MS/ha; en Agua Amarilla 0,57 t/MS/ha, Huentelauquén 0,785 t/MS/ha y Totoral 0,086 t/MS/ha; en la zona central (Llaillay, Lat. 32°, valle central) la producción es de 0,228 t/MS/ha (Squella y Meneses, 1996); asimismo, la combinación de plantaciones con obras de conservación de suelos y captación de aguas lluvia favorecen el arraigo y desarrollo de las plantas de *Atriplex* en zonas áridas y semiáridas (Squella y Meneses, 1996; Gacitúa-Ferrer, 2017).

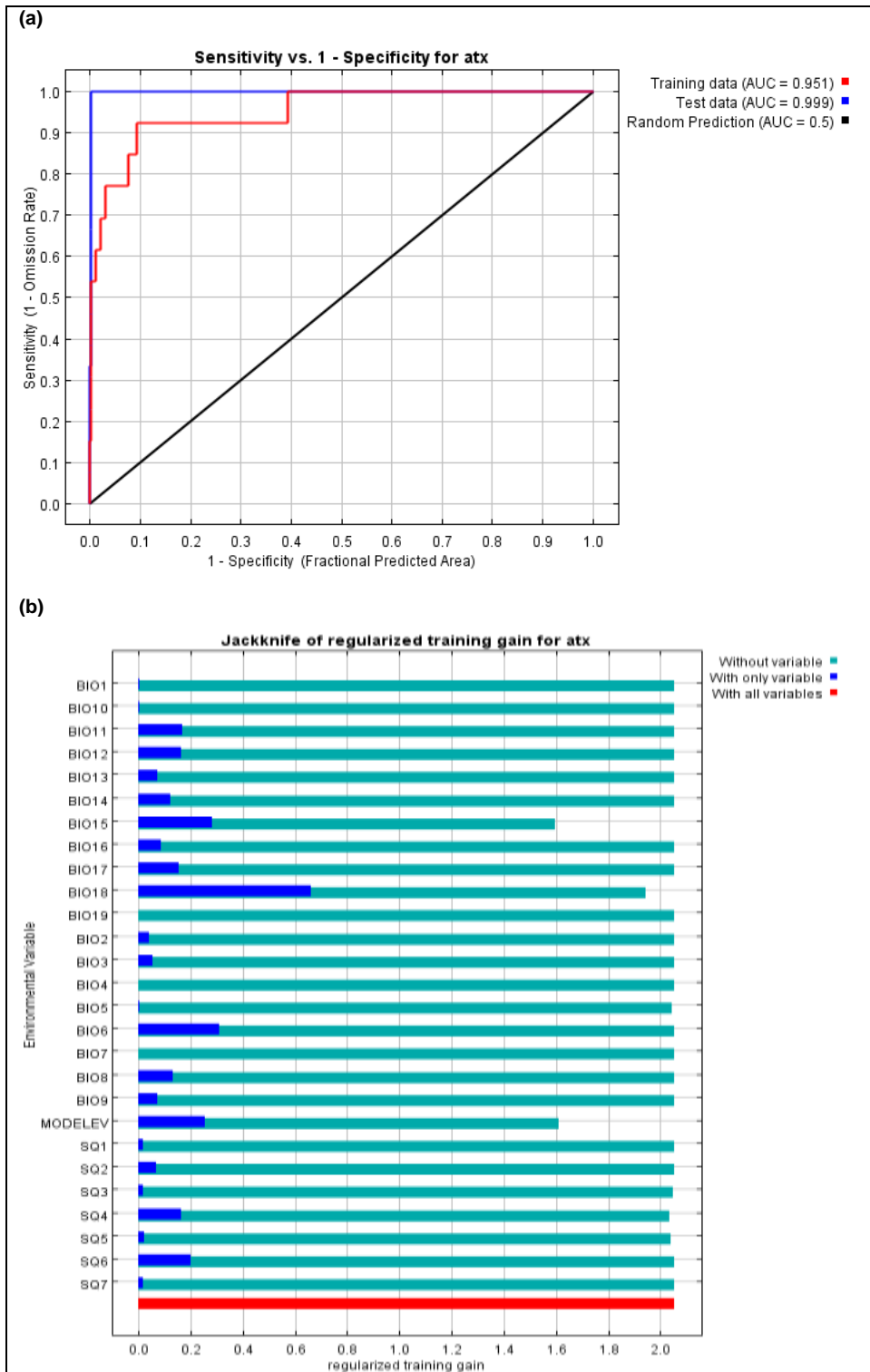


Figura 1: Salidas graficas (Maxent) resultante (a) AUC y (b) Jackknife.

Cuadro 5: Contribución porcentual de variables.

N°	Variable	Detalle	Porcentaje contribución	Importancia permutación
1	MODELEV	Modelo digital de elevación (DEM)	38,9	46,1
2	BIO15	Estacionalidad de la Precipitación (Coeficiente de Variación)	23,4	13,6
3	BIO18	Precipitación del trimestre más cálido	21,2	26,9
4	BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo	7,3	0
5	SQ6	Toxicidad (Carbonato de calcio y presencia de yeso)	4,4	1,5
6	SQ4	Disponibilidad de oxígeno para las raíces	1,9	2,6
7	SQ5	Exceso de sales	1	0,5
8	SQ1	Disponibilidad de nutrientes	0,5	0,2
9	BIO6	T° mínima del mes más frío	0,5	4,7
10	BIO5	T° máxima del mes más cálido	0,4	1,6
11	BIO13	Precipitación del mes más lluvioso	0,2	1,6
12	BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (x100)	0,1	0
13	SQ3	Condiciones de enraizamiento	0,1	0,6
14	SQ2	Capacidad de retención de nutrientes	0,1	0

Cuadro 6: Agrupación de variables incidentes.

N°	Determinante	Variables consideradas	Contribución agrupada (%)
1	Momento y suministro de agua	BIO13, BIO15, BIO18	44,8
2	Topografía/Altitud	MODELEV	38,9
3	Temperatura	BIO3, BIO5, BIO6, BIO8	8,3
4	Calidad de suelo	SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, SQ5, SQ6	8
Total			100

La determinante topografía y altitud (2) son factores que contribuyen relevantemente a la definición de la capacidad de acogida para la especie. Al respecto, [Valdés & Correa \(1993\)](#) señalan que los sectores planos y de pendiente moderada son más aptos para el establecimiento de la especie en IV Región de Chile que sectores con pendientes más pronunciadas; esta determinante, tiene relación con la profundidad de suelo para el arraigo radicular, condiciones texturales, pedregosidad y capacidad de retención de agua; asimismo, el régimen altitudinal está aparejado a condiciones climáticas incidentes con la altitud, principalmente temperatura ([FAO-Ecocrop, 1993-2007](#)).

La determinante de temperatura (3) se encuentra compuesta por isotermalidad y estabilidad térmica (temperaturas máximas en los meses más cálidos y medias y mínimas de los meses más fríos); al respecto, autores señalan mayores tasas de crecimiento en llanuras vecinas a los sectores costeros (secano costero y terrazas marinas de la IV Región de Chile) lo cual es atribuido a condiciones de oscilaciones térmicas benignas para la planta y el aporte constante de las neblinas costeras que mitigan el efecto de la aridez de la zona, esto a diferencia de los valles interiores donde el clima presenta menor humedad relativa y variaciones térmicas extremas ([Valdés & Correa, 1993](#); [Squella y Meneses, 1996](#); [Azocar et al., 2007](#)).

En relación a la calidad del suelo (Determinante 4), autores señalan que el factor edáfico establece el arraigo y persistencia de la especie en el sitio ([Azócar et al., 2007](#); [Díaz et al., 2020](#)); al respecto, [Valdés & Correa \(1993\)](#) señalan que el suelo (calidad de suelo) es un factor determinante si un sitio es apto para forestar o no con la especie, estableciendo que la variable edáfica explica el 75% de los rendimientos del

forraje; Lailhacar *et al.* (1991) establecen que la diferenciación en el desarrollo de arbustos adultos, en 27 sitios del norte de Chile, son atribuidas a variables edáficas, tanto químicas como físicas, considerando como aspectos negativos al elevado contenido de arcilla en los sitios y a la presencia de cloro.

Mapa de Salida

El mapa de salida (Figura 2) muestra la distribución de los rangos de clasificación propuestos en la Región de La Araucanía (salida Maxent (*.asc) 0 a 1, reclasificada). La información geográfica obtenida se relacionó con las zonas agroecológicas regionales (Rouanet, 1982; Rouanet *et al.*, 1988) y los distritos agroclimáticos presentes (AGRIMED, 2017) con los detalles climáticos de cada afinidad (Cuadro 7).

Cuadro 7: Distritos agroclimáticos y sus características dentro de la Clasificación 2 y 3 en la Región de La Araucanía.

Clasificación	Rango acogida	Distrito agroclimático	Zona agroecológica asociada	Detalle
4	0,75-1	Angol	Secano Interior	Templado cálido supraternal con régimen de humedad sub húmedo seco (Csb2Shs). Promedio de 231 días consecutivos libres de heladas. Temperaturas favorables a la actividad vegetativa duran 9 meses.
3-4	0,5-0,75 0,75-1	Chillan	Secano Interior	Templado cálido supraternal con régimen de humedad sub húmedo seco (Csb2Shs). Tiene un promedio de 211 días consecutivos libres de heladas. Temperaturas favorables a la actividad vegetativa duran 9 meses.
2-3	0,25-0,5 0,5-0,75	Temuco	Valle Central – Secano costero	Templado cálido mesotermal con régimen de humedad sub húmedo seco (Csb1Shs). Promedio de 205 días consecutivos libres de heladas. Temperaturas favorables a la actividad vegetativa duran 7 meses.
2-3	0,25-0,5 0,5-0,75	Traiguén	Secano Interior – Valle central	Templado cálido mesotermal con régimen de humedad sub húmedo seco (Csb1Shs) Promedio de 214 días consecutivos libres de heladas. Temperaturas favorables a la actividad vegetativa duran 7 meses.
2-3	0,25-0,5 0,5-0,75	Concepción	Secano Costero	Templado cálido supraternal con régimen de humedad sub húmedo seco (Csb2Shs). Promedio de 297 días consecutivos libres de heladas. Temperaturas favorables a la actividad vegetativa duran 9 meses.

Según la Figura 2, la Clasificación 4 (66.820 ha) presenta la mayor capacidad de acogida de la especie, siendo afín al área de influencia de los distritos agroclimáticos Angol y Chillán, predominantes en la zona norte de la región, y correspondientes a la configuración del Secano Interior.

El Secano Interior tiene mayor radiación solar anual, menor pluviometría a nivel regional, mayores temperaturas, menor incidencia de heladas (10 al año) y un periodo seco desde 5 a más meses; estas variaciones climáticas se originan, principalmente, por el efecto adiabático de la Cordillera de la Costa (sombra orográfica) que no permite el paso de nubosidad o carga húmeda hacia la vertiente oriental (Rouanet, 1982; Rouanet *et al.*, 1988; AGRIMED, 2017).

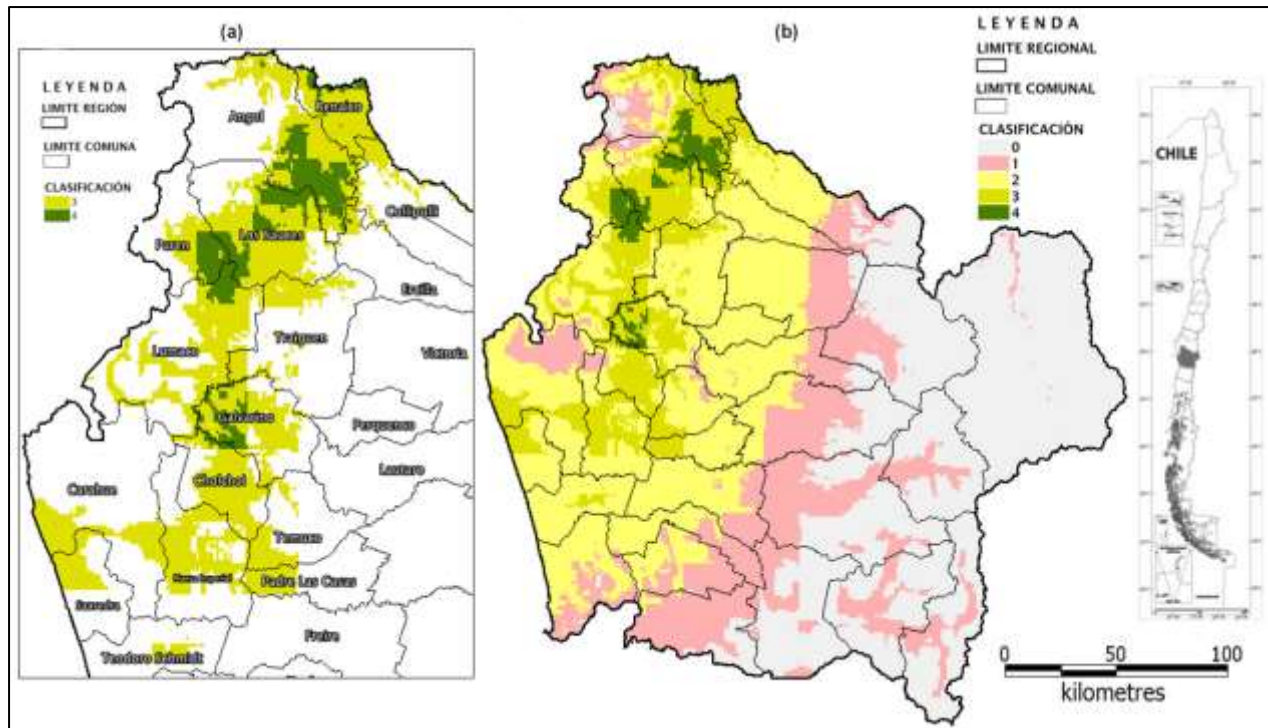


Figura 2: Mapas de salida de la Región de La Araucanía: (a) Clasificación 3 y 4 a nivel regional y detalles a nivel comunal. (b) Distribución regional potencial de *Atriplex nummularia* Lindl.

La Clasificación 3 (336.879 ha), corresponde al área de influencia en parte de los distritos agroclimáticos: Concepción, Temuco y Traiguén, que pertenecen a partes de las zonas agroecológicas del Secano Interior, Valle Central y Secano Costero (terrazas costeras), con alta variabilidad e influenciados, igualmente, por la presencia de la cordillera de la costa (Rouanet, 1982; Romero y Rojas, 1996; AGRIMED, 2017); al respecto, ambas clasificaciones (3 y 4), presentan las mejores condiciones de acogida para la especie, y en conjunto corresponden a un 13%, aproximadamente, de la superficie regional.

La Clasificación 2 cubre gran parte del Valle Central y el Secano Costero (distritos agroclimáticos Temuco y Concepción) con una superficie equivalente al 31% de la región (985.432 ha); el resto de la región (56%), corresponde a la Clasificación 0 (1.119.107 ha) y Clasificación 1 (675.992 ha), las cuales recaen en la parte este del valle central, la precordillera y cordillera andina, correspondiendo todas a zonas agroecológicas que presentan condiciones climáticas de mayor adversidad (bajas temperaturas, mayor incidencia de heladas, mayor nubosidad y nieve) y por ende no presentan entornos para la acogida de la especie, o son escasamente favorables para la misma.

Debido a la escala del análisis, tanto como el mapa de salida como la determinación de áreas son referenciales, pudiendo existir áreas o condiciones fisiográficas de menor escala con capacidad de acogida o ser nicho de colonización de la especie, y que el modelo no consideró o no son perceptibles en la salida geográfica.

CONCLUSIONES

- A partir de los datos recopilados y el modelo aplicado, la Región de La Araucanía corresponde al límite austral de la distribución y ocupación potencial de la especie *Atriplex nummularia* Lindl., sin excluir otras áreas a medida que se incrementen la calidad de los datos u otros antecedentes acerca de factores incidentes.

- El área geográfica con mejor capacidad de acogida corresponde al Secano Interior y donde se presentan las mayores extensiones de los distritos agroclimáticos Angol y Chillan en la Región; en menor capacidad se encuentran los distritos agroclimáticos Traiguén, Concepción y Temuco, en vecindad a la vertiente oriental y sur de la cordillera de la costa.
- El espacio considerado capacidad de acogida potencial de la especie es aproximado y altamente variable, basado en datos climáticos entre los años 1970-2000, por lo cual, dado el aumento de información climática en las últimas dos décadas, pueden existir variaciones no percibidas por el presente estudio.

REFERENCIAS

- Abou El Nasr H.M., Kandil H.M., El Kerdawy, Dawlat A., Khamis, H.S. & El-Shaer, H.M. (1997).** Value of processed saltbush and acacia shrubs as sheep fodders under the arid conditions of Egypt. *Small Ruminant Research*, 24(1): 15-20. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(96\)00932-7](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00932-7)
- AGRIMED - Universidad de Chile. (2017).** Atlas Agroclimático de Chile. Estado actual y tendencias del clima. Tomo IV: Regiones del Biobío y la Araucanía. Universidad de Chile-FIA. Santiago. 136 p.
- Askar, A.R., Nassar, M.S., Badawy, H.S., Eid, E.Y., Guada, J.A. & Farid, M.F.A. (2016).** Recovered energy and efficiency of digestion in sheep and goats fed *Atriplex nummularia* compared to alfalfa hay. *Livestock Science*, 194, Pp: 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.10.009>
- Azócar, P., Mansilla, A., Patón, D., Torres, C. & Santibáñez, F. (2007).** Estimación de la producción de forraje de *Nummularia (Atriplex nummularia Lindl)* según tamaño del arbusto y precipitación anual. *Avances de producción animal*. 32(1-2): 95-102.
- Benjamin, R.W., Lavie, Y., Forti, M., Barkai, D., Yonatan, R. & Hefetz, Y. (1995).** Annual regrowth and edible biomass of tow species of *Atriplex* and of *Cassia sturtii* after browsing. *J. Arid Environ.* 29, 63–84. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(95\)80065-4](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(95)80065-4)
- Ben Salem H., Norman H.C., Nefzaoui A., Mayberry D.E., Pearce K.L. & Revell D.K. (2010).** Potential use of oldman saltbush (*Atriplex nummularia Lindl.*) in sheep and goat feeding. *Small Ruminant Research*, Volume 91(1): 13-28. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.10.017>
- Ciano, N., Buono, G., Beider, A. & Zerrizuela, R. (2006).** Plantación de arbustos para uso múltiple y estratégico en sistemas ovinos de zonas áridas y semiáridas de Patagonia. Coyhaique: Serie Actas - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N° 36. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/8520>
- Díaz, R., Armando, R. & Guzmán, L.M. (2020).** Variación anual de la biomasa aérea de *Atriplex nummularia Lindl.* y aproximación a un modelo de estimación del forraje disponible. *Revista Tecnoárido Año 2 - N° 3. Estación experimental agropecuaria La Rioja. INTA Argentina. Capítulo 12.* 69 p.
- Falasca, S.L., Pizarro, M.J. & Mezher, R.N. (2014).** The agro-ecological suitability of *Atriplex nummularia* and *Atriplex halimus* for biomass production in Argentine saline drylands. *International Journal of Biometeorology*, 58(7): 1433-41. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0744-x>
- FAO-Ecocrop. (1993-2007).** *Atriplex nummularia*. <https://gaez.fao.org/pages/ecocrop-find-plant>
- FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC. (2012).** Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO, Rome, and IIASA, Luxemburg, Austria.
- Fick, S.E. & Hijmans, R.J. (2017).** World Clim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12): 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fischer, G., Nachtergaele, F., Prieler, S., van Velthuizen, H.T., Verelst, L. & Wiberg, D. (2008).** Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Luxemburg, Austria and FAO, Rome.
- Franklin-McEvoy, J., Bellotti, W.D. & Revell, D.K. (2007).** Supplementary feeding with grain improves the performance of sheep grazing saltbush (*Atriplex nummularia*) in autumn. *Aust. J. Exp. Agric.*, 47. Pp.: 912–917. <https://doi.org/10.1071/EA06149>
- Gacitúa-Ferrer, C. (2017).** Propiedades químicas de suelo en líneas de piedra con *Atriplex nummularia Lindl.* y aplicación de estiércol de caprino en una ladera degradada de la Región de Coquimbo. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniera Agrónoma. Universidad de Chile. 343 p.

- Gintzburger, G., Bounejmate, M. & Nefzaoui, A. (2000).** Fodder Shrubs development in Arid and semi-Arid zones. En: Gintzburger, G., Bounejmate, M. & Nefzaoui, A. (Eds). Proceedings Hammamet Fodder Shrubs Workshop, 2 Vols. Publisher: International Center for Agricultural Research in the dry Areas (ICARDA) ISBN: 92-9217--097-0 and 92-9217-099-7. 300 p.
- Guevara, J.C., Allegretti, L.I., Paez, J.A., Estevez, O.R., Le Houérou, H.N. & Silva Colomer, J.H. (2005).** Yield, Nutritional Value, and Economic Benefits of *Atriplex nummularia* Lindl. Plantation in Marginal Dryland Areas for Conventional Forage Crops. *Arid Land Research and Management*, 19(4):327-340. <https://doi.org/10.1080/15324980500299672>
- Hyder, S.Z. (1981).** Preliminary observations on the performance of some exotic species of *Atriplex* in Saudi Arabia. *Journal of Range Management*, 34(3): 208-210. <https://doi.org/10.2307/3898042>
- Lailhacar, S., Carrasco, A. & Correa, C. (1991).** Variables edáficas a considerarse en la elección de terrenos para plantaciones con el arbusto forrajero *Atriplex nummularia* Lindl. II. Estación Experimental Agronómica Las Cardas. Universidad de Chile. *Avances en Producción Animal*, 16(1-2): 47-66.
- Le Houérou, H.N. (1985).** Forage and fuel plants in the arid zone of North Africa, the Near and Middle East. In: Wickens, G.E., Goodin, J.R. & Field, D.V. (Eds). *Plants for Arid Lands*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-6830-4_10
- Le Houérou, H.N. (1992).** The role of saltbushes (*Atriplex* spp) in arid land rehabilitation in the Mediterranean Basin: a review. *Agroforest Syst.*, 18. Pp: 107–148. <https://doi.org/10.1007/BF00115408>
- Manel, S. (2001).** Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. *J. Appl. Ecol.* 38: 921-931. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00647.x>
- Meneses R., Varela, G., & Flores, H. (2012).** Evaluating the use of *Atriplex nummularia* Hay on Feed Intake, Growth, and Carcass Characteristics of Creole Kids. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(1): 74-79. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392012000100012>
- Norman, H.C., Friend, C., Masters, D.G., Rintoul, A.J., Dynes, R.A. & Williams, I.H. (2004).** Variation within and between two saltbush species in plant composition and subsequent selection by sheep. *Aust. J. Agric. Res.*, 55. Pp: 999–1007. <https://doi.org/10.1071/AR04031>
- Norman, H., Masters, D., Wilmot, M. & Rintoul, A. (2008).** Effect of supplementation with grain, hay or straw on the performance of weaner Merino sheep grazing old man (*Atriplex nummularia*) or river (*Atriplex amnicola*) saltbush. *Grass and Forage Science*, 63. Pp: 179-192. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2007.00623.x>
- ODEPA. (2019).** Panorama de la agricultura chilena. Chilean agriculture overview. 152 p. https://www.odepa.gob.cl/panorama_2019/2/
- Otal, J., & Correal, E. (2011).** Productividad primaria y aprovechamiento ovino de *Atriplex nummularia*, arbusto forrajero introducido en el S.E. Español. *Pastos*, [S.l.]. Pp: 283-293. Nov., 2011. ISSN 0210-1270. En: <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1640>
- Pham Thi, A., Pimentel, C. & Vieira Da Silva, J. (1982).** Effects of Water Stress on Photosynthesis and Photorespiration of *Atriplex nummularia*, a C4 plant. *Photosynthetica*, 16(3): 334-342.
- Phillips, S., Anderson, R. & Schapire, R. (2006).** Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190. Pp: 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Romero, O. & Rojas, C. (1996).** La pradera en el secano interior de la IX Región (Malleco-Cautín). Capítulo 31. En: *Praderas para Chile. Segunda Edición*. Pp: 563-578.
- Rouanet, J. (1982).** Aéreas agroecológicas determinantes del sistema de producción agropecuario. *Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca*, 1. Pp: 17-21.
- Rouanet J, Romero Y., O. & Demanet F., R. (1988).** Áreas agroecológicas en la 9 región: descripción. *Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca*. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/41361>
- Ruiz, M. & Parera, C. (2013).** Efecto del estrés hídrico y salino sobre la germinación de *Atriplex nummularia* (Chenopodiaceae) Effect of water and saline stress on germination of *Atriplex nummularia* (Chenopodiaceae). *Acta Biológica Colombiana*, 18. Pp: 99-106.
- Squella, N.F. & Meneses, R. (1996).** Los arbustos forrajeros. Capítulo 7. En: *Praderas para Chile. Segunda Edición*. Pp: 563-578. Santiago.
- Squella N., Meneses, R. & Gutiérrez, V.T. (1985)** Evaluación de especies forrajeras arbustivas bajo condiciones de clima mediterráneo árido. *Agricultura Técnica*. En: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/38637>

- UNESCO. (2010).** Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe. Dentro del marco del proyecto "Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas de América Latina y el Caribe". CAZALAC. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°25. En: https://www.cazalac.org/publico/fileadmin/templates/documentos/Atlas_de_Zonas_Aridas_de_ALC_Espanol.pdf
- Valdés, J. & Correa, J.C. (1993).** Determinación de calidades de sitio para plantaciones de *Atriplex nummularia* Lindl. en comunidades agrícolas de la comuna de Canela, IV Región. Ciencia & Investigación Forestal, 7(1): 49–83. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.1993.180>
- Watson, M.C., O'Leary, J.W. & Glenn, E.P. (1987).** Evaluation of *Atriplex lentiformis* (Torr.) S. Wats. and *Atriplex nummularia* Lindl. as irrigated forage crops. J. Arid Environ., 13. Pp: 293-303. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)31119-4](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)31119-4)
- Zucca, C., Pulido-Fernández, M., Fava, F., Dessena, L. & Mulas, M. (2013).** Effects of restoration actions on soil and landscape functions: *Atriplex nummularia* L. plantations in Ouled Dlim (Central Morocco). Soil and Tillage Research, 133. Pp: 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.04.002>