

Agroforestería con *Atriplex*

para ecosistemas limitados
por temperaturas extremas,
salinidad y altitud



SEGUNDA VERSIÓN ACTUALIZADA Y AMPLIADA DEL LIBRO
HALÓFITAS ARBUSTIVAS FORRAJERAS
“Un Recurso Potencial para Agroforestería Andina”

Einstein Tejada Vélez
Alejandro Bonifacio Flores
Norka Ojeda Vargas
Shirley Román Calvimontes
Rolando Guzmán Cámara

AGROFORESTERÍA con *Atriplex* **PARA ECOSISTEMAS LIMITADOS** **POR TEMPERATURAS EXTREMAS,** **SALINIDAD Y ALTITUD**

SEGUNDA VERSIÓN ACTUALIZADA Y AMPLIADA DEL LIBRO
HALÓFITAS ARBUSTIVAS FORRAJERAS
Un Recurso Potencial para Agroforestería Andina

Einstein Tejada Vélez
Rolando Guzmán Cámara

Con los Complementos Técnico Literarios
en Co Autoría de:

Alejandro Bonifacio Flores
Norka Ojeda Vargas
Shirley Román Calvimontes

Fundación para la Promoción
e Investigación de Productos Andinos
PROINPA
Cochabamba - Bolivia

Academia Nacional
de Ciencias de Bolivia
ANCB
La Paz - Bolivia

2023

**2023 Agroforestería con *Atriplex*,
para ecosistemas limitados por temperaturas
extremas, salinidad y altitud**

Depósito Legal: 2-1-1951-2023

ISBN: 978-9917-608-06-6

Autores

Einstein Tejada Vélez¹

Alejandro Bonifacio Flores²,

Norka Ojeda Vargas²

Shirley Román Calvimontes³

Rolando Guzmán Cámara

Fundación para la Promoción e Investigación
de Productos Andinos

PROINPA

COCHABAMBA – BOLIVIA

Academia Nacional de Ciencias de Bolivia

ANCB

LA PAZ – BOLIVIA

2023

-
- 1 Academia Nacional de Ciencias de Bolivia - ANCB
 - 2 Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos - PROINPA
 - 3 Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria - SENASAG

AGRADECIMIENTOS

AGROFORESTERÍA CON *ATRIPLEX*, PARA ECOSISTEMAS LIMITADOS POR TEMPERATURAS EXTREMAS, SALINIDAD Y ALTITUD

SEGUNDA VERSIÓN ACTUALIZADA Y AMPLIADA DEL LIBRO

HALÓFITAS ARBUSTIVAS FORRAJERAS

Un Recurso Potencial para Agroforestería Andina

La riqueza sustancial y sinérgica de la información científica, se logra mediante la actualización temática; sin embargo, esa documentación se nutre más aun, cuando, recurriendo a diferentes fuentes, se combinan conocimientos, expertices y talentos de diferentes autores que participan generosamente con sus aportes. En esta segunda versión, corregida y aumentada, es legítimamente reconocida a nivel de coautoría, y muy agradecida, las contribuciones de Alejandro Bonifacio Flores, Norka Ojeda Vargas y de Shirley Román Calvimontes

Al mismo tiempo, los autores de esta segunda versión (actualizada y ampliada) extienden su sentido agradecimiento a:

Dr. Rolando Oros Gerente General de PROINPA, por apoyar con entusiasmo la oportuna actualización y enriquecimiento bibliográfico de este material técnico científico, incentivando y permitiendo que la publicación de esta nueva versión, se realice con el auspicio de PROINPA, después de 29 años de haber sido publicado por primera vez, bajo el entonces generoso patrocinio del Programa de Repoblamiento Forestal (PROFOR / CORDECO – IC - COTESU).

Esta visión renovadora, permite posesionar nuevamente el documento, pero actualizado, al servicio de la comunidad rural y estudiosa de diversos países, principalmente con territorios Alto Andinos, o desérticos, semi desérticos y sub húmedos que sufren de condiciones edafoclimáticas restringidas que limitan los índices productivos de la mayoría de los cultivos agrícolas y de la ganadería.

Igualmente se agradece sinceramente la valiosa colaboración de las siguientes personas:

Sra. Ana María Cortéz: Transcripción de la primera edición para su actualización técnica literaria

Dr. Arturo Mariscal Padilla: Aporte de datos actualizados sobre ganadería Nacional en Bolivia

Dra. Mónica Moraes Ramírez: Aporte de datos actualizados sobre las especies de *Atriplex* en Bolivia y aspectos de su clasificación taxonómica.

Lic. Gustavo Saravia: Diagramación de imágenes y texto

Lic. Gabriel Tejada Zegarra: Diseño de tapa principal

Ma. Isabel Soliz: Diagramación general

Ing. Ruddy Meneses: Contribución con parte del material fotográfico.

DEDICATORIA

*Especial dedicación a nuestros eternos amigos
y colegas, forjadores de un mejor
mundo agropecuario:*

*Antonio Gandarillas: Tony
Armando Cardozo: el llamero solitario*

*“La medida de un hombre
es lo que él da, no lo que él gana”*

PROYECTO O.S.C.A.R. / 77

PRÓLOGO

El cambio climático afecta a las poblaciones rurales mundiales y particularmente a la región andina en Bolivia. Análisis y modelaciones con el uso de tecnología de última generación y supercomputadoras advierten que lo que hoy vivimos es sólo el principio de mayores sequías y degradación de los sistemas ecológicos vulnerables en muchas zonas del planeta y especialmente en la zona andina de altura.

En Bolivia, el altiplano y la región intersalar son particularmente susceptibles a cambios drásticos en el régimen hídrico y eventos abióticos adversos, que afectarán indudablemente los ecosistemas de los que dependen miles de familias que basan sus estrategias de vida en la producción agrícola y pecuaria.

La variabilidad climática ha sido y es un factor a considerar también en estas zonas vulnerables a los fenómenos Niño y Niña que afectan estos ecosistemas, pero que también han dado pruebas de la respuesta y resiliencia de la naturaleza que nos brinda posibilidades asombrosas de adaptación a lo que pueda venir en el futuro.

Atriplex, es una muestra de la respuesta de la naturaleza a condiciones extremas, tal como lo demuestran los autores de este libro, tiene alta adaptación a factores como baja fertilidad y salinidad de los suelos, poca precipitación fluvial y bajas temperaturas. Pero también aportan materia orgánica para los suelos, alimento nutritivo para los animales, protección y néctar para insectos y un montón de otros atributos que se describen en detalle en esta obra y que son aportes muy importantes en la regeneración y sostenibilidad de los ecosistemas.

Los autores al sistematizar la gran diversidad de *Atriplex* en las zonas altas de Bolivia, contribuyen a la agricultura regenerativa de nuestro país y del mundo, a la cabeza de Einstein Tejada, Alejandro Bonifacio, Norka Ojeda, Shirley Román y Rolando Guzman, quiénes describen las características, historia, cualidades y posibilidades de este fruto de la naturaleza con su potencial ayuda a fortalecer la resiliencia de las familias del altiplano boliviano.

La Fundación PROINPA en su búsqueda de contribución a la sostenibilidad de los ecosistemas del altiplano y en el marco del enfoque de Agricultura Regenerativa considerando el complejo llama – quinua – forraje apoya iniciativas como la de este libro que valorizan la diversidad local.

El reto a partir de este avance académico, es poner a disposición de la sociedad este conocimiento, las técnicas de escarificación, plantación y manejo de estas especies que junto con las barreras vivas multipropósito, cultivo en tándem de quinua y leguminosas, implantación de pastos y forrajes, forman parte del trabajo de la Fundación PROINPA, que desde hace 25 años contribuye a la sostenibilidad y resiliencia de las comunidades en Bolivia.

El tema que nos plantean estos brillantes profesionales bolivianos tiene también el potencial de contribución al mundo en el contexto del cambio climático y previsión para el futuro lleno de retos.

Rolando Oros
Gerente General
Fundación PROINPA

Abril, 2023

PRESENTACIÓN

Es de amplio conocimiento que la región Andina altimontaña - especialmente afectada por características secas, salinas y frías - está determinada por varios factores y condiciones naturales, como los geomorfológicos, edáficos y nutrientes, hídricos, estacionales y otros, que circunscriben una amplia limitación para el desarrollo pecuario y agrícola, que en pleno Antropoceno también a su vez está influenciada por el calentamiento global y la consiguiente disminución de reservas de agua, así como a incidencia de la estación seca y el impacto en la cobertura vegetal. Sin embargo, ambas actividades socioeconómicas de la pecuaria y la agricultura han respondido mayormente a la ampliación de la superficie para atender crecientes demandas locales y regionales, pero no así en relación al mejoramiento de la producción ni al aprovechamiento integral de los recursos naturales, que serían mucho más ventajosos para esta deprimida región.

Por ello, este nutrido y completo aporte “Agroforestería con *Atriplex*, para ecosistemas limitados por temperaturas extremas, salinidad y altitud” - que ahora comparte con nosotros el Académico de Número de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia, Einstein Tejada; junto al Académico de Número Alejandro Bonifacio, Norka Ojeda y dos coautores expertos en el manejo del *Atriplex*; Shirley Román y Rolando Guzmán – engloba precisamente las características enunciadas para atender casos de estudios promisorios en la zona andina, que brinden orientación y asesoramiento, considerando su mejoramiento y también un manejo integral, incursionando en una propuesta del uso de forrajes para sistemas agroforestales.

Se constituye en una aproximación de prácticas y técnicas, que a su vez van acordes con la reciente recomendación divulgada en 2022 de la Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad y Funciones Ecosistémicas (IPBES por sus

siglas en inglés) de las Naciones Unidas para el manejo sostenible de recursos derivados de flora y fauna del planeta.

Si bien el género *Atriplex* de la familia Amaranthacea cuenta con una amplia distribución geográfica en varios continentes, está adaptada claramente a ambientes salinos o halofíticos de paisajes desérticos y costas marinas, su principal estrategia fisiológica corresponde a desarrollar fotosíntesis C_4 – que evita la fotorespiración y con ello el ahorro de agua en los tejidos de la planta y así utilizar en forma eficiente el contenido hídrico en ambientes desérticos - y que además han evolucionado con esa condición en ambientes secos.

En el caso de Bolivia, la presencia de este género se asocia especialmente con formaciones del Altiplano y la puna seca del sur, así como en la región del Chaco. Por lo que al referir la importancia de uso forrajero y las recomendaciones que brindan los autores de esta obra resulta en una referencia sustancial para combinar su desarrollo y producción con otras especies bajo sistemas agroforestales en zonas deprimidas de la región andina del país, con importante población humana asentada y que depende de la pecuaria y la agricultura.

Con 279 referencias bibliográficas que sustentan este libro, se denota el aporte que el primer autor, el Académico – Einstein Tejada – ha producido en referencia al entorno del primer libro, también de su autoría, que contó con una primera versión en 1993. Al elaborar una segunda versión, se ha incorporado otros temas casi 30 años después en función a la incipiente disponibilidad de investigaciones que expertos bolivianos difunden para beneficio de las familias de agricultores y campesinos en zonas que requieren de trabajos y recomendaciones bajo una visión integral, viable y sostenible. Es una satisfacción para la Academia Nacional de Ciencias presentar esta notable contribución que considero de relevancia no sólo para nuestro país, sino también para la región.

Mónica Moraes R.
Presidenta
Academia Nacional de Ciencias de Bolivia

La Paz, diciembre de 2022

RESUMEN

El planeta Tierra se estremece con mayor frecuencia y aceleración a medida que transcurren las horas; porque entre numerosos factores, prima el hecho de que las oscilaciones anómalas climáticas generan múltiples y repetidos desastres, unos de inicio repentino como los huracanes, tornados, inundaciones y otros; y los de inicio lento, como las sequías y ampliación de enormes extensiones que pierden la estructura laminar de la capa arable por efectos erosivos que merman su capacidad de retención hídrica; o simplemente porque se agotan o trasladan las fuentes de agua que las alimenta. De ese modo, se acrecienta la preocupación por el imparable avance de los desiertos y extensiones subhúmedas, hecho que es empeorado porque, además, esos suelos se tornan en estratos salinos, donde resulta más difícil hacer agricultura o ganadería. Las repercusiones sobre la humanidad dejan sentir su peligrosidad, porque ponen en riesgo la producción de alimentos en el mundo. Frente a ese angustiante escenario de alto riesgo, la ciencia, acompañada por algunos saberes ancestrales en el manejo de los recursos de suelo, agua, fauna y flora, intenta generar alternativas de mitigación viables, al alcance de agricultores y ganaderos, principalmente los de subsistencia, inmersos en las áridas y frías altitudes de muchos países. Es así que en 1993 nace la iniciativa de documentar buenas alternativas agroecológicas que logren una visión futurista, dando lugar a la publicación de “Halófitas Arbustivas Forrajeras, un Recurso Potencial para Agroforestería Andina”. Después de 29 años, en los que el contenido de ese trabajo creó amplio eco en las comunidades rurales más frágiles y sensibles a las sequías y a la salinidad, se logra profundizar los conocimientos de estas especies, gracias a estudiantes universitarios que, sumando más de 40 casos, realizan sus tesis de grado, para difundir junto a líderes comunales, las bondades de diferentes especies del género *Atriplex* en distintas zonas con ecosistemas semidesérticos y subhúmedos. Por eso, persiste la necesidad de actualizar esa información, hasta obtener este documento intitulado “*Atriplex para Sistemas Agroforestales de Altitud y Temperaturas bajas*”. El contenido incluye cinco capítulos que desglosan análisis resumidos del contexto ambiental, vinculados a ecosistemas de altitud con ocurrencia

recurrente de distintas formas de olas de frío, que provocan la victimización de los índices productivos, registrados bajo esas constricciones edafoclimaticas. El libro identifica los principales recursos Halófitos, capaces de desarrollarse bajo condiciones de sequía y salinidad, describiendo la etología vegetal y las prácticas más recomendables para la adopción y el establecimiento de estas nobles especies en sistemas agroforestales, en los que se brindan pautas conceptuales de equilibrio entre “suelos/praderas biestratificadas/animales”; sirviendo como una de las mejores alternativas para permitir una crianza pecuaria con mayor acceso a nutrientes naturales, principalmente proteínicos y minerales; y sobre todo amigable con el medio ambiente. Todo eso con el objetivo de elevar los índices productivos de las diferentes formas de ganadería tradicional en esos ecosistemas limitados. El documento concluye identificando la potencialidad comparativa de estas especies y la necesidad de profundizar, identificando temas priorizados de ser investigados científicamente, con visión futurista, práctica y de fácil aplicación.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

| | |
|--|----------|
| AGRADECIMIENTOS | iii |
| DEDICATORIA | v |
| PRÓLOGO | vii |
| PRESENTACIÓN | ix |
| RESUMEN | xi |
| ÍNDICE DEL CONTENIDO | xii |
| Índice de Cuadros | xv |
| Índice de Gráficos | xvii |
| Índice de Fotografías | xvii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I. CONTEXTO AMBIENTAL Y PRODUCCIÓN | 9 |
| POTENCIALIDADES Y RECURSOS VARIOS DEL ECOSISTEMA | 11 |
| Panorama Geográfico y Heterogeneidad Eco Ambiental (énfasis en el caso Bolivia) | 11 |
| Superficies Territoriales productivas y Capacidad Agropecuaria en Bolivia | 13 |
| DEGRADACIÓN Y CONSTRICCIONES VARIAS DEL ECOSISTEMA | 14 |
| Erosión y Degradación del Ecosistema Andino (énfasis en el caso de Bolivia) | 14 |
| Salinidad y Erosión del Suelo | 19 |
| Connotaciones del Deterioro Ambiental y Productivo, sobre la Seguridad Alimentaria; Caso Bolivia | 23 |
| Principales Limitantes en la Productividad Agropecuaria Nacional | 25 |
| Baja disponibilidad de riego | 26 |
| Baja inversión pública en agua y agricultura | 27 |
| Características no equitativas del riego en Bolivia | 27 |
| UTILIZACIÓN RACIONAL, SUB Y SOBRE UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS DE LA PRADERA | 28 |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO II. RECURSOS HALÓFITOS | 33 |
| LOS ATRIPLEX PARA AGROFORESTERÍA ALTO ANDINA, OBJETIVOS PARA SU ESTUDIO | 35 |
| OBJETIVOS PARA SU ESTUDIO Y CONSIDERACIÓN EN SISTEMAS AGROFORESTALES | 38 |
| Origen y Difusión de los <i>Atriplex</i> | 40 |
| Especies del Género <i>Atriplex</i> en Bolivia | 45 |
| Clasificación y Descripción Botánica | 57 |
| Características de Adaptación Ecológica | 63 |
| a) Requerimiento de Agua y Eficiencia de Utilización Hídrica | 63 |
| b) Características de Tolerancia a la Sequía y al Stress Hídrico | 66 |
| c) Requerimientos de Temperatura y Tolerancia al Stress del Frío y el Calor | 68 |
| d) Requerimientos Edafológicos para su Desarrollo | 71 |
| | |
| CAPÍTULO III. <i>Atriplex</i>: ETOLOGÍA VEGETAL Y PRÁCTICAS | 81 |
| REPRODUCCIÓN Y MULTIPLICACIÓN DE <i>Atriplex</i> | 83 |
| La Germinación de los <i>Atriplex</i> | 83 |
| Multiplicación Asexual por Acodos y por Esquejes o Estacas | 89 |
| Propagación por acodos | 90 |
| Propagación por Esquejes o Estacas | 91 |
| FENOLOGÍA Y DIFUSIÓN DE LOS <i>Atriplex</i> | 93 |
| Siembra y Plantación | 93 |
| Crecimiento y Estados Fenológicos | 94 |
| Producción de Biomasa | 107 |
| Poblaciones Arbustivas y Manejo según Densidades Poblacionales | 113 |
| Análisis de Costos para el Establecimiento de los arbustales | 118 |
| | |
| CAPÍTULO IV. ARBUSTOS Y MANEJO GANADERO | 125 |
| Incidencia Ganadera sobre los Recursos Forrajeros de la Zona Andina | 127 |
| Alternativas de Solución al Problema del Déficit Forrajero | 133 |

| | |
|---|------------|
| Pastoreo vs. Ramoneo: Bases para definir Prácticas Silvopastoriles | 136 |
| Sistemas de Pastoreo y “Ordenación” Silvopastoril | 141 |
| Evaluación de las Dietas en Sistemas de Ramoneo | 143 |
| • Aprovechamiento de Arbustos Forrajeros por Ganado Interespecífico | 145 |
| Complementación Nutricional de Arbustos de <i>Atriplex</i> con <i>Opuntias</i> | 147 |
| EL <i>ATRIPLEX</i> EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL | 149 |
| Valor Nutricional de los <i>Atriplex</i> | 159 |
| • Palatabilidad y Selectividad de <i>Atriplex</i> por el Ganado | 164 |
| • Otras Amaranthaceas (ex Chenopodiaceas) Promisorias, para su empleo, como parte de las Dietas en la Ganadería Alto Andina | 169 |
| CAPÍTULO V. <i>Atriplex</i>: POTENCIAL VISIÓN FUTURA | 171 |
| POSIBILIDADES DEL EMPLEO DE ARBUSTOS DE <i>ATRIPLEX</i> EN LA ALIMENTACIÓN HUMANA | 173 |
| ALGUNOS ARBUSTOS “CONSIDERADOS” ADVERSOS AL PROCESO PRODUCTIVO | 174 |
| LIMITANTES PARA SU USO COMO ALIMENTO | 175 |
| FRECUENCIA E INTENSIDAD DE EXPLOTACIÓN | 177 |
| RECOMENDACIONES Y TEMAS PRIORITARIOS DE INVESTIGACIÓN EN <i>ATRIPLEX</i> | 180 |
| CONCLUSIONES Y COMENTARIOS | 183 |
| BIBLIOGRAFÍA | 187 |
| ANEXOS | 209 |
| Anexo 1. Sistema de clasificación de las Angiospermas APG4 | 211 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | | |
|------------|--|-----|
| Cuadro 1. | Número aproximado de especies de <i>Atriplex</i> en varias áreas áridas y semiáridas y países del Mundo | 41 |
| Cuadro 2. | Relación de mediciones direccionales promediadas y registros climáticos de un ciclo anual para la especie <i>Atriplex halimus</i> | 98 |
| Cuadro 3. | Relación de mediciones direccionales promediadas y registros climáticos de un ciclo anual para la especie <i>Atriplex semibaccata</i> | 98 |
| Cuadro 4. | Matriz de correlaciones lineales bivariantes para la especie <i>Atriplex halimus</i> | 99 |
| Cuadro 5. | Matriz de correlaciones lineales bivariantes para la especie <i>Atriplex semibaccata</i> | 101 |
| Cuadro 6. | Producción de Materia Seca por planta (g) y por hectárea (tn) de <i>Atriplex</i> , con diferentes densidades de plantación | 118 |
| Cuadro 7. | Costo Comparativo de Producción por hectárea entre Alfalfa y dos especies de <i>Atriplex</i> en el primer año de explotación (Expresado en dólares americanos) | 119 |
| Cuadro 8. | Relación comparativa de costos para la obtención de proteína bruta entre arbustos <i>Atriplex</i> (<i>Atriplex</i> sp.) y cultivo de Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) | 124 |
| Cuadro 9. | Distribución estimada de la Población Ganadera en la Zona Andina de Bolivia (1989) | 129 |
| Cuadro 10. | Población de Llamas, Alpacas y Ovinos por año, según sexo en Bolivia (Contraste 1993 – 2021) | 130 |
| Cuadro 11. | Porcentaje de ovejas con parición simple y doble, comparando alimentación con y sin arbustos | 152 |
| Cuadro 12. | Indicadores Económicos financieros de tres dietas (dos con <i>Atriplex</i>) empleadas en la crianza de conejos Angora para la producción de pelo | 155 |
| Cuadro 13. | Composición de aminoácidos esenciales en proteína de <i>Atriplex nummularia</i> , <i>Atriplex repanda</i> y en otros alimentos | 160 |
| Cuadro 14. | Análisis proximal de <i>Atriplex halimus</i> en base seca | 162 |
| Cuadro 15. | Análisis proximal de <i>Atriplex semibaccata</i> en base seca | 162 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 16. Resultados del Análisis Proximal proteína (PB) y cenizas de <i>Atriplex halimus</i> y <i>Atriplex nummularia</i> , comparadas con <i>Opuntia ficus indica</i> – tuna. (Laboratorio nutrición animal FCAPyF - UMSS) | 162 |
| Cuadro 17. Análisis Proximal de tres especies de <i>Atriplex</i> crecidas en sustrato agrícola, en vivero y sin adición de estiércol alguno como fertilizante | 163 |
| Cuadro 18. Análisis Proximal de tres especies de <i>Atriplex</i> crecidas en sustrato agrícola, en vivero con sustrato agrícola e incorporación de estiércol de ovino como abono | 163 |
| Cuadro 19. Determinación de principios tóxicos en <i>Atriplex halimus</i> y <i>A. semibaccata</i> | 176 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico 1. Balance Hídrico del Período de Observación. Cocaraya – Cochabamba, Bolivia | 71 |
| Gráfico 2. Influencia del período de almacenamiento de los frutos en el porcentaje de emergencia de Plántulas (Fernández 1978) | 86 |
| Gráfico 3. Curvas de incrementos registrando tres tipos de medición de las dos especies | 103 |
| Gráfico 4. Incremento por ejes direccionales de la especie <i>Atriplex halimus</i> | 104 |
| Gráfico 5. Incremento por ejes direccionales de las especies <i>Atriplex semibaccata</i> | 105 |

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|--|----|
| Foto 1. Imagen Landsat TOA localizando zonas afectadas por salinidad en el Departamento de Cochabamba, Bolivia (2014). | 37 |
| Foto 2. Afloración salina antes de la época de lluvia. (Fotografía: PROINPA, 2022). | 37 |
| Foto 3. Costras de sal remanentes de la época anterior de inundación pluvial donde permanecen arbustos de <i>Atriplex semibaccata</i> . (Fotografía: PROINPA, 2022). | 37 |
| Foto 4. Zona afectada por agrietamiento en periodos secos del año. (Fotografía: PROINPA, 2022). | 37 |

| | | |
|--------------|--|----|
| Foto 5. | Primera introducción de <i>Atriplex halimus</i> y <i>Atriplex nummularia</i> en parcelas agroforestales mitigadores de sequía, en la Región del Gran Chaco Americano (Cuevo, Santa Cruz, Bolivia). | 46 |
| Foto 6. | Pastoreo de ovinos experimentales en montañas de desmonte de minería, restauradas con arbustos de <i>Atriplex</i> y otras especies nativas locales (Maritza Veizaga, tesista de Universidad Técnica de Oruro, 1997). | 49 |
| Foto 7. | Instalación de corral experimental de ovinos en pleno desmonte de minería. Bolivia). | 49 |
| Foto 8. | Combinación decorativa de especies Cactáceas, Phytolaccaceas y arbustos de <i>Atriplex</i> en mirador del pit de mina a cielo abierto. | 49 |
| Foto 9 y 10. | Ambas fotografías corresponden a la especie <i>Atriplex myriophylla</i> . Esta especie está distribuida en las zonas arenosas de La Paz y Oruro, Bolivia. | 56 |
| Foto 11. | Arbusto de <i>Atriplex retusa</i> , anteriormente clasificada como <i>Atriplex desertícola</i> , en una ladera típica de la altiplanicie boliviana. | 56 |
| Foto 12. | Arbusto de <i>Atriplex nummularia</i> en suelo montañoso bajo sistema de cobertura bi estratificada. | 56 |
| Foto 13. | Plantación de <i>Atriplex nummularia</i> en filas en suelo semi árido en el Dpto. de Cochabamba. | 57 |
| Foto 14. | Arbusto densamente poblado de <i>Atriplex halimus</i> . | 57 |
| Foto 15. | Arbusto <i>Atriplex halimus</i> de 3 años desde el día de plantación, en la localidad de Cocaraya – Dpto. de Cochabamba, Bolivia | 61 |
| Foto 16. | Establecimiento de una parcela de <i>Atriplex halimus</i> , a los 3 meses de plantación en la localidad de Cocaraya – Dpto. de Cochabamba, Bolivia. | 61 |
| Foto 17. | Arbusto rastrero de <i>Atriplex semibaccata</i> de 2 años desde el día de plantación, en la localidad de Cocaraya – Dpto. de Cochabamba, Bolivia. | 61 |
| Foto 18. | Establecimiento de <i>Atriplex semibaccata</i> a los 3 meses de plantación, en la localidad de Cocaraya – Dpto. de Cochabamba, Bolivia. | 61 |
| Foto 19. | Nótese la propiedad de <i>Atriplex semibaccata</i> para retener la humedad, evitando la evaporación potencial que ocurre en suelos. | 78 |
| Foto 20. | Estudiantes tesistas de Agronomía de la UMSS del año 1993, demostrando la facilidad con que se cortan arbustos rastreros de <i>A. semibaccata</i> para su posterior suministro al ganado estabulado. | 78 |

| | | |
|----------|---|-----|
| Foto 21. | Semillas de <i>Atriplex halimus</i> . | 88 |
| Foto 22. | Semillas de <i>Atriplex nummularia</i> . | 88 |
| Foto 23. | Semillas de <i>Atriplex myriophylla</i> . | 88 |
| Foto 24. | Estacas de <i>Atriplex halimus</i> , extraídas para ser enraizadas en el Municipio de Cuevo del Chaco; Santa Cruz, Bolivia. | 92 |
| Foto 25. | Vivero de plántines embolsados individualmente, luego del repique desde la almaciguera, donde se observan las especies <i>A. halimus</i> (adelante) y <i>A. semibaccata</i> (al fondo), listos para su traslado y plantación en áreas definitivas. Cocaraya – Cochabamba (DESECPROFOR). | 94 |
| Foto 26. | Exuberante desarrollo foliar de <i>Atriplex nummularia</i> , bajo condiciones climáticas con periodos cortos de lluvia en el Chaco boliviano. | 107 |
| Foto 27. | Establecimiento de <i>A. semibaccata</i> en suelos semiáridos del valle bajo de Cochabamba. Algunas plantas ya se unieron entre sí a pesar de haber sido plantadas a distancias de 3 x 3 m. | 117 |
| Foto 28. | La alfombra vegetal prácticamente ya cubrió toda la superficie del suelo anteriormente desnudo. Las distancias de plantación inicial fueron de 3x3 m. | 117 |
| Foto 29. | <i>A. nummularia</i> y <i>A. halimus</i> intercalados, como alternativa forrajera invernal para ramoneo/pastoreo de ganado y fauna silvestre en el Chaco boliviano. | 133 |
| Foto 30. | Callejones de pastoreo/ramoneo con vegetación nativa chaqueña y arbustos de <i>A. halimus</i> y <i>A. nummularia</i> en el Chaco boliviano. | 136 |
| Foto 31. | Cabras y Vacas consumiendo ramas de <i>Atriplex halimus</i> cortado en parcela y ofrecido en corral. | 145 |
| Foto 32. | Parcela cultivada con pencas de tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>) con propósitos de uso forrajero para la ganadería regional. | 148 |
| Foto 33. | Ganado ovino criollo ramoneando arbustos de <i>Atriplex halimus</i> de 1 año, desde su plantación. Cocaraya, Cochabamba. | 165 |
| Foto 34. | Ganado bovino lechero ramoneando arbustos de <i>Atriplex halimus</i> de 1 año, desde su plantación. Cocaraya, Cochabamba. | 165 |
| Foto 35. | Pruebas de palatabilidad y selectividad de especies agroforestales forrajeras (<i>A. halimus</i> , <i>A. semibaccata</i> , <i>Spartium junceum</i> , <i>Polylepis</i> sp. y <i>Tipuana tipa</i>) en sistema estabulado con ganado interespecífico. Facultad de Agronomía UMSS-Cochabamba. | 165 |

Foto 36. Pastoreo mixto de ovinos y bovinos en una zona anteriormente desnuda de cobertura vegetal y posteriormente, casi totalmente cubierta por un tapiz de *Atriplex semibaccata*. Cocaraya, Cochabamba.

165

INTRODUCCIÓN

En la primera edición de este libro, en 1993, el enfoque innovador de Agroforestería, apta y práctica para las tierras altas de distintos biomas y continentes, especialmente en los Andes, se enmarcaba bajo el título: ***“Halófitas Arbustivas Forrajas; un recurso potencial para Agroforestería Andina”***.

Habiendo servido como primera obra de referencia nacional en el tema específico del género *Atriplex*, como un referente apropiado para sistemas agroforestales en las zonas altas y frías, durante 29 años.

Ahora, sobre la misma base técnico literaria, se impone la necesidad de renovar, actualizar, y sobre todo enriquecer esta nueva presentación, tratando de reanimar el incentivo para el empleo ecológico de los arbustos Halófitos, ampliando de este modo el abanico de posibilidades de progreso de la producción agropecuaria de una manera acorde a la época, creciente de necesidades y constantes desafíos a los que nos doblega el cambio climático.

Las consecuencias ecológicas, sociales y económicas de esas recurrentes anomalías climáticas, se transforman erráticamente, se multiplican geométricamente y empeoran a cada hora sobre la faz de la tierra. Es por eso que, en estos tiempos difíciles de adaptación traducida en principio de sobrevivencia; mientras más temprano se trate de abaratar los costos de producción, incrementando los rendimientos sustentables en la tierra, con la obligación de mantener actitudes y prácticas amigables con el medio ambiente, los aportes como los que contiene este libro se convierten en, además de una guía técnica, en una estrategia de desarrollo y cuidado de los ecosistemas y biomas, sobre todo de las áreas áridas y semiáridas más frágiles del mundo.

Este esfuerzo se enriquece con el enfoque de otros expertos invitados, para considerar modestamente este libro, como una segunda versión editada, decisión que también amerita una actualización más objetiva del título, resumiéndolo a ***“Agroforestería con Atriplex, para ecosistemas limitados por temperaturas extremas, salinidad y altitud”***.

En consecuencia, esta nueva presentación tampoco pierde el norte temático ni la importancia de responder con alternativas viables, relativamente baratas para el establecimiento agroecológico de sistemas agroforestales; no sólo con una amplia visión productiva, sino también, como respuesta a la necesidad de recuperar suelos afectados por la creciente salinidad de los mismos. Es por eso que, trata de conservar el contenido práctico al alcance de cualquier persona, funcionario público o privado y se basa en principios biológicos y ecológicos que buscan la optimización del uso de los recursos naturales, para prolongar su utilización sostenible.

Dicha optimización sólo podrá lograrse mediante el equilibrio e integración de las fuerzas emanadas por la agricultura, la producción animal y la explotación forestal, todo en un contexto sostenible, resiliente y amigable con el medio ambiente.

Los sistemas silvopastoriles, con sus principales componentes: pastos, arbustos y árboles (herbáceas, arbustivas y arbóreas), constituyen la herramienta primordial para la definición de efectivas estrategias agroforestales al servicio de la ganadería y la agricultura de una determinada región, adecuándose no solamente, pero especialmente a la realidad de América Latina y sus crecientes necesidades, mayores que en otros continentes.

Eso debería funcionar, por ejemplo, de la misma manera en que se sigue manteniendo integralmente hasta la actualidad, los sistemas productivos alto Andinos dentro la trilogía tradicional de *Quinoa/Camélidos/Pradera Nativa*, en vez de la incompleta visión institucionalista, de pseudo complementariedad, del sistema *Quinoa/Camélidos*, que pasa por alto la vital interacción biológica con los pastizales nativos, el suelo que los cobija en equilibrio con el medio, y consecuentemente, los conocimientos ancestrales de antiguas culturas más condescendientes con el ecosistema.

Trilogías como la mencionada, o combinaciones interespecíficas sinérgicas más complejas, repercuten positivamente en una mayor capacidad de captura de Carbono y consecuente protección y mejoramiento de los suelos. De un modo específico, los sistemas silvopastoriles tienen que orientarse a la implantación complementaria de distintas especies, que además de contribuir en la

recuperación de áreas afectadas por la desertificación o la salinización, también mejoran los índices socio económicos de producción, precautelando un buen equilibrio del ecosistema.

La adición de otras consideraciones en un proceso de producción animal, tales como aquellas que aplican los conocimientos básicos de la fisiología y la etología de las especies animales que hacen uso de esos sistemas, para fines de alimentación, sea mediante pastoreo o ramoneo, son sin lugar a dudas, acciones mucho más efectivas y sostenibles a todo nivel, por ejemplo: los altos o aceptables niveles de eficiencia metabólica digestiva del Nitrógeno proteico de los camélidos en pastizales muy pobres y de baja condición nutricional [Nielsen, *et al.*, 2010 (a); 2010 (b)]; (Tejada, 1999, 1995, 1994). La revisión del amplio respaldo bibliográfico sobre este tema permite un manejo más sostenible de las cargas animales en diferentes tipos de composición florística de una pradera destinada al pastoreo, entre otras ventajas ecológicas.

Si también se consideraran los índices de consumo de alimento y de agua de diferentes especies pastoriles y además se asociaran a los coeficientes respiratorios (intercambio de Oxígeno) por las diferentes especies, sería siempre posible estimar los grados de emisión de gases de efecto invernadero por parte de cada especie animal (Tejada, *et al.*, 2015); (Nielsen, *et al.*, 2014), esto crearía a la vez la suficiente consciencia sobre el manejo de las praderas, para aminorar el aporte de los gases que emiten los animales, produciendo el inminente cambio del clima en el planeta.

Estos sistemas también deben cumplir un rol socioeconómico que logre contribuir, sobre todo en las regiones con mayores constricciones causadas por la altitud, a garantizar la seguridad alimentaria y nutricional del poblador rural. Un buen diseño se va a traducir en una próxima mayor disponibilidad de proteína para disponibilidad de esas poblaciones.

Al respecto, un buen manejo agropastoril también va a tener que considerar aspectos aparentemente ajenos a la botánica *per se* de un ecosistema al servicio de la producción animal. Por ejemplo, el análisis de la existencia, o las rupturas de barreras geográficas y socio ecológicas que determinan (limitan o

favorecen) la presencia y adaptación de determinadas razas o especies ganaderas en algunos ecosistemas específicos.

Tejada *et al.* (2004), estudiaron este efecto (limitante), mismo que fue revertido mediante el traslado de reproductores machos de llamas de algunos lugares, a otros muy distantes de su origen inicial, en toda la región altiplánica de Bolivia; ese refrescamiento de sangre en rebaños de llamas pertenecientes a pequeños criadores, además de reducir la alta probabilidad de endogamia degenerativa que causa la consanguinidad y su asociación con anomalías congénitas, favoreció el repoblamiento más intensivo de llamas en ciertas áreas de pastoreo, que de alguna manera, también obligaron a configurar nuevamente una estrategia de manejo más sostenible de los recursos Agrostológicos y semileñosos del lugar.

Este documento intenta brindar opciones, a través del empleo de algunos arbustos Halófitos, frente al problema de la subutilización de áreas salinas, presentes generalmente en zonas semidesérticas y desérticas, donde la mayoría de los intentos por proveer algún tipo de cobertura vegetal resultan vanos o, en el mejor de los casos, reportan respuestas biológicas de subsistencia que no podrían ser consideradas como niveles de adaptación y mucho menos que contemplen aceptables índices de productividad.

Ya en esos años (inicios de los 90's), las tierras irrigadas que se tornaron infértiles por exceso de salinidad provocada por sistemas deficientes de irrigación, pudieron ser restituidas a la productividad, mediante la plantación de arbustos Halófitos forrajeros del género *Atriplex*.

Desde hace varias décadas, se han plantado con éxito, en varios países, arbustos y árboles forrajeros en extensiones de varios millones de hectáreas en tierras áridas y montañosas, pues el potencial para su expansión sigue siendo enorme y permite equilibrar las necesidades del ganado y el abastecimiento del alimento animal durante los períodos de sequía. De este modo, permanece latente la posibilidad de transformar los sistemas pastoriles de manejo nomádico en sistemas agropastoriles establecidos.

Estas plantaciones, contribuyen anualmente a asegurar la existencia permanente de la producción pecuaria en zonas áridas, ya sea en zonas planas como los valles, o en áreas montañosas, donde el ganado en su constante búsqueda de pasturas y agua para cubrir sus requerimientos diarios de mantenimiento, efectúa un enorme desgaste energético; el mismo que sólo puede ser cubierto en los límites estrechos que no le permiten desarrollar incremento proteínico de ninguna naturaleza, porque no le queda energía residual que soporte niveles razonables de productividad, sea cual fuera la aptitud de la especie animal.

La Conferencia Internacional sobre Desertificación de las Naciones Unidas, ya prevenía en 1977, que la desertificación amenazaba directamente el bienestar de alrededor de 300 millones de personas en distintas zonas áridas del mundo, y que a fines del siglo XX un tercio de la tierra aún cultivable resultaría inútil para el hombre. Para entonces, 40 millones de km² ya eran considerados verdaderos desiertos climáticos.

Por su lado, UNICEF, en el año 1985, mencionaba que entre el 36 y 46% de la superficie terrestre era considerada desértica. Entonces, el cálculo de zonas áridas y su extensión afectaban a 384 millones de personas, que para ese año representaban el 12% de la población mundial.

Contrastando esa referencia con lo reportado 25 años después por el PNUMA (Programa Mundial de la ONU para el Medio Ambiente, 2010), al conmemorar el día mundial de la lucha contra la desertificación, mencionaba que un cuarto de la superficie terrestre, o el equivalente a 3,600 millones de hectáreas, está cubierto por desiertos, y el avance de las arenas amenaza la subsistencia de 1,000 millones de personas en el mundo. Esa organización agrega atinadamente que, para evitar que este proceso continúe, es fundamental la gestión sostenible de las tierras; el enfoque desde ese año fue: “mejorar los suelos en un lugar, mejora la vida en todas partes”.

Según la Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, en colaboración con el Departamento de Información Pública (DIP) de la Secretaría de la ONU en Nueva York; el PNUMA (2010); el Fondo

Internacional para el Desarrollo de la Agricultura (FIDA) y otros organismos de la ONU, indican que la desertificación, es definida como la degradación del suelo en las tierras secas, amenaza el sustento de más de 1,000 millones de personas de alrededor de 100 países y puede desencadenar la interrupción de hasta el 44% de los sistemas de cultivo mundiales.

Código QR 1



Ingrese a este código QR para más información.

Esa organización (PNUMA, 2010), reportaba al mismo tiempo, que, las tierras secas representan más del 41.3% de la superficie terrestre y son el hogar de 2,100 millones de personas, lo que supone un tercio de la población mundial. Además, una de cada tres especies cultivadas en la actualidad tiene sus orígenes en las tierras semi áridas. Se debe agregar que las tierras secas alimentan al 50% del ganado mundial, son hábitat de una fauna rica y representan casi la mitad de los sistemas cultivados.

En América Latina como en el resto del mundo, la desertificación se produce por diferentes y varias causas, como ser principalmente la deforestación. El uso inapropiado de los recursos naturales incide en el cambio climático y acrecienta las áreas desérticas en el mundo entero. Por ejemplo, los desiertos propiamente dichos, que permanecen aún con presencia de especies vegetales, como las extensas zonas de bosques xerofíticos del Gran Chaco Americano, corren riesgo de desertificación desde moderada hasta muy alta; se debe remarcar que la superficie es la región xerofítica más grande del planeta, abarcando poco más de un millón de kilómetros cuadrados, cubriendo territorios de Paraguay, Argentina, Bolivia y Brasil.

Los procesos de desertificación, representan una lucha en la que se enfrentan el hombre y la tierra. El hombre, al no utilizar racionalmente la tierra, por ejemplo, mediante el aumento de la población del ganado, hasta extremos de sobre pastoreo y desbalance de la capacidad forrajera, contribuye también a la expansión de los desiertos.

En las zonas áridas y semiáridas de todo el mundo, los pastizales se están agotando a un ritmo acelerado. En esas áreas, la industria ganadera, que en

1974 (FAO, 1974), probablemente representaba el 50% de la población ganadera mundial, hoy permanece siendo una ocupación ardua e improductiva (Proyecto GEÑOI, UE/FAO/VIDECI, 2013).

La misma agencia de la ONU (FAO, 2022), según un nuevo informe presentado en marzo de este año (2022), indica que 1,000 millones de hectáreas de “presuntas tierras secas” se enfrentan a problemas similares a los que afectan a las tierras secas del planeta.

En el informe sobre la valoración, restauración y ordenación de presuntas tierras secas en el Cerrado, los bosques de Miombo-Mopane y la meseta de Qinghai-Tíbet, se distingue entre las tierras oficialmente clasificadas como “secas”, que se caracterizan por la escasez de agua y un índice de aridez por debajo de 0.65, y las “presuntas tierras secas”, que son zonas que comparten características con las tierras secas y tienen temporadas de escasez de agua, pero con un índice de aridez igual o superior a 0.65 (FAO,2022).

El estudio confirma que, además de los 6,100 millones de hectáreas de tierras oficialmente clasificadas como secas que cubren actualmente el 41% de la superficie terrestre y en las cuales viven 2,000 millones de personas, existen 1,075 millones de hectáreas de presuntas tierras secas.

El estudio también señala que las tierras secas abarcan 322 millones de hectáreas de bosque y que, en la mitad de la superficie que ocupan, hay bosques u otros tipos de terrenos boscosos, y árboles.

En todos los continentes se encuentran presuntas tierras secas, pero, según el estudio, la mayoría están en África, América del Sur y Asia. “Las presuntas tierras secas son importantes porque en muchas de ellas vive un gran número de personas que dependen de la tierra para sus medios de vida, y porque contienen una biodiversidad considerable y ayudan en la adaptación al cambio climático y en la mitigación de sus efectos mediante la cubierta forestal”, dijo Fidaa F. Haddad, Oficial forestal de la FAO (FAO, 2022).

Esta frustrante realidad refleja que a medida que se pierden tierras productivas, aumenta la escasez de alimentos, especialmente de productos animales

(proteínas) en los países en desarrollo, mientras que, en la actualidad, se observa un panorama desolador de erosión, pobreza y migración generalizadas. Con seguridad que los principales agentes causales de la crisis actual por la que atraviesa la población y la degradación del medio ambiente, están dados por la continua parcelación de la tierra, la salinidad acentuada, la falta de manejo del ganado, la explotación irracional del recurso leñoso, y el débil impacto de las políticas ambientalistas promulgadas, pero no cumplidas rigurosamente en el área rural.

Las escasas políticas, planes y programas de recuperación de áreas marginales, no siempre plantean alternativas viables para incorporar más elementos al proceso productivo, más al contrario, en algunos casos, crean expectativas sobre-dimensionadas que implican utilización de tecnologías costosas.

CAPÍTULO

CONTEXTO AMBIENTAL Y PRODUCCIÓN



POTENCIALIDADES Y RECURSOS VARIOS DEL ECOSISTEMA

Este análisis considera dos aspectos importantes, haciendo hincapié en el caso de Bolivia en particular, pero que no es muy diferente a las características ni peculiaridades encontradas en sus países vecinos que comparten territorios dentro la influencia de la zona Alto Andina de América del Sur.

Panorama Geográfico y Heterogeneidad Eco Ambiental (énfasis en el caso Bolivia)

Cuando se menciona con suficiente respaldo documental, que Bolivia es un país poseedor de incalculable riqueza, y que, pese al irónico empobrecimiento de la mayoría de sus habitantes, el país sería capaz de asegurar por muchos años la seguridad alimentaria, no sólo de su población, sino también de otras poblaciones nacionales (Tejada *et al.*, 2017), es porque la riqueza de ese territorio se basa en la enorme biodiversidad natural, no adecuadamente empleada ni aprovechada, que además puede optimizarse mediante las múltiples herramientas tecnológicas de la agricultura moderna, que permiten por ejemplo, hasta el incremento del número de horas luz artificial (mayormente referida a la tecnología LED) y los paneles solares, para incidir en el fototropismo de las especies vegetales.

Bolivia, circunstancialmente, en la actualidad es un país mediterráneo (sin conexión geo-política a ninguna costa marítima); mantiene vecindad con cinco importantes países: Limita al norte y este con Brasil, al sur con la Argentina, al oeste con Perú, al sudeste con Paraguay y al sudoeste con Chile; tiene una extensión de 1,098,581 km². El territorio boliviano representa el 0.2 por ciento de la superficie mundial. Debido a su gradiente altitudinal, que oscila entre 90 y 6,542 msnm, Bolivia es el octavo país con mayor riqueza biológica del planeta, que se halla extendido en cinco biomas que se subdividen en 23 regiones ecológicas y 205 ecosistemas.

Código QR 2



Ingrese a este código QR para más información.

Esas regiones ecológicas albergan gran diversidad biológica y son el resultado de grandes influencias biogeográficas en los Andes, la Amazonía, los Valles y el Gran Chaco, tanto como en los aspectos antropológicos (Moraes y Beck, 1992; Navarro, 2002; Ibsch y *et al.*; 2003; Navarro y Ferreira, 2007), y las formas o costumbres de producción agropecuaria, que de muchas maneras también se ven afectadas por las influencias del cambio climático (Tejada, 2011).

Estas áreas comprenden el Altiplano y las Punas, dentro de las cuales aparecen un gran rango de cadenas montañosas, planicies y montañas localizadas sobre los 3,500 m con un área de 254,392 km² (equivalente a 23.2% del total de la superficie del país). Los valles cubren un área de 160,162 km², (14.6% de la superficie de Bolivia), incluyendo a los Yungas y las cabeceras montañosas. Las planicies aluviales del Amazonas y del Chaco, tienen un área de 684,007 km² (62.2% del territorio nacional).

Más del 17 por ciento del territorio boliviano son áreas protegidas y parques naturales. El enorme contraste de regiones a diferentes altitudes se debe a la Cordillera de los Andes, que en el territorio boliviano se divide en dos cadenas: la Occidental y la Oriental. A esta riqueza difícilmente calculable se suman los recursos genéticos que posee, dada su condición de país origen y su domesticación de especies útiles para la alimentación, medicina, industria y otras aplicaciones. Desde esa perspectiva, Bolivia es considerada un país inmensamente diverso; cuenta con más de 20,000 especies de plantas, de las cuales 134 son especies maderables y más de 3,500 son especies botánicas de uso medicinal.

Código QR 3



Ingrese a este código QR para más información.

Los bosques en este paraíso Alto Andino alcanzan sólo alrededor del 3.5 por ciento de los bosques del mundo y, sin embargo, en el país se encuentran entre el 45 y 55 por ciento de toda la diversidad biológica mundial (para mayor información ingresar al QR # 2). En este espacio geográfico mega diverso cohabitan una de las reservas silvestres más grandes del mundo, distribuidas en 422 especies de mamíferos (Bolivia posee la mayor población de jaguares y tapires a nivel Mundial), 344 especies de reptiles, 642 especies de peces, 378

especies de anfibios, más de 1,450 especies de aves, esas características sitúan a Bolivia entre los 10 países más diversos en vertebrados (aproximadamente 3,236 especies).

Ingrese a este código QR para más información.

Código QR 4



Superficies Territoriales Productivas y Capacidad Agropecuaria en Bolivia

El Censo Agropecuario 2013 empadronó 34,970,168 hectáreas (ha), que representan 32.4% de la superficie total del país (109,858,100 ha) y que aportan a la seguridad y soberanía alimentaria del país (INE, 2015).

La superficie agrícola llega a 7,837,864 ha, de las cuales las hectáreas cultivadas en verano son 2,763,239; en segundo lugar, están los pastos cultivados con 2,349,062 ha; en tercer lugar, las tierras en descanso con 1,635,898 ha y las tierras en barbecho, con 1,089,665 ha.

Código QR 5



Ingrese a este código QR para más información.

La superficie no agrícola alcanza a 27,132,304 ha. De este total, los bosques o montes tienen 13,775,113 ha; los pastos naturales 11,053,246 ha; otras tierras, 2,153,726 ha y las plantaciones forestales 150,219 ha (para mayor información ingresar al QR # 5).

Entre los principales grupos de cultivo durante la campaña de verano 2013, el 43.4% de la superficie fue cultivada con Oleaginosas e Industriales (999,369 ha con Soya, y el resto con Girasol, Caña de Azúcar y Maní). Por otro lado, 31.9% de la superficie se destinó para el cultivo de Cereales (390,668 ha con maíz, y el resto sorgo en grano, arroz con cáscara, quinua y trigo). Los Tubérculos y Raíces con el 7.5% de la superficie (170,447 ha con papa); las Hortalizas con 3.9%; los Frutales con 5.8%; los Forrajes con 6.1% y los estimulantes con 1.4% (para mayor información ingresar al QR # 5).

DEGRADACIÓN Y CONSTRICCIONES VARIAS DEL ECOSISTEMA

Con el objetivo de evidenciar algunos contrastes con la situación en los últimos años, se consideró oportuno mantener la cita de los datos que fueron reportados en la primera edición de este libro en 1993, realizando comparaciones mediante temporalidad de ese periodo hasta este año 2022, para efectuar comparaciones y verificar si han existido, y en qué magnitud, algunos cambios relacionados a la situación ecológica del ecosistema Andino.

Erosión y Degradación del Ecosistema Andino (énfasis en el caso de Bolivia)

Los Andes centrales constituyen un buen ejemplo de una región neo-tropical con condiciones edafoclimáticas extremas, principalmente debido a factores de altitud, aridez y características del suelo.

Esta adversidad de situaciones condicionó al desarrollo de adaptaciones especiales de diferentes formas de vida que habitan la región. Al respecto, refiriéndose al mundo vegetal de los Andes centrales, Cárdenas (1971), dice que la flora de los Andes es uno de los casos más interesantes de adaptación a condiciones climáticas y edáficas en extremo adversas.

Alzerreca (1992), sugiere una división de dos períodos diferentes desde el punto de vista de sus efectos sobre el medio andino. Estos son el período pre-conquista y el período post-conquista española, identificando al segundo período como el más evidente en cuanto a la magnitud del problema de degradación y alteración del ecosistema, debido a las grandes transformaciones en el uso de la tierra. La organización y tecnología alcanzadas antes de la conquista, en general eran compatibles con el uso racional de los recursos naturales disponibles, sobre bases de sustentabilidad y conservación de la biodiversidad, lo cual evitó un impacto negativo en el equilibrio ecológico de los ecosistemas andinos.

La sustitución de estructuras de producción económica y tecnologías conservadoras, por otras de tipo extractivo y degradante del medio natural en los últimos 500 años, junto a la pérdida de valores de respeto a la vida silvestre y una inoperante legislación, tanto en la Colonia como en la República, causó como principales efectos, la pérdida de fertilidad de los suelos, deslizamientos, inundaciones, colmataciones, formación de dunas, afloración de sales, contaminación de aguas, condiciones que favorecen la erosión de los suelos y disminuyen los niveles de productividad.

Esta situación no ha cambiado y continúa en el periodo del Estado Plurinacional de Bolivia; pese a que se han aprobado leyes que reconocen los Derechos de la Madre Tierra, y a su vez, las obligaciones y deberes del Estado Plurinacional y de la sociedad en general para garantizar el respeto de estos derechos (Ley N° 71 del 21 de diciembre del 2010), y la ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien, que entre sus principios incluye las Garantías de Restauración y Regeneración de la Madre Tierra (Ley N° 300 del 15 de octubre de 2012).

Villegas (s.a.), en su análisis de las leyes relacionadas con la madre tierra, observa que aún ninguna tiene disposiciones complementarias para su cumplimiento y da prioridad al desarrollo, regulando la entrega de derechos sobre los recursos naturales para su explotación.

Alzerreca (1992), tenía razón, al mencionar que la falta de información básica sobre la magnitud y las causas de la degradación, origina la falta de consciencia sobre la magnitud del problema y, por ende, sobre los bajos niveles de educación.

El incremento de la población humana sobre el límite de la capacidad de sostenimiento de los ecosistemas andinos, ocasionó la utilización agrícola y pastoril de áreas no apropiadas, desnutrición, minifundio y proliferación de especies vegetales no asimilables y tóxicas en praderas y tierras agrícolas en descanso.

La actividad minera e industrial, sin ningún tipo de restricción medio ambiental, como también la ampliación de la frontera agrícola de la quinua sin planificación técnica ni social, produjo la destrucción de hábitats de vida

silvestre, la caza indiscriminada de la fauna desprotegida y el desplazamiento de los camélidos sudamericanos a las áreas marginales. Este efecto anti productivo se incrementó drásticamente en miles de hectáreas de pasturas nativas que alimentaban a los camélidos en las alturas montañosas y laderas de poca pendiente, para convertirlas en áreas productoras de quinua, sin importar si los rendimientos por hectárea en esos suelos inapropiados para ese cultivo, rendían escasas cantidades de quinua, no mayores a 150 o 200 kg/ha, cuando el promedio de rendimiento aceptable de producción en las áreas de inter salar oscila entre 700 a 800 kg/ha.

En el Conversatorio sobre Desarrollo Rural en los Andes “Complejo quinua - camélidos - medio ambiente - turismo” en la Universidad Técnica de Oruro de la ciudad de Oruro, se discutieron como temas centrales de debate, los impactos ambientales, económicos y sociales producidos por la ampliación de la frontera agrícola para la producción de la quinua, como consecuencia de los altos precios de este producto.

Los expositores que motivaron la discusión fueron Pablo Laguna, investigador; Willy Choque, consultor de la Gobernación de Oruro; Vladimir Orsag, investigador de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA); Jesús Cárdenas, investigador y docente de la Universidad Técnica de Oruro; Severo Choque, Secretario del Servicio Departamental Agropecuario (SEDAG) de la gobernación de Oruro y Jaime Caichoca, investigador del Centro de Ecología y Pueblos Andinos (CEPA). Los expositores coincidieron en que la expansión de la frontera agrícola para la producción de quinua está generando desequilibrios entre la agricultura y la ganadería de camélidos, lo que haría insostenible la productividad de la quinua (Agronoticias, 2013).

Los altos precios de ese grano Alto Andino, debido a una mal enfocada promulgación del “Año Internacional de la Quinua”, del 2013, logró elevar por un lapso poco significativo para los productores, el precio de la quinua en los mercados internacionales, pero en detrimento no sólo del equilibrio ecológico, sino también de los índices de producción y reproducción de la ganadería, especialmente de los camélidos sudamericanos y los ovinos, quienes perdieron extensas superficies de pradera nativa para convertirla en espacios infértiles para el cultivo de quinua.

Alzerreca (1989), mencionó que aproximadamente, el 90% de los Andes bolivianos afrontan una situación de suelos erosionados, o en pleno proceso de deterioro. Esta estimación alcanza el 86% para los Andes colombianos, en el Perú se estiman 13,150 km² de suelo erosionado y para Ecuador esta misma condición abarca una superficie de 17,000 m² en proceso de erosión activa.

Si bien se estimaba según Terrazas (1986), que, del total del territorio boliviano, aproximadamente el 40% estaba erosionado (418,000 km²), en ese momento no existía un inventario específico a nivel nacional ni regional.

La única excepción de la zona Andina, donde se ejecutaban proyectos de rehabilitación de suelos erosionados, era en el valle de Tarija donde entonces estaban afectadas 175,000 ha destruidas por la erosión.

En el valle interandino de Cochabamba, la extensión afectada abarcaba 79,000 ha (64%). Sin embargo, tampoco se mencionaba lo que ocurre en áreas sin aptitud agrícola de laderas andinas que estaban siendo cultivadas a secano (Alzerreca, 1992).

Al respecto, las pérdidas por erosión hídrica en zonas agrícolas, eran del orden de 20 a 30 TM/ha/año y una sedimentación de 35 a 67 g/l, lo cual reflejaba la inestabilidad de los suelos de la zona (Macías y Mc Dowell, 1990).

Los principales agentes erosivos en la zona andina de Bolivia son las actividades de deforestación, principalmente cuando ésta se refiere a la obtención de material de combustión del hogar campesino (leña) para cubrir las necesidades que demanda la denominada “segunda crisis energética”.

Otras causas de erosión son el pastoreo en las praderas, pastoreo no programado en cuanto a número, época, clase de animales y tiempo empleado de utilización de los pastizales, habilitación de tierras para agricultura a secano, destrucción de la cobertura vegetal original, compactación del suelo y falta de opciones o estrategias para reducir el grado de salinidad de los suelos.

Como manifiesta ElleMBERG (1983), el hombre es el único responsable de los problemas actuales que afronta el suelo andino, pero peor aún la responsabilidad no se limita al poblador de estas zonas, sino que, con mayor énfasis, ésta deberá recaer sobre los técnicos que no manifiesten alternativas de solución a través de la experimentación de sistemas de manejo, adaptación de nuevas especies, o desarrollo y adecuación de otras técnicas.

Sin embargo, es pertinente hacer notar que las investigaciones en manejo de suelo y el paisaje agrícola son de largo aliento y requiere de decisiones políticas de los gobiernos central y regional, las cuales generalmente no se toman o son demasiado lentos en su implementación.

Refiriéndose al altiplano Sur, Medrano y Torrico (2009), sostienen que la extensión del área cultivada se realizó de forma inadecuada por falta de conocimiento de los productores y por falta de planes de manejo y ordenamiento territorial, lo que afectó negativamente a esos frágiles ecosistemas.

La situación actualizada, sobre los niveles de degradación del ecosistema Andino, basados en recientes publicaciones y bibliografía disponible, se resume a las siguientes perspectivas:

El altiplano Sur de Bolivia está caracterizado por la fragilidad de su ecosistema con una serie de factores limitantes para la práctica de la agricultura. En esta zona, la crianza de camélidos sudamericanos, especialmente la llama (*Lama glama*) fue un rubro importante durante milenios y en algunas localidades se complementaba con la producción de quinua; sin embargo, con la ampliación del área cultivada con quinua, la crianza de llamas pasó a un segundo plano (Morales, 2021).

En el altiplano Sur, zona principal de producción de quinua para el mercado, el viento es el principal factor erosivo del suelo, evidenciándose que existe un mayor movimiento de partículas de suelo en los primeros 10 cm de la capa arable del suelo, debido al proceso de saltación de partículas provocadas por el viento en las parcelas cultivadas, mientras que en las parcelas en descanso, se observó menor remoción y movimiento de partículas, debido a la protección de

la cobertura o tapiz vegetal proporcionados por las especies nativas (Miranda *et al.*, 2016).

Ante los problemas de erosión de suelos en el altiplano Sur de Bolivia, se ha investigado el rol de las especies nativas en zonas áridas; entre ellas, el empleo de especies nativas de leguminosas, arbustos y pastos con fines de establecer barreras vivas multipropósito con arbustos, cobertura vegetal del suelo con pastos y descanso mejorado del suelo en base a leguminosas silvestres (Bonifacio *et al.*, 2014 y 2018). Las experiencias a nivel piloto resultaron muy alentadoras, especialmente en suelos arenosos en los que se tiene decenas de barreras vivas establecidas con arbustos, parcelas cubiertas con pastos y parcelas en descanso cubiertas por leguminosas silvestres como cultivo de relevo y rotación de quinua con leguminosas silvestres (Bonifacio, 2022).

Salinidad y Erosión del Suelo

Los suelos salinos son grupos de suelos con alto contenido de sales solubles y/o altas cantidades de iones de sodio. Provocan un alto potencial osmótico en el suelo, lo que limita el fácil intercambio de agua y nutrientes con las raíces de las plantas. En consecuencia, la mayoría de las plantas tolerantes a la sal son los tipos de vegetación dominantes en estos suelos. A pesar de sus impactos negativos, tienen un gran potencial económico, especialmente si se gestionan bien (Wicke *et al.*, 2011).

Uno de los desafíos que afectan la plena explotación de su potencial y la gestión sostenible es la inadecuada actualización de la distribución espacial de áreas salinizadas. Aunque ocurren en todos los continentes a diferentes niveles de concentración de sal, no hay una actualización reciente de su distribución global. Los informes disponibles eran los que se recopilaron a principios de la década de 1970, que representaban la distribución global de las áreas afectadas en alrededor de mil millones de hectáreas (FAO/IIASA/ISRIC/ISS/JRC, 2008; Wicke *et al.*, 2011; Abro *et al.*, 1988).

La sexta Asamblea Plenaria (PA) del GSP, discutió esta brecha y la necesidad de abordar la gestión sostenible de los suelos afectados por la sal. Posteriormente, la Asamblea solicitó al GSP que realizara una evaluación global y compilara un Mapa Global de Salinidad del Suelo (GSPPA/VI/18 Ítem 3.4 del informe).

En el texto de 1993, se hacía mención a 2,000 millones de hectáreas de tierra irrigada (1.6% de la superficie terrestre total), de las cuales, se pierden anualmente 200,000 ha (0.1%), por salinidad y alcalinidad. Los suelos salinos o sódicos comprendidos en la clasificación de climas mediterráneos en N. América, S. América, S. África y Australia, cubrían alrededor de 260 millones de hectáreas de tierra.

En el inmediato umbral de tres décadas transcurridas, se ha visto muy importante en este libro, incluir en los siguientes párrafos, un análisis cuidadoso, recientemente actualizado a nivel mundial y con una mira genuina de fuentes científicamente confiables, la información relacionada al tema amenazante y creciente de la salinidad, no solamente en Bolivia, sino en el mundo entero, evento enfocado como el problema que se quiere enfrentar con esta publicación.

Para lograr ese objetivo, se ha recurrido al rescate de material expuesto y publicado en páginas web de reciente publicación, el primero extracta lo más remarcable que ha sido mencionado en el Simposio Mundial sobre los Suelos Afectados por Salinidad (GSAS21), bajo el slogan y objetivo de **“Detener la salinización de los suelos, aumentar su productividad”**, realizado mediante una conferencia virtual (20 al 22 de octubre del 2021).

En ese evento mundial organizado por la Organización para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2021), se presentó el primer Mapa Global de Suelos Afectados por Salinidad, ingresando al código QR respectivo, podrá apreciar de manera sintética las características explicativas del contenido del mapa de la siguiente manera:

Código QR 6



Ingrese a este código QR para más información.

El Mapa Global de Suelos Afectados por la Sal (GSASmap) es un producto que contiene contribuciones de más de 118 países con 257,419 ubicaciones que contienen datos de suelos medidos. Más de 350 expertos nacionales participaron en la armonización de sus datos de entrada y métodos para mapear suelos afectados por sal (SAS) y fueron capacitados en los métodos más avanzados para el mapeo digital de suelos. Luego, cada país produjo sus mapas

siguiendo las especificaciones técnicas acordadas. Este proceso participativo impulsado por los países ofrece más oportunidades para futuras actualizaciones periódicas, que es un aspecto importante que faltaba en la información global anterior de SAS.

El mapa representa la distribución espacial de la información SAS en dos intervalos de profundidad: 0-30 cm y 30-100 cm, incluidos EC, ESP, pH y clases de suelos afectados por la sal.

El GSASmap representa la distribución espacial de SAS con $EC_e > 2$ dS/m, $ESP > 15\%$ y $pH > 8.2$ en dos intervalos de profundidad (0-30 cm y 30-100 cm). Con la información actual de 118 países que cubren el 85% de la superficie terrestre mundial, se muestra que más de 424 millones de hectáreas de suelo superficial (0-30 cm) y 833 millones de hectáreas de subsuelo (30-100 cm) están afectados por la sal:

- El 85% de las capas superiores del suelo afectadas por la sal son salinas, el 10% son sódicas y el 5% son salino-sódicas.
- El 62% de los subsuelos son salinos, el 24% sódicos y el 14% salino-sódicos.

Estas estimaciones basadas en los datos presentados muestran que más del 3% de la capa superior del suelo global y más del 6% del subsuelo global se ven afectados por la salinidad o la sodicidad. Más de dos tercios de las SAS globales se encuentran en zonas climáticas áridas y semiáridas:

- 37% de SAS están ubicados en desiertos áridos
- El 27% de las SAS se distribuyen en estepa árida (la mitad en estepa árida fría y la mitad en estepa árida caliente).

Dado que este es un proceso impulsado por los países, hay países que no prepararon sus mapas por falta de datos, capacidades o porque no están afectados por SAS. Hay dos regiones en particular, EURASIA y Cercano Oriente y África del Norte (NENA) donde SAS es un problema, sin embargo, no pudieron preparar sus mapas debido a desafíos relacionados con los datos.

El mapa estima que hay más de 833 millones de hectáreas de suelos afectados por salinidad en todo el mundo, esto es el 8,7% del planeta. La mayoría de ellos se pueden encontrar en entornos naturalmente áridos o semiáridos en África, América Latina y Asia. Sin embargo, el mapa también muestra que entre un 20% y un 50% de los suelos irrigados en todos los continentes son demasiado salinos, lo que implica que más de 1,500 millones de personas en todo el mundo afrontan importantes desafíos para cultivar alimentos debido a la degradación del suelo.

El mapa, un proyecto conjunto en el que participan 118 países y cientos de analistas de datos, permite a los expertos determinar dónde se deberían adoptar prácticas de gestión sostenible de los suelos a fin de prevenir la salinización y la sodización y gestionar de manera sostenible los suelos afectados por salinidad. El mapa puede orientar a los **responsables de la formulación de políticas cuando aborden la adaptación al cambio climático y proyectos de riego.**

Durante la misma conferencia (FAO, 2021), se puso en relevancia la importancia de reducir las posibilidades de salinidad por las múltiples consecuencias ligadas a esa limitante, pues, se afirmó que mediante los suelos “afectados por salinidad” —un término que describe los suelos salinos, sódicos y salino-sódicos— a consecuencia de la actividad humana son menos fértiles y menos productivos y, por tanto, plantean una amenaza para la lucha mundial contra el hambre y la pobreza. Asimismo, reducen la calidad del agua y la biodiversidad, al tiempo que aumentan la erosión.

La salinidad de suelos en Bolivia afecta al altiplano de los departamentos de Oruro, Potosí, La Paz y en los valles, los departamentos de Chuquisaca, Cochabamba y Tarija, cuya mayor frecuencia se presenta en las regiones bajo riego y drenaje deficiente (Flores *et al.*, 2014, citado por Bonifacio *et al.*, 2018). Según Alzerreca (1986), citado por Hervé *et al.* (2002), el altiplano boliviano se encuentra a una altitud promedio de 3800 msnm abarcando una superficie aproximada de 210,000 km².

Connotaciones del Deterioro Ambiental y Productivo, sobre la Seguridad Alimentaria; Caso Bolivia.

En este caso, la peligrosa omisión de un buen empleo de los recursos naturales y las técnicas disponibles, como los sistemas agroforestales, que entre varios, algunos de ellos incluyen arbustos con capacidad halofítica y alimenticia, en beneficio de la ganadería y la agricultura, no sólo disminuyen las posibilidades productivas que acrecientan los riesgos de inseguridad alimentaria; sino que también disminuyen las posibilidades de mejorar la condición de los suelos, al evitar la desalinización de las capas edáficas .

Esta es una larga cadena de causa/efecto que conviene siempre ser explicada, para generar conciencia agroecológica. Puede ser difundida de la siguiente manera:

Parfraseando el contenido de un artículo que analiza el grave deterioro ambiental actual y sus efectos sobre la seguridad alimentaria, Tejada (2020), titula al mismo: ***De medio ambiente y alimentación a “cuarto ambiente” con inseguridad alimentaria.*** El propósito de ello, es para expresar comparativamente la disminución de la calidad ambiental en términos dimensionales; la pureza del medio ambiente en la época de nuestros abuelos a principios del siglo XX, con certeza, se ha reducido al menos a la mitad (de medio a cuarto) en lo que va del presente siglo; habiéndose incrementado la situación de inseguridad alimentaria y malnutrición.

Si se cuantificara el daño y la sobre explotación de los recursos naturales, posiblemente el panorama es peor de lo divulgado por los medios informativos. Se están alcanzando múltiples récords históricos milenarios, que aseguran una inestabilidad y subsecuente alteración radical y brusca de los equilibrios medioambientales entre el hombre y la naturaleza, en todos los biomas mundiales y ecosistemas regionales.

Esa situación provoca funestas consecuencias de los distintos factores que inciden en la Seguridad Alimentaria y Nutricional, misma que es definida como: ***“la capacidad de producción de alimentos + poder económico y fácil acceso a los alimentos + buen estado de salud para asimilar esos alimentos +***

soberanía alimentaria que respete las tradiciones culturales y costumbres para decidir libremente lo que uno elige comer”.

Como consecuencia, se producen múltiples y diferentes efectos perjudiciales, por ejemplo: sobre el agua, se suscita el incremento generalizado de caudales que producen un adelanto en las descargas primaverales de los ríos que son alimentados desde los glaciares y las nieves, aumento o disminución de la temperatura de los océanos, que son los orígenes de los efectos del niño y la niña, acidificación de los océanos por la absorción de carbono generado antropogénicamente, aumento del nivel del mar y consiguiente pérdida de manglares, humedales costeros y otros (Tejada, 2020).

Las transformaciones del hombre sobre los seres vivos, provoca irónicamente efectos muy variados que se revierten sobre los mismos humanos: aumentan los índices de mortalidad y morbilidad, asociados a bruscos cambios de temperaturas y extensión de los gradientes (diferencia entre máximas y mínimas de temperatura en una misma región y tiempo), incremento de enfermedades infecciosas y mayor gama de síntomas alérgicos, debido al incremento de polen alérgico en latitudes medias y altas del hemisferio norte, contaminación de los acuíferos; súbitas y masivas muertes a causa de desastres abióticos y antropogénicos de diferente índole en todo el mundo, olas de frío o de calor, tormentas, efectos desertificadores y sequías, inundaciones, deslizamientos, incendios forestales, y varios otros (Díaz *et al.*, 2017). A este panorama, hoy en día hay que mencionar la aparición repentina de pandemias mundiales como la del Covid 19, y otras.

Sobre los animales y vegetales se presentan trastornos y serias modificaciones fisiológicas, anatómicas y hasta etológicas, hasta extremos como la extinción de numerosas especies animales y vegetales. En los animales, ocurren cambios de patrones migratorios en tiempo como en espacio, alteraciones reproductivas e inesperados cambios en los ciclos estrales, principalmente de los mamíferos; mientras que, en los vegetales, el alargamiento de las estaciones en diferentes regiones, modifican los patrones fenológicos de las plantas, se perturban los procesos de floración, y se evidencia el reverdecimiento prematuro de centenares de comunidades y asociaciones vegetativas; suena extremo

mencionar que ya está demostrada y debidamente cuantificada incluso, la migración de bosques enteros (Tejada *et al.*, 2017).

Este fatal deterioro ecológico del único planeta, que por lo menos hoy tenemos, además de agotar paulatinamente los ecosistemas, restándoles capacidades de absorción de CO₂, impacta directamente sobre la seguridad alimentaria, los estados agudos de desnutrición y las malas prácticas de alimentación de la humanidad. En poco tiempo, podría convertirse en el tema más trascendental para definir la prolongación y sobrevivencia de la especie humana y de otros seres vivos. Definitivamente Bolivia cuenta con todo el potencial y sólo faltan actitudes, conocimientos y prácticas que, respetando los saberes ancestrales milenarios del medio, sean respaldados por el rigor de la ciencia y la investigación científica (Tejada, 2020).

Principales Limitantes en la Productividad Agropecuaria Nacional

Campero *et al.* (2018), advierten que la investigación agrícola será aún más crítica estos años, pues se busca cultivar una mayor cantidad de alimentos en la misma extensión de tierra y con la misma cantidad de agua, sin causar daño ecológico. Esta declaración adquiere mayor relieve por el hecho de que nacen aproximadamente 250,000 personas por día en el planeta; estos autores concluyen que, esto significaría que, a diario se necesitan alrededor de 20,000 hectáreas de tierra para cultivar los alimentos necesarios para los recién llegados a nuestro planeta; sin embargo, a fin de obtener una reflexión más completa y confiable, habría que balancear esa información, contrarrestando los millones de fallecimientos diarios que también ocurren en el mundo.

De una u otra manera, inclinándonos por el hecho de que la población crece más de lo que decrece, es verdad que el incremento de tierras aptas para cultivo no se está dando y consiguientemente no responde a las nuevas necesidades poblacionales porque no es racionalmente proporcional.

Según observaciones realizadas, en Bolivia, el problema del productor en la agricultura familiar es que existen aspectos que resaltan, como la relación del bajo rendimiento (g/m²) que produce mínimos niveles económicos, esto

demuestra la falta de métodos y técnicas adecuadas. Las familias de la agricultura familiar poseen conocimientos empíricos en la producción hortícola debido a que es su principal actividad económica, esto les da como resultado, bajos rendimientos (g/m^2) como también por la falta de recursos económicos para la implementación de la infraestructura adecuada y poder generar condiciones que aumenten el incremento de la producción hortícola (Campero *et al.*, 2018).

Al respecto se puede acotar que la preocupación basada en los bajos rendimientos productivos es legítima y que los esfuerzos por elevar la producción por unidad de superficie, pueden generar mejores condiciones económicas; sin embargo, una estrategia y visión más completa del problema, también debería incluir diversas estrategias y políticas para desarrollar e implementar técnicas agroecológicas, como las de esforzarse por recuperar tierras afectadas por efectos erosivos y de salinización creciente, lo cual resulta, además de productivo, también más amigable con el medio ambiente.

En conclusión, las constricciones que alteran negativamente los índices productivos en Bolivia son numerosas y van paralelas a la desconsideración en el uso racional de los recursos naturales, entre ellos precisamente, la exclusión de nuevas alternativas de restauración de suelos y acuíferos expuestos a la contaminación, o a los procesos que favorecen la afloración de sales de estratos más bajos de suelo. Es por eso, que, de manera complementaria a las útiles recomendaciones de producción ecológica de muchos autores, este documento presenta una alternativa más, que consiste concretamente en la utilización de arbustos de uso múltiple en diferentes ecosistemas.

A fin de enriquecer este análisis, de todas maneras, también es oportuno reconocer como los puntos más álgidos contra la producción y productividad, los siguientes tres aspectos:

Baja disponibilidad de riego

Apenas el 7.1% de la superficie cultivada en Bolivia cuenta con sistemas de riego. La gran mayoría de la agricultura sigue siendo a secano, es decir, que el desarrollo de distintos cultivos depende de las lluvias, esta limitación empeora en el contexto del cambio climático que se expresa de diferentes maneras.

La Unidad de Problemática Rural y Agraria (UPRA), creada por el Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA), explica la baja productividad que caracteriza a la producción agrícola del país, así como la escasez de varios productos agrícolas en determinados momentos del año, situación que obliga a la importación masiva de alimentos de manera temporal.

Código QR 7



Ingrese a este código QR para más información.

Baja inversión pública en agua y agricultura

Los montos de inversión pública destinados al sector agropecuario y al de recursos hídricos (agua) disminuyen continuamente. Según datos presentados por la Fundación Jubileo, en base al Presupuesto General del Estado (PGE), el presupuesto asignado al sector agropecuario el año 2015 fue de 447 millones de dólares, monto que bajó para el año 2016 a 354 millones de dólares, que representa una reducción del 21%. Para el año 2017, el PGE presentado por el Ministerio de Economía y Finanzas Públicas (MEyFP) volvió a reducir el presupuesto del sector agropecuario, de los 354 millones para 2016 a 197 millones de dólares, que representa una reducción del 44%.

Por su parte, el sector de recursos hídricos (agua) tenía asignado un presupuesto de 70 millones de dólares en 2015, y sufrió una reducción en 2016 del 21%, con lo que este sector contó con 55 millones de dólares ese año. Según la presentación del MEFP, el presupuesto 2017 para recursos hídricos fue de 24 millones de dólares, lo que significa otro nuevo recorte para este sector, esta vez de más del 56%. Lo irónico es que todo esto sucedió en un contexto de severa sequía, y donde apenas el 7.1% de la superficie cultivada en Bolivia contaba con sistemas de riego (Mayor información en QR 7).

Características no equitativas del riego en Bolivia

Del 7.1% de la superficie cultivada en Bolivia, que cuenta con sistemas de riego, la mayor parte de las explotaciones agropecuarias que utilizan ese riego, se sitúan en las regiones de los valles y el Altiplano (94%), concentrando el 68.1% del total la superficie cultivada bajo riego. Debido al peso que tienen las UPAs con riego, en las regiones de los valles y del Altiplano y al escaso

desarrollo del riego en los llanos, el promedio de ha cultivadas con riego es extremadamente bajo (0.93 ha/cada unidad productiva).

Finalmente, la UPRA resalta que “once cultivos concentran el 71.3% del total de la superficie cultivada bajo riego en el país” y que, por orden de importancia, son los siguientes: maíz, papa, alfalfa, soya, arroz, haba verde, cebolla, durazno, trigo, cebada grano, y caña de azúcar, entre otros (Para mayor información ingrese al QR 7).

UTILIZACIÓN RACIONAL, SUB Y SOBRE UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS DE LA PRADERA

Desde 1975 - 1976, Murra ya explicaba que la realidad socio-económica del comunario, particularmente de la zona Andina, tiende a una utilización complementaria de recursos naturales entre los que combina el pecuario, el forestal y el agrícola.

Esta complementariedad se acentúa a medida que se reduce la superficie de terreno, debido al crecimiento poblacional que provoca como consecuencia directa la multiplicación y por ende la demanda de nuevas áreas productivas.

Al igual que en las praderas nativas, la habilitación de áreas degradadas con la incorporación de nuevas especies debe ser realizada bajo normas que mantengan la estabilidad perpetua para lograr una producción sostenida, entonces la premisa clave es: “Conservar para producir”. Para ello, se requiere realizar un manejo adecuado de la carga animal, los rangos de tiempo destinados para el pastoreo, tanto como para el descanso de la pradera, y el ajuste de los requerimientos del ganado a la curva de producción del pastizal. Obviamente, estas delicadas estimaciones cronológicas, cuantitativas en su mayoría, deben considerar diferentes parámetros medibles en las diferentes temporadas climáticas del ciclo anual.

El balance de las características de estabilidad y productividad debe ser lo más equilibrado posible, puesto que el predominio de una sobre la otra, dará como resultado el sub uso o sobre uso del recurso (Renolfi, 1990).

La tendencia general de la ciencia silvoagropecuaria fue dirigida hacia la producción de cultivos anuales pioneros, ignorando casi por completo la utilización de bosques y matorrales en la producción de cosechas utilizables como alimento del hombre o del ganado. La utilización de especies arbustivas Halófitas con características forrajeras como los *Atriplex*, está relacionada al grado de consumo o cosecha de una forrajera, para lo cual se debe considerar el efecto que produce la intensidad y frecuencia de la cosecha sobre el rendimiento del cultivo.

A través de numerosos trabajos, está comprobado que la sobre utilización de cualquier especie perenne en forma continua y por períodos prolongados, provocará a corto plazo la alteración en las relaciones de competencia entre la planta cosechada y la no cosechada, trayendo como consecuencia la disminución del vigor y de la producción de biomasa aérea y subterránea de los individuos defoliados, desembocando finalmente en el acortamiento del período útil del individuo y de su vida misma. Por otro lado, existe durante varias décadas evidencia científica comprobada en distintos lugares del mundo, que los efectos del sobrepastoreo de las especies perennes, también propicia y favorece la proliferación de especies no deseables por su alta toxicidad y consecuente peligrosidad para la ganadería local (Tejada, 1990). A eso ya se puede considerar como una de las peores formas de degradación del suelo y de asociación con su hospedero botánico (SR-CRSP, XX).

Tomando en cuenta la respuesta fisiológica de las Halófitas sometidas a algún tipo de explotación y sin dejar de lado sus características fenológicas y longevidad estimada, la utilización de los *Atriplex* debe ser considerada sólo para contar con volúmenes de biomasa que cubran necesidades de suplementación invernal y no contemplar su uso como base de la dieta animal. Además, que la bondad de cubrir deficiencias de forraje en la época seca, implica un mayor gasto energético de la planta para su recuperación posterior, cuando otras especies sin aptitud productiva durante el invierno, ya empiezan a generar forraje para el ganado al terminar la época crítica.

De esta manera se estaría precautelando la longevidad y vigor de estas Halófitas, pues se debe enfatizar que una planta forrajera debe cumplir dos funciones en un pastizal: Producir alimento para su supervivencia y para el

ganado; esto implica establecer patrones de manejo que definan los grados y la intensidad de explotación, sólo de determinadas porciones de producción del vegetal, de tal manera que se deje una cantidad suficiente de tejido vegetal que permita cumplir el ciclo de vida en forma normal.

Estos aspectos se encuentran estudiados y conceptualizados como “Grado de utilización” o “Porcentaje de utilización” que es el grado en el cual los animales cosecharon el crecimiento anual del forraje, expresado en peso (Amer. Soc. Foresters, 1950), concepto que puede ser aplicado tanto a una planta aislada, a un grupo de plantas, o a todo un pastizal.

Otro término utilizado comúnmente es el “Factor de Uso” (FU), que es definido como “el crecimiento anual acumulado de forraje expresado en peso, que puede ser consumido por los animales sin poner en peligro la existencia de la planta”.

Al realizar una diferenciación entre los dos términos citados, se puede concluir que el primero (Grado de utilización) expresa la cantidad de forraje cosechado, o sea que refleja una medida instantánea de la situación en que se encuentran las forrajeras.

La escala empleada usualmente para la determinación del grado de utilización, contempla las siguientes observaciones:

- Sin uso
- Sólo despuntado
- Consumido a la mitad
- Consumido al ras
- Sobre usado

El segundo término usado (Factor de Uso), expresa la cantidad de forraje que debe ser cosechado sin poner en peligro la existencia de la planta, o sea que este concepto refleja la soportabilidad máxima de la planta dentro de un rango de tolerancia permisible que considere la racionalidad de explotación de la biomasa.

Cuando se encara el concepto de explotación racional, ambos términos pueden ser utilizados indistintamente, si se conserva como el aspecto más importante la definición del momento óptimo para suspender la explotación, sea ésta a través de la suspensión del corte o podas para alimentación o el retiro de los animales que efectúan el pastoreo, o el ramoneo.

Para obtener información en diferentes regiones, referidas al máximo aprovechamiento y utilización de la biomasa de un arbusto, es recomendable realizar trabajos experimentales para determinar el grado de agresión de poda más recomendable de las diferentes especies disponibles en los campos de pastoreo/ramoneo, pudiendo obtenerse como variables de respuesta, diversos índices de crecimiento, que correlacionados estadísticamente, expresan resultados sobre los diferentes niveles de rebrote y capacidad de recuperación de los arbustos a diferentes tiempos y en distintas estaciones del año.

Asumiendo que los arbustos del género *Atriplex* podrían constituir una alternativa de suplementación en la región de los Andes, frente a la carestía forrajera durante la época invernal, este experimento debe contemplar la mutilación de las unidades muestrales en los meses de junio, julio y agosto.

Estos resultados contribuyen directamente a establecer recomendaciones acerca del manejo y utilización racional de estas especies en faenas de corte de biomasa, para ofertarlas al ganado estabulado o en praderas de pastoreo/ramoneo.

Luego de determinar el grado de uso de los arbustos en diferentes épocas del ciclo anual, y para diferentes especies ganaderas (caprinos, ovinos, camélidos y bovinos), se podrá también conocer datos técnicos que recomienden cargas animales establecidas, tiempos prudentes de pastoreo y especies recomendables para cada sitio y condición de crianza.

Al respecto, algunos autores manifiestan que existen porcentajes de biomasa que deberían quedar como remanente en las especies explotadas o consumidas por los animales. Brown (1967), citado por Román *et al.*, 2014; menciona que, en especies herbáceas, ese porcentaje oscila entre 10% y 80% dependiendo de muchas variables como ser calidad de sitio, condición y tendencia de las plantas, precipitación, tipo de ganado, estación, y otros.

Huss *et al.* (1986), agrega que se debería considerar un 50 a 60% del crecimiento anual acumulado expresado en peso, para utilizar correctamente el pastizal, y en el caso de especies arbustivas y arbóreas, se debe considerar el peso total de las hojas y ramas del crecimiento del año corriente hasta un grosor de la rama de 4 a 5 mm de diámetro, cuya apropiada recomendación sigue manteniéndose en vigencia hasta hoy en el tema agrostológico.

Al respecto, Borbón (1988), también mencionaba algo de actual vigencia e importancia, explicando que una forma de orientación para asumir un buen manejo, es a través del amarillamiento que se produce en las hojas basales de las plantas, tratando de dejar la mayor cantidad de cobertura vegetal posible.

Los campos nativos de pastoreo de la zona Andina (CANAPAS) son generalmente polifíticos, compuestos de especies con distintas fases fenológicas y que presenta sus estados vigorosos en diferentes temporadas. Esta pluralidad de eventos según las especies, constituye un problema para el manejo de una pradera; no obstante, en este caso se aplica el concepto de “especie clave”, la misma que es elegida en el pastizal de acuerdo a su representatividad e importancia en la comunidad vegetal, preferencia animal, disponibilidad real de biomasa y aporte nutricional. Si esta especie se beneficia en un sistema de manejo específico, se puede asumir el supuesto de que el beneficio también es para el pastizal en su globalidad y viceversa.

Luego de seleccionar la “especie clave”, el manejo del pastizal se llevará a cabo en función de ésta como si fuese un pastizal monofítico. Cuando se dispone de especies de distintas estaciones de crecimiento, se debe elegir una especie por estación.

En el caso de aplicar pautas de manejo que consideren épocas de descanso y grado de utilización en plantaciones de *Atriplex*, se puede concluir que éstas serán simples ya que, al trabajar con una sola especie en una determinada área, ésta equivale al cultivo de una pastura mono específica.

CAPÍTULO

II

RECURSOS HALÓFITOS



LOS ATRIPLEX PARA AGROFORESTERÍA ALTO ANDINA, OBJETIVOS PARA SU ESTUDIO

En la zona Andina de Bolivia, al igual que en el Perú, Chile, Ecuador y parte de la Argentina, existen grandes extensiones con afloración superficial de sales de composición sódica, magnésica y potásica.

Con respecto a Bolivia, principalmente en la zona altiplánica del país, así como en extensas áreas de los valles y menores superficies de la región tropical, se aprecia claramente el postulado de la presencia de suelos salinos de alta conductividad eléctrica en correlación con datos pluviométricos que reportan precipitaciones anuales inferiores a los 500 mm.

Precisando aún más algunas zonas afectadas, se podría citar los Valles de Cochabamba donde los suelos salinos y alcalinos son los factores más importantes para disminuir la producción agropecuaria.

Desde el año 1990, el Centro de Investigación y Servicios en Teledetección, (CISTEL), ya alertaba en base a las imágenes satelitales obtenidas, que los suelos fértiles para la producción de frutales en el valle alto, para el cultivo de maíz en los valles centrales y hortalizas y forrajes en el valle bajo, se transforman poco a poco en suelos salinos y alcalinos, obligando a los agricultores a emigrar hacia los centros urbanos o a dedicarse a otras actividades.

Esta degradación de los suelos está ligada a la geología de la región. La topografía plana en la parte baja de los Valles Alto, Central y Bajo, dificulta el drenaje natural y por consecuencia favorece la acumulación de sales en los suelos. Además, una capa freática cerca de la superficie, un mal uso del agua de riego a nivel parcelario, y la ausencia de redes de drenaje, reducen la productividad de los suelos.

Una recopilación de muchos estudios, confirman que más de 7,000 ha de superficie total del Valle Alto, están afectadas con problemas de

salinidad y alcalinidad. Los Valles Central y Sacaba, tienen alrededor de 8,000 ha con problemas similares. En 1940, una misión mexicana estimó en 656 ha las zonas afectadas por la salinidad y la alcalinidad sobre un territorio equivalente a la tercera parte de la superficie total de los Valles Centrales y Sacaba. Treinta y ocho años más tarde, el proyecto Misicuni evaluó unas 4,500 ha de superficie de suelos salinos-alcalinos (CISTEL, 1990). No se dispone de información más actualizada.

Si bien es reconocido que la salinidad es fruto de procesos geológicos principalmente, no se puede negar que el uso irracional del suelo por la agricultura convencional y el sobre pastoreo, también inciden en los cambios climáticos y en la creciente salinización de los suelos, ocasionando la reducción de áreas productivas que limitan el trabajo agropecuario y forestal.

La utilización de especies botánicas con rangos amplios de adaptación, que reporten múltiples beneficios, es el camino más corto para encarar un plan de manejo que permita incorporar tierras marginales al proceso productivo y que en forma consecutiva mejore las condiciones edafológicas en particular y ecológicas en general.

Al respecto, Le Houérou (1978), afirma que la plantación de árboles y arbustos forrajeros tolerantes a la sequía, constituyen una estrategia para combatir la sequía en zonas áridas y semiáridas, al tiempo de evitar la erosión y desertificación, además de restituir las tierras degradadas marginadas de la productividad.

El mismo autor en 1992, evidencia en “Agroforestry Systems” que los *Atriplex* en general son las especies más recomendables para su inclusión en “Nuevos sistemas de producción agro-silvo-pastoriles, creadas por el hombre”, los cuales son muy bien adaptados a tierras áridas y a las necesidades de sus pobladores. Le Houérou (1992) agrega que la plantación de *Atriplex* sp. parece ser una de las mejores vías, si no es la mejor de todas, para rehabilitar áreas desérticas y restaurarlas productivamente, como se demostró en muchos países mediterráneos en los últimos 50 años.

Pero, tampoco ésta es una solución milagrosa. La plantación de arbustos salinos en praderas nativas, está también sujeta a varias consideraciones en términos de selección de especies, establecimiento y manejo (Le Houérou 1990).



Foto 1. Imagen Landsat TOA localizando zonas afectadas por salinidad en el Departamento de Cochabamba, Bolivia (2014)



Foto 2. Afloración salina antes de la época de lluvia. (Fotografía: PROINPA, 2022).



Foto 3. Costras de sal remanentes de la época anterior de inundación pluvial donde permanecen arbustos de *Atriplex semibaccata*. (Fotografía: PROINPA, 2022).



Foto 4. Zona afectada por agrietamiento en periodos secos del año. (Fotografía: PROINPA, 2022).

La fotografía 1, permite localizar las zonas afectadas (tintes blanquecinos) por la salinidad de las tierras. Esta imagen permite también clasificar en escala

relativa, la calidad de las aguas superficiales; las aguas con mucho sedimento tienen tinte amarillo azulado; las aguas medianamente cargadas con sedimento, están representadas en ocre, y el agua clara, aparece en negro sobre la imagen.

Los arbustos del género *Atriplex*, pertenecientes a la familia de las Amaranthaceas, son plantas que resisten muy bien la sequía, el frío y el calor, y soportan una elevada salinidad de los suelos. En adición, son especies altamente palatables para el ganado, por lo cual podrían constituir una excelente fuente de suplementación forrajera en la época seca, cuando la disponibilidad de pastos es crítica, con lo cual se estaría disminuyendo en parte los efectos de la sequía.

Augstburger (1990), con criterio técnico y visionario, desde hace más de tres décadas explicaba que la siembra de cultivos forrajeros perennes en parcelas de descanso (*aynokas* en el momento de uso comunal), es una de las prácticas con mayor potencial para solucionar el problema del sobrepastoreo.

Sin embargo, las propiedades nutricionales, características fenológicas, fisiológicas y el potencial ofertado por estas especies, son muy poco conocidas en el país y podrían ser empleadas en sistemas agroforestales con componente pecuario como alternativa de uso múltiple e incluso en lugares donde otras prácticas no serían posibles de realizar.

OBJETIVOS PARA SU ESTUDIO Y CONSIDERACIÓN EN SISTEMAS AGROFORESTALES

En base a las consideraciones emitidas, la presente publicación plantea como objetivo general: ***La aproximación al conocimiento del género *Atriplex* para obtener mayor información sobre las propiedades fenológicas, fisiológicas y utilitarias de algunas especies de este género, para su inclusión en sistemas agroforestales de condición edafoclimática limitante***, el mismo que se logrará a través de los siguientes objetivos específicos:

1. Determinación del valor nutritivo de algunas especies de *Atriplex* en las épocas estival e invernal.

La obtención de esta información permite definir el aporte nutricional de las dos especies, mayormente referidas en este texto (*Atriplex halimus* y *Atriplex semibaccata*), diferenciando los tenores de elementos nutritivos en diferentes épocas del año, haciendo hincapié en los niveles de disponibilidad en la etapa seca, cuando ambas especies vegetales podrían constituir un eficiente insumo suplementario que contrarresta la pobre oferta de la pradera nativa en el período invernal.

2. Determinación de posibles efectos de toxicidad u otras limitaciones que perjudiquen el consumo animal.

Para el logro de este objetivo, se realizaron ensayos de medición de niveles de saponinas, alcaloides y taninos totales presentes en algunas porciones de la planta con el fin de establecer niveles óptimos de consumo o, por el contrario, niveles limitantes que eviten riesgos de intoxicación.

3. Determinación de la época de máximo desarrollo vegetativo e incrementos de biomasa, comparando las dos especies en un ciclo anual.

A través de este tercer objetivo, se pretende conocer el vigor de crecimiento y producción de biomasa de las plantas, bajo la influencia de los diferentes estados climáticos en un ciclo anual completo, en áreas semidesérticas, tomando en cuenta que estos parámetros podrían variar de acuerdo a la ecología de cada región. Al mismo tiempo, esta información permite emitir recomendaciones básicas sobre los métodos de plantación en cuanto a las distancias óptimas entre plantas e hileras.

4. Efectuar una revisión bibliográfica amplia y minuciosa sobre el género *Atriplex* a partir de cada punto desarrollado a lo largo del texto.

El conocimiento más profundo de algunas especies del género *Atriplex*, de acuerdo a lo reportado por científicos de diversos países del mundo, permiten objetivizar la importancia y la profundidad lograda en el estudio de las especies

Halófitas, y sobre todo, contribuye a los investigadores a identificar algunos tópicos específicos y priorizados para ser investigados en el ámbito de la heterogeneidad andina.

Origen y Difusión de los *Atriplex*

Existen alrededor de 417 especies de *Atriplex*, de las cuales 50 se cultivan como alimento animal. Estas Chenopodiaceas (actualmente clasificadas como Amaranthaceas; ver nueva clasificación taxonómica en capítulos posteriores y en anexos), son nativas de casi todas las zonas áridas del mundo. Brignone *et al.* (2016), en una revisión de las especies de *Atriplex* en Sud América, acusaron la presencia de 55 especies, de las cuales, 45 son nativas y 10 introducidas. De esas, 16 especies son endémicas de Argentina, 15 de Chile, y solamente dos de Bolivia (*A. rusby* y *A. asplundi*), aunque existen otras especies que comparten entre los países sudamericanos, desde Venezuela hasta Argentina.

Algunas de las más importantes especies a nivel mundial, y su origen se detallan a continuación:

| ESPECIE | ORIGEN |
|-------------------------|----------------------------|
| <i>A. nummularia</i> | Australia |
| <i>A. canescens</i> | América del Norte y México |
| <i>A. halimus</i> | Cuenca Mediterránea |
| <i>A. vesicaria</i> | Australia |
| <i>A. semibaccata</i> | Australia |
| <i>A. glauca</i> | Mediterráneo |
| <i>A. lentiformis</i> | Oeste de Estados Unidos |
| <i>A. nitrofiloides</i> | Bolivia |
| <i>A. rusbyi</i> | Bolivia |
| <i>A. repanda</i> | Chile |
| <i>A. atacamensis</i> | Chile |
| <i>A. rhagadioides</i> | Australia |
| <i>A. cordobensis</i> | Argentina |

Una especie endémica muy importante, que está presente en territorio peruano, pero es omitida por Brignone *et al* (2016), es *A. rotundifolia*, típico arbusto endémico de la región de la costa peruana en el desierto del Pacífico, compartido con Chile.

La gran mayoría de éstos se hallan mundialmente dispersos en forma de cultivos, principalmente en las zonas áridas de diversos países, poniendo énfasis en el cercano y Medio Oriente, África del Norte, Sud y Norte América. Es posible encontrar especies del género *Atriplex* dispersos desde la Patagonia hasta Alaska, desde Bretaña hasta Siberia, desde Noruega hasta África del Sur y en todo el continente australiano.

Dentro de las nueve regiones principales donde se distribuye el género destacan, por su diversificación y abundancia, las zonas áridas de Norteamérica, Sudamérica y Australia, encontrándose entre 60 - 90 especies en cada una de estas regiones (Carrillo y Parra, 2011).

Para fines del siglo pasado, se tenía identificadas las siguientes cantidades de especies presentes en algunos ecosistemas de cada una de esas naciones. El número de especies y sub especies de *Atriplex* en varios países y áreas geográficas según Le Houérou (1992), se muestra en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Número aproximado de especies de *Atriplex* en varias áreas áridas y semiáridas y países del Mundo

| Países y áreas | No. aprox. de especies y sub especies | Países y áreas | No. de especies y sub especies |
|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Estados Unidos de América | 110 | Baja California (México) | 25 |
| Australia | 78 | Norte del África | 22 |
| Cuenca del Mediterráneo | 50 | Texas | 20 |
| Europa | 40 | Sud África | 20 |
| URSS | 40 | Irán | 20 |
| Cercano Este | 36 | Siria | 18 |
| México | 35 | Israel/Jordania | 17 |
| Argentina | 35 | Algeria/Tunisia | 17 |
| California | 32 | Bolivia/Perú | 16 |
| Chile | 30 | | |

Fuente1: Le Houérou, 1992

Uno de los cambios trascendentes en estos números es que para este año 2022, en Bolivia ya se han podido registrar al menos 28 especies clasificadas dentro el género *Atriplex*.

En algunos países, los *Atriplex* constituyen enormes comunidades vegetales que abarcan grandes extensiones, muchas veces en combinación interespecíficas. Como ejemplo, se pueden citar las comunidades de *Atriplex* y *Kochia* en suelos más o menos salinos del sur de Australia, que ocupan 0.2 millones de km² y las comunidades mixtas de *Eucalyptus*, *Atriplex* y *Kochia* que ocupan 0.15 millones de km².

Zaroug (1985), mencionaba que la región del cercano oriente posee las plantaciones artificiales de arbustos forrajeros más grandes del mundo, abarcando las de Irán, Jordania, Libia, Marruecos, Siria y Túnez. Estas plantaciones consisten principalmente de *Atriplex* spp. exóticas, *Opuntia* y *Acacias* australianas. Especies locales de *Atriplex*, *Salsola* y *Haloxylon* están siendo introducidas gradualmente en las plantaciones establecidas.

En Marruecos, *Atriplex semibaccata* dio buenos resultados al plantarse en las partes semiáridas del país (Maignan 1968). Resultó benéfico para la protección del suelo y para controlar la erosión.

Esto es similar a lo que informa Draz (1980), respecto al desempeño de la misma especie en la zona de Gezira Septentrional, en Siria. Después de plantar sobreviene un crecimiento inicial rápido y vigoroso, pero parece que esta especie sobrevive sólo durante tres años. Múltiples observaciones puntuales realizadas en Caracollo y Saucari (Oruro), tanto como en Cota-Cota y Pacajes (La Paz); Sur Lipez y E. Baldivieso (Potosí); y Tolata, Carcaje y Punata (Cochabamba), confirmaron el ciclo de vida bianual de *Atriplex semibaccata*.

En varios países se han hecho proyectos en gran escala, por ejemplo, en Irán se emplearon *Atriplex canescens*, *Atriplex lentiformis* y otras especies como *Haloxylon persicum*, en Sudáfrica se emplearon varias especies de *Atriplex* y algunas cactáceas.

En Libia, dentro del marco de las acciones de los proyectos FAO/TF9496_LIB/010 y FAO/UTFN/LIB018, varias decenas de miles de hectáreas de terrenos áridos fueron mejorados por la plantación de *Acacia cyanophylla* y varias especies de *Atriplex* (*Atriplex halimus*, *A. nummularia*, *A. canescens*, *A. lentiformes*) y otras, como *Opuntia ficus indica* var. *Inermis*.

En los Emiratos Árabes Unidos, se establecieron plántulas de *A. cinearea*, *A. tortilis*, *A. arábica* y *A. nummularia* con riego por goteo, como parte del programa de forestación y mejoramiento de praderas (Huss, 1979).

Los programas de investigación sobre *Atriplex* de los países del cercano oriente, persiguen el objetivo de identificar las condiciones óptimas para el establecimiento, manejo y utilización apropiados de los arbustos del género *Atriplex* (Zaroug, 1985).

Con el fin de aumentar la superficie de *Atriplex* en las regiones de las estepas de Siria, sólo se permite a los granjeros cultivar cebada cuando acuerdan plantar el 10% de la superficie de este cultivo con arbustos durante tres años consecutivos (Zaroug, 1985).

En el año 1999, Einstein Tejada transportó a la estación experimental del ICARDA, (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) cerca de la ciudad de Aleppo en Siria, una reducida porción de semilla de *A. cordobensis*, como donación a ese importante centro experimental del Medio Oriente, haciendo entrega de esta muestra, a través del Dr. Luis Iñiguez R., al científico marroquí experto en agrostología en desiertos Dr. Mustapha Bounejmate, en ese momento investigador Senior de esa institución.

Es muy probable que esta donación haya podido constituirse en la primera introducción de la especie mencionada a Siria con posible diseminación a otros países del Medio Oriente asiático.

También se establecieron arbustos forrajeros en diversas localidades de Irán, con el fin de aumentar la productividad de forraje de las praderas y/o para

fijación de dunas. *Atriplex canescens* en la zona de Qhom, tuvo un crecimiento variable, probablemente como resultado de variaciones en las características del suelo y los cambios topográficos.

Es interesante mencionar que la protección de la pradera en la zona plantada con *Atriplex* ha dado como resultado un mejoramiento de la cubierta vegetal, dominada por el pasto *Aristida plumosa* (Le Houérou, 1975).

Atriplex lentiformes se estableció exitosamente en la zona de Al-Ahwazi, Irán, en terrenos de cultivo abandonados, con una napa de agua subterránea salina. Los rendimientos de materia seca fueron estimados en 1.7 tn/ha. La mitad de esta producción corresponde a madera, y el resto eran hojas y ramillas que podrían mantener una oveja/1.5 ha/año.

Esta especie se regeneró por semillas en bajíos y a lo largo de surcos, quizás como resultado de la mejor disponibilidad de humedad en el suelo. También fue empleada con éxito en ese país para la fijación de dunas (Le Houérou, 1975).

Con respecto a algunos ejemplos en Sud América, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) de Chile, en 1976, luego de analizar los resultados de la investigación en *Atriplex*, inició programas masivos de plantación que se ampliaron rápidamente al acogerse al decreto 701 de ese país, que tiende a estimular las plantaciones forestales.

En el año 1975, la superficie plantada de arbustos, en especial de *A. repanda* fue de 4 ha, pero en 1978, llegó a 2800 ha (Olivares y Gasto, 1981).

En el Perú, Berte y Pretel (1985), concluyen que algunas especies del género *Atriplex* demuestran características muy favorables para su establecimiento y revalorización en la zona de Cajamarca. Estos autores trabajaron determinando la supervivencia y el desarrollo de *A. canescens*, *A. glauca* y *A. halimus* en la zona del Huayo-Perú.

Mientras que en Norte América, se pueden citar como ejemplo a las zonas arenosas del desierto de Chihuahua en el estado de New México USA, donde se registran precipitaciones anuales promedio de 225 mm y la velocidad promedio del viento es de 14.8 km/hora durante la primavera (época cuando es más frecuente que el viento provoque el desplazamiento de la arena y las dunas), los arbustos de *Atriplex canescens* se hallan asociados con arbustos de algarrobos *Prosopis glandulosa*, demostrando ser una combinación agresiva que protege las dunas del viento, fijándolas y contrarrestando de esta manera la erosión eólica (Gould, 1982).

Hennessy *et al.*, (1983), analizando los cambios vegetacionales desde 1935 hasta 1980 en el norte del desierto de Chihuahua (New México), encontraron que *Atriplex canescens* crece comúnmente en dunas formadas y pobladas por algarrobos, y el incremento del número de dunas durante un período de observación de 45 años, tiene relación directa con el incremento de arbustos de *Atriplex canescens* en la zona.

La variabilidad genética de los *Atriplex* fue estudiada extensamente (Stutz y Sanderson, 1979). Dentro el rango de distribución, la mayoría de las poblaciones son tetraploides, pero también existen diploides, hexaploides y dodecaploides. A pesar de que la plasticidad fenotípica dentro de las especies es enorme, la mayoría de éstas parecen ser heredables (Mc. Arthur *et al.*, 1983).

Stutz y Sanderson (1979), basados en el rápido y reciente esparcimiento de las especies a lo largo del Oeste Norteamericano, reportan que los poliploides han jugado un rol más importante en la producción de nuevas especies, las mismas que fueron efectivos colonizadores.

Especies del Género *Atriplex* en Bolivia

Durante los años posteriores a la primera publicación de este libro (1993), se han reportado considerables cambios relacionados a la distribución o extensión

de las áreas cubiertas por arbustos del género *Atriplex*, en diferentes lugares de Bolivia.



Foto 5. Primera introducción de *Atriplex halimus* y *Atriplex nummularia* en parcelas agroforestales mitigadores de sequía, en la Región del Gran Chaco Americano (Cuevo, Santa Cruz - Bolivia).

Estos bondadosos arbustos, de diferentes especies, se han establecido con éxito en varios ecosistemas áridos y semiáridos, principalmente en las regiones del altiplano y punas (tanto de La Paz, Oruro, Cochabamba y Potosí, principalmente), tanto como en el Chaco boliviano en los departamentos de Chuquisaca y Santa Cruz), y también en los valles mesotérmicos (de Cochabamba y Santa Cruz de la Sierra).

En diferentes lugares de los departamentos mencionados, se han llevado a cabo, promisorios ensayos experimentales y hasta procesos de restauración de suelos y ecosistemas, con alta connotación, incluso con reconocimiento a nivel internacional, en cuanto a los resultados obtenidos. Entre los ejemplos más exitosos y relevantes, podrían citarse los siguientes:

La empresa **TRIBOL** (*Atriplex* – Bolivia), entre los años 1995 a 1999, logró restaurar más de 145 ha de suelos de colinas montañosas conformadas con residuos sulfurosos provenientes de piritas auríferas, luego de haber sido separadas de ese mineral preciado, en la región de la provincia Saucari, en el departamento de Oruro, dentro los predios de la Empresa Minera Inti Raymi S.A. (EMIRSA).

Esas hectáreas, constituyen uno de los ejemplos más exitosos a nivel mundial, de restauración ecológica de un campo minero extensivo; pues la presentación de los resultados de alta y resiliente cobertura vegetal a gran altitud y en zonas semi desérticas dentro los predios mineros, logró obtener el segundo premio mundial de Minería y Medio Ambiente en Suiza (Columba *et al.*, 1996).

Documentación más amplia y específica, referente a este histórico proceso medio ambiental, puede ser obtenida en los distintos reportes de esa empresa minera en sus oficinas de La Paz, Bolivia. Las principales especies del género *Atriplex*, que han sido producidas, multiplicadas y plantadas con más del 98% de prendimiento y desarrollo en laderas de residuos minerales parcialmente azufrados, son *A. halimus*, *A. semibaccata*, *A. cordobensis* y en menor grado de adaptabilidad *A. nummularia*.

La misma empresa ATRIBOL, mediante gestiones de sus gerentes General y Administrativa, Einstein Tejada y Ximena Sandy respectivamente, con el respaldo incondicional de Marvin Columba, Gerente de Control Ambiental y Guido Arze, Gerente de Operaciones de EMIRSA, pudieron ampliar la diversidad genética de este género botánico en el país, facilitando la importación de semillas de más de 12 especies de *Atriplex*, no disponibles en Bolivia hasta ese momento. Las diferentes especies de *Atriplex* fueron importadas desde centros científicos autorizados de los Estados Unidos de Norte América, con fines experimentales (entre ellos uno de los más expectables fue *Atriplex canescens*).

Lamentablemente los resultados de tales experimentos no han sido reportados hasta la fecha, excepto en algunas tesis de grado de las universidades de Oruro y Potosí (no se reportan en este libro).

Sin embargo, en respuesta a cierto nivel de demanda por sectores involucrados en aspectos ecológicos en minería, a la fecha se halla en proyecto la preparación de una publicación ilustrada en un libro a cargo de Einstein Tejada, Marvin Columba y algunos otros profesionales, tanto de ATRIBOL (*Atriplex* Bolivia) como de EMIRSA (Empresa Minera Inti Raymi Sociedad Anónima). Este documento va a explicar los procesos biológicos y agronómicos de restauración o recuperación de suelos afectados por la minería aurífera (en este caso de oro molecular presente en rocas de piritita) a techo abierto, describiendo los principios básicos de asociaciones vegetativas agrostológicas natural y de adaptación botánica de especies afines al medio ambiente del sector minero comprometido.

También se pretende explicar todo el ciclo productivo del material vegetativo, la preparación de los sustratos, la siembra de diversas especies nativas del ecosistema (diversidad de T'olas – *Parastrephia lepidophylla* o Naka t'ola-*Baccharis incarum*; Amaranthaceas nativas como Kauchi – *Suaeda foliosa*, Ajara jaira – *Chenopodium millianum*; Asteraceas como la Sak'a - *Viguiera procumbens* o el amor seco – *Xanthium spinosum*; Pajas bravas, chilliwuas y chijis - *Stipa ichu*, *Festuca dolichophylla* y *Cinodon dactylon* o *Muhlenbergia fastigiata*; cactus alto andinos como Qachu Sankayu – *Echinopsis maximiliana*, o la Achacana – *Sulcorebutia cuprea* y la colecta y siembra de especies introducidas como las del género *Atriplex* y algunas especies de plantas Crassulaceas y Phitolacas carnosas aptas para suelos desérticos, asociadas con especies arbustivas con alto contenido y aporte de materia orgánica basada en su defoliación estacional natural de la especie; esto se refiere a las malvas – *Malva parviflora*. Esta explicación va a culminar en las metodologías de siembra, plantación y adaptación de una amplia variedad florística en sistemas agroforestales multifactoriales, multi estrato y propiciadoras de la presencia de la fauna nativa del altiplano orureño (diversidad de aves, zorros, roedores y vicuñas).

El aporte se verá sustancialmente enriquecido mediante la explicación de la aplicación de infraestructuras especiales como los wallipines (viveros subterráneos a 2.30 m de profundidad a partir de la superficie del suelo de la pradera dentro el sector de la explotación minera) y otras instalaciones habilitadas para la producción de materia orgánica especial, en base a rastrojos y desechos vegetales de la misma zona, para el mejoramiento de los estratos rocosos del área de los desmontes.

No se puede dejar de lado la incursión de investigación científica práctica aplicable a las actividades de mitigación ambiental en caso de minería. De ese modo se obtuvieron resultados de tesis de grado a nivel universitario, de jóvenes que siendo becados por ATRIBOL, aportaron con su participación activa para alcanzar los objetivos de mecanismos óptimos y amigables con el medio ambiente en pleno escenario minero, que han alcanzado el reconocimiento internacional del sector minero y ambientalista.



Foto 6. Pastoreo de ovinos experimentales en montañas de desmonte de minería, restauradas con arbustos de *Atriplex* y otras especies nativas locales (Maritza Veizaga, tesista de Universidad Técnica de Oruro, 1997).



Foto 7. Instalación de corral experimental de ovinos en pleno desmonte de minería, Bolivia.

Foto 8. Combinación decorativa de especies Cactáceas, *Phytolaccaceas* y arbustos de *Atriplex* en mirador del pit de mina a cielo abierto.



En un trabajo de adaptabilidad de tres especies de *Atriplex*, Blanco (2003), asesorada por Tejada, logró el establecimiento de estas especies en suelos degradados de Valle Grande en el departamento de Santa Cruz.

Román *et al.* (2014), reportan que en el municipio de Cuevo, Santa Cruz (Proyecto Geñoï, 2013); se ha logrado introducir y adaptar de diferentes maneras, *A. halimus*, *A. nummularia* y *A. semibaccata*, en algunos casos asociados con arbustos cactáceos de *Opuntia ficus indica* (tuna forrajera).

Esta práctica, conducida por la Unidad de Coordinación de Emergencias y Rehabilitación Agropecuaria (UCER), entre los años 2010 al 2016, de FAO Bolivia, ha sido considerada regionalmente, como uno de las más importantes

procesos de adaptación de especies útiles en el ecosistema del Chaco, especialmente cuando en ese territorio empezaron a presentarse de manera inusual descensos bruscos de temperatura que necrosaban la gran mayoría de las especies nativas presentes, que no toleran bajas temperaturas, y que al producirse ese fenómeno, se reducía drásticamente la biomasa que alimenta al ganado criollo bovino y a la fauna silvestre.

En esas ocasiones, como en las muy extrañas nevadas ocurridas en julio del 2010 y 2012, la fauna silvestre incluso quebraba o saltaba los cercos de las parcelas experimentales de adaptación y observación fenológicas de las tres especies de *Atriplex* arriba mencionadas, con tal de alcanzar y alimentarse con los únicos recursos verdes que otorgaba el monte silvestre y las praderas biestratificadas nativas en esos críticos momentos (Tejada *et al.*, 2016; Román *et al.*, 2014; Tejada *et al.*, 2014; Tejada, 2011).

Recientemente, el Proyecto de Mercados Inclusivos de SWISSCONTACT (comunicación personal de Carlos Román, 2021), también reporta haber establecido exitosamente diferentes especies de *Atriplex* (especies *halimus*, *semibaccata* y *nummularia*), en los Municipios de Pasorapa, Arbieto y Mizque; así como en algunas localidades de Pairumani y del Municipio de Toco; en el departamento de Cochabamba. El mismo Proyecto reporta haber logrado establecer *Atriplex halimus* en la localidad de Poopó en el departamento de Oruro.

De acuerdo a lo reportado en 1992 por el Herbario Nacional de Bolivia, La Paz, hasta ese entonces se lograron identificar y coleccionar 11 especies del género *Atriplex*, que, por su ubicación en regiones no cultivables en la mayoría de los casos, podrían considerarse originarias o nativas del lugar donde fueron colectadas. Sin embargo, se tiene la seguridad de que aún faltaban identificar otras especies del mismo género que conforman parte de la inmensa diversidad florística nacional y que se hallan dispersas por el territorio boliviano.

Las especies identificadas en el Herbario Nacional hasta ese año, mismas que se reportan en el primer libro, son las siguientes:

Atriplex hastata L.

Hierba de 0.6 m de altura, encontrada en el departamento de La Paz, provincia Murillo, a 4 km de la localidad de Tahuapalca, subiendo el río La Paz a una altitud de 2520 msnm. Dato de recolector: Beck 17845.

Atriplex eximium Soriano

Arbusto de 1 m de altura, encontrado en el departamento de Tarija, provincia O'Connor, en Puerto Margarita, río Pilcomayo. Dato de recolector: Krapovickas 39137.

Atriplex muelleri Benth

Herbácea de 0.2 a 0.3 m de altura, encontrada en el departamento de La Paz, provincia Murillo. Avda. Los Sauces, Calacoto (ciudad) a 3400 msnm. Dato de recolector: García 377.

Atriplex myriophylla Phil

Especie postrada de 0.15 m de altura, encontrada en el departamento de La Paz, provincia Pacajes, localidad de Viacha a 2 km sobre el camino a Caquiaviri, a una altitud de 3800 msnm. Dato de recolector: Johns 83-9.

Atriplex nitrophiloides Soriano ex Mulgura

Especie rastrera formando cojines de 0.02 a 0.03 m de altura, encontrada en el departamento de Oruro, provincia Cercado-Panduro, a 31 km hacia la barca (Huancaroma) a una altitud de 3620 msnm y en Valle salado del río Desaguadero a la misma altitud. Localmente conocido como "liwi". Dato de recolector: Beck 981.

También localizada en el monte Sajama, en la ladera Noreste del Nevado Sajama, cerca del río Tamarapi a 4300 msnm. Dato de recolector: M. Liberman 362.

No obstante, también existe bibliografía publicada que menciona que el espécimen tipo descrito, corresponde al de la localidad de Uyuni, Potosí; sin embargo, su distribución geográfica abarca los departamentos de Oruro (Challapata, Salinas, Caracollo, Huancaroma, Sajama) y La Paz (Pacajes,

Coro-coro), como también en las provincias de Salta y Jujuy en Argentina. Planta con hojas opuestas, decusadas y ovadas, bractéola fructífera de forma elíptica. Esta especie se asemeja a *A. myriophylla* y ambas especies cohabitan en zona biogeográfica de la Puna, sin embargo, la diferencia radica en que *A. myriophylla* presenta hojas alternas y las bractéolas fructíferas de forma orbicular o a veces rómbicas (Brignone *et al.*, 2016).

La descripción original de la especie corresponde a María Múlgura en 1984 que aparece en la página de M. Giorgetta (Giorgetta, s.f.): Hierba decumbente, de hasta 2-3 cm de alt. por 9-10 cm de diam. Hojas opuestas, decusadas, sésiles, ovales, enteras, ápice subagudo, base cuneada, uninervadas, con estructura Kranz, de 2,5-4,5 mm long, por 1,5-2 mm lat., imbricadas en los ápices y con entrenudos de hasta 5 mm long. en la base. Inflorescencias en las axilas de las hojas superiores, en tirsos de 1 o 2 flores masculinas, rodeadas de flores femeninas.

Bractéolas femeninas fructíferas elipsoidales, de 1,8-3 mm long, por 1-2,4 mm lat., soldadas por los bordes laterales hasta el borde superior, truncado y lobado, cubiertas de pelos vesiculosos, dorso liso o con protuberancias. Semilla con tegumento castaño, estriado de 1 mm de diám., lenticular. Embrión con radícula lateral ascendente.

Atriplex obtusifolia

Especie herbácea de 0.4 a 0.6 m de altura, encontrada en el departamento de Cochabamba, provincia de Capinota, entre Capinota y Charamoco, sobre el lecho del río Rocha, a una altitud de 2450 msnm. Dato de recolector: Pedrotti *et al.* 92.

Especie también recolectada y reportada por Jiménez (1984) en el departamento de Cochabamba, provincia Cercado, en la Coronilla (ciudad) a una altitud de 2520-2620 msnm.

Atriplex rosea L.

Arbusto de 2 m de altura encontrado en el departamento de La Paz, provincia Murillo, barrio Calacoto (ciudad) a una altitud de 3300-3600 msnm. Dato de recolector: Salomón 6689.

Atriplex rusbyi Britton

Arbustos de 0.8 m de altura, encontrado en el departamento de La Paz, provincia Murillo, a 40 km hacia abajo sobre el río La Paz, a una altitud de 2600 msnm. Dato de recolector: Beck 2217.

También fue recolectado como sub-arbusto de 1 m de altura formando matas en el departamento de La Paz, provincia Aroma sobre la carretera La Paz - Oruro, 43 km hacia la localidad de Luribay a una altitud de 3000 msnm. Dato de recolector: Beck 17945.

Atriplex semibaccata R. Brown

Sub-arbusto decumbente, encontrado en el departamento de La Paz, provincia Murillo, en la localidad de Mecapaca, cerca del pueblo, en el valle del río La Paz abajo a una altitud de 3000 msnm. Dato de recolector: Beck 3507.

Atriplex sub erecta Verdoon

Herbácea postrada, encontrada en el departamento de La Paz, provincia Murillo en la Av. Simón Bolívar (ciudad) a una altitud de 3500-3600 msnm. Dato de recolector: Valenzuela 162.

También fue recolectada en el departamento de Cochabamba, provincia Punata, en la comunidad de Villa Barrientos, a una altitud de 2700 msnm. Dato de recolector; Guillen 335.

Actualmente, este es el listado de especies coleccionadas en el herbario nacional. Sin embargo, como se indicó anteriormente, no es un listado definitivo pues se debe seguir recolectando y enviando a la colección nacional. Según Jiménez (1984), existe otra especie, la misma que se encuentra reportada en bibliografía y responde a las siguientes características:

Atriplex cineracea

Arbusto muy enramado de 0.6 y 0.7 m de alto, recolectada en el departamento de Cochabamba, provincia Cercado, en la localidad de Valle Hermoso a una altitud de 2650 msnm (recolectada en junio 1966).

Atriplex retusa Gay.

A. retusa fue considerada como el nombre correcto de *Atriplex deserticola* Phil después de una revisión de especímenes, la literatura publicada y la asignación del nombre en base a la prioridad del año de identificación: (Böhnert *et al.* 2018). *Atriplex retusa* Gay (*A. deserticola*) está descrita como endémica de Chile (Atacama) y Argentina (Brignone *et al.*, 2016); sin embargo, se ha observado poblaciones de esta especie en el altiplano Sur de Bolivia (intersalar y perisalar de Uyuni y Coipasa). La evidencia es que fue recolectada por el Herbario Nacional de Bolivia bajo el nombre de *Atriplex deserticola* (Moraes, Comunicación personal).

Gracias a la gentileza de la Dra. Mónica Moraes, y después de 29 años, desde la primera publicación del libro de **Halófitas Arbustivas Forrajeras** (Tejada y Guzmán, 1993), la actualidad de los registros del Herbario Nacional de Bolivia (HNB), ahora presenta 28 nuevas especies, que son las siguientes:

Atriplex argentina Speg. Mulgura. M.E. 1991.

Atriplex asplundii Standl. 1980.

Atriplex cordobensis Gant y Stuck. 1971.

Atriplex cana C.A. May, 1978.

Atriplex crenatifolia Chodat y Wilezek 1983.

Atriplex cristata Humb. y Bonpl. Ex Willd 1994.

Atriplex deserticola Phil 1978.

Atriplex fimbriata Lewis 1987.

Atriplex herzogii Standl 1987.

Atriplex heterosperma Bunge 1982.

Atriplex hortensis L. 1980.

Atriplex imbrigata (Moquin) D. Dietrich 1979.

Atriplex lampa (Moq) Gillies ex Small 1982.

Atriplex lithofila A. Soriano en Mulgura 1979

Atriplex mendozaensis Speg 1982.

Atriplex micrantha C.A. May 1979.

Atriplex microphylla Phil 1957.

- Atriplex montevidensis* Spreng 1981.
Atriplex nummularia Lindl 2009.
Atriplex oreophila Phil. 2006
Atriplex patens (Litv.) Iljin 2006.
Atriplex peruviana (Moq) 1999
Atriplex prostrata Boucher ex DC. 2008.
Atriplex sagittata Borkh 2008.
Atriplex spegazzini A. Soriano ex Mulgura 2004
Atriplex stuckertii Gand. 2004.
Atriplex tatarica L. 2013.
Atriplex undulata (Moq) D. Driet 2014.

Otra extraña diferencia con lo reportado en ese año por el HNB, es que, en la lista del registro actual del género *Atriplex*, ya no aparecen dos especies que, si figuraban en ese entonces, estas son: *Atriplex obtusifolia* y *Atriplex cineraria*.

Entre otras especies de *Atriplex*, aparte de las mencionadas por el Herbario Nacional, existen otras especies introducidas existentes en Bolivia, se cuenta con especies que fueron motivo de estudio experimental en el Dpto. de Cochabamba y que fueron importadas por la Línea de Agroforestería del Programa de Repoblamiento Forestal CORDECO-IC-COTESU.

Estas especies incluyen principalmente al *Atriplex halimus* recibido de Túnez-África, *Atriplex nummularia* importado de Chile y *Atriplex cordobensis* importado de la Argentina. Hasta la fecha, están siendo diseminadas por diferentes regiones mediante convenios interinstitucionales, para obtener datos de adaptación en diversos sistemas ecológicos del país. En primera instancia, se distribuyeron plantines y semillas para la localidad de Patacamaya en La Paz, región del Salar de Uyuni de la provincia Nor Lípez en Potosí, Tarija e incluso Santa Cruz de la Sierra para los valles mesotérmicos.

Una siguiente introducción de especies de *Atriplex* a Bolivia, fue promovida por Queiroz y Tejada en el año 1994, quienes recibieron algunas especies provenientes de Utah-EE.UU., a través del Programa Small Ruminants Collaborative Research Support Program (SR-CRSP), para iniciar trabajos de

experimentación en el altiplano central de Bolivia. Entre estas especies figuran *A. canescens* y *A. polycarpa*.

Se debe remarcar que la política de todo científico con ánimos de velar por la optimización de los niveles productivos y conservacionistas, se debe enmarcar en acciones de difusión de información, tanto como de material vegetativo, para así poder brindar mejores alternativas de solución al eminente riesgo de desertificación acelerada de las tierras áridas y semiáridas del mundo.



Foto 9 y 10. Ambas fotografías corresponden a la especie ***Atriplex myriophylla***. Esta especie está distribuida en las zonas arenosas de La Paz y Oruro, Bolivia.



Foto 11. Arbusto de ***Atriplex retusa***, anteriormente clasificada como ***Atriplex desertícola***, en una ladera típica de la altiplanicie boliviana (Alejandro Bonifacio)



Foto 12. Arbusto de ***Atriplex nummularia*** en suelo montañoso bajo sistema de cobertura bi estratificada. (Gentileza: Rudy Meneses; CIF/SEFO/SAM)



Foto 13. Plantación de *Atriplex nummularia* en filas en suelo semi árido en el Dpto de Cochabamba. Gentileza: Rudy Meneses (CIF/SEFO/SAM).



Foto 14. Arbusto densamente poblado de *Atriplex halimus*

En fotografías anteriores se exponen algunas de las especies (plantas completas, partes de los arbustos o semillas), mencionadas como nativas e introducidas y adaptadas en el territorio boliviano. Estas ilustraciones están disponibles gracias a la gentileza de diferentes autores interesados en el estudio de los *Atriplex* en las zonas Alto Andinas.

Clasificación y Descripción Botánica

En lo que concierne a este subtítulo del libro, es posible que su contenido difiera en relación a la versión escrita en 1993. Resulta sorprendente la gran variación relacionada a la clasificación taxonómica de todas las plantas componentes del género *Atriplex*, al igual que de todos sus parientes de los géneros *Chenopodium*, *Kochia*, *Salsola*, *Suaeda*, *Salicornia* y algunas otras que, hasta 1998 se conocían en todo el mundo, como integrantes de la familia botánica de las **Chenopodiaceae**.

Pues, a partir de ese año, se adopta y se aplica en la mayor parte de los países (incluido Bolivia, entre otros, a través del Herbario Nacional de Bolivia), un moderno sistema de clasificación, denominado APG4, consistente en un sistema de clasificación de Angiospermas, por el **Grupo para la Filogenia de las**

Angiospermas (acrónimo **APG**, del inglés *Angiosperm Phylogeny Group*) que en este año ya ha alcanzado la última actualización del 2022 a la versión 4.

Si bien este sistema no está aún consolidado, porque todavía hay grupos de dudosa asignación, se basa en el análisis cladístico de las secuencias del ADN de tres genes. Se apoya sólo en la evidencia molecular, sus grupos constituyentes también prueban ser consistentes con otras evidencias no moleculares; por ejemplo, la morfología del polen sustenta la separación entre las eudicotiledóneas del resto de las dicotiledóneas (Moraes, M., 2022; comunicación personal).

En consecuencia, el género *Atriplex*, ahora pertenece a la familia de plantas **Amaranthaceae** y a la subfamilia **Chenopioideae**, y desaparecieron las **Chenopodiaceae** como familia botánica.

A fin de registrar esta drástica modificación sistemática, en los subsiguientes párrafos, se contrasta la clasificación anterior válida hasta el año 1998 (**a = familia Chenopodiaceae**), acompañada de la descripción de las especies, mismas que no han sufrido modificaciones, para proceder después con lo que actualmente corresponde según el APG4 (**b = familia Amaranthaceae**).

a. Familia *Chenopodiaceae* (clasificación válida hasta el año 1998)

Flores radiadas, hermafroditas o unisexuales. Perigonio corto en forma de cáliz, de (3) 5 divisiones persistentes; rara vez ninguno. Estambres opuestos a las divisiones del perigonio, arqueados en el botón. Ovario supero, unilocular, con un estilo corto que se divide en 2 (3-4) estigmas. Ovulo único campilótropo, sobre un funículo basal. Fruto es un utrículo rodado por el perigonio a veces posteriormente transformado. Semilla con endospermio y con el embrión en forma de anillo o de tirabuzón. Cotiledones largos y angostos.

Plantas anuales o perennes, a veces leñosas, lampiñas o pulverulento-harinosas por multitud de pelos vesicarios. Inflorescencia cimosopaniculadas. Flores verdosas, pequeñas. Los tallos generalmente con engrosamiento irregular. Más de 70 géneros, distribuidos principalmente en las regiones litorales en las estepas y desiertos del globo terráqueo.

I. Hierbas bajas, condensadas en céspedes con las hojas opuestas.

1. *Nitrophila*

II. Hierbas o arbustos más altos con las hojas alternas o sin hojas.

A. Plantas hojosas.

1. Hojas planas

a) Utrículo rodeado por el perigonio de 3 o 5 divisiones.

2. *Chenopodium*

b) Utrículo encerrado en 2 brácteas más o menos unidas en la base.

3. *Atriplex*

2. Hojas cilíndricas o semi-cilíndricas

a) Divisiones del perigonio no transformadas por la madurez

5. *Suaeda*

b) Divisiones estiradas en un apéndice dorsal, horizontal

6. *Salsola*

B. Plantas con los tallos carnosos, articulados, sin hojas.

4. *Salicornia*

Subfamilia 1 Ciclolóbeas..... Atripliceas

***Atriplex* L.**

Flores unisexuales: Las masculinas con un perigonio de cinco divisiones y con cinco estambres; las femeninas sin perigonio; el ovario terminado en dos estigmas y encerrado en una bolsa formada por dos brácteas persistentes y cuando están maduras, la base de las brácteas ya están más o menos unidas; a veces endurecen y llevan apéndices en el dorso. Utrículo con la semilla generalmente vertical. El embrión circular. Plantas herbáceas o leñosas con las hojas alternas, blanco pulverulentas. Inflorescencias paniculadocimosas. Flores pequeñas, verdosas. A continuación, se describen a modo de mención especial, las características de *Atriplex halimus* y *Atriplex semibaccata*.

Atriplex halimus L. incluye dos sub especies totalmente diferentes en términos de morfología y hábitat. La sub especie *halimus* es un arbusto de 1-2 m de altura, bastante frondoso. Proviene de las costas del Mediterráneo, Atlántico y del Mar del Norte. Esta sub especie incluye muchas poblaciones y ecotipos de diferente valor ramoneable desde excelente hasta no palatable.

La otra sub especie es la *schweinfurthii* (Boiss). Es un arbusto intrínseco de zonas áridas, común en el Norte del África y el cercano Este. Hay muchos ecotipos de valores variados de ramoneo. Esta sub especie es una mesoeuhalófito.

Las dos sub especies tienen morfología y ecología diferente y pueden distinguirse de la siguiente manera (Franclet y Le Houérou, 1971).

| Sub esp. <i>halimus</i> | Sub esp. <i>schweinfurthii</i> |
|---|--|
| Hábito erecto (cuando no es ramoneado); la parte superior de las ramas torcidas o entrelazadas, algo escorpionadas y frondosas. | Hábito intrínseco, sea o no ramoneada, la parte superior de las ramas son rígida y frecuentemente de color rojizo. |
| Tamaño de 0.5 - 2 m de altura por 0.5 - 2 m de diámetro. | Tamaño 1 - 3 m de altura por 0.5 - 5.0 m de diámetro. |
| Hojas variables, más o menos alarbadadas 2 - 3 cm de largo y 1 - 2 cm de ancho. | Hojas muy variables en forma y tamaño. |
| Fruto-fructificación frondosa, 20 - 50 cm de largo, enteramente foliada. | Fruto-fructificación frondosa, 50 - 100 cm de largo y sin hojas. |
| Hoja/radio de los tallos 0.4 y 0.7 cm | Hoja/radio de los tallos 0.2 a 0.6 cm |
| Válvulas de los frutos en forma semi-circular, enteramente u obscuramente dentado en los márgenes. | Válvulas de los frutos semi-circular distintamente dentado. |



Foto 15. Arbusto *Atriplex halimus* de 3 años desde el día de plantación, en la localidad de Cocaraya – Dpto. de Cochabamba, Bolivia.



Foto 16. Establecimiento de una parcela de *Atriplex halimus*, a los 3 meses de plantación en la localidad de Cocaraya – Dpto. de Cochabamba, Bolivia.



Foto 17. Arbusto rastrero de *Atriplex semibaccata* de 2 años desde el día de plantación, en la localidad de Cocaraya – Dpto. de Cochabamba, Bolivia.



Foto 18. Establecimiento de *Atriplex semibaccata* a los 3 meses de plantación, en la localidad de Cocaraya – Dpto. de Cochabamba, Bolivia.

Atriplex semibaccata es nativo de Australia, naturalizado en Nor África y Cercano Este, tanto como en otras numerosas regiones de clima mediterráneo (California, Baja California, Chile, S. África). Esta especie es una rastrera bianual o trianual de semilleo profuso por debajo de toda la cobertura del arbusto, en contacto con la superficie del suelo, muy bien adaptado a suelos

sedimentarios, moderadamente salinos, comportándose como una xero-hipohalófito.

El valor de ramoneo es favorable, su establecimiento mediante la siembra directa es fácil, pero su persistencia es muy pobre. Generalmente, desaparece en el tercer o cuarto año. Esta especie constituye una excelente alternativa para controlar la erosión.

b. Familia ***Amaranthaceae*** (clasificación modernizada, válida a partir del año 1998)

Si bien toda la descripción para las especies de *Atriplex*, sigue obviamente siendo la misma, la nueva nomenclatura taxonómica, basada en la evidencia molecular, se presenta de la siguiente manera:

Reino: ***Plantae***
División: ***Magnoliophyta***
Clase: ***Magnoliopsida***
Orden: ***Caryophyllales***
Familia: ***Amaranthaceae***
Subfamilia: ***Chenopodioideae***
Tribu: ***Atripliceae***
Género: ***Atriplex* L. 1753**

Esta clasificación puede ser verificada consultando la última versión del APG4, donde ya sólo menciona a las *Amaranthaceae* entre el orden *Caryophyllales* y también un link del Missouri Botanical Garden: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/> - que hace mención a esa base de datos filogenética de las Angiospermas.

Allí se comprueba directamente que dice "***Chenopodiaceae see Amaranthaceae***" (*Chenopodiaceae* ver *Amaranthaceae*).

En consideración a los lectores más interesados en profundizar este nuevo sistema de clasificación, y a fin de facilitar su consulta en algunos lugares sin acceso a internet, en el Anexo 1 de este libro, se adjunta el sistema de

clasificación, denominado **APG4**, consistente en la clasificación de las Angiospermas, por **el Grupo para la Filogenia de las Angiospermas (acrónimo APG, del inglés Angiosperm Phylogeny Group)** en su última versión (4), actualizada para 2022.

Características de Adaptación Ecológica

En este acápite se analizan las características de adaptación y desarrollo normal de diferentes especies del género *Atriplex*, otorgando múltiples ejemplos y datos regionales de distintos puntos geográficos del mundo, desglosando en varios componentes que inciden en la productividad de las diferentes especies de *Atriplex* forrajeros.

En consecuencia, a continuación, se desarrollan las principales características y estado del conocimiento de los cuatro siguientes requerimientos o condiciones que propician la adaptación ecológica de estos arbustos a diversos escenarios naturales:

- a) **Requerimiento de agua y eficiencia de utilización hídrica**
- b) **Características de tolerancia a la sequía y al stress hídrico**
- c) **Requerimientos de temperatura y tolerancia al stress de frío y calor**
- d) **Requerimientos edafológicos para su desarrollo**

a) Requerimiento de Agua y Eficiencia de Utilización Hídrica

La mayoría de los arbustos halófitos están adaptados a la aridez, semiaridez y climas sub tropicales localizados entre 20 y 50° de latitud norte y sur, en Eurasia, África, Sur y Norte América y Australia (Franclet y Le Houérou, 1971). Existen unas pocas especies en la zona intertropical, en particular en América Central y el Caribe, entre las latitudes 20° N y S.

Casi todas las especies de *Atriplex* pueden desarrollar bajo condiciones de cultivo en zonas áridas entre 200 a 400 mm de precipitación media anual en condiciones estrictas de secano.

Sin embargo, cuando la precipitación media anual baja menos de 200-250 mm, es necesario agregar algún riego adicional para asegurar una producción óptima.

Urrutia *et al.* (2007), mencionan, sin especificar a qué especies del género *Atriplex* se refieren, que en México estos arbustos se desarrollan bien desde el nivel mar hasta los 2400 msnm, con precipitaciones de 150 a 500 mm anuales. Esta afirmación también limita los verdaderos atributos acerca de su demostrada capacidad de adaptación de estos arbustos, en relación al amplio rango de tolerancia altitudinal, pues existen varias especies a nivel del mar, y por otro lado, han podido ser establecidos exitosamente en muchos y diferentes lugares Alto Andinos, incluso por encima de los 3800 msnm, lo cual ya ha sido demostrado y reportado desde hace más de tres décadas, en diferentes proyectos, con individuos de *Atriplex* que permanecen vivos durante varios años.

En este texto se incluyen varias citas bibliográficas de autores que reportan la adaptación de los *Atriplex* en ecosistemas con precipitación pluvial hasta de 50 mm/año.

Arbustos medianos y grandes, tales como *A. halimus*, *A. canescens*, *A. nummularia*, *A. lentiformis*, *A. breweri*, *A. amnicola*, *A. undulata*, pueden tener la capacidad de alcanzar depósitos acuíferos subterráneos localizados hasta 10 m de profundidad a partir de la superficie del suelo (Le Houérou, 1992).

Existen numerosas evidencias científicas referentes a la capacidad de las plantas para aprovechar el agua de la atmósfera, mediante las cuales se demostró que tal aprovechamiento es mayor en ambientes de alta humedad relativa, a pesar que la cantidad absorbida es pequeña y la traslocación es muy lenta.

Varios autores, mediante diferentes trabajos experimentales de irrigación a plantaciones de *Atriplex*, pudieron comprobar un alto nivel de eficiencia de utilización de agua de lluvia y riego (Francllet y Le Houérou, 1971).

Arentsen (1972), trabajando con plantas de *Atriplex repanda*, determinó la capacidad de absorción foliar de humedad atmosférica y las relaciones

hídricas, para comprobar el movimiento de agua de las hojas a las raíces y de éstas al suelo durante la época seca, encontrando valores que indican que, aparentemente, la planta no es capaz de eliminar agua desde las raíces hasta el suelo porque las condiciones del ensayo determinaron que en *Atriplex repanda* no hubo evidencia de acumulación de agua en el suelo como consecuencia del agua exudada por las raíces.

Estos resultados tienen una estrecha relación con la curva de crecimiento de la planta, ya que, en el período seco, la pobre disponibilidad de agua es absorbida para ser utilizada fundamentalmente para mantener la turgencia y vida de la planta, pero no sería suficiente para crecer.

En la región de Karoo en Sud África, Cock y Harris (1968), encontraron que la eficiencia de uso del agua era de 4 mg de Materia Seca/g H₂O con *A. nummularia*. Esto significa que esta especie puede producir 1 kg de MS con 250 kg de agua.

En las zonas áridas de Libia y Tunisia, Le Houérou (1992), reportó haber encontrado 3.3 mg MS/g H₂O, ó 1 kg MS/300 kg H₂O.

La explicación de estas propiedades puede encontrarse en la estructura anatómica de las hojas, agentes principales de respiración y transpiración de la planta.

Las hojas del género *Atriplex* presentan hipodermis y pelos vesiculares en la superficie foliar (Black, 1954), que son modificaciones anatómicas que tienen importancia en la economía del agua.

La presencia de un tejido vesicular constituido por vesículas fusionadas es una característica notable de la mayoría de las especies xerófitas de *Atriplex* (Black, 1954).

Los pelos vesiculares tienen origen en la epidermis y cuando están túrgidos se disponen apretadamente y presionan uno contra otro formando una gruesa capa que cubre la superficie foliar.

Arentsen (1972), determinó una gran diferencia anatómica en hojas de *A. repanda* según sea el medio en que crecía. En condiciones de invernadero con riego permanente, no se observó presencia de pelos vesiculares. En condiciones de alta humedad relativa permanente; pero con precipitaciones escasas, presentó características xerófitas intermedias, y en una zona con déficit hídrico y de baja humedad relativa se encontró presencia abundante de pelos vesiculares.

Silva (1973), determinó que la epidermis está formada por una capa de células de forma rectangular cuyas paredes externas presentan una banda continua de sustancia grasa, la cutina, que constituye la cutícula que impide la desecación de los tejidos subyacentes. A continuación, se dispone una segunda capa de células epidérmicas (hipodermis) de forma alargada que contienen poca cantidad de cloroplastos.

b) Características de Tolerancia a la Sequía y al Stress Hídrico

Una de las características notables de los *Atriplex* es la de tener una elevada tasa de crecimiento durante el período seco estival, a pesar de existir en el suelo potenciales hídricos bajos.

La tolerancia de los *Atriplex* al stress hídrico es sumamente variable entre las especies y aún entre los individuos de una población de la misma especie; pero esto es muy difícil de evaluar sin referirse previamente a la tolerancia a la salinidad (Franclét y Le Houérou, 1971). En este sentido, es que las especies de *Atriplex* aquí referidas, *A. halimus* es considerado Mesoeuhálofito junto a *A. nummularia*, *A. canescens*, *A. lentiformis* y *A. polycarpa*. Éstos se caracterizan por ser moderadamente tolerantes al stress hídrico.

A. semibaccata, junto a *A. leucoclada* y *A. glauca* son consideradas Xerohipohalófitas que se caracterizan por ser altamente tolerantes a la sequía

Sudzuki (1969), mencionado por Román *et al.* (2014), estudiando la absorción foliar de la humedad atmosférica, considera la niebla, el rocío

y el vapor de agua, como fuentes hídricas potenciales para algunas especies de climas áridos y semiáridos.

La absorción de agua desde el suelo tiene lugar cuando se establece un gradiente de potenciales en el sistema suelo-planta-atmósfera, es decir, cuando $B_s > B_p > B_a$ ya que el agua fluye desde un potencial mayor a uno menor. Este gradiente de potencial es el principal factor del proceso a pesar que influye además la resistencia al paso del agua a través de los tejidos de la planta.

La investigación científica, en el campo de la física demuestra, que la absorción de agua por los componentes aéreos de las especies botánicas es posible, al igual que los eventos de traslocación a través de la planta y su exudación al suelo desde las raíces. Esto sucede cuando el gradiente de potenciales se invierte de modo que $B_a > B_p > B_s$.

Recientes investigaciones con flamante tecnología en el área de biología celular, están tratando de caracterizar genes vegetales cuya expresión es inducida por el stress a la sequía.

Estas técnicas pueden ser usadas para lograr comprender las respuestas de las especies de una pradera nativa a los estreses tanto a niveles bioquímicos como moleculares. Adair *et al.* (1992), se encuentran en la búsqueda y caracterización molecular de genes que responden al stress de la sequía en arbustales nativos de *Atriplex canescens*.

Atriplex canescens es un arbusto facultativamente siempre verde, nativo del Oeste de Norte América y que se extiende desde Canadá hasta los desiertos de Chihuahua y Sonora. Goza de gran palatabilidad y rápido crecimiento (Stutz y Sanderson, 1979). Fue clasificado como biomasa energética y almacén alimenticio en regiones áridas y semiáridas (Newton y Goodin, 1985, 1987), y alcanza rendimientos anuales hasta de 7,500 kg MS/ha en Texas, con precipitaciones de 470 mm y hasta de 3,500 y 4,500 kg MS/ha, con precipitaciones de 190 y 380 mm respectivamente (Newton y Goodin, 1985).

En Arabia Saudita e Irak, diversas variedades de *Atriplex* han prosperado en zonas con 100 mm o menos de precipitación anual promedio, y suelos con 1-3% de yeso con napa de agua subterránea salina (Zaroug, 1985).

Varias especies de *Atriplex* han sido estudiadas ampliamente para revegetar praderas disturbadas (Aldon, 1984) y son muy bien conocidas por su cualidad de tolerancia a la sequía (Newton y Goodin, 1989 a).

El sistema radicular de *A. canescens* puede ser muy profundo (hasta 6 o 7 m) y la longitud de sus raíces secundarias pueden explorar la humedad de un gran volumen de suelo (Goodin, 1984). Estas especies tienen una alta eficiencia del uso de agua (Dwyer y De Garms, 1970) y el trasplante de plantines asegura un 80% de supervivencia (Weisner y Johnson, 1977).

c) Requerimientos de Temperatura y Tolerancia al Stress del Frío y el Calor

Además de proveer de sombra y hábitat para animales silvestres, el valor de estos arbustos como resguardo contra la erosión del suelo es también reconocido, ya que sus raíces ayudan a prevenir este fenómeno común en las zonas áridas y semiáridas del mundo (Petersen *et al.*, 1986, citados por Román *et al.*, 2014).

Los arbustos nativos poseen mecanismos de tolerancia al stress de la temperatura (Newton y Goodin, 1989 a), también crónicos y agudos períodos de déficit hídrico (Newton y Goodin, 1989 b). Si bien muchos mecanismos de tolerancia a la sequía son expresados simplemente a un nivel anatómico (por ejemplo, el sistema extensivo radicular), muchos tienen componentes celulares y metabólicos e incluso ajustes osmóticos.

Los descensos bruscos de temperaturas que se experimentan en algunos meses; no afectan negativamente al género *Atriplex* permaneciendo saludables en relación a otras plantas que crecen en las mismas regiones (Berte y Pretel, 1985), esto podría deberse a la capacidad que tiene el *Atriplex* de absorber la humedad del aire a través de sus hojas.

Alrededor del 85% de los arbustos halófitos exhiben procesos de carboxilación por la vía C₄ (Osmond *et al.*, 1980). Al igual que en muchas plantas C₄, la temperatura óptima para la fotosíntesis es alta (30-35 °C); y puede llegar hasta 40 °C en algunas especies. Bajo condiciones de cultivo, los mismos autores Osmond *et al.*, 1980; llegaron incluso a comprobar actividad fotosintética en la superficie de las hojas hasta a 50 °C. Esto comprueba que los arbustos forrajeros de zonas áridas, pueden ser considerados entre las dicotiledóneas de mayor tolerancia al calor en este planeta.

En contraposición, la tolerancia al frío y al congelamiento, es altamente variable entre especies y aún entre ecotipos dentro de cada especie. *A. canescens* sub sp. *canescens* tolera -20 °C y algo menos en la región inter-montañosa del oeste americano.

A. halimus (sus dos sub especies), *A. nummularia*, *A. vesicaria*, *A. glauca*, *A. undulata*, *A. tampa*, *A. deserticola*, *A. lentiformis*, *A. polycarpa* y *A. breweri*, pueden resistir hasta un mínimo de -10 a -12 °C por pocas horas y son eliminadas en invierno alrededor de -15 °C, aunque este acápite aún no se encuentra bien documentado ni verificado.

No obstante, existen algunas especies que son sensitivas al frío, las mismas que no toleran temperaturas de -5 °C por lapsos de tiempo extensos y mueren. Por ejemplo, éstas son: *A. repanda*, *A. coriacea*, *A. mollis*, *A. barclayana* y *A. amnicola*.

A. semibaccata no fue aún estudiado en extenso con respecto a los rangos de tolerancia a la temperatura y, por ende, no es posible emitir conclusiones al respecto.

Con respecto a las condiciones locales en la que se realizaron los ensayos con *Atriplex*, la zona se halla próxima a la estación climatológica "Cocaraya" ubicada a 17°26' de latitud sud y 66°20' longitud oeste, a una altitud de 2,640 msnm. La temperatura promedio anual que se registra en esta estación es de 19.55 °C con precipitaciones de 465 mm anuales y humedad relativa promedio de 54.01%.

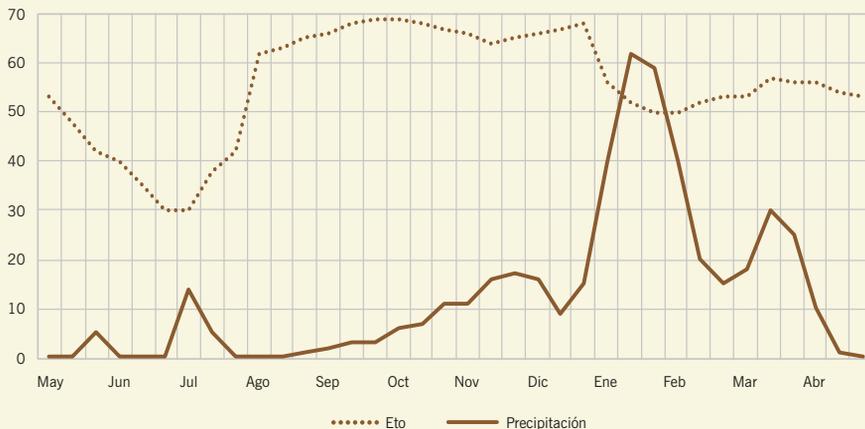
Para mayor referencia, a continuación, a modo de ejemplo se mencionan los resultados de un breve análisis del comportamiento climático de mayo 1991 a marzo 1992, período en el cual, Tejada y Guzmán, junto a un grupo de sus estudiantes universitarios, realizaron las mediciones volumétricas y crecimiento direccional de los arbustos.

Los cálculos de evapotranspiración potencial (ETo) se realizaron con el método Penman Modificado, en el que se usaron datos de Cocaraya, Cochabamba, para precipitación y temperatura. Para velocidad de viento y horas de brillo solar, se utilizaron los registros de la estación meteorológica de AASANA ubicada a 17°24' latitud sud y 66°11' longitud oeste.

El análisis climático para el período 1991-1992 muestra a través del Gráfico 1, que la ETo descendió desde mayo hasta julio. Entre agosto y diciembre, se registraron valores elevados de ETo y, a partir de enero de 1992, ésta volvió a descender. Los bajos valores de ETo en mayo y junio se deben a las bajas temperaturas registradas y a la incursión de masas de aire frío con precipitaciones. A partir de agosto, la ETo se elevó principalmente por efecto de los vientos y posteriormente por incremento de temperatura y cielos despejados. Finalmente, a partir de enero se tuvieron cielos cubiertos, elevada humedad relativa y precipitaciones que ocasionaron un descenso en la ETo.

La precipitación durante los 12 meses de observación y medición de los arbustos, si bien alcanzó valores próximos a los promedios normales, no tuvo buena distribución, ya que se concentró mayormente en el mes de enero 1992, mostrando índices bajo de precipitación en diciembre '91 y febrero '92.

**Gráfico 1. Balance Hídrico del Período de Observación
Cocaraya – Cochabamba, Bolivia.**



Actualización gráfica en base a datos de la 1ra edición

Efectuando un balance hídrico acumulativo y aplicándolo al Gráfico 1, se concluye que hasta el último decadal del mes de diciembre '91, se tienen deficiencias de agua en el suelo. En el primer y segundo decadal de enero '92, existe restitución de agua en el suelo y, a partir del primer decadal de febrero, comienzan las deficiencias de agua. De este modo, se muestra que el "Período de Crecimiento" entre 1991 y 1992, en Cocaraya tuvo una duración de 40 días, iniciándose el primero de enero y culminando el 9 de febrero, entendiéndose como "Período de Crecimiento" al "lapso continuo durante el año en el que las lluvias superan la mitad de la ETo hasta que bajan por debajo de ella, sumando un período proporcional al agua almacenada en el suelo".

En los análisis climáticos realizados no se utilizó el Coeficiente de Cultivo (Kc) debido a que en el caso de *Atriplex*, no se lo tiene bien definido.

d) Requerimientos Edafológicos para su Desarrollo

Las especies del género *Atriplex* pueden crecer en suelos pesados y salinos-alcálinos con precipitación media de sólo 150 mm. Pudiendo

subsistir con sólo 50 mm de lluvias en un año dado (Franclet y Le Houérou, 1971).

Con respecto a los requerimientos de suelo y tierras, la mayoría de las especies Halófitas son adaptables a un medio edáfico de textura fina con reacción alcalina.

Muchas de esas especies son denominadas “Halófitas facultativas” porque prosperan mostrando una alta productividad, tanto en ambientes salinos como no salinos, y tienen una importancia significativa en la revegetación de tierras con problemas de salinidad en ambientes de baja precipitación, por lo que han sido reconocidas como arbustos tolerantes a sequías y sales (Watson *et al.*, 1995).

Las especies de mayor demanda y productividad (*A. halimus*, *A. canescens*, *A. undulata* y *A. lentiformis*) muestran un mejor desarrollo y alta productividad en suelos profundos de textura mediana.

El crecimiento y productividad de estas especies es siempre pobre en suelos arenosos y resulta moderado en suelos arcillosos, bajo condiciones a secano.

Algunas especies o ecotipos adaptados a suelos arenosos podrían ser: *A. mollis*, *A. verrucifera*, *A. lampa*, *A. repanda* y *A. cinerea*.

Si bien los *Atriplex* son encontrados en forma natural en zonas salinas, esto no constituye un requisito para su plantación, pues todas las especies crecen en suelos no salinos, siempre que la reacción del suelo sea alcalina.

Haciendo una comparación de especies, Riveros (1985) menciona que *Atriplex halimus* es más resistente que *A. nummularia* a la aridez, y da buenos resultados en todo tipo de suelos, incluso donde hay yeso y sal.

Erwin y Dobrowolsk (1992), estudiando la dinámica de mortalidad de *Atriplex confertifolia* en comunidades vegetales de los desiertos salinos de Utah, lograron determinar que los mayores índices de mortalidad de esta Halófitas ocurrían en las elevaciones topográficas más bajas, donde la población de los arbustos era inicialmente más densa. Esto ocurría

principalmente en suelos húmedos de textura granulosa fina con pendientes muy leves y gran potencial de derretimiento de nieve, o por donde corría y se acumula el agua de las lluvias. La muerte de los arbustos no guarda casi ninguna correlación con los niveles de salinidad de los suelos.

Las mayores densidades de “shadscale” vivos (*Atriplex confertifolia*), se presentaban donde existían mayores pendientes, con suelos más áridos y la humedad del suelo era la más baja registrada en tres años de toma de datos. Refugios de Shadscale supervivientes fueron encontrados donde la salinidad de los suelos era la más alta de la región (Erwin y Dobrowolsk, 1992).

En cuanto a la influencia de la condición del suelo para la producción de semillas, *Atriplex confertifolia* mostró alta correlación de semillero en condición de salinidad acentuada de suelos.

Muchas regiones áridas y semiáridas del mundo contienen suelos y recursos hídricos demasiado salinos para la mayoría de los cultivos tradicionales (Nerd y Pasternak, 1992).

La utilización de plantas Halófitas en las pasturas y en la producción forrajera en suelos salinos y en producción de forraje con utilización de aguas saladas fue propuesta por varios autores: Malcolm (1969), O’Leary (1984, 1985), y Pasternak *et al.* (1985). Una especie candidata para este propósito es *Atriplex barclayana*, un pequeño arbusto decíduo, nativo del litoral de Baja California (Wiggins, 1980).

Una tendencia a acumular Na Cl ha sido reportada para muchas otras Halófitas y está altamente asociada a la tolerancia a salinidad (Greenway y Munns, 1980; Storey y Wyn Jones, 1979).

Es destacable la alta tolerancia a la salinidad de la especie *A. nitrophilloides*, puesto que crece en abundancia en la periferia de los salares de Uyuni y Coipasa en Bolivia y ambientes similares en Argentina (Giorgetta, s.f.). La planta es altamente palatable para llamas y ovejas, por lo que esta especie, junto a

Distichlis humilis y *Suaeda foliosa* se constituyen en las únicas o mejores fuentes de forraje en suelos extremadamente salinos.

En el altiplano y serranías de Bolivia, *A. retusa* conocida localmente como pillaya o pillawa crece en pie de monte de cerros de origen volcánico donde los suelos son medianamente salinos; mientras que *A. myriophylla* de nombre común también conocida localmente como liwi-liwi, crece preferentemente en planicie con niveles de salinidad alta a media. El nombre nativo de liwi-liwi que en idioma aimara significa caído o decumbente, muestra su hábito de crecimiento decumbente.

En cultivos hidropónicos, en concentraciones de cloruro de sodio de 25 a 30 g/l de agua, su crecimiento es normal (Maximov, 1952, citado por Bonifacio *et al.*, 2014). Conviene utilizar *Atriplex* en rotación de cultivos en regiones agrícolas amenazadas por la salinidad; el *A. nummularia* puede extraer 1100 kg de Na Cl/ ha en un año (Franclet y Le Houérou, 1971).

Sin embargo, existen algunos trabajos concernientes a la ganadería, que reportan algunos factores adversos, en un experimento de alimentación con ovejas que recibieron como parte de la dieta *Atriplex* que fue regado con aguas saladas provenientes del océano, la ganancia de peso tanto como la utilización de energía fue baja (Arieli *et al.*, 1989).

O'Leary (1985), examinó la productividad de varias Halófitas irrigadas con agua marina (4.0% de sólidos disueltos) y reportó que *A. barclayana* exhibió una alta tolerancia a los cortes y podas repetidas, produciendo los más altos rendimientos, 2336 g MS/m²/año.

Al respecto, Pasternak *et al.* (1985), comprobaron que plantas de *A. barclayana* crecieron en agua marina con 3.7% de sólidos disueltos, demostrando altos contenidos de cenizas, (32% de los rebrotes en materia seca).

Nerd y Pasternak (1992), reportaron que la especie *A. barclayana* es una planta altamente tolerable a la sal y que al mismo tiempo sus hojas

contienen niveles ricos de nitrógeno, pero la alta concentración de sal en las hojas y tallos, aún a bajas concentraciones de salinidad, reducen marcadamente su potencial como planta forrajera.

Cuando en un terreno con las mismas condiciones de salinidad en toda su extensión, se cultivaron *Atriplex*, cebada y trigo en forma experimental, se comprobó que el nivel de Na y Cl en los rebrotes de las gramíneas y otras partes tiernas de esas especies no Halófitas, eran consideradas inferiores a los niveles encontrados en los rebrotes tiernos de los *Atriplex* (Termaat y Munns, 1986).

Según Nerd y Pasternak (1992), los efectos de la variación de diferentes niveles de Na Cl en el suelo, afectan notablemente el crecimiento de retoños de *A. barclayana*.

Estos autores reportaron que las tasas de crecimiento de retoños se mantuvieron a niveles altos y constantes cuando las concentraciones de Na Cl no excedían los 200 mol/m³, pero el rebrote de retoños se redujo a menos de la mitad cuando las concentraciones de Na Cl fueron incrementadas bajo condiciones de laboratorio a 400 mol/m³. Las concentraciones de Potasio y Calcio en los retoños no fueron afectadas por la salinidad media de las raíces, hasta una concentración de Na Cl de 200 mol/m³, pero declinaron cuando la concentración de Na Cl en las raíces se incrementó a 400 mol/m³.

La concentración de N total en las hojas fue relativamente alta (3.51 – 3.72% del peso seco) a salinidades entre 50 a 200 mol/m³, pero decreció significativamente a niveles de salinidad de 400 mol/m³ de Na Cl (Nerd y Pasternak, 1992). No obstante, Glenn y O’Leary (1984), encontraron tolerancias al Na Cl más alta en *A. lentiformis* y *A. occidentalis*, lo cual también coincide con lo reportado por Storey y Wyn Jones (1979), cuando trabajaron utilizando *A. spongiosa*.

Cuando la salinidad del suelo es elevada, el contenido de compuestos nitrogenados solubles de bajo peso molecular, se incrementa en los

rebrotos de varias especies de plantas, pudiendo constituir por encima del 20% del contenido total de nitrógeno (Storey y Wyn Jones, 1977; Storey *et al.* 1977; Storey and Wyn Jones, 1979).

Le Houérou (1971), indica que las especies de *Atriplex* pueden establecerse en suelos de textura fina.

Otros estudios en Chile señalan que dentro de la distribución natural de *A. repanda*, los suelos y niveles de salinidad varían ampliamente en cuanto a minerales, granulometría y cantidad total de iones.

La precisión con la que los *Atriplex* responden a variables edáficas es aún desconocida, pero podría constituir un tema de investigación prioritaria para emitir recomendaciones técnicas para su adaptación en diversas ecorregiones del altiplano boliviano. Algunos de los factores a ser estudiados, principalmente de orden edafológico son:

- pH
- Nitrógeno disponible: ion nitrato, ion nitrito e ion amonio
- Capacidad de campo y capacidad de intercambio catiónico
- Concentración de cationes totales
- Cationes disponibles de Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+
- Conductividad eléctrica
- Fósforo aprovechable
- Cloro

En cuanto al efecto de los factores edáficos en la producción de las plantas, Lailhacar (1976), estableció que los factores del suelo que tienen mayor significación son el fósforo, la capacidad de intercambio catiónico y el nitrógeno.

Lailhacar (1976), encontró que las producciones son buenas cuando la concentración de fósforo aprovechable es superior a 8.1 ppm.

Los iones nitrato son importantes en la producción inicial y no así al final, posiblemente debido al agotamiento temprano en el suelo, que es cuando se inicia la mayor importancia del ion amoniacal.

El cloro es el elemento más importante por su efecto negativo en la producción de biomasa aérea y en el crecimiento de las raíces.

El efecto de los cationes K y Na tienen importancia en la producción aérea.

El pH óptimo puede oscilar entre 5.2 a 8.2.

Las variables de suelo asociadas significativamente con la fitomasa total en correlaciones múltiples, fueron en orden de importancia: nitrógeno amoniacal, limo, pH, sodio, materia orgánica, cationes intercambiables, fósforo y conductividad eléctrica ($r = 0.91$). Respuestas similares fueron encontradas en la biomasa de hojas y tallos (Gargano, 1978).

Los *Atriplex* diploides son encontrados en sitios duros o toscos con suelos de arena gruesa y áreas con dunas de arena, mientras que los tetraploides parecen estar mejor adaptados a las planicies arcillosas de las riveras de los ríos mayormente secos (Dunford, 1984).

Concerniente a su uso en conservación del suelo y del agua, los *Atriplex* están bien adaptados a las regiones áridas y a suelos pobres porque son capaces de reconstituir los suelos, favorecer el drenaje en los horizontes superficiales, mejorar la permeabilidad de los suelos, fijar marcas yesosas y erodadas, recuperar praderas con pastos, mejorar física y químicamente el suelo a través del aporte de materia orgánica, apoyando de este modo a luchar contra la erosión tanto eólica como hídrica (Fox, 1984).

El mismo autor se refiere a la recuperación de terrenos disturbados por la minería a techo abierto, por su tolerancia a sustratos no solamente salinos, sino también tóxicos. Por ejemplo, en el Reino Unido, el *A. hastata* forma poblaciones sobre las cenizas que provienen de centrales termoeléctricas y que contienen altos niveles de sales solubles. Esta especie muestra tolerancia al aluminio y puede acumular también hierro, manganeso y magnesio.



Foto 19. Nótese la propiedad de *Atriplex semibaccata* para retener la humedad, evitando la evaporación potencial que ocurre en suelos.



Foto 20. Estudiantes tesistas de Agronomía del año 1993, demostrando la facilidad con que se cortan arbustos rastreros de *A. semibaccata* para su posterior suministro al ganado estabulado.

El rillscale (*Atriplex suckleyi*) es una especie nativa invasora dominante en las minas con desechos de bentonita en el Norte del estado de Wyoming, y aparentemente es la única especie adaptada a este sustrato extremadamente adverso para el crecimiento de otras especies vegetales (Voorhees *et al.*, 1991).

Esta especie de *Atriplex* resultó muy sensitiva a un incremento en el nivel de molibdeno, actuando como un acumulador del mismo, resultando de esta manera inhibidor del cobre. Al mismo tiempo, *A. suckleyi* resultó muy tolerante a altos niveles de sodio soluble en el suelo (Voorhees *et al.*, 1991).

La especie *Atriplex suckleyi* es una *Chenopodiaceae* anual cuyo crecimiento principalmente ocurre en suelos arcillosos y salinos, mayormente sódicos con posibles deficiencias elementales y toxicidad por otros minerales, en los cuales sólo algunas raras especies podrían adaptarse (Frankton y Bassett, 1970), y además es considerada una especie nativa dominante que invadió áreas donde quedan desechos de minas de bentonita.

La morfología y vigor aparente de esta especie varía considerablemente de un sitio a otro. Algunos estudios demostraron que su crecimiento y vigor es más alto y rápido cuando se practican correcciones orgánicas al suelo (Smith *et al.*, 1985, Voorhees *et al.*, 1987).

Voorhees (1990), realizó estudios de química foliar de *Atriplex* como parte de un gran proyecto de evaluación de la capacidad de estas especies para su empleo como forraje, mediante programas de revegetación de áreas estropeadas por la minería de bentonita.

A. nummularia sobrevivió en Zimbawe durante cinco años sobre desechos mineros ricos en níquel y el *A. burburiyana* formó colonizaciones naturales en desechos de minas de oro en el África del Sur. En el estado de Nuevo México, USA, el *A. canescens* fue plantado para recuperar terrenos destrozados por la minería a techo abierto en una mina de uranio y en desechos de una mina de carbón (Fox, 1984).

En cuanto a las características edafológicas de la zona en que se realizaron los estudios locales con *A. halimus* y *A. semibaccata*, en Cocaraya-Cochabamba, se tiene la siguiente información:

El suelo está compuesto por material parental de calizas aluviales, con profundidad de nivel freático sin evidencia, con drenajes externo e interno imperfectamente drenados y evidencia de erosión de tipo hídrico laminar y en surcos, sin afloramientos rocosos y presencia de piedras en la superficie en un rango menor a 3%.

Fisiográficamente corresponde a “valles”, geomorfológicamente pertenece al complejo de abanicos aluviales antiguos, disectados con bajo contenido de materia orgánica (menor a 0.5%). El pH es ligeramente alcalino (8.0). La zona de vida ecológica corresponde a bosque seco Montano Bajo Sub-Tropical (bs-MBST).

La estructura laminar puede deberse al peso del material depositado sobre el horizonte enterrado (a 85 cm de profundidad), donde existen indicios de concentración de sodio.

CAPÍTULO

III

***Atriplex*: ETOLOGÍA VEGETAL
Y PRÁCTICAS**



REPRODUCCIÓN Y MULTIPLICACIÓN DE *Atriplex*

La Germinación de los *Atriplex*

Considerando que las especies de *Atriplex* son recursos potenciales para optimizar el uso de los suelos y el mejoramiento de la productividad pecuaria a través del enriquecimiento de las praderas y de los campos nativos de pastoreo (CANAPAS), resulta una necesidad prioritaria buscar el método más seguro y económico para su establecimiento.

Mediante diversos ensayos de siembra al voleo, realizados bajo simple observación en diferentes estratos y composiciones edáficas del Valle de Cochabamba y basándose también en la búsqueda de pequeñas plantitas, resultantes de germinación natural al pie y alrededores cercanos de cada arbusto, se puede determinar que la siembra directa resulta ineficiente, pues los resultados muestran ineficiencia en el sistema.

La germinación natural al pie y alrededores de arbustos de *Atriplex halimus*, prácticamente no se observó nunca y en muy pocas ocasiones en *Atriplex semibaccata*, probablemente debido a que la mayoría de este último, oferta mejores condiciones de retención de humedad del sustrato y protección contra la intensidad calórica y lumínica de los rayos solares, durante los primeros estadios de germinación de las semillas.

En el caso de *Atriplex repanda*, Olivares y Gasto (1981), reportan un porcentaje de germinación natural promedio inferior al 2%.

El fruto, al ser considerado como semilla funcional, se lo denomina utrículo (Koslowski, 1972), es indehiscente, nuciforme y monospermo, directamente unido al tallo, tiene una morfología acorazonada casi en la mayoría de las especies de *Atriplex*. En él se puede distinguir el pericarpio formado por la fusión de las dos brácteas aladas y la semilla que ocupa toda la cavidad interior.

El diámetro del fruto oscila entre 1.7 mm a 3.8 mm para *A. halimus* y entre 1.3 mm a 3.3 mm para *A. semibaccata*.

Mediante observaciones a las poblaciones de *A. myriophylla*, se puede evidenciar abundante formación de bractéolas fructíferas, las mismas que a la madurez son dehiscentes y se depositan en la base de la planta. A partir de la gran cantidad de frutos que forma cada planta, existen algunas plántulas que nacen al pie de la planta madre, en el mismo ciclo de crecimiento, lo cual daría a conocer que la dureza de los frutos es variable entre todos ellos, pese a que provienen de la misma planta.

Alejandro Bonifacio, a través de recientes experimentos realizados por su persona (observación técnica de primicia en este texto, aún no difundida en otras publicaciones), acota que las semillas extraídas de frutos, mediante escarificación mecánica, germinan en proporciones de 80 a 85% del total de semillas en condiciones de laboratorio; mientras que en invernadero, las semillas sembradas en bandejas alveoladas, registraron una ocurrencia porcentual máxima de 72% de emergencia, lo anterior conduce a proponer las siembras directas, empleando semillas liberadas de las brácteas.

En cambio, en *A. nitrophilloides* no se ha observado similar comportamiento; al contrario, la formación de semilla es escasa. Pruebas preliminares en caja petri dieron como resultado bajos porcentajes de germinación, iniciándose éstas entre 20 y 45 días. Por tanto, la semilla de estas especies se puede considerar como semidormante.

Atriplex retusa, conocido vernacularmente como "pillaya" en lengua nativa, presenta bractéolas endurecidas que no permiten la germinación, siendo necesarios tratamientos pregerminativos (escarificación) para lograr la germinación (semilla dormante).

La cantidad de semillas en un gramo de las mismas, fue determinada mediante numerosas repeticiones efectuadas por varias personas a fin de lograr un dato confiable. Para *A. halimus*, el número de semillas promedio de los múltiples conteos fue de 414 semillas/g y para *A. semibaccata* fue de 242 semillas/g. Estos datos corresponden a la estimación de cantidades de semilla, pesadas en condiciones de 100% de pureza (sin ningún tipo de suciedades ni residuos).

En las condiciones locales del valle de Cochabamba, el porcentaje de germinación de estas especies fue determinado bajo dos condiciones diferentes. Esto se debe a que las diferencias del porcentaje de germinación varían de acuerdo a las condiciones de vivero (almácigos) o de laboratorio (cajas Petri).

Una posible causa que explique los bajos porcentajes de germinación de la mayoría de las especies de *Atriplex* es la dureza del endocarpio y la limitación que tiene la semilla para incrementar su volumen por imbibición, debido a que las semillas bien desarrolladas ocupan todo el espacio interior. También se tiene como posible causa de reducción de la efectividad germinativa, el hecho de que, si bien no existe impermeabilidad al agua, existe la presencia de una capa mucilaginosa interna de la testa, la misma que demora la entrada de agua y aumenta la necesidad efectiva para producir la germinación. Pues, a pesar que la imbibición es necesaria para que ocurra la germinación, es preciso que también el embrión disponga de oxígeno.

Fernández y Johnston (1978), comprobaron que la presencia de saponinas y elevadas concentraciones de sodio y cloro en el pericarpio de los frutos actúan como inhibidores de la germinación.

Bonifacio y Cayoja (1998), reportaron el efecto favorable del remojado y escarificado de semilla en la germinación alcanzando 31% de germinación para Pillaya (*Atriplex retusa*) y 23% para *Atriplex semibaccata* al quinto día de la prueba.

Un factor aún no estudiado, y que puede ser identificado como tema prioritario de investigación, es el efecto de la temperatura sobre el tiempo de germinación, pues es posible especular de que la temperatura incide en el tiempo de emergencia, debido a lo observado en los almácigos de germinación durante diferentes días con registros variables de temperatura ambiente. A grandes rasgos, se pudo observar que, a mayor temperatura, la emergencia fue más corta en tiempo, pero este dato deberá ser afinado con metodología apropiada de experimentación.

La influencia de la edad del fruto en la emergencia es otro tipo de estudio prioritario e importante. Fernández (1978), reporta que los frutos de *A. repanda* sólo emergen a partir del sexto mes de almacenamiento, alcanzando un 5% en frutos de nueve meses de edad. Este porcentaje se mantiene constante en frutos almacenados en condiciones ambientales hasta cuatro años, alcanzando un 19% de frutos de cinco años y de 28% de seis años de almacenamiento (Gráfico 2).

Gráfico 2. Influencia del período de almacenamiento de los frutos en el porcentaje de emergencia de Plántulas (Fernández 1978).



Actualización gráfica en base a Fernández 1978.

La edad del fruto también afecta la velocidad de emergencia, los frutos más antiguos se adelantan dos semanas con respecto a los frutos más jóvenes.

La incidencia de luz, cuando se compararon semillas desprovistas de pericarpio, demostraron que los valores de germinación eran 35.4% mayor bajo luz que en oscuridad (Fernández, 1978).

En muchos estudios, se comprobó que la germinación puede tardar hasta más de 80 días luego de la siembra. Al respecto, los autores de la presente obra

pudieron determinar, mediante ensayos controlados en cajas Petri, que los eventos de germinación ocurrieron hasta los 65 días luego de haber iniciado la prueba.

Los porcentajes de germinación determinados en condiciones locales, mostraron ser más altos durante los primeros 10 días, llegando a 8% de germinación en *A. halimus* y 10% en *A. semibaccata*. Posteriormente, entre los días 10 y 30, se llegó al 11% de germinación en *A. halimus* y 15% en *A. semibaccata* y, finalmente, en el período de los días 30 al 65, los porcentajes subieron a 13% en *A. halimus* y 19% en *A. semibaccata*.

En cuanto al pretratamiento de los frutos de *Atriplex*, Olivares y Johnston (1978), citados por Tejada y Guzmán, 1993; estudiaron la acción de diferentes tiempos y exposición de los frutos a la acción del licor ruminal de ovinos. Se pudo apreciar la acción positiva del efecto del tiempo, por permanencia de los frutos dentro del rumen; los más altos porcentajes de emergencia se lograron con 120 horas de exposición en licor ruminal ovino y frutos que fueron almacenados por un periodo de cinco años.

Los pretratamientos del fruto con ácido sulfúrico elevan el porcentaje de germinación en rangos que fluctúan en relación al tiempo de exposición al ácido y a la edad de la semilla. Por ejemplo, frutos con un año de almacenaje, necesitaron siete horas de exposición para elevar el porcentaje de germinación con respecto al grupo control. Frutos con cinco años de almacenamiento alcanzaron el mismo aumento con dos horas en ácido. La respuesta al tiempo de exposición fue totalmente diferente para frutos secos que para los húmedos. Aparentemente, la humedad del fruto acelera su destrucción (Fernández, 1978).

El efecto del lavado de los frutos previo a la siembra, mejoró la emergencia de plántulas en un 35% encontrándose una relación lineal entre el tiempo de remojó y el porcentaje de emergencia en frutos de mayor edad.



Foto 21. Semillas de *Atriplex halimus*. Gentileza: Rudy Meneses (CIF/SEFO/SAM).



Foto 22. Semillas de *Atriplex nummularia*. Gentileza: Rudy Meneses (CIF/SEFO/SAM).



Foto 23. Semillas de *Atriplex myriophylla*. Gentileza: Rudy Meneses (CIF/SEFO/SAM).

Los mismos autores (Olivares y Johnston, 1978; citados por Tejada y Guzmán, 1993); también estudiaron diversas alternativas de mejoramiento de la emergencia probando diferentes tipos de cama de semilla y el efecto de la remoción del suelo, un tiempo después de la siembra de los frutos. Determinaron que la remoción de suelo es positiva cuando se realiza 15 días después de la siembra.

En cuanto al tipo de cama, encontraron valores de germinación más altos en siembras sobre aserrín de roble que en aserrín de pino y álamo.

Hyder (1981), realizó pruebas de germinación utilizando siete especies de *Atriplex* bajo condiciones controladas de vivero, para luego trasplantarlas a parcelas experimentales en la localidad de Riyakh, Arabia Saudita. Este autor encontró marcadas diferencias entre las especies en cuanto al crecimiento vegetativo.

Las siete especies (*Atriplex polycarpa*, *A. canescens* y *A. halimus*, obtenidas de California EE.UU. y *A. rhagodioides*, *A. nummularia* y *A. inflata*, obtenidas del oeste australiano) mostraron florecimiento normal, pero la semillación y los porcentajes de germinación difirieron notablemente entre las especies, todas mostraron altos contenidos en proteína y cenizas. Este autor remarca que, de acuerdo a lo obtenido en sus ensayos, las especies del género *Atriplex* constituyen un recurso potencial para el mejoramiento de las praderas de Arabia Saudita.

Si bien el porcentaje de germinación natural de los *Atriplex* es muy bajo, el paso de los frutos por el tracto digestivo de los ovinos es beneficioso, pues alrededor del mes de julio, cuando la disponibilidad de forraje en los CANAPAS es muy limitada, es cuando los arbustos de *Atriplex* se mantienen verdes y pueden ser consumidos. Esta época coincide con la fructificación, y la madurez paulatina de los frutos que empiezan a derramarse en el suelo.

Al tiempo de lograr un incremento germinativo gracias a la acción gástrica de los rumiantes que preparan la semilla y la expulsan al terreno con una reserva de abono incluido (heces fecales), el proceso de optimización se perfecciona aún más si se piensa en que los rumiantes al utilizar la pradera, también eliminan la competencia de otras xerófitas del lugar, dando lugar al establecimiento más seguro del arbustal halófito.

Olivares y Gasto (1981), analizaron los resultados de sus investigaciones con respecto al uso del arbustal, enfocándolos desde el punto de vista productivo, concluyendo que el arbusto no debe ser utilizado durante todo el año, dado que, frecuencias de ramoneo superiores a dos veces al año produjeron la muerte de la mayor parte de las plantas en un lapso no superior al año. No obstante, lo anterior, la utilización del arbusto con baja frecuencia, ya sea una o dos veces al año, permite asegurar que es posible aprovechar la biomasa disponible en cualquier época del año sin dañar el arbusto.

Este resultado es muy importante, ya que en cualquier tipo de explotación ganadera, se cuenta con un recurso apto de ser utilizado en todo momento, principalmente cuando la pradera nativa no oferta la alimentación necesaria.

Los *Atriplex*, además de no presentar problemas de defoliación, se mantienen verdes todo el año y constituyen un excelente aporte de materia seca para el ganado.

Multiplicación Asexual por Acodos y por Esquejes o Estacas

Si bien, la técnica de propagación más utilizada es por semilla, que requiere plantas producidas en vivero, las principales especies arbustivas de *Atriplex* se

pueden propagar de forma asexual o vegetativa, que puede llevarse a cabo por acodos o esquejes.

Propagación por acodos

Consiste en enraizar tallos sin separarlos de la planta madre, funciona mejor que la estaca, aunque resulta útil en especies que no enraízan con facilidad, la tasa de multiplicación es muy baja comparada con las estacas. Con este método se obtienen plantas de mayor desarrollo en menor tiempo.

Otras ventajas de optar por el método de acodo son, por ejemplo, que no se pierde tanto material madre y que la recuperación es más rápida que con estacas, presenta un mayor porcentaje de enraizamiento que con estacas (leñosas), no requiere de condiciones especiales de ambiente, y se puede realizar a la intemperie sin ninguna dificultad que afecte a la nueva planta.

La principal desventaja de la multiplicación por acodo, es que en plantas muy grandes o con ramas demasiado gruesas no se puede realizar el acodo y el número de éstos por planta es muy limitado. El *Atriplex* se puede reproducir por Acodo Simple o Compuesto:

a) Acodo Simple

Según Pérez (2017), el acodo simple consiste en doblar la rama hasta el suelo y cubrirla parcialmente con tierra o algún otro medio, volviendo a doblar la punta de la rama y dejando descubierto el extremo terminal. Con frecuencia se hacen incisiones en la parte inferior de la rama. Puede emplearse un alambre para mantener al acodo en su lugar, y junto a la parte saliente de la rama se coloca una estaca vertical para mantenerla recta.

b) Acodo compuesto

Denominado también serpentino, es semejante al acodado simple, excepto que la rama es cubierta y expuesta alternadamente a lo largo de su extensión, lo que favorece la obtención de varias plantas nuevas con una sola rama (madre); una vez enraizados los acodos o terminada la estación de crecimiento, se procede a seccionar la rama formada por los nuevos brotes y la porción que presenta las raíces. Se deben emplear siempre ramas largas y flexibles (Pérez, 2017).

En experiencias en la región del Chaco boliviano, los acodos colectados en el Municipio de Cuevo, Departamento de Santa Cruz; durante los meses de octubre a febrero mostraron que, de cada siete acodos trasplantados en bolsas con sustrato de arena y tierra del lugar; cinco se desarrollaron exitosamente, se continuaron colectando acodos bajo el mismo procedimiento con prendimiento del 70% (Román *et al.*, 2014).

Los acodos se extrajeron durante la época de lluvias, cuando el suelo está húmedo, la especie con estas características de multiplicación es el *A. halimus* que tiende a extenderse en el suelo y en contacto natural; con este se desarrollan raíces adventicias; los diámetros de los acodos fueron de 2 a 10 mm como máximo y la longitud de los esquejes varían entre 10 a 25 cm.

Una vez retirados los esquejes, la siembra se realiza directamente en bolsas con sustrato de arena y tierra del lugar (Román *et al.*, 2014).

Propagación por Esquejes o Estacas

Las estacas de los arbustos de *Atriplex* se deben colectar durante los meses con mayor temperatura y humedad (septiembre a diciembre); en regiones del Chaco y Valles de Bolivia se observa que se emiten brotes a partir de los 15 días de colectadas y sembradas en bolsas con sustrato suelto. Cuando se colectan estacas en meses con bajas temperaturas, los brotes se retrasan hasta 30 días aproximadamente.

Las estacas con diámetros de 2 y 3 mm tienen mayor número de brotes que las más gruesas, por otro lado, estas estacas deben obtenerse de plantas de menos de un año de edad, o de ramas jóvenes que aún no sean leñosas (Román *et al.*, 2014).

El enraizamiento de las estacas; es proporcional al número de hojas de la rama tomada (Berte y Pretel, 1985).

En las variedades de *Atriplex halimus* y *A. nummularia*; se ha observado que, a mayor grosor, menor prendimiento; esto lo respalda Benson (2004), citado por Román *et al.*, (2014); que indican que cuanto más lignificado el tallo,

menor es el porcentaje de enraizamiento. Experiencias con Chenopodiaceas cultivadas y silvestres del Sur, Centro y Norte América han demostrado que es posible el enraizamiento a partir de brotes axilares y apicales (Benson, 2004), citado por Román *et al.* (2014).

Las plantas producidas por estacas y acodos se pueden trasplantar después de 30 días a campo definitivo (Román, 2021; comunicación personal).

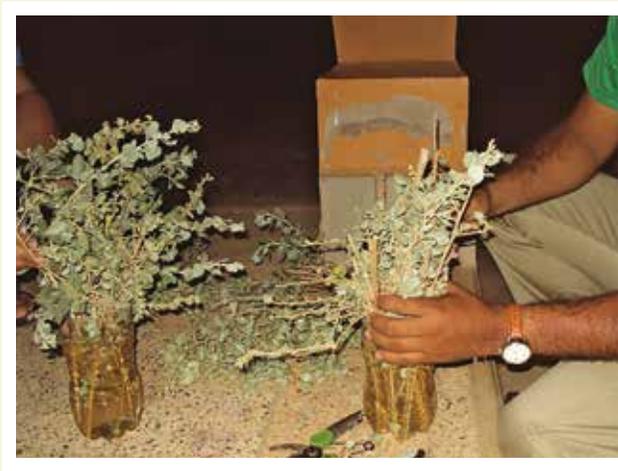


Foto 24. Estacas de *Atriplex halimus*, extraídas para ser enraizadas en el Municipio de Cuevo del Chaco; Santa Cruz, Bolivia. (Fotografía Shirley Román)

Silva (2004), en su trabajo de tesis (asesorado por Alejandro Bonifacio), ha evaluado la propagación vegetativa de *Atriplex* sp. a partir de esquejes basales (leñosos) y apicales (juvenil) empleando sustrato de arena, tierra agrícola, arena-humus (1:1) y arena-humus (2:1) en ambiente atemperado (walipini); obteniendo resultados expresados en porcentaje de enraizamiento que fueron estadísticamente significativos para sustratos y tipos de esqueje, de 91.87%, 86.25%, 81.25% y 78.75% de enraizamiento en sustratos de arena, arena-humus 2:1, tierra agrícola y arena-humus 1:1, respectivamente.

Con respecto al tipo de esqueje, con esqueje basal obtuvo 86.87% de enraizamiento y con esqueje juvenil 82.16% de enraizamiento. De lo anterior, se concluye que la propagación vegetativa de *Atriplex* sp. es factible utilizando esquejes basales y juveniles en sustratos ricos en arena.

La Fundación PROINPA, en el Centro de Investigación Kiphakiphani (La Paz, Bolivia), ha logrado el enraizamiento de *Atriplex halimus* a partir de esquejes, las mismas que fueron trasplantadas en predios de Centro de Investigación y en la Estación Experimental de Choquenaira dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés. El prendimiento de los plantines fue del 100% y el crecimiento posterior de plantas resultó satisfactorio, aunque no se ha evidenciado la formación de semilla sexual.

FENOLOGÍA Y DIFUSIÓN DE LOS *Atriplex*

Siembra y Plantación

Su establecimiento, ya sea con semillas o plantines, es generalmente fácil y rápido, ya que en 2-3 años son plantas adultas.

El método usual de propagación y establecimiento de arbustos Halófitos forrajeros es el de crecimiento y cuidado de germinación y repique en viveros, para su posterior trasplante en el terreno seleccionado, donde se efectúan previamente trabajos de hoyación. Este es el método clásico, utilizando bolsas de polietileno, que es empleado en los proyectos de forestación de todo el mundo (Le Houérou, 1965; 1977, Franclét y Le Houérou, 1971).

Sin embargo, también se puede realizar siembra directa de las semillas en el terreno, pero no es aconsejable (Román, *et al.*, 2014); sólo unas pocas especies pueden establecerse por siembra directa: *A. canescens*, *A. glauca*, *A. semibaccata*; a veces *A. halimus*. También en algunas oportunidades se experimentó la siembra mecanizada (Malcolm, 1976).

El establecimiento de plantas de *Atriplex* es recomendable cuando los plantines tienen entre tres y seis meses de edad, o han alcanzado una altura de 25 a 35 cm. Una distancia de plantación adecuada es 2.5 x 2.5 m o 3 m x 3 m (Román *et al.*, 2014).



Foto 25. Vivero de plantines embolsados individualmente, luego del repique desde la almaciguera, donde se observan las especies **A. halimus** (adelante) y **A. semibaccata** (al fondo), listos para su traslado y plantación en áreas definitivas. Cocaraya – Cochabamba (DESECPROFOR).

La relación óptima densidad/productividad es de 4,000 arbustos de *Atriplex repanda* por hectárea en la parte central de Chile, con una precipitación promedio de 300 mm (Gasto, 1978), mientras que, en Túnez, la cifra óptima es de 2,000 arbustos de *Atriplex nummularia* bajo condiciones de 200-300 mm de precipitación anual (Le Houérou, 1978).

En África occidental se considera que una densidad de 25-50 árboles de *Acacia albida* con una cubierta de copas de 30 a 60% es la ideal en un sistema silvopastoril, mientras que, Bille (1978), reporta que, en la misma zona, la densidad óptima es de 100-400 árboles/arbustos por hectárea.

Crecimiento y Estados Fenológicos

En *Atriplex halimus*, los componentes de la fitomasa del arbusto se clasifican en tallos, hojas y frutos, y se ordenan en estratos que conserven una morfología esférica. Aún cuando la forma de la parte aérea del arbusto no es exactamente igual a una esfera, se aproxima bastante a ello, suposición que puede traer consigo un incremento en el error de evaluación de las mediciones obtenidas.

La fitomasa aérea total, que es la base para calcular el porcentaje de los componentes, indica que los porcentajes de los frutos disminuyen desde la periferia, al igual que el follaje que se incrementa al contorno de la planta, ocurriendo lo opuesto con los tallos que se hacen menos densos al extremo de las ramas.

La fitomasa de tallos se eleva exponencialmente en los individuos de mayor tamaño.

La forma de la planta debe estar ajustada a las características del material de constitución, especialmente en el caso del tejido de sostén, es decir de los tallos, de la masa y ubicación de los elementos de soporte, en este caso, hoja y frutos. Existe, por lo tanto, una relación estrecha entre la masa soportada y la masa de sostén, la cual debe necesariamente estar relacionada con la resistencia propia del material (Olivares y Gasto, 1981).

La forma típica de la planta se caracteriza por presentar una distribución espacial de fitomasa equivalente a una semiesfera, formada por un tronco central que se ramifica radialmente desde la base hacia todas las direcciones.

Shinozaki *et al.* (1964), buscaron establecer esta relación llegando a la conclusión de que inicialmente existe una función rectilínea entre follaje y sostén, relación que al aumentar la estatura de la planta se discontinúa hasta que finalmente el incremento del soporte no viene acompañado de un incremento de follaje.

Los resultados de estos estudios y el efectuado en Cocaraya-Cochabamba, refleja que los valores medidos se ajustan a una función exponencial. En los ejemplares pequeños, la relación hoja-tallo es favorable al primer componente, lo que demuestra que una alta proporción de la fotosíntesis neta se destina a la productividad de follaje.

En ejemplares de mayor tamaño, la proporción de tallos se incrementa, por lo cual, una mayor porción de la fotosíntesis es destinada a su producción y respiración, debiendo necesariamente disminuir su eficiencia.

En plantas excesivamente grandes, esta proporción se deteriora en exceso hasta llegar a un estado en el cual no existe incremento del follaje (Olivares y Gasto, 1981).

Este constituye otro motivo importante para determinar el momento oportuno de brindar los arbustos al ganado, ya sea mediante corte y oferta en corral o ramoneo directo, pues además de brindar la suplementación deseada, se estará manejando racional y óptimamente el arbustal.

Los tallos constituyen el tejido de sostén del follaje y actúan como conductores de la savia, y como tales, por razones meramente físicas deben aumentar hacia el centro, pues se requiere de una mayor resistencia para soportar una masa cada vez mayor (Shinozaki *et al.*, 1964). Así se demuestra que su incremento es mayor en los horizontes periféricos, donde la masa foliar que debe soportar es también mayor.

Según observaciones fenológicas de campo, en los arbustos de *Atriplex halimus*, se puede establecer que en los primeros meses de crecimiento (marzo), después de que la planta superó el stress inicial de prendimiento y adaptación a su nuevo medio, la proporción de hojas es mayor a la de tallos. Esta situación se mantiene casi constante hasta fines de septiembre.

A partir del inicio de la primavera (bajo condiciones climáticas del valle de Cochabamba a inicios del mes de septiembre), la proporción de estos componentes sufre una ligera modificación, incrementándose la biomasa de los tallos en relación a la biomasa foliar, entonces a medida que los tallos desarrollan con mayor vigor, se puede advertir que éstos se van lignificando en la base.

Al iniciarse el período de lluvias (noviembre a enero), nuevamente el rebrote de yemas foliares se intensifica y se estima que la proporción hojas-tallos es similar. Es necesario confirmar estos datos con exactitud y metodología científica, los mismos serán emitidos en próximas publicaciones.

El momento en que las hojas alcanzan su máxima reducción poblacional en un individuo, coincide con la aparición de los frutos.

La proporción de los tallos en términos generales sufre reducciones menores que las de las hojas. Esto se debe a que la lignificación se incrementa gradualmente a medida que la planta madura. En cambio, dicha lignificación no ocurre en las hojas por la conocida función de la síntesis de azúcares que son trasladadas constantemente.

Entre enero y marzo, la proporción de los frutos empieza a sobrepasar la biomasa foliar en el arbusto, tornándose de color café blanquecino casi todo el contorno de su morfología semiesférica, permaneciendo el color verde de las hojas sólo en el centro interior de la planta.

Con el objeto de realizar mediciones de crecimiento en el tiempo y espacio, bajo condiciones locales del Valle semiárido de Cochabamba (2,558 m.s.n.m.); se procedió a tomar tres tipos de medidas en forma bimensual a 75 arbustos de la especie *A. halimus* y 75 arbustos de la especie *A. semibaccata*, todos establecidos en la localidad de Cocaraya, cuyas características ecológicas ya fueron descritas anteriormente. De este modo y como se aprecia en los cuadros 2 y 3, se obtuvo información de crecimiento en tres sentidos durante un ciclo anual completo. Esta información incluye, en forma paralela, los registros climáticos para cada mes de medición. Las tres mediciones son las siguientes:

PRML = medición de la longitud de la rama más larga del arbusto. **PNS**= diámetro del arbusto sobre una línea direccional transversa con dirección Norte-Sur. **PEO**= diámetro del arbusto sobre una línea direccional transversa con dirección Este-Oeste. Es obvio que este tipo de datos no permiten conocer el crecimiento volumétrico, sólo el ritmo de crecimiento direccional de diferentes partes del arbusto, con cuyos datos promediados para cada fecha de medición por especie, se podrá establecer un análisis correlacionado con variables climáticas.

CUADRO 2. Relación de mediciones direccionales promediadas y registros climáticos de un ciclo anual para la especie *Atriplex halimus*.

| DÍA DE MEDICIÓN | Rama más larga -RML (cm) | Promedio NS -PNS (cm) | Promedio EO - PEO (cm) | pp (ml) | T (° C) |
|-----------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|---------|---------|
| 1 (5-Sep) | 123.54 | 152.94 | 161.06 | 0.25 | 17.97 |
| 62 | 130.74 | 178.9 | 183.35 | 0 | 15.1 |
| 123 | 140.62 | 191.97 | 194.51 | 4.5 | 19.05 |
| 190 | 152.91 | 210.13 | 213.57 | 58.25 | 21.64 |
| 250 | 177 | 261.1 | 263.23 | 165.5 | 19.73 |
| 309 | 194.57 | 291.81 | 291.59 | 55.83 | 20.38 |

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 3. Relación de mediciones direccionales promediadas y registros climáticos de un ciclo anual para la especie *Atriplex semibaccata*.

| DÍA DE MEDICIÓN | Rama más larga -RML (cm) | Promedio NS -PNS (cm) | Promedio EO - PEO (cm) | pp (ml) | T (° C) |
|-----------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|---------|---------|
| 1 (5-Sep) | 78.20 | 109.15 | 109.36 | 0.25 | 17.97 |
| 62 | 80.52 | 123.38 | 121.18 | 0.00 | 15.10 |
| 123 | 79.49 | 120.90 | 123.72 | 4.50 | 19.05 |
| 190 | 86.43 | 131.48 | 134.21 | 58.25 | 21.64 |
| 250 | 89.34 | 142.10 | 143.20 | 165.50 | 19.73 |
| 309 | 99.69 | 155.15 | 156.25 | 55.83 | 20.38 |

Fuente: Elaboración Propia.

El análisis de toda esta información fue realizado mediante una correlación de variables, la misma que se explica de la siguiente manera:

La relación combinada entre una variable y dos o más que simultáneamente varían, recibe el nombre de correlación múltiple, correlación a la que se hará referencia en el análisis. Para tal efecto, se elaboró la matriz de correlación

MULTIPLE PEARSON que explica el grado de relación entre la variable dependiente y las variables independientes.

La matriz muestra la correlación de las variables climáticas independientes: Precipitación y temperatura; calculadas en promedio para los meses en que se realizó la medición, y la variable dependiente: “medición direccional Norte-Sur”, “medición direccional Este-Oeste” y “medición direccional longitud”. Sin embargo, la interpretación a reportarse debe ser cuidadosa en su análisis, fruto de limitación a sólo variables climáticas, con la no participación de información edáfica en la regresión y correlación, debido a que una sola muestra no es representativa para un análisis que exprese resultados significativos de una población arbustiva, especialmente cuando la extensión de terreno es considerable e irregular.

Los coeficientes de la diagonal principal de valor 1.0, representan la correlación de cada variable consigo misma, siendo naturalmente explicada en 100%. Así mismo, una correlación perfecta es explicada por un valor 1.0, naturalmente sujeta a interpretación.

El Cuadro 4, muestra la matriz de correlación de los promedios de cada medición, la precipitación pluvial y la temperatura registrada durante la fase experimental.

CUADRO 4. Matriz de correlaciones lineales bivariantes para la especie *Atriplex halimus*

| | PROM-NS | PROM-EO | PROM-L | PP-PRO | TEM-PRO |
|---------|---------|---------|--------|--------|---------|
| PROM-NS | 1.000 | | | | |
| PROM-EO | 1.000 | 1.000 | | | |
| PROM-L | 0.998 | 0.998 | 1.000 | | |
| PP-PRO | 0.696 | 0.704 | 0.682 | 1.000 | |
| TEM-PRO | 0.556 | 0.557 | 0.535 | 0.494 | 1.000 |

Fuente: *Elaboración Propia*

La interpretación de estos resultados expresado en cifras de porcentaje es la siguiente:

La precipitación explica el 69.6% de la variabilidad (ritmos periódicos de crecimiento) de la medición norte-sur.

La temperatura explica el 55.6% de la variabilidad (ritmos periódicos de crecimiento) de la medición norte-sur.

La precipitación explica el 70.4% de la variabilidad (ritmos periódicos de crecimiento) de la medición este-oeste.

La temperatura explica el 55.7% de la variabilidad (ritmos periódicos de crecimiento) de la medición este-oeste.

La precipitación explica el 68.2% de la variabilidad (ritmos periódicos de crecimiento) de la medición longitud.

La temperatura explica el 53.3% de la variabilidad (ritmos periódicos de crecimiento) de la medición longitud.

La precipitación y la temperatura, conjuntamente explican el 73.7% de la variabilidad de la medición norte-sur.

La precipitación y la temperatura, conjuntamente explican el 74.4% de la variabilidad de la medición este-oeste.

La precipitación y la temperatura, conjuntamente explican el 71.8% de la variabilidad de la medición longitud.

Estos resultados correlacionados en forma múltiple denotan claramente que la precipitación pluvial es el agente climático que incide mayormente sobre los ritmos de crecimiento temporal de los arbustos, aunque cuando se correlacionan conjuntamente los factores precipitación y temperatura sobre cualquiera de las direcciones de crecimiento, se obtiene un coeficiente de correlación aún mayor que en el caso de factores climáticos por separado.

El crecimiento del arbusto desde el eje central de biomasa hacia diferentes direcciones, no mostró irregularidad notoria en el ritmo, esto tal vez se deba a que el espaciamiento bastante amplio de individuos entre hileras y entre plantas, permitió un aprovechamiento casi uniforme de la energía solar por los arbustos.

Este dato debe ser estudiado con mayor precisión en próximas investigaciones, ya que la dirección con mayor tiempo de exposición solar sobre la planta, podría incidir en el crecimiento del arbusto, pues se observó que el comportamiento vegetativo de algunos arbustos localizados en semi-sombra es distinto, siendo en raras ocasiones más vigoroso en algunos individuos, con respecto a los expuestos totalmente a los rayos solares.

Mediante el Cuadro 5, se puede analizar el mismo tipo de información para la especie *Atriplex semibaccata*.

CUADRO 5. Matriz de correlaciones lineales bivariantes para la especie *Atriplex semibaccata*

| | PROM-NS | PROM-EO | PROM-L | PP-PRO | TEM-PRO |
|---------|---------|---------|--------|--------|---------|
| PROM-NS | 1.000 | | | | |
| PROM-EO | 0.994 | 1.000 | | | |
| PROM-L | 0.967 | 0.963 | 1.000 | | |
| PP-PRO | 0.639 | 0.648 | 0.546 | 1.000 | |
| TEM-PRO | 0.508 | 0.590 | 0.558 | 0.494 | 1.000 |

Fuente: Elaboración Propia

La interpretación de estos resultados expresado en cifras de porcentaje es la siguiente:

La precipitación explica el 63.9% de la variabilidad (ritmos periódicos de crecimiento) de la medición norte-sur.

La temperatura explica el 50.8% de la variabilidad (ritmos periódicos de crecimiento) de la medición norte-sur.

La precipitación explica el 64.8% de la variabilidad (ritmos periódicos de crecimiento) de la medición este-oeste.

La temperatura explica el 59.0% de la variabilidad (ritmos periódicos de crecimiento) de la medición este-oeste.

La precipitación explica el 54.6% de la variabilidad (ritmos periódicos de crecimiento) de la medición este-oeste.

La temperatura explica el 55.8% de la variabilidad (ritmos periódicos de crecimiento) de la medición este-oeste.

La precipitación y la temperatura, conjuntamente explican el 67.6% de la medición direccional norte-sur.

La precipitación y la temperatura, conjuntamente explican el 71.9% de la medición direccional este-oeste.

La precipitación y la temperatura, conjuntamente explican el 63.9% de la medición direccional longitud.

Esta información puede ser complementada con un análisis de regresión para las mediciones direccionales. No obstante, es importante destacar que los modelos de análisis presentados aquí son de significancia sólo para la zona de estudio, debido a que la ecología es variada aún en el mismo valle Cochabambino. Los efectos climáticos también son extremadamente variables al igual que las características edáficas a nivel de diferentes sitios.

Tal vez hubiera sido posible proceder con el método de modelización multilínea de variables edafoclimáticas, pero en este caso, se consideró más importante y confiable el tomar en cuenta solamente las variables climáticas, sin obviar la descripción del suelo sólo como dato de referencia general, para que el lector comprenda la situación agroecológica en la que se instaló esta primera parcela experimental.

La ecuación del modelo de regresión bajo la cual se ajusta el estudio, es el siguiente:

$$Y = A + B * PP + C * T$$

Donde: PP: Precipitación
 T: Temperatura
 Y: Medición direccional

Las ecuaciones resultantes de la regresión múltiple para el *Atriplex halimus* son:

$$Y_{ns} = 69.49405 + 0.45676 * PP + 6.49876 * T$$

$$Y_{eo} = 80.92026 + 0.44324 * PP + 6.11014 * T$$

$$Y_{long} = 85.97002 + 0.22947 * PP + 3.04131 * T$$

Donde: Y_{ns} : Medición direccional Norte-Sur

Y_{eo} : Medición direccional Este-Oeste

Y_{long} : Medición direccional Longitud

Las ecuaciones resultantes de la regresión múltiple para el *Atriplex semibaccata* son:

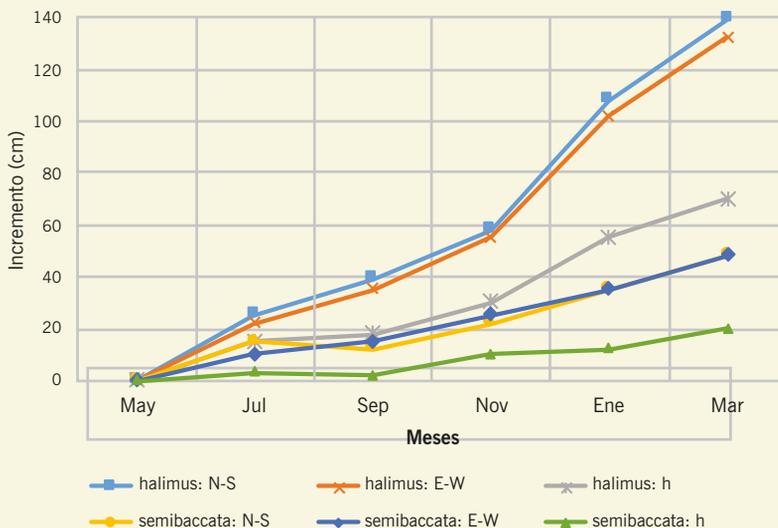
$$Y_{ns} = 89.13417 + 0.13129 * PP + 1.84443 * T$$

$$Y_{eo} = 75.11953 * 0.12413 * PP + 2.65135 * T$$

$$Y_{long} = 75.43028 * 0.104552 * PP + 1.37126 * T$$

El gráfico 3 ilustra el crecimiento acumulado de los diámetros transversales horizontales de los arbustos y de una sola rama (la más larga) durante un ciclo anual.

GRÁFICO 3. Curvas de incrementos registrando tres tipos de medición de las dos especies.



Mediante este gráfico, es posible advertir que los ritmos de crecimiento bajo las condiciones locales fueron más favorables para *A. halimus* que para *A. semibaccata*.

Sin embargo, esto puede deberse a que, en algunos períodos del año, especialmente en el mes de septiembre, *A. semibaccata* en vez de registrar incremento, sufre un marchitamiento y consiguiente pérdida de tejido apical (bordes del arbusto) causando la caída de ramitas y folíolos, que condicionan que las medidas durante esos meses sean de reducido tamaño en relación a las anteriores.

Estos ritmos de crecimiento se advierten a través de los gráficos 4 y 5.

GRÁFICO 4. Incremento por ejes direccionales de la especie *Atriplex halimus*.

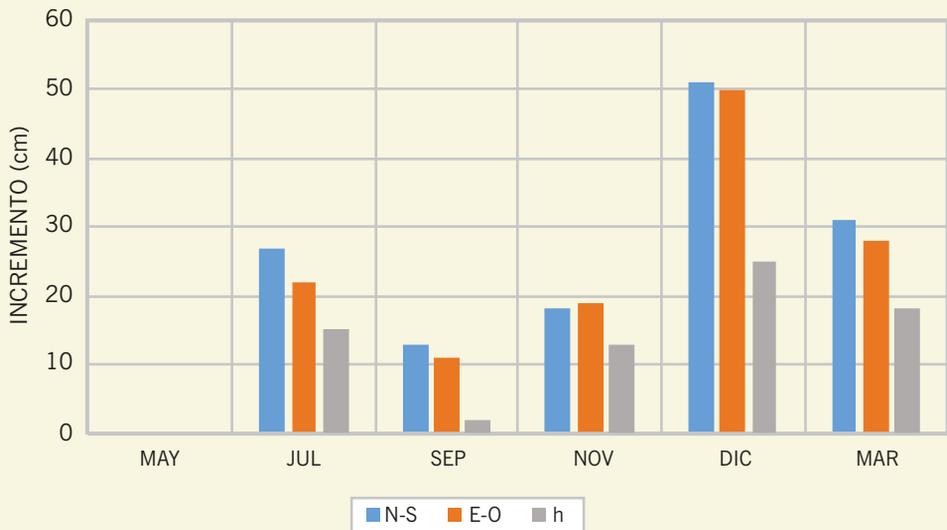
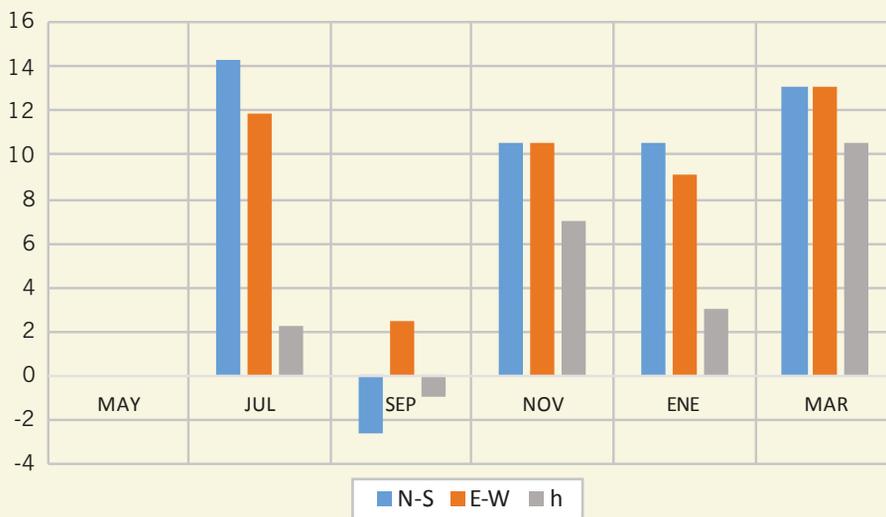


GRÁFICO 5. Incremento por ejes direccionales de las especies *Atriplex semibaccata*.



Nótese que, para ambas especies, el crecimiento direccional en sentido NS tanto como en sentido EO, es casi siempre homogéneo, mientras que el crecimiento de una sola rama central alejada de la periferie mantiene un ritmo menor de crecimiento, lo que ocasiona que la morfología periférica de los arbustos tienda mayormente a conservarse circular o ligeramente elipsoidal.

De aquí se puede concluir que en establecimientos con finalidad forrajera, el empleo de arbustos dispuestos en filas que constituyan muros o cortinas dejando espacios o corredores entre ellos, pueden significar interesantes callejones de ramoneo en un sistema silvopastoril que permita el ingreso y circulación del ganado en un modo de manejo organizado, que además de reducir los gastos energéticos por factor de movimiento y búsqueda de disponibilidad de biomasa de fácil acceso, permiten un uso y conservación racional del suelo y la cobertura herbácea.

Si a partir del conocimiento del desarrollo morfológico de la especie, se establecen plantaciones agroforestales de pastos y *Atriplex* arbustivos que mantengan mayor distancia entre hileras que entre plantas, entonces al unirse y entrelazarse las ramas de las plantas dejando espacios entre las hileras, se

habrá logrado el objetivo de lo que desde hoy podrá denominarse: “callejones de ramoneo”, como un sistema innovador de manejo de las praderas y del ganado.

Es de esta manera que la ciencia forestal se complementa con las ciencias agropecuarias a través de la incursión de las especies semileñosas (arbustos), principalmente nanofanerófitas, para originar una nueva técnica promisoría de manejo agroforestal para la zona de los Andes.

Las especies del género *Atriplex* son plantas dicotiledóneas que pertenecían a la familia *Chenopodiaceas*, hoy catalogadas como *Amaranthaceas*. Es un arbusto perenne, siempre verde y erecto; las plantas maduras miden de 0.5 a 2 m de altura. Su sistema radical es profundo, bien desarrollado y ramificado.

Presenta tallos abundantes que se ramifican desde la base, casi a nivel de la superficie del suelo y poseen una cubierta escamosa grisácea; los tallos de nuevo crecimiento son de color verde pálido semiflexibles, que al llegar al estado maduro se vuelven quebradizos.

Las hojas nacen individuales o numerosas de nudos alternos, son de color verde cenizo y forma elíptica, pecioladas o sésiles; miden de 2 a 10 mm de ancho y de 1 a 4 cm de largo; poseen nervadura central y márgenes enteros.

En las especies de *Atriplex*; las flores femeninas se encuentran agrupadas en panículas densas y poseen brácteas, y las flores masculinas están agrupadas en panículas terminales sin brácteas. Son flores pequeñas de color variado amarillo verdoso.

El fruto es duro de paredes gruesas, con cuatro brácteas; mide de 3 a 7 mm de diámetro. Es de color verde intenso y al llegar a la maduración se torna amarillo y café al secarse.

La semilla se encuentra contenida dentro del fruto, es oscura y pequeña; no todos los frutos poseen semilla y al reproducir la especie lo que realmente se siembra son los frutos, a los cuales se les identifica comúnmente como semilla (Vines, 1960; Springfield, 1970; Quiñónez, 1987; Romero-Paredes y Ramírez,

2003, citados por Román *et al.*, 2014). Tiene un período de crecimiento variable, que depende de las condiciones de temperatura y precipitación. Una vez establecidas las plantas de *Atriplex*, la floración se inicia entre uno a dos años (Bravo 2003, citado por Román *et al.*, 2014).

Producción de Biomasa

La producción de biomasa depende de varios factores, entre ellos: la edad de las plantas, la disponibilidad hídrica del lugar, las condiciones edafológicas, los gradientes de temperaturas anuales, el número de plantas por hectárea, el ritmo de crecimiento en un año calendario, la intensidad de consumo por los animales, el tiempo de recuperación y las condiciones ambientales.



Foto 26. Exuberante desarrollo foliar de *Atriplex nummularia*, bajo condiciones climáticas con periodos cortos de lluvia en el Chaco boliviano. (Fotografía: Shirley Román)

No obstante, como en la mayoría de las especies botánicas, la producción de una planta, mayormente se relaciona con la disponibilidad de agua. Al respecto, hay afirmaciones que resultan imprecisas; por ejemplo, Urrutia *et al.* (2007), indican con cierta imprecisión, que cuanto mayor es la distancia entre hileras, el área de captación de humedad también es mayor, por lo tanto, las plantas alcanzan mayor altura y diámetro; opinión que es relativa debido a que ese factor podría depender del tipo de arbusto que se trate dentro los cientos de especies de *Atriplex*, pudiendo ser rastreras o aéreas.

Se ha determinado que la producción de materia seca de una planta de *Atriplex* está entre 540 y 740 g dependiendo de la distancia entre hileras de plantas, siendo mayor conforme el área de escurrimiento sea mayor. En plantas adultas puede ser mayor a 1 kg/planta si la densidad es mayor a 2,000 plantas por hectárea. En general, la producción de forraje se estabiliza al tercer año después del trasplante en alrededor de 2.5 tn/ha, con una densidad de 3,300 plantas/ha (Urrutia *et al.*, 2007).

Chávez (2009), efectuando un experimento de observación de los procesos de germinación con distintos tratamientos, y subsecuente observación de los incrementos de masa foliar de los plantines bien germinados y en crecimiento, pudo determinar que las diferentes especies estudiadas, tienen diferentes grados de producción de biomasa foliar y ramas. A partir del momento del repique, y considerando sólo 32 días de medición y observaciones de los plantines, después del momento del repique de plántulas, se registró el número de hojas de tres especies de *Atriplex*.

Atriplex semibaccata tuvo un promedio de 33.95 hojas, *Atriplex nummularia* 10.03 hojas y *Atriplex halimus* 9.46 hojas; resultados que claramente muestran que la especie rastrera *A. semibaccata* presenta tres veces mayor cantidad de hojas que las otras dos especies arbustivas no rastreras *A. halimus* y *A. nummularia*.

En cuanto a la formación de pequeñas ramas, al final del mismo periodo de 32 días, *A. halimus* presentó un promedio de 3 ramas con promedio de 1.77 cm de largo; *A. nummularia* 2.4 ramas promedio, con un largo promedio de 1.78 cm; y *A. semibaccata* 3.3 ramas promedio con un largo promedio de 3.84 cm. Las mismas plantas, al cabo de 158 días después del repique, reflejaron los siguientes resultados de ambos factores medidos: *Atriplex halimus* (7.6 ramas y 3.48 cm de largo); *Atriplex semibaccata* (6.03 ramas y 6.23 cm de largo, pero se pudo también observar la formación de 2 pequeñas ramas secundarias); y *Atriplex nummularia* (3.3 ramas y 2.22 cm de largo, donde también macollan hojitas y 2 ramas basales en formación).

Cuando se refiere a poblaciones de arbustos ya establecidos en una determinada área, la productividad poblacional es el producto del número de ejemplares multiplicado por el tamaño individual correspondiente a la densidad. En las poblaciones jóvenes, dado que aún no han ocupado íntegramente el territorio correspondiente a su nicho, su productividad poblacional está en función principalmente a la densidad de las plantas.

La capacidad de crecer durante todo el año le permite lograr productividades elevadas, su aptitud para mantener en pie la fitomasa foliar desde la época de crecimiento hasta el período invernal, cuando la disponibilidad de forraje

proveniente de las especies terófitas residentes suele ser limitativa, permite disponer de forraje almacenado como heno en pie a un esfuerzo mínimo y a un costo muy bajo. Esta satisfactoria situación da mayores probabilidades de éxito al sistema pecuario, al tiempo de estabilizar simultáneamente la población del arbustal.

Tejada *et al.* (1994; inédito, excepto en reportes institucionales del Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria; IBTA), desarrollaron un trabajo de observación experimental en los predios de la estación Experimental de Patacamaya, La Paz, Bolivia. Durante la etapa final de la época invernal, habiendo sido la primera introducción de estas especies en ese ecosistema altiplánico, determinaron la adaptación y desarrollo fenológico de esos arbustos con fines forrajeros. Las especies evaluadas fueron *Atriplex halimus*, *A cordobensis*, *A. nummularia* y *A. semibaccata*; observando máximas de crecimiento entre los meses de febrero a abril, y deteniéndose su desarrollo a partir de principios del mes de mayo.

Aquí los autores agregamos un comentario extra con fines de reflexión:

Es verdad que los procedimientos y relevancia de la difusión informativa de los resultados de proyectos o de la experimentación científica han cambiado notablemente en estos últimos 30 años.

Sin embargo, aún persisten varias instituciones nacionales e internacionales; al menos en el caso de Bolivia, cuyos tomadores de decisiones y/o funcionarios a cargo de la comunicación institucional, descuidan totalmente o ignoran la importancia de los aspectos de difusión o publicación (indexada) de valioso material generado en los distintos proyectos de la institución, mismos que acaban perdiéndose en archivos almacenados de sus oficinas o son desechados. Esa actitud causa perjuicio no sólo a los autores del trabajo y a su propia institución, sino más que nada, a las grandes masas de personas estudiosas y público en general que necesitan de esa información.

Entre otras consecuencias, también están las de estar catalogados estadísticamente, como uno de los países con menores índices de producción literaria o científica y reconocimiento a nivel mundial.

Las cuatro especies mostraron resultados y comportamientos diferentes entre sí, siendo *A. halimus* y *A. cordobensis* las especies que alcanzaron mejor adaptación y estado de desarrollo bajo las condiciones edafoclimáticas del altiplano central; si bien el ritmo de crecimiento direccional horizontal y volumétrico fue mayor en *A. halimus*, *A. nummularia* mostró mayor agresividad de producción foliar, aunque menor tolerancia al clima, al momento de mantener sus hojas sin perder su turgencia. En este trabajo, en circunstancias ajenas a la mano del hombre (destrucción o sobre utilización por podas o corte), se concluyó que las especies del género *Atriplex*, constituyen un verdadero potencial innovador y una alternativa forrajera de invierno para la ganadería altiplánica (Tejada *et al.*, 1994; inédito, excepto en reportes institucionales del Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria; IBTA).

Prieto y Queiroz (1995), basados en esas primeras experiencias de introducción de *Atriplex* en el Altiplano boliviano, trabajando en San José de Llanga del mismo altiplano central, concluyeron que, si bien la producción de fitomasa es alentador en suelo franco arenoso, la parte útil como forraje son las hojas. Se podría decir que la producción de fitomasa de estas hojas está correlacionada positivamente con el tamaño y crecimiento de las plantas, es decir que a medida que las plantas crecen y se hacen adultas son más abundantes en hojas hasta doblar su producción.

Chávez (2009), trabajando también en el Altiplano central, encontró que la altura de las plantas y la cobertura vegetal están correlacionadas positivamente con la producción de fitomasa, es decir, a mayor altura y cobertura, mayor producción de fitomasa.

En un estudio realizado con *Atriplex deserticola* Phil; Mendoza (2001), indica que el arbusto alcanza un rendimiento promedio de biomasa de 743.66 kg/ha de MS con una densidad de 1,600 plantas/ha, en el segundo año en comparación con la densidad de 800 plantas / ha que sólo alcanza 366.9 kg/ha.

Riveros (1985), mencionado por Tejada y Guzmán (1993), sin especificar producción de hojas o ramas, indica que la fitomasa del *Atriplex halimus* tiene un amplio rango de variación que puede ser desde 150 a 1,500 kg MS/ha/año con un promedio de 600 kg. Esta producción depende mucho de la densidad de plantas/ha, tanto las densidades bajas, como las muy altas disminuyen la productividad individual. El rango óptimo estaría entre 1,500 y 2,500 individuos/ha.

La mayor fitomasa en pie del arbusto en relación a las terófilas (plantas anuales que sobreviven como semilla) y hemicriptófitas (hierbas perennes con el nudo vital de rebrote al nivel de la superficie del suelo), permite reducir el efecto de la variabilidad anual de las precipitaciones en la disponibilidad de forraje (Olivares y Gasto, 1981).

En suelos profundos de textura mediana con moderada salinidad, *A. halimus* en plantaciones con una densidad de 1,000-3,000 arbustos/ha. Puede alcanzar un total estándar de crecimiento de fitomasa de 20 tn MS/ha y una productividad de 3-10 tn MS/ha/año (Le Houérou, 1980), cerca del 50% de la producción es forraje, pero esto puede variar considerablemente de acuerdo al manejo que se aplique (Le Houérou, 1987; 1980).

Bajo condiciones de riego, se alcanzaron rendimientos de casi 30 tn MS/ha/año, en experimentos a pequeña escala en parcelas de unos pocos m² con varias especies, tanto en Israel como en EE.UU. de Norte América (Le Houérou, 1992).

Esta información es relativa y deberá ser estimada bajo condiciones locales, debido a que la productividad de establecimientos nativos tanto como implantados, varía grandemente de acuerdo a condiciones ecológicas, edafoclimáticas y de manejo.

Es necesario considerar algunas normas de procedimiento para estimar la producción de biomasa aérea (hojas) en estratos leñosos arbóreos y arbustivos. En el método destructivo, la estimación puede efectuarse cosechando la totalidad del follaje arrancando y pesando tanto en materia verde como en materia seca, para luego expresar en kg MS/ha.

Dependiendo del tipo de ganado que consumirá esa comunidad vegetal regional, se consideran diversos aspectos. Por ejemplo, para bovinos se deben cosechar hojas, frutos y brotes tiernos hasta que el eje principal de la rama no supere los 4 mm de diámetro.

También se deben considerar alturas máximas de acuerdo a la especie animal presente. En base a ésta, se tomará en cuenta la altura del “escape al diente” que variará de acuerdo al tamaño o características de la especie y habilidades fisiológicas. Por ejemplo, la altura máxima de medición de biomasa útil para bovinos está alrededor de 1.8 m (puede variar de acuerdo a la raza) y 1.2 para ovinos. Si se toma en cuenta la habilidad de los caprinos para estirar el cuerpo parándose sólo sobre los cuartos traseros durante el ramoneo, la altura a considerarse deberá ser de 1.5 m.

El peso de la biomasa producida por una comunidad botánica de una determinada región es una de las características más importantes y quizás la más simple y que mejor exprese el crecimiento, puesto que como expresa Hanson (1950), el peso es el resultado del metabolismo de la planta en respuesta a las condiciones del ambiente.

Renolfi (1990), reporta como dimensión adecuada aquella que manifieste una relación lineal del peso cosechado y la altura de la planta con un coeficiente de correlación alto, indicando como valor aceptado $r = 70$.

En una evaluación de método para estimar cambios vegetacionales en praderas semiáridas del Sur de Australia, Wilson *et al.* (1987), comprobaron que en extensiones de terreno con predominancia de arbustos *Chenopodiaceos*, la medición más precisa en la mayoría de las situaciones fue la densidad de los grupos de arbustos de *Atriplex vesicaria*, mostrando coeficientes de variación de 12 - 14%. Estos resultados tuvieron por objeto crear un análisis en términos de su aplicación, para el monitoreo de los cambios de la condición de la pradera.

Se concluyó que el tipo de medición más apropiada para este tipo de ecoregiones es el de la cobertura foliar en leñosas y densidad de grupos de arbustos en Chenopodiaceas semileñosas.

Poblaciones Arbustivas y Manejo según Densidades Poblacionales

Una población es un grupo de organismos de la misma especie, limitados en espacio y tiempo. Las poblaciones resultan de la integración de un número variable de individuos que viven juntos en un cierto ambiente y territorio, cuya resultante no es la adición del comportamiento individual de cada uno de ellos actuando independientemente, sino de una organización social, estructural y funcional diferente en muchos aspectos de los individuos que la forman (Olivares y Gasto 1981).

Las poblaciones están sujetas a cambios direccionales en el tiempo, el cual es altamente variable de un año a otro, como a través del mismo año.

Algunos de los atributos de las poblaciones difieren de los atributos de los individuos. Los individuos nacen y mueren, mientras que las poblaciones tienen tasa de natalidad y mortalidad.

Otros atributos de las poblaciones son su densidad, tasa de crecimiento, dispersión, distribución espacial y potencial biótico. Una población puede sufrir modificaciones internas que conduzcan a su mejor ajuste al medio, o bien, que produzca su desaparición. De cualquier modo, puede influir en su desarrollo y en su comportamiento.

Densidad, es una medida que expresa el número de individuos por unidad de superficie o de volumen. Los atributos de la población pueden ser modificados alternando los mecanismos de ajuste poblacional y permitiendo el ensayo de distintas densidades.

Cuando los organismos de una o varias especies están ubicados a distancias que se interfieren entre sí, el ambiente del individuo se modifica, lo cual significa el deterioro o mejoramiento del medio.

Bajo condiciones antropogénicas de cultivo y ganadería, la densidad poblacional se regula intrínsecamente por el hombre; pero la máxima productividad está limitada por la capacidad sustentadora del sistema.

La regulación de la densidad poblacional no está directamente relacionada con la capacidad ambiental y opera a través de un mecanismo distinto, centrado en la natalidad, mortalidad y migración. La resultante de la acción simultánea de estos tres componentes es la densidad poblacional.

La mayoría de especies cultivadas para el ganado y otros cultivos agrícolas no serían capaces de subsistir en el medio natural sin la intervención antrópica debido principalmente a la competencia de otras poblaciones naturales.

Uno de los factores reguladores más importantes de la productividad es la densidad de las plantas (Duncan, 1958; Elías y Ramírez, 1973; Bleasdale y Nelder, 1960; Willey y Heath, 1969; Palmblond, 1968). Este factor opera en forma dinámica en cuanto al espacio disponible y al tiempo transcurrido. Por esta razón, es indispensable determinar la densidad óptima de plantas y el momento más adecuado para utilizarlas (Olivares y Gasto, 1981).

Existen varias posibilidades de manejo de estrategias y alternativas para definir densidades. Una de ellas es la de establecer arbustos bien esparcidos en praderas abiertas sin eliminar la vegetación nativa. Esta práctica es conocida por ejemplo en Ovarzazate, Marruecos y en la región del Norte Chico de Chile.

Si bien en la segunda parte de la década de los 1990, también se estaban iniciando estrategias de manejo e incorporación de arbustos Halófitos, en varias regiones del Altiplano boliviano, con el fin de preservar y enriquecer el contenido y composición de la pradera nativa, y sobre todo sin la intención de sustituir una composición botánica por otra, ahora sigue siendo un tema ajeno al conocimiento y sensibilidad de los tomadores y gestores de políticas nacionales de cuidado de los recursos y potencialidades naturales.

Las densidades muy bajas son responsables de una disminución leve en la productividad individual; en cambio, con densidades más altas, el peso

por planta disminuye abruptamente a partir de densidades de 1,967 individuos por hectárea en el caso de *Atriplex repanda*, el mismo que presenta una morfología muy similar al *Atriplex halimus* (Zúñiga, 1973). Se recomienda una densidad de plantación de *A. halimus* igual a la de *A. nummularia*. Su longevidad tiene un rango de 7 a 10 años, pero con muy buena regeneración.

Las poblaciones que se desarrollan en densidades iguales o inferiores a 1,307 individuos por hectárea, aumentan de tamaño, pero los establecidos a densidades mayores disminuyen (Olivares y Gasto, 1981).

Es importante resaltar que se observa una disminución de rendimiento con el tiempo en todas las densidades. No obstante, es claro que, a densidades mayores, esta tendencia aumenta, mientras que a densidades bajas existe una notoria tendencia a la estabilización.

Un segundo método es el establecimiento de densidades altas de plantación (1,000 - 3,000 arbustos/ha) en tierras donde toda la vegetación es removida. Fertilizantes y abonos orgánicos como estiércol pueden ser aplicados para incrementar la producción.

Pero esto es válido sólo cuando la disponibilidad de agua no es el factor de mayor limitancia. Por ejemplo, cuando la precipitación anual excede los 250-300 mm, este tipo de plantaciones arbustivas puede producir rendimientos de 3,000 - 5,000 kg MS/ha/año de forraje rico en nitrógeno.

Olivares y Gasto (1981), reportan que con densidades muy altas también ocurre una leve disminución de la densidad de tallos, reduciéndose en cantidad gradual al bajar de 4,237 individuos/ha. La mayor reducción de la productividad individual ocurre entre las densidades de 4,237 a 18,518 individuos/ha.

La tercera estrategia es la plantación de arbustos en hileras con espacios intercalares sembrados con diferentes cereales. Las hileras pueden ser espaciadas por 10-20 m. para permitir el cultivo mecánico y la cosecha de los cultivos de áreas (Le Houérou y Pontanier, 1987).

Los arbustos son protegidos del pastoreo durante los meses que dura el crecimiento del cereal y consiguientemente no está sometido a los riesgos del sobre pastoreo durante la estación.

Luego de que el grano es cosechado, se introduce al ganado a pastorear y de ese modo se está suministrando energía de la paja y el grano que cayó durante la cosecha, cuya energía se complementa con la proteína de los arbustos.

Esta combinación provee una ración balanceada, al tiempo de cubrir la escasez de nitrógeno. Este método ha sido empleado exitosamente en plantaciones en Libia y en España (Le Houérou *et al.*, 1991).

El espaciamiento y densidades óptimas de plantaciones de arbustos halófitos depende de varios factores, tales como la especie considerada, su tamaño, la disponibilidad y fácil acceso para animales y maquinaria (cuando los arbustos están establecidos en haciendas o centros experimentales), la aridez del sitio, la naturaleza del suelo y otros.

En arbustos grandes como *A. halimus*, *A. nummularia*, *A. canescens* y *A. lentiformes*, la densidad usual es de 1,000 - 3,000 arbustos/ha en hileras espaciadas por 4-6 m y un espacio de 1-2 m entre plantas. Este sistema se ha empleado en la Estación Experimental de Patacamaya, en el altiplano central boliviano, con el fin de establecer sistemas silvopastoriles de aprovechamiento óptimo; pero en este caso se emplearon plantines de *A. halimus*, *A. nummularia*, *A. semibaccata* y *A. cordobensis* (Tejada, *et al.*, 1994; inédito, excepto en reportes institucionales del Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria; IBTA).

Experimentación de diferentes densidades en Israel mostraron que el más óptimo era de 1,500 - 2,500 arbustos/ha para *A. nummularia* y *A. canescens* (Benjamín *et al.*, 1987).

Las mayores producciones por hectárea se logran con altas densidades, correspondientes a 10,000 arbustos/ha, pero los arbustos individualmente son pequeños y pueden ser más sensibles al stress hídrico en tiempos de sequía, con mayor riesgo de muerte de las plantas.

Arbustos altos y vigorosos como resultado de espaciamientos anchos, tienen baja productividad por unidad de superficie, pero ello mantiene mejor performance con tasas de supervivencia más altas en tiempos de sequía (Le Houérou, 1992).

La solución preferida es la de utilizar alrededor de 1,500 - 2,500 arbustos/ha para las especies arbustivas altas, citadas anteriormente.

En especies pequeñas como *A. repanda*, *A. mollis*, *A. glauca*, *A. canescens* sub sp. *canescens*, la densidad puede ser mayor, llegando a 10,000 arbustos/ha (Olivares y Gasto, 1981).

En las especies rastreras, tales como *A. semibaccata*, *A. cinerea* y *A. paludosa*, el espaciamiento es menos importante de considerar individualmente, porque estos usualmente cubren varios metros cuadrados; 1,000 plantines/ha permiten asegurar la cobertura total del terreno en pocos meses, como se puede apreciar en las siguientes fotografías.



Foto 27. Establecimiento de *A. semibaccata* en suelos semiáridos del valle bajo de Cochabamba. Algunas plantas ya se unieron entre sí a pesar de haber sido plantadas a distancias de 3 x 3 m.



Foto 28. La alfombra vegetal prácticamente ya cubrió toda la superficie del suelo anteriormente desnudo. Las distancias de plantación inicial fueron de 3 x 3 m.

Información más actualizada, menciona que el policultivo es más eficiente en ocupar la tierra que los monocultivos, por ejemplo: Se necesitan 2.38 ha de *A. nummularia* y 1.46 ha de *C. ciliaris* para producir el equivalente de 1 ha del policultivo forrajero.

Con una disponibilidad de 4,000 – 5,000 kg MS/ha aportada por la asociación, se puede sustentar de 8 a 10 cabras adultas de 40 kg de peso vivo.

El siguiente cuadro 6 ilustra datos relevantes, relacionados a la producción de materia seca, por planta y por unidad de superficie plantada con arbustos de *Atriplex* a diferentes grados de densidad por hectárea.

Cuadro 6. Producción de Materia Seca por planta (g) y por hectárea (tn) de *Atriplex*, con diferentes densidades de plantación

| Distancia entre hileras (m) | Producción de Forraje | | |
|-----------------------------|-----------------------|----------|--------|
| | Plantas/ha | g/planta | ton/ha |
| 1.0 | 10,000 | 543 | 5.43 |
| 2.0 | 5,000 | 728 | 3.64 |
| 2.5 | 4,000 | 604 | 2.42 |
| 3.0 | 3,333 | 744 | 2.48 |

Fuente: Urrutia et al., 2007

Análisis de Costos para el Establecimiento de los arbustales

Ha sido complicado y sujeto a extrema variabilidad, el poder establecer el costo actualizado para la implementación de una determinada superficie de *Atriplex*, principalmente debido a que esta práctica todavía no es conocida de modo rutinario en Bolivia. Sin embargo, se estima ilustrativo conservar los items de gasto de la primera edición, a fin de mantener una idea aproximada del costo actual, que puede resultar fácil de extrapolar a las actuales circunstancias de precios en las que se encuentre el lector en estos días.

Los costos varían considerablemente de un lugar a otro y según las técnicas empleadas. La siembra directa es más económica generalmente si se consideran costos de vivero y labores culturales en el mismo. Sin embargo, en

nuestro medio, las consideraciones, incluso de la siembra mecánica, requieren cuidadoso análisis.

A modo de referencia, se puede citar el costo del establecimiento de especies Halófitas en países con mayor tradición en este tipo de prácticas. Por ejemplo, en África del Norte y en el cercano oriente, el costo de establecer un sistema combinado de *Atriplex* con *Acacia* en una hectárea, incluyendo el costo de operación del vivero, oscila entre 150 a 300 dólares americanos y requiere de 20 a 25 días/hombre/ha (Le Houérou, 1978).

Para obtener una idea más amplia del costo de la implementación y producción de una hectárea de *Atriplex* (las dos especies aquí tratadas), el Cuadro 7 demuestra comparativamente los costos de las especies Halófitas y los de la alfalfa (*Medicago sativa*), mediante un ritmo de producción de cuatro años.

Cuadro 7. Costo Comparativo de Producción por hectárea entre Alfalfa y dos especies de *Atriplex* en el primer año de explotación (Expresado en dólares americanos).

| COSTOS | ESPECIES | | | OBSERVACIONES |
|--------------------|-------------------|-----------------------|------------------|---|
| | <i>A. halimus</i> | <i>A. semibaccata</i> | <i>M. sativa</i> | |
| Roturado del suelo | | | -114.96 | 28,74 US\$/hora tractor x 4 horas |
| Cruzado # 1 | | | 86.22 | 28,74 US\$/hora tractor x 3 horas |
| Cruzado # 2 | | | 86.22 | 28,74 US\$/hora tractor x 3 horas |
| Rastrado #1 | | | 57.48 | 28,74 US\$/hora tractor x 2 horas |
| Rastrado #2 | | | 57.48 | 28,74 US\$/hora tractor x 2 horas |
| Nivelación | | | 57.48 | 28,74 US\$/hora tractor x 2 horas |
| Hoyación | 284.46 | 234.46 | | 80 hoyos/día x 17,24 US\$/jornal <i>A. halimus</i> :1320 hoyos/ha=16.5 días <i>A. semibaccata</i> : 1089 hoyos/ha=13.6 días |
| Siembra | | | 43.11 | 1.5 horas/ha x 28,74 US\$/hora tractor |

| COSTOS | ESPECIES | | | OBSERVACIONES |
|-----------------------------|-------------------|-----------------------|------------------|--|
| | <i>A. halimus</i> | <i>A. semibaccata</i> | <i>M. sativa</i> | |
| Costos Iniciales: | | | | |
| Plantación | 112.06 | 94.82 | | 200 plantas/jornal x 17,24 US\$/jornal <i>A. halimus</i> : 1320 plantas=6.5 jornales <i>A. semibaccata</i> : 1089 plantas = 5.5 jornal |
| Abono | | | 82.8 | 2 bolsas (qq) x 41.4 US\$/qq. |
| Riego inicial | | | 34.48 | 2 jornales x 17,24 US\$/jornal |
| Semilla | | | 395 | 25 Kg semilla/ha x 15.8 US\$/kg |
| Plantas | 396 | 327 | | 0.3 USD/planta |
| Costo de Explotación | | | | |
| Riego | | | 2792.88 | 9 riegos/año x 18 jornales x 17,24 US\$/jornal |
| Corte | 275.84 | 206.88 | 517.32 | <i>A. halimus</i> = 4 cortes/año=16 jornales <i>A. semibaccata</i> = 3 cortes/año=12 jornales Alfalfa = 6 cortes/año= 18 horas tractor |
| TOTAL | 1068.36 | 863.16 | 4325.43 | |

Fuente: elaboración propia en base a precios referenciales actualizados

Los costos expresados en el cuadro anterior no incluyen el costo de la tierra. Cabe señalar que la alfalfa es uno de los más exigentes cultivos forrajeros y, por consiguiente, no acepta ni prospera en suelos con condiciones adversas de estructura y textura, bajo contenido de materia orgánica, salinidad y sequía.

En la primera edición, los items de costo fueron extraídos del Programa Forestal (PROFOR), cuando el cambio oficial del dólar americano equivalía a Bs 4.1/1 US\$ en el mes de enero de 1993. Estos items de gasto fueron actualizados a un tipo de cambio de 6,96 Bs / 1 USD. para la presente edición.

Suelos no clasificados necesariamente como de primera o segunda categoría (ideales para horticultura, floricultura u otros), pero que sean aptos para producción de alfalfa, tienen precios fluctuantes y relativos, dependiendo de su

ubicación geográfica, topografía, cercanía a centros urbanos o vías de comunicación, etc.

No obstante, y sólo a modo de mención de algunos parámetros, los terrenos mínimamente aptos para el cultivo de alfalfa en los valles de Cochabamba mantienen precios que oscilan entre los 0.8 a 3.5 US\$/m², mientras que zonas degradadas, áridas, semiáridas y salinas donde podrían establecerse exitosamente plantaciones de *Atriplex* que reporten productividad, se pueden encontrar a precios de hasta 0.03 a 0.18 US\$/m². Si estos precios fueran debidamente incluidos en el análisis anterior, por concepto del costo de la tierra, indudablemente que las diferencias de costos entre la alfalfa y los *Atriplex* diferirían aún más ampliamente.

Chávez (2009), en un trabajo tipo tesis de grado, para la obtención de su título académico universitario, logró una producción de 2,250 plantines en vivero en una comunidad del Altiplano Norte. Su análisis de costo de ese número de plantines, listos para trasplante fue el siguiente:

Las fórmulas para el análisis económico mediante la relación Beneficio – Costo son:

Relación B/C:

$$\begin{aligned} B/C > 1 &= B/C \text{ Rentable} \\ B/C \text{ igual a } 1 &= B/C \text{ sin utilidad} \\ B/C < 1 &= B/C \text{ no es rentable} \end{aligned}$$

Basados en esta ecuación, Chávez (2009) realizó el análisis económico de la producción de tres especies de *Atriplex* objeto de estudio en condiciones de vivero:

| | |
|----------------------------|-------------|
| Subtotal costo insumos: | \$US 10.87 |
| Subtotal costo materiales: | \$US 234.89 |
| Subtotal costo jornales: | \$US 266.95 |
| Total costo: | \$US 512.71 |

La producción total de las tres especies de *Atriplex* es de 2,250 plantas.

El costo por planta es de \$US 0.31.

El costo total de la producción de 2,250 plantas es de \$US 699.75

Utilizando la fórmula B/C: \$US 699.75 / \$US 512.71 = \$US 1.36 > 1 = Según el resultado y basándose en la fórmula de Perrin la producción es rentable.

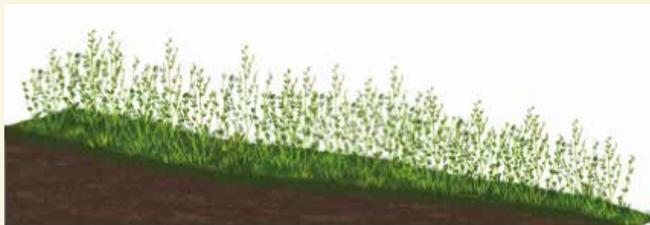
RELACIÓN COMPARATIVA DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE PROTEÍNA BRUTA COMO ALIMENTO GANADERO, ENTRE ARBUSTOS DE *ATRIPLEX* (*Atriplex* sp.) Y CULTIVO DE ALFALFA (*Medicago sativa*).

Habiéndose ya descrito hasta aquí, la extrema tolerancia de las diversas especies de arbustos del género *Atriplex*, en términos edafoclimáticos, los cuales determinan condiciones muy adversas para cualquier otro tipo de cultivos, sólo resta mencionar que, de manera diametralmente distinta, el cultivo de la “alfalfa” - *Medicago sativa*, es considerada en muchos lugares y países como la reina de las forrajeras, por sus excelentes bondades generadoras naturales de complejas estructuras proteínicas para disponibilidad como fuente alimenticia del ganado; sin embargo, se debe tomar en cuenta que, para llegar a producir altos contenidos de Proteína Bruta (PB; oscilantes entre 16.0% a 18.5%), esta noble leguminosa depende de condiciones altamente exigentes en cuanto a la calidad de suelos y de riego.

De la vasta información nutricional generada en diferentes investigaciones y múltiples ensayos de laboratorio, y empleando para cada caso los cálculos de costos económicos para instalar ambas alternativas con fines forrajeros (cuadro 7), resulta interesante e ilustrativo, identificar esas diferencias de costos, pero expresados en obtención de PB de cada parcela. Una parcela con arbustos del género *Atriplex*, cultivados en suelos muy marginales localizados en áreas semidesérticas, subhúmedas y desérticas; con suelos altamente salinizados, frente a otra parcela con la misma superficie cultivada con “alfalfa” - *Medicago sativa*, leguminosa que goza de ser una de los recursos forrajeros de más alta plusvalía para cualquier tipo de ganadería en regiones de valles, altiplano y punas, pero a su vez, demandante de mejores y buenas condiciones edafológicas y con necesidad de algún sistema de riego.

En el caso de *A. halimus*, de forma general y resumida se conoce que plantaciones adultas (3 años) alcanzan una producción de hasta 1 kg MS /planta (Urrutia *et al.*, 2007), lo cual representa en época estival un valor de 364 proteína, a una densidad de plantación de 2,000 plantas por hectárea.

En el caso de la alfalfa, en la misma superficie se logra obtener hasta 1,200 kg de proteína; sin embargo, como se puede apreciar en el cuadro 7 de costos de producción, la inversión en la siembra, manejo, consumo de agua y exigencias de suelo hacen imposible el establecimiento de parcelas de producción de alfalfa en suelos altamente degradados, secos y salinos como los que se encuentran en las planicies altioplánicas y algunas regiones de valles en Bolivia.



Alfalfa

MS= 8000 kg/año

PB= 1280 kg

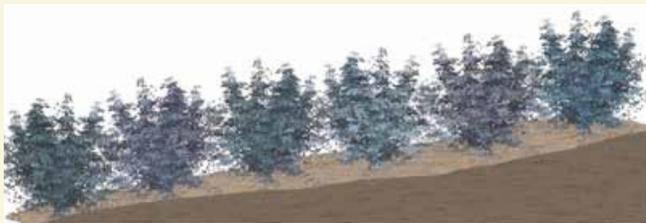
Suelo: Rico en nutrientes

Atriplex

MS= 2000 kg/año

PB= 364 kg

Suelo: No exigente



Obviamente que esas estimaciones de PB producida dependen de la información disponible de múltiples factores que deben ser considerados al momento de realizar el cálculo; algunos de esos factores son densidades de siembra o plantación, clima durante diferentes periodos del año, principalmente precipitación pluvial y temperaturas, ritmo fisiológico de crecimiento vegetativo, características y tamaño de las parcelas, tenor proteínico de cada especie y algunos otros, como prácticas y labores culturales en cada tipo de cultivo.

Analizando los costos de obtención de cada kg de proteína bruta, en base al cuadro 7 de costos anterior, se infiere que, la obtención de 1 kg de PB proveniente del cultivo de alfalfa requiere una inversión de 3.38 US\$, frente a 4.5 y 4.4 US\$ para la PB proveniente de *A. halimus* y *A. semibaccata*, respectivamente.

Cuadro 8. Relación comparativa de costos para la obtención de proteína bruta entre arbustos *Atriplex* (*Atriplex* sp.) y cultivo de Alfalfa (*Medicago sativa*).

| | Costo instalación (US\$/ha) | MS (kg/año) | PB (kg) | Costo unitario (US\$/kg proteína) |
|-----------------------|-----------------------------|-------------|----------|-----------------------------------|
| <i>A. halimus</i> | 1,068.36 | 1,320 | 237.60 | 4.50 |
| <i>A. semibaccata</i> | 863.16 | 1,089 | 196.02 | 4.40 |
| Alfalfa | 4,325.43 | 8,000 | 1,280.00 | 3.38 |

Sin embargo, se debe remarcar que, el análisis anterior no contempla el costo de uso de cada uno de los dos tipos de suelo, ni factores de clima o régimen hídrico que valoriza más una superficie de suelo que el otro, requeridos por ambas especies.

Es importante mencionar que a mayor densidad de plantación de *Atriplex*, mayor será el volumen de materia seca producida y por lo tanto mayor cantidad de proteína generada, hasta alcanzar el punto de equilibrio de rendimiento óptimo.

Gasto (1978), indicó que la relación óptima de productividad se logra con 4,000 arbustos de *A. repanda*, lo que significaría la producción de 728 kg de PB / ha, con la condicionante de precipitación anual de 300 mm.

Otros experimentos empleando *Atriplex*, a pequeña escala, desarrollados por Le Houérou (1992), reportan que bajo condiciones de riego se alcanzan rendimientos de casi 30 tn de MS/año; esto representaría la producción de más de 5 tn de proteína por ha.

Es primordial identificar el balance ideal de densidad de plantación que permita establecer la producción de proteína por hectárea, ideal para el manejo de especies Halófitas, pues esto resalta la importancia de éstas en contextos vulnerables donde la producción de especies forrajeras de alta demanda de nutrientes en suelo y agua como la alfalfa son imposibles.

CAPÍTULO

IV

**ARBUSTOS
Y MANEJO GANADERO**



INCIDENCIA GANADERA SOBRE LOS RECURSOS FORRAJEROS DE LA ZONA ANDINA

Los sistemas agrícolas en laderas llevan consigo un cierto grado de erosión del suelo; sin embargo, comparada con la ganadería, la actividad agrícola propiamente dicha ocupa sólo del 1 al 5% de la superficie de las laderas y el resto está destinado al pastoreo. No es la ganadería en sí la que desequilibra los ecosistemas, son las especies de animales y sus cantidades, la forma del manejo del ganado y de las bases forrajeras (Augstburger, 1990).

Es ampliamente conocido que el ganado cumple múltiples funciones en la familia y la comunidad campesina. Además de producir leche, lana y carne, sirve como fuente energética en la cocina campesina mediante la utilización del estiércol como combustible, el mismo que también es utilizado como abono para mantener la fertilidad del suelo.

Además, el ganado constituye la caja de ahorro del campesino y finalmente refleja el prestigio del comunario. Estas son las razones por las que los comunarios tratan de mantener la mayor cantidad de ganado posible, enfatizando más en la cantidad que en la calidad de los animales. Esta sobrecarga, además de provocar la eliminación acelerada de las especies deseadas, tanto herbáceas como arbustivas, favorece la propagación de malezas de nulo aprovechamiento y baja palatabilidad.

El pastoreo intenso, continuo y mixto elimina la proliferación de especies deseables por dos vías: Primero, restando posibilidad de regeneración de nuevas plantas por vía vegetativa y, segundo, eliminando las posibilidades de producción y consecuente diseminación de semillas.

Un aspecto importante de ser analizado es el efecto del excesivo pisoteo del suelo por el ganado, que provoca la compactación del suelo, consecuente formación de capas compactadas impermeables que, evitando la infiltración, favorecen el escurrimiento del agua por la superficie del terreno. Es de suponer

que la severidad de este efecto está condicionada por el grado de pisoteo, el tipo de suelo y de cobertura vegetal presente y el tipo de ganado pastoreando.

En este acápite, cabe resaltar que el ganado camélido es el menos dañino en relación a otros ungulados porque son los únicos que se hallan provistos de almohadillas plantares que no disturban la superficie del suelo; además de presentar una costumbre de motricidad reducida, menos compactación de suelo por cm² y menor presión sobre la superficie en relación al peso corporal (Tejada, 1994).

Al respecto, vale mencionar que estas especies, representantes de la ganadería alto Andina, cubren sus bajos requerimientos proteínicos en relación directa al gasto energético que realizan y no son exigentes en proteína, pudiendo convertir las pajas más duras y lignificadas en masas musculares de primera calidad nutricional para los humanos, con contenidos ínfimos e insignificantes de colesterol (Tejada *et al.*, 2015). La inclusión asociativa de arbustos halófitos con potencial forrajero, junto a los pastos pobres y toscos de las altiplanicies y punas de los países andinos, es, con absoluta seguridad, una alternativa muy importante de mejoramiento de esos ecosistemas.

En Bolivia, la zona Andina se encuentra densamente poblada por pequeños rumiantes (camélidos, ovinos y caprinos), y sólo por una fracción de ganado Vacuno que apenas constituían en la década de los 80's, el 15.5% (856,573 cabezas) de la población bovina del país.

Sirve como medida comparativa referencial, mantener en este libro, la distribución estimada del ganado que se reportaba en el texto de 1993, para fines de los años 80 en los diferentes ecosistemas andinos del país. Esa información se presenta en el cuadro 9, a través del cual se diferencian los porcentajes por áreas frente a los porcentajes totales de la zona Andina y del país en general.

Ahora en 2022, la perspectiva ganadera de la región alto andina ha sufrido drásticas transformaciones, lamentablemente no todas resultaron ventajosas para la economía, ni las cantidades de proteína animal suficiente para satisfacer las necesidades de las poblaciones de altitud.

Cuadro 9. Distribucion estimada de la Población Ganadera en la Zona Andina de Bolivia (1989).

| GANADO | REGION EN LA ZONA ANDINA | | | | | | TOTAL A NIVEL NACIONAL |
|----------|--------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-----------|---------------------|------------------------------|
| | PUNA | | VALLES Y MONTAÑAS | | TOTAL | | |
| | # cabezas | % del total Nal. | # cabezas | % del total Nal. | # cabezas | % del total Nal. | |
| LLAMAS | 2,022,569 | 100.0 | ----- | ----- | 2,022,269 | 100.0 | 2,022,569 |
| ALPACAS | 324,336 | 100.0 | ----- | ----- | 324,336 | 100.0 | 324,336 |
| OVINOS | 5,498,706 | 70.5 | 2,141,394 | 27.4 | 7,640,100 | 97.9 | 7,803,600 |
| CAPRINOS | ----- | ----- | 1,974,000 | 90.1 | 1,974,000 | 90.1 | 2,190,700 |
| BOVINOS | 457,493 | 8.3 | 399,080 | 7.2 | 856,573 | 15.5 | 5,515,100 |

FUENTE: Rodríguez y Cardozo, 1989
USAID/Bolivia Mission, 1988

El cuadro 10 muestra esos bruscos cambios en el tamaño de los rebaños nacionales de las tres principales especies ganaderas de la zona alto Andina de Bolivia (Llamas, Alpacas y Ovinos).

Nótese (comparando visualmente los números poblacionales de 1993 y de 2021), que desde el año en el que se escribió este primer libro sobre *Atriplex* en Bolivia, hasta el año 2015, existe una escalada nacional interesante en el número de animales de las tres especies. Sin embargo, desde el año 2015 hasta el 2021, la ganadería camélida, representada por las dos especies (llamas y alpacas), que constituyen el mayor rubro de subsistencia de los sectores campesinos más pobres del país, desciende paulatinamente hasta el año 2021.

Contrariamente, la actividad ovina sí expresa un incremento del rebaño nacional en aproximadamente 2,122 cabezas desde 1993, esto posiblemente debido a que las ovejas tienen acceso a mejores pasturas naturales cercanas a los criaderos, mientras que los camélidos fueron desplazados a las alturas para evitar su competencia con el cultivo de quinua.

Cuadro 10. Población de Llamas, Alpacas y Ovinos por año, según sexo en Bolivia (Contraste 1993 – 2021).

| AÑO | TOTAL LLAMAS | LLAMAS MACHOS | LLAMAS HEMBRAS | TOTAL ALPACAS | ALPACAS MACHOS | ALPACAS HEMBRAS | TOTAL OVINOS | OVINOS MACHOS | OVINOS HEMBRAS |
|---------|--------------|---------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|--------------|---------------|----------------|
| 1993 | 1,535,971 | 511,989 | 1,023,982 | 280,296 | 90,642 | 189,654 | 5,511,792 | 2,408,426 | 3,103,366 |
| 2015 | 2,737,582 | 846,444 | 1,891,138 | 456,666 | 157,050 | 299,616 | 7,453,603 | 1,954,830 | 5,498,773 |
| 2016 | 2,712,162 | 802,630 | 1,909,532 | 449,902 | 137,879 | 312,023 | 7,426,859 | 1,910,053 | 5,516,806 |
| 2017 | 2,622,077 | 773,728 | 1,848,349 | 434,308 | 128,645 | 305,663 | 7,442,313 | 1,923,624 | 5,518,689 |
| 2018(p) | 2,598,830 | 751,480 | 1,847,350 | 437,094 | 140,884 | 296,210 | 7,493,728 | 1,900,305 | 5,593,423 |
| 2019(p) | 2,601,136 | 764,757 | 1,836,379 | 438,090 | 137,991 | 300,099 | 7,553,836 | 1,897,860 | 5,655,976 |
| 2020(p) | 2,610,810 | 787,138 | 1,823,672 | 440,563 | 139,053 | 301,510 | 7,612,750 | 2,060,815 | 5,551,935 |
| 2021(p) | 2,627,551 | 808,509 | 1,819,042 | 443,458 | 136,745 | 306,713 | 7,633,504 | 2,181,236 | 5,452,268 |

*Datos preliminares

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE, 2022)

El deterioro del ecosistema alto Andino, asociado al mal manejo de las praderas nativas y las malas políticas agropecuarias y medio ambientalistas en el país, es sin lugar a duda alguna, uno de los principales factores de estos descensos poblacionales ganaderos; obviamente, entre otros como la declaración del año internacional de la quinua del 2013, que según resultados posteriores al mismo (ampliamente documentados por la literatura nacional e internacional), sólo ha perjudicado al pequeño productor, para beneficiar a sectores comerciales empresariales privados de alta envergadura.

Con respecto a estimaciones poblacionales de fauna silvestre en la zona Andina, la información en 1993 era escasa; sobre guanacos no se contaba con datos confiables y con respecto a vicuñas, Hofmann *et al.*, (1983), citado por Cardozo *et al.*, 2007 reportaban que en toda la región de los Andes quedaban 83,000 vicuñas a fines de 1980; todas comprendidas entre los 09°04'LS y los 28°45'LS. De ese total reportado, incluyendo sólo el territorio boliviano, la estimación para 1993, según Cardozo (Comunicación personal) era de 17,000 vicuñas.

Desde que se escribió en Bolivia en 1954 el primer libro sobre los Camélidos (segundo libro sobre camélidos en Latino América), en ese entonces titulado “Los Auquénidos”, Cardozo describía que el hábitat de la vicuña está

circunscrito exclusivamente a una determinada área de América del Sur. Por esto la vicuña constituye una peculiar fuente de valor ganadero, pues su exclusividad permite, sin incomodidades ni competencias, realizar su cría (Cardozo, 1954, citado en Cardozo *et al.*, 2007).

La vicuña habita los Altos Andes, entre 3500 y 4000 m de altitud, y se hallan aún mejor adaptadas entre los 4800 a 5500 msnm. La distribución actual se extiende entre 9°30"S y 29°00"S en Argentina, Bolivia, Chile y Perú. Perú alberga más de la mitad de la población total de vicuñas censadas en los países que protegen a esta especie. Sin embargo, su conservación en este país se ve confrontada en nuestros días con numerosas dificultades. En el capítulo titulado "Incorporación del Guanaco al Conocimiento de los Camélidos Sudamericanos en los Andes Altos", mencionado en el libro de Los Camélidos (Cardozo, *et al.*, 2007), se reportaba que en Bolivia la distribución geográfica del guanaco no es muy bien conocida, pero parece estar concentrada entre los 19° a 22°S y los 62° a 65°W, extendiéndose desde los 300 msnm en el Chaco hasta los 3800 msnm en los Andes.

Existen poblaciones pequeñas en la región del Chaco en las áreas circundantes a la cordillera de Mochará (departamentos de Potosí y Chuquisaca en las provincias Sur Chichas y Sur Cinti; cordilleras de Sama y de Tajzara, Campo Pajoso en el Departamento de Tarija y estancia perforación en la provincia Cordillera, y finalmente en la región del Chaco cerca a los pozos petroleros de Pampa Rococos en el departamento de Santa Cruz; la sumatoria total estimada para el año 2006 alcanzaba una población de 509 guanacos existentes en territorio boliviano (Tejada, 2006). Esto refleja un contraste positivo desde 2006 hasta el 2013, año en el que se reportaba la existencia de un millar de guanacos en territorio boliviano, que marca un incremento de 491 guanacos en este país, durante un lapso de siete años.

El censo 2021 realizado en el Área Natural de Manejo Integrado Nacional (ANMIN) Apolobamba refleja una tasa de crecimiento de la población de vicuñas del 7% respecto a 2019, registrándose un total de 13,692 animales en esa reserva.

*Ingrese a este código QR
para más información.*

Código QR 8



En términos más específicos, la incidencia de la ganadería y de la fauna silvestre sobre los recursos forrajeros de la zona Andina, puede reflejarse desde hace algunas décadas, mediante resultados obtenidos en trabajos de investigación que contemplan mediciones agrostológicas complementadas con determinaciones de poblaciones ganaderas, que identifiquen los niveles de soportabilidad de las praderas y grados de sobre carga y consecuente sobrepastoreo; pero muy poco o casi nada se ha determinado en relación al consumo y grado de utilización de los recursos forrajeros por parte de las especies silvestres.

Arancibia *et al.* (1992), mediante un diagnóstico agroecológico de utilización de áreas con potencial silvopastoril en la región Andina de la provincia Quillacollo de Cochabamba, lograron determinar que la pradera nativa bajo un sistema de pastoreo excluyente (tradicional), en el año de su publicación, soportaba 3.4 UO/ha/año, que, de acuerdo a la soportabilidad de biomasa, provoca una sobrecarga animal de 1.8 UO/ha, y además con tendencia a incrementarse con el tiempo. Los mismos autores reportan que de un total de 2,849 ha evaluadas, sólo el 59.1% (1,701 ha) corresponden a superficies pastoriles de uso común.

Augstburger (1990), expone otro ejemplo en el mismo departamento, pero en la zona de la Puna. Este constituye el estudio de la población ganadera en la comunidad de Japo, Provincia Tapacarí, que alcanza una población de 3,855 Unidades de Ovinos (UO) en una superficie de 3,855 ha y una superficie pastorable de 2,372 ha. Sólo el 1% son praderas de buena calidad, el resto son pastizales pobres y muy pobres.

Considerando que los requerimientos reales del ganado son 235 kg MS/UO/año, resulta una sobrecarga de 1,129 UO o un déficit total de 267 tn/año en forrajes, lo cual indica que la sobrepoblación en relación a la base forrajera es de 29.3% (Augstburger, 1990).

La carga animal soportable en Japo es sólo de 0.87 UO/ha; no obstante, la sobrecarga animal alrededor del 30% inicia y acelera el empobrecimiento del ecosistema (Alzerreca y Jeréz, 1990).

Generalmente, el sobrepastoreo es menor en la puna y mayor en las cabeceras del valle, donde se determinaron sobrecargas de hasta 70%. Existe una correlación estricta entre la carga animal y la erosión. Donde hay mayor sobrepastoreo, la erosión avanza más rápido (Augstburger, 1990).

Alternativas de Solución al Problema del Déficit Forrajero

Existen numerosas pautas y mecanismos que podrían contribuir a solucionar el problema de escasez de forraje para incrementar la productividad agropecuaria en el área rural:

Tratando de sintetizar las más importantes, se pueden citar las siguientes:

- Organización de la comunidad en aspectos de utilización racional de los recursos para su conservación y perduración.
- Obras de conservación mecánica de suelos mediante prácticas, tales como zanjas de infiltración, terrazas de formación lenta, surcos en curvas de nivel, y otros.
- Implementación de obras mecánico-biológicas en reparos y depósitos de agua, canales de riego y otras obras de conservación.
- Incremento de cultivos perennes (preferiblemente leguminosas) en áreas con mínima capacidad de riego y condición productiva para forrajes.
- Optimización del manejo del ganado en términos del rebaño o ható, tiempo y lugares de pastoreo, composición del ganado, sistemas pastoriles desarrollados, programas de rotación y otros.
- Implementación de sistemas agroforestales o silvopastoriles.



Foto 29. *A. nummularia* y *A. halimus* intercalados, como alternativa forrajera invernal para ramoneo/pastoreo de ganado y fauna silvestre en el Chaco boliviano.

Este conjunto de prácticas, conjuncionadas bajo esquemas que contemplen las dinámicas del espacio y el tiempo, requieren ser complementadas con programas de investigación de diferentes aspectos comprendidos en la ciencia de la agrosilvopastura.

Uno de los diversos tópicos a ser investigados, constituye en este caso, el tema central de análisis de esta publicación que encara y propone la posibilidad del empleo y difusión de arbustos halófitos con capacidad forrajera, cuya alternativa necesita ser mayormente estudiada para su posterior difusión.

No obstante, a que este documento refiere la situación agroforestal en áreas secas y altas; se considera pertinente agregar a continuación unos breves párrafos de una exitosa experiencia realizada por el Proyecto Geñoi, en varias comunidades indígena originarias del Chaco boliviano, que es parte del bosque Xerofítico más grande del mundo, en el Gran Chaco Americano, extenso territorio poco mayor a un millón de km² repartidos en Argentina, Paraguay, Bolivia y Brasil.

Los resultados de esa experiencia, es realmente una alternativa forrajera, tanto para la ganadería, como para la fauna silvestre de la región Chaqueña, ya que además de que las plantas de *Atriplex*, están muy bien adaptadas por más de una década, también se cuenta con material local para multiplicación y distribución. Esto se logró con el esfuerzo inicial de establecer parcelas de uso comunal, cuyos habitantes podrán disponer de una fuente permanente de forraje adaptado, que combinado con la forma cotidiana de alimentación de sus animales, puede realmente consolidarse como una opción más de fácil manejo alimenticio y nutricional en la zona.

El hecho de que en la zona la población más vulnerable sea indígena y además existan pequeños ganaderos que crían poblaciones reducidas de ganado vacuno, caprino y ovino, puede ser una buena oportunidad para desarrollar una técnica propia de cultivo de forraje, la cual permitiría mantener a sus animales en pequeñas áreas más reducidas en extensión, pero con mayor cantidad y calidad de biomasa forrajera.

Similares experiencias se han desarrollado en otros contextos indígenas como los pueblos originarios de los Mapuches en Chile, donde también se establecieron parcelas de *Atriplex*, utilizando semillas obtenidas a partir de las

plantas de los huertos semilleros de las familias de la comunidad; logrando mayor disponibilidad de forraje en los puestos ganaderos, lo que motivó a algunos productores a incrementar el tamaño de sus hatos y rebaños, al tiempo de poder también mejorar la calidad genética de sus reproductores, provistos de mejores condiciones alimenticias (Bünzli, 2007).

En muchas comunidades de ese semidesierto del Chaco, la producción ganadera es de subsistencia; sin embargo, el cultivo de *Atriplex*, al significar un incremento de la oferta forrajera y contribuir a una disminución del impacto producido por el sobrepastoreo, podría en un futuro cambiar esa precaria situación.

Existe interés del CIAT (Centro de Investigación Agrícola Tropical) de Santa Cruz, pequeños ganaderos de Cuevo y las comunidades nativas, para promover esta especie, ahora que ya se conoce el manejo y se dispone de material vegetal para su difusión, ya que en la zona existe un programa de animales menores al que puede articularse. Por el momento, el CIAT y el Municipio de Cuevo lo están promoviendo en las ferias ganaderas comunales donde participa un gran número de comunidades y ganaderos.

Pero no todo el problema radica en la cantidad de alimento ofertado por las praderas semi desérticas para el ganado; sino también que la calidad de los pastos y arbustos, no siempre logran cubrir los déficits nutricionales requeridos mínimamente por los animales. Uno de los más grandes déficits son los minerales presentes en las especies nativas, disponibles para los animales, aspecto que muy bien podría ser mitigado y hasta solucionado para la gran mayoría de los minerales faltantes con la incorporación de arbustos halofíticos en las praderas nativas.

Un claro ejemplo de deficiencia mineral severa en la ganadería nacional en general, son los bajos índices reproductivos encontrados en las diferentes especies, principalmente relacionados con síntomas deficitarios de Fósforo y de Cobre, que reducen los intervalos entre partos de las vacas, precisamente por la falta de estos dos elementos minerales. Tejada (1986), comprobó mediante determinación de minerales en plasma sanguíneo, suelo y alimentos, por espectrofotometría de absorción atómica para el Cu; y por fotocolorimetría para el P, que en cuatro regiones semi áridas del valle bajo de Cochabamba, Bolivia,

las vacas ampliaron mucho más de lo normal, el índice reproductivo de intervalo entre partos, justamente debido a la falta de P y Cu en sus dietas, y consecuentemente en su sangre.

Pastoreo vs. Ramoneo: Bases para Definir Prácticas Silvopastoriles

Cualquier toma de decisiones en cuanto a la realización de prácticas y sistemas silvopastoriles, requiere del análisis previo de numerosos factores, priorizando acciones de acuerdo al objetivo principal de un determinado proyecto.

Estos factores constituyen aspectos que definen la calidad del sitio (edafoclimatología, topografía, recursos hídricos y otros), pero si el objetivo es silvopastoril, se debe poner énfasis al tipo de ganado al que estará destinado el sistema y a sus patrones de comportamiento, frente a la disponibilidad vegetal de la región, aspectos que incluyen el análisis de la vegetación nativa y la que será implantada.

De todos modos, el mínimo conocimiento de los hábitos alimenticios del ganado, podrá significar una ayuda para la delimitación de algunas estrategias. De ahí, la aún pobremente reconocida, pero imprescindible verdad, de comprender el concepto y el sentir de la etología animal (Díaz, *et al.*, 2017).

Con el propósito de emanar una amplia discusión sobre las actividades de conducta alimenticia de los animales, principalmente los pequeños rumiantes que dominan el área Andina de Latino América y en particular de Bolivia, un interés especial se enfatiza en diferenciar dos distintas estrategias de alimentación: Pastoreo y ramoneo y, sobre todo, el estudio de los patrones de comportamiento, o etología del pastoreo en áreas desérticas o semidesérticas (Tejada, 1990).



Foto 30. Callejones de pastoreo/ramoneo con vegetación nativa chaqueña y arbustos de *A. halimus* y *A. nummularia* en el Chaco boliviano.

Pastoreo se refiere a la alimentación del ganado en praderas cubiertas de pastos, malezas, hojas que han caído al suelo y plantas herbáceas en general que habitan naturalmente un determinado sitio (Askins y Turner, 1972).

Ramoneo se refiere a la alimentación del ganado bajo condiciones de pradera abierta que se realiza por encima de los capullos, flores, frutos, ramillas y follaje de aquellas plantas leñosas comúnmente reconocidas como árboles o arbustos, mientras esas partes permanecen como componentes de la planta. Este aspecto excluye el alimento caído en el suelo, como ser follaje y frutos (Askins y Turner, 1972).

El interés en el ramoneo, como componente potencialmente importante de la alimentación de animales de pastoreo en praderas áridas y semiáridas, es un fenómeno relativamente reciente. Este hecho quedó en evidencia en el simposio sobre ramoneo que se realizó en África en 1980 (Le Houérou, 1980) y en el simposio sobre arbustos silvestres llevado a cabo en Utah, EE.UU., en 1972. Estos simposios destacaron la importancia potencial de los árboles y arbustos para la nutrición del ganado. Sin embargo, también evidenciaron la falta de conocimiento respecto al papel actual de las plantas leñosas en el sistema planta-herbívoro.

Como quiera que el tema central de la presente publicación, refiere como motivo principal de análisis a los arbustos forrajeros, a continuación, se pone énfasis en aspectos concernientes a la utilización de arbustos mediante el ramoneo, sin dejar de considerar la importancia del pastoreo.

Durante el impero romano, los individuos dedicados a las labores agropecuarias ya reconocían la importancia del ramoneo y lo denominaban “pastura aérea”. El papel del ramoneo en las tierras de pasturas naturales tiene diferentes grados de importancia, según las características ecológicas de la zona.

En lugares con clima templado y en zonas tropicales húmedas, el ramoneo es de poca utilidad en la producción animal, mientras que en la zona isoclimática mediterránea, las zonas montañosas, y las áridas y semiáridas del trópico y los

valles, el ramoneo juega un papel esencial en la producción animal y, por consiguiente, se traduce en una gran contribución al abastecimiento de proteína para la humanidad.

En el continente africano, por ejemplo, más de 250 millones de cabezas de animales domésticos viven en las zonas áridas, semiáridas y montañosas, donde el ramoneo constituye un decisivo componente cualitativo de la dieta del ganado. El ramoneo también es muy importante en grandes extensiones de pastizales en América Latina y Australia. Las estepas boscosas del norte de África y el Cercano Oriente cubren enormes superficies de vegetación ramoneada, es decir, bosques agotados y matorrales que alcanzan a 120 millones de hectáreas donde subsisten 5 millones de cabezas de ganado vacuno, 60 millones de ovino, 30 millones de caprinos y 2.2 millones de camélidos.

Esta población ganadera representa la fuente principal de proteína (carne y leche) para más de 180 millones de habitantes. En las estepas áridas, los arbustos enanos constituyen la mayor parte de la alimentación animal, algunos de estos son: *Artemisia*, *Helianthemum*, *Helianthemum*, *Calligonum*, *Echiochilon* y *Atriplex*.

La producción de ramoneo en las zonas húmedas es de aproximadamente 1,000 kg MS/ha/año (Liaccos y Mouloupoulos, 1967), aunque bajo consideraciones técnicas de manejo se podría incrementar de dos a cinco veces (Etienne, 1978; Papanastasis, 1977).

Sarsón y Salmón (1978), reportan que si bien el nivel nutritivo del ramoneo es de intermedio a bajo en cuanto a energía (30 a 55% de la materia orgánica digerible), el grado nutritivo de la proteína digerible es considerablemente alto (10 a 20% de la materia seca).

Otra ventaja del ramoneo, desde el punto de vista nutricional, es el hecho de que, durante la época seca, los pastos secos no contienen casi nada de caroteno, mientras que, en los arbustos perennes, el contenido varía de regular a alto en la misma época. En las zonas tropicales, los alimentos generalmente disponibles para el ganado carecen de fósforo, mientras que el contenido de este mineral en arbustos ramoneables es del orden de 1.5 a 2.5 g/kg MS (Le Houérou, 1978).

La selección del ramoneo por los animales herbívoros se halla gobernada por dos factores principales:

- 1) Los hábitos dietéticos y alimenticios de diversas especies (preferencias alimenticias)
- 2) La necesidad de equilibrar su dieta, especialmente fuera de la época de crecimiento, cuando los pastos tienen deficiencia de proteína y caroteno.

Los hábitos alimenticios dependen de la capacidad de una especie dada para ingerir una mayor o menor cantidad de materia seca por unidad de peso.

Debido a que, en las zonas áridas y semiáridas, donde la duración de la época seca oscila entre 6 a 10 meses, no existe generalmente otro alimento suplementario, el ganado y otros animales silvestres dependen casi completamente del ramoneo para cubrir sus necesidades básicas y requerimientos de proteína, fósforo, calcio y vitamina A. Este postulado fue demostrado en experimentos comparativos de alimentación en ganado alimentado sólo con pastos secos y otros alimentados con pastos secos y acceso al ramoneo (Granier, 1975).

Con respecto a los camellos, muy similares a la llama en su fisiología, se comprobó que un camello hembra alimentada totalmente por ramoneo puede producir hasta 3-6 kg de leche/día y de 10 a 13 kg cuando su alimentación es complementada con forrajeras (Knoess, 1977).

Blancou *et al.*, (1977) utilizando animales fistulados a nivel del rumen, demostraron en general que el ramoneo representa el 25% de la dieta del ganado en la época seca. Esta proporción constituye sólo el 5% al inicio de la temporada seca y llega hasta el 45% al final.

Blanchemain (1964), demostró que cabras lecheras que alcanzan producciones de 1,000 kg de leche en 300 días, pueden llegar a consumir hasta el 30% de su dieta mediante ramoneo.

Al respecto, Tejada (1990), experimentando en zonas semidesérticas del sud-oeste de los Estados Unidos de Norte América, bajo condiciones de

dominancia arbustiva xerófito, comprobó mediante estudios etológicos, que las cabras emplearon el 69% del tiempo utilizado en alimentación en prácticas de pastoreo, mientras que sólo el 19% dedicaban al ramoneo, siendo el resto del tiempo destinado al consumo de sal y otros suplementos otorgados en la fase experimental.

Sin embargo, es necesario hacer notar que las zonas estudiadas se encontraban dominadas por especies arbustivas medianamente palatables, espinosas y de relativo valor nutricional a excepción del *Atriplex canescens*.

Existe gran divergencia en conceptos según diferentes autores, en cuanto a los hábitos alimenticios en las especies animales. Para ilustrar tales contraposiciones, a continuación, se citan algunos ejemplos, eligiendo a las cabras como especie de comparación.

Basándose sobre el valor absoluto de la planta en cuanto a la composición dietética, se vierten diferentes opiniones, pues las cabras han sido descritas tradicionalmente como una especie con preferencia al ramoneo (Sidahmed *et al.*, 1981), como animales con preferencia hacia el pastoreo (Somlo *et al.*, 1981), y como animales que fácilmente consumen ambos, pastoreo y ramoneo (Bryan *et al.*, 1979).

Varios autores reportaron que las preferencias dietéticas de los caprinos son mayores en plantas ramoneables en vez de plantas pastoreables (Clark *et al.*, 1982), aún cuando existe una abundancia considerable de pastos palatables (Huss *et al.*, 1970). La preferencia de las cabras por hojas, yemas terminales o capullos de especies arbustivas fue remarcada en numerosas áreas (Norris, 1968).

Cabras de la raza Angora en Tasmania, prefirieron ramonear rebrotes luego de que el Chaparral fue víctima de fuego, más que consumir pastos y otras herbáceas en la misma pradera (Harradine y Jones, 1985).

En Australia, las cabras fueron vistas ramonear grandes cantidades de rebrotes de arbustos (budda turpentine y poplar box) aún cuando

moderadas cantidades de pastos estaban presentes en la pradera (Trollope, 1983), numerosos estudios en los Estados Unidos, Australia, África y Malasia indican que los pequeños rumiantes consumen considerables cantidades de ramoneo (Wilson *et al.*, 1975; Merrill y Taylor 1976, Tejada, 1990).

No obstante, algunos autores reportan que los pastos fueron rápidamente seleccionados por las cabras, aún cuando los arbustos abundaban (Malechek y Leinweber, 1972; Harrington, 1979), y el mismo caso en los ovinos (Warren *et al.*, 1984).

Sistemas de Pastoreo y “Ordenación” Silvopastoril

Todos los sistemas de pastoreo se basan en el principio de optimizar la intensidad y la frecuencia de corte de la planta cosechada, constituyendo la presión de pastoreo el principal factor que controla estas variables.

En las zonas con ambientes benignos, los sistemas de pastoreo buscan maximizar la eficiencia de la cosecha, mientras que, en las regiones áridas o semi-áridas, y eventualmente, marginales para la producción forrajera, el objetivo de la implantación de especies *Halófitas* es buscar a través de éstas, la conservación del recurso forrajero y el mantenimiento de la producción en el tiempo.

La silvopastura, como uno de los elementos más importantes de la agroforestería, especialmente en el contexto de la región andina, donde predomina la ganadería a pequeña escala, requiere del manejo y comprensión de conceptos claros y técnicamente objetivos de la ordenación del ecosistema de los pastizales boscosos y del ramoneo, cuidando de no caer en terminología vaga y abstracta como “la lectura del paisaje” en términos artísticos, error que podría distorsionar el verdadero sentido de ordenamiento y de la agroforestería en sí.

A partir de esta aclaración, la ordenación adecuada de los pastizales, especialmente en zonas áridas o de inviernos muy fríos, involucra un equilibrio óptimo entre el pastoreo y el ramoneo, ya que ninguno por sí sólo puede asegurar la continuidad productiva del ganado.

En coincidencia con Le Houérou (1978), esto sugiere que se debe mantener un número óptimo de arbustos y árboles forrajeros en una pradera y que esta población leñosa y semileñosa también debe mantenerse en una situación de equilibrio.

Un exceso de árboles y arbustos reduciría la productividad de la cobertura herbácea y en forma inversa, al depredar la biomasa aérea sin raciocinio, el ganado se vería más vulnerable a las inclemencias de la sequía y dietas desequilibradas durante las épocas secas o frías.

Un equilibrio deseable, se obtiene cuando el ramoneo es capaz de proporcionar de 20 a 30% de la dieta del ganado durante toda la época seca, es decir, 20 o 30% de la producción de la pradera. La densidad deseable y el tapiz vegetal dependen de muchos factores: clima, suelo, topografía y morfología de las especies (Le Houérou, 1978).

Entre los tres tipos de sistemas de pastoreo que se conocen comúnmente (continuo, rotacional diferido y rotativo de corta duración) el más apropiado y aplicable a utilizarse en plantaciones de arbustos halófitos forrajeros es el sistema rotativo de corta duración, porque permite un mejor control de la frecuencia e intensidad de defoliación, teniendo en cuenta siempre el manejo de los tiempos de pastoreo.

La cosecha, en este sistema, es más eficiente y también es el más adecuado para usarlo en la estación de crecimiento. En este sistema se pueden utilizar altas cargas instantáneas y, debido a la morfología arbustiva con bases semileñosa fortalecidas como las del *Atriplex halimus*, que permiten soportar el constante roce con los cuerpos animales sin destruir su estructura básica, es posible obviar preocupaciones extremas que preserven contra el efecto del pisoteo excesivo.

Del mismo modo, haciendo hincapié en el hecho de que este tipo de áreas, por sus serias limitantes, principalmente de salinidad y aridez, no cuentan con un tapiz vegetal apropiado, ni tienen las condiciones para su existencia, la compactación del suelo y la posible degradación de las propiedades físicas del mismo, tampoco deberían constituir una preocupación de primer orden, pues el

pisoteo excesivo alrededor de los arbustos de esta especie no afecta a los mismos.

Es lógico asumir que en otras áreas con mayor disponibilidad del recurso hídrico, esta compactación del suelo se traduce en permeabilidad, pérdida de infiltración y subsecuente deslizamiento superficial de agua con arrastre de partículas que forman grietas o futuras cárcavas en el suelo. No obstante, dichas áreas al contar con mejores condiciones de humedad, no son las apropiadas para la implantación de especies Halófitas y, por consiguiente, no son dignas de mayor análisis en el presente contenido.

En adición, conviene recordar que las labores culturales del suelo para la re-plantación de arbustos como el *Atriplex halimus* sólo serán requeridas después de 6 a 8 años, período por el cual se puede considerar útil productivamente el arbusto, dependiendo de su manejo y aprovechamiento. Además, dichas labores culturales se resumen a la excavación de hoyos, remoción y aireación del suelo sólo en el espacio físico del cubo donde será plantado el plantín, cuyas dimensiones no exceden a un orificio de 30 cm de diámetro y 40 cm de profundidad.

Evaluación de las Dietas en Sistemas de Ramoneo

El conocimiento de las plantas y las partes que comen los animales en pastoreo, es esencial para explicar la composición química de las raciones, según la influencia de especies ramoneables (Kirmse, 1985).

Dos métodos se emplean comúnmente para evaluar las composiciones botánicas de las raciones: una evaluación micro histológica de la composición botánica de las muestras fecales y una evaluación de punto microscópico o micro histológica de la composición botánica de las muestras de raciones recolectadas de animales fistulados. El análisis de muestras fecales tiene la ventaja de permitir la recolección ilimitada y fácil de muestras. No obstante, el grado de la digestión varía según la especie de planta, a medida que pasa por el tracto digestivo del rumiante (Holechek *et al.*, 1982).

El enfoque preferido en terrenos forestales es el análisis botánico de las muestras de raciones recolectadas de animales de esófago fistulado. Tanto el enfoque de punto microscópico como el micro histológico implican el empleo de un microscopio para establecer un método sistemático de análisis de frecuencia mediante puntos predeterminados. La técnica del punto microscópico es el método más adecuado para identificar las especies de ramoneo y las partes de plantas en la dieta, gracias a que las hojas altamente lignificadas y cutinizadas de algunas plantas leñosas, tienden a ser fácilmente identificadas a nivel de especies con un microscopio de bajo poder.

Las relaciones de hojas y tallos y las cantidades relativas de materia verde, también constituyen información importante para determinar el valor potencial del ramoneo. Van Dyne *et al.*, (1980) citados por Kirmse (1985) reportan que casi el 60% de la dieta promedio de las cabras consiste en ramoneo. También encontraron que los vacunos y ovinos consumen 15 y 20% del follaje de arbustos, respectivamente.

Las plantas de ramoneo, por lo general, son muy variables en su palatabilidad relativa para el ganado. Sin embargo, se sabe poco sobre las razones de estas diferencias.

El primer ramoneo de *Atriplex* no se recomienda antes de los 18 meses de la plantación y debe hacerse entre los 25 a 50 cm del suelo (Mulas y Mulas, 2004). Sin embargo, en el Chaco boliviano, a los 12 meses de plantación ya se podía realizar los cortes del follaje; ya que las plantas habían alcanzado 1.70 de altura, el diámetro de las ramas sobrepasaba los 3 cm, y el número y peso de las ramas hacían que los tallos se quiebren de manera natural, por lo que una poda era necesaria.

Entre los 4 a 5 años de plantación se puede cortar ramas a una altura de 25 cm sobre el suelo para regenerar el follaje y evitar un crecimiento excesivo en altura, el crecimiento en altura aumenta la proporción de tejido leñoso, disminuyendo las hojas (Mulas y Mulas, 2004).

Para alimentar a los animales se puede utilizar las plantaciones en pastoreo directo o dar el forraje en forma de heno en los bebederos, para

lo que se recomienda cortar el *Atriplex* 24 horas antes de su consumo (Berte y Pretel, 1985).

Como parte del estudio en el Chaco; se han realizado pruebas para alimentación de cabras, vacas y ovejas, cortando las ramas de *Atriplex*; los resultados demostraron gran nivel de aceptación y palatabilidad del *Atriplex* en las tres especies, ya que como se ha mencionado anteriormente, si se permite el pastoreo podrían descortezar las plantas y dañar la plantación. Los animales no sólo consumen las hojas cortadas sino también las ramas.

- ***Aprovechamiento de Arbustos Forrajeros por Ganado Interspecifico***

Las plantaciones artificiales o los rodales naturales mixtos que incluyen árboles y arbustos forrajeros, hierbas y pastos, pueden proporcionar forraje adecuado para distintos tipos de ganado y animales silvestres. Estos animales pueden utilizar diferentes plantas o partes de ellas, sin competencia apreciable entre ellos, si la densidad es apropiada.

La mezcla de animales puede implicar una mejor utilización del forraje disponible y posiblemente la mantención de un buen equilibrio entre las distintas especies de plantas de la zona, ayudando de esta manera a la estabilidad a largo plazo de la cubierta vegetal (Zaroug, 1985).



Foto 31. Cabras y vacas consumiendo ramas de *Atriplex halimus* cortado en parcela y ofrecido en corral. (Fotografía, Shirley Román)

Destaca la observación de un excelente consumo de arbustos de *Atriplex*, por cualquier especie ganadera en pastoreo, como también por la fauna silvestre, sobre todo en la época seca.

Cuando los arbustos de esta especie ya están establecidos (al menos a los dos años desde su plantación), a pesar de los ingresos constantes de diferentes animales a la parcela de arbustos, se observa que éstos se recuperan rebrotando rápidamente; sin embargo, si las plantas aún no se han establecido por completo y la presión de los animales es constante, los animales pueden acabar rápidamente con las plantas, ya que incluso los animales silvestres como chanchos troperos (una especie de jabalí pequeño) y venados (urinas) lo consumen.

Si al inicio de la plantación ingresan aves como las gallinas, tampoco permiten su desarrollo ya que se comen las yemas apicales y todos los rebrotes.

Además de lo observado en el Chaco; otros animales como las liebres, perdices, roedores y caracoles consumen el *Atriplex* ávidamente, pudiendo causar serios daños a las plantaciones.

La cría de ganado interespecífico es común en muchas áreas tradicionales de pastoreo a lo largo de varios países. No obstante, las tendencias y demandas de los mercados y la preferencia de los consumidores han causado que se ponga más atención a las ovejas en diferentes regiones geográficas. Además, en algunas áreas, el valor de los camellos (países del África y Asia) y de las llamas (Bolivia, Perú, Chile y Ecuador) ha sido desplazado principalmente por los ovinos.

Se sabe que los camellos mantienen los arbustos ramoneados, al alcance de los rumiantes menores; o sea que hacen mayor uso de las zonas apicales más altas del arbusto. Como se pueden adaptar rápidamente al forraje disponible, consumen especies de plantas o partes de ellas que no resultan apetecibles para otro tipo de ganado.

Los camellos utilizan arbustos con alto contenido de sal, que apetecen poco a las ovejas, lo mismo ocurre con los camélidos sudamericanos en la zona de los

Andes, a excepción del conocido comportamiento alimenticio de las ovejas en el altiplano central de Oruro, Bolivia, quienes mantienen una alta preferencia por el consumo de arbustos nativos Amaranthaceos como el K'áuichi (*Suaeda foliosa* y *Salsola soli*), el Liwi Liwi (*A. nitrophiloides*) y algunas otras Salicornias.

Desde hace más de ocho décadas se tiene reportado que la alimentación con arbustos salados es importante para la salud de los camellos, y que los cuidadores emigran con sus animales a las zonas de apacentamiento donde crecen estas especies (Leicht, 1940).

Las cabras son ramoneadores importantes y podrían formar una mezcla útil con camélidos y ovinos para aprovechar las plantaciones de arbustos forrajeros.

Según Berte y Pretel (1985), además de cabras y ovejas, los camélidos son grandes consumidores de *Atriplex*, se ha probado también en la alimentación de conejos, gallinas y venados.

Complementación Nutricional de Arbustos de *Atriplex* con *Opuntias*

Los *Atriplex* son consumidos por los animales; especialmente en la época en que no existe forraje en el monte o praderas; existiendo la posibilidad de combinarlo con gramíneas o con una alimentación mixta compuesta por *Opuntia* (tuna) y *Atriplex* ya que los cactus son ricos en agua, glúcidos, vitaminas y pobres en sales solubles; mientras que los *Atriplex* son ricos en proteínas y sales solubles pero pobres en agua durante el período seco (Berte y Pretel, 1985); (Mulas y Mulas, 2004).

En el caso de combinar la alimentación con tuna; se debe cortar las pencas antes del consumo de los animales, ya que la saliva de los animales puede evitar la salida de nuevos rebrotes si los cactus tienen espinas se recomienda quemarlas (Berte y Pretel, 1985).

Según Tejada y Guzmán (1993); 1 ha de *Atriplex* y Cactus puede soportar una carga de 20 a 25 ovejas y 1 ha de *Atriplex* de tres años con 1,000 plantas produce aproximadamente, 1,250 kg de MS/año.

Por lo que parcelas demostrativas como las que se han implementado en el Chaco (1,200 m²) podrían soportar tres ovejas en pastoreo y producir 150 kg de MS, no se ha evaluado cada cuanto se pueden rotar los pastoreos.

Chiagra (2002), en un estudio realizado en el campo Experimental del INTA La Rioja, del Chaco Árido argentino, concluyeron que la adición de *Opuntia* con *Atriplex nummularia* en la dieta de cabras criollas en lactancia, aumentó las ganancias de peso diario (GPD) y totales de las crías, obteniéndose mayor producción en términos de kg de cabrito producido por cabra y mejores eficiencias de conversión (GPD/g de leche consumido).

Por otro lado, Urrutia, *et al.* (2007), mencionan que al incorporar el nopal (tuna) a la dieta en cabras, se observó una rápida recuperación del nivel de producción de leche, alcanzando 300 ml/día en tan sólo dos semanas de suplementación, el mismo artículo menciona que utilizando *Atriplex* como fuente de nitrógeno y nopal como fuente de energía en dietas para corderos en crecimiento, se observaron ganancias de peso satisfactorias.



Foto 32. Parcela cultivada con pencas de tuna (*Opuntia ficus indica*) con propósitos de uso forrajero para la ganadería regional.

La Tuna aportó principalmente azúcares solubles, que en conjunto con la elevada cantidad de proteína disponible en el rumen procedente del *Atriplex*, pudieron mejorar los patrones de fermentación ruminal, dando origen a un mejor balance de nutrientes para la síntesis de los elementos precursores de los componentes de la leche. Lo anterior sugiere la posibilidad de obtener producciones de leche bajas, pero aceptables, durante la estación de sequía, al combinar estos dos tipos de forraje (Urrutia, *et al.*, 2007).

Los animales alimentados con dietas exclusivas de penca no ganan peso, pero se mantendrán en un estado satisfactorio, a pesar del período de sequía, superándolo sin mayores inconvenientes. Mientras estén sometidos a esta alimentación, tendrán poca necesidad de beber agua, pudiendo pasar varias semanas sin abrevar. Experiencias en Texas realizadas con vacas a las que se les suministraron penca suplementada con torta de algodón, permanecieron más de 100 días sin consumir agua (Rossi, 1985).

EL ATRIPLEX EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Considerando la importancia de la producción animal y el problema de la escasez de forraje en las épocas críticas, la producción de especies forrajeras nativas o introducidas con requerimientos mínimos de humedad y alta tolerancia a la salinidad, y que además de producir forraje de buena calidad, den protección al suelo contra la erosión; es sin lugar a dudas, una buena alternativa (Urrutia, *et al.* 2007).

Las especies forrajeras de *Atriplex* son muy apreciadas por su alto valor nutritivo (Carrillo *et al.*, 2011). La producción y el valor forrajero de estas especies como plantas de ramoneo, valiosas dentro de las comunidades y terrenos agrícolas con problemas de salinidad, ha sido reconocido y parecen encajar mejor en un sistema de provisión de forraje cuando éste es limitado en otras plantas; es decir, constituyen una reserva forrajera para períodos de sequía o períodos normales de escasez (Watson, *et al.*, 1995).

El *Atriplex* es un valioso arbusto forrajero, particularmente en invierno, cuando éste presenta una más alta digestibilidad y contenido de proteína, que la mayoría de las plantas forrajeras. La alta digestibilidad puede atribuirse a los niveles de proteína que caracterizan a esta especie. La degradabilidad efectiva de la materia seca y la proteína del *Atriplex* está entre 65 a 75% (Urrutia *et al.*, 2007).

La producción indirecta o producción animal se basa en la utilización de pasturas, y es esencialmente un proceso de conversión de la energía solar en energía vegetal (producción directa o primaria) y la conversión de esta energía acumulada en producto animal.

La eficiencia con que la energía incidente se convierte primero en materia vegetal y posteriormente en producto animal, dependerá de la capacidad del tejido vegetal (gracias a la acción de los cloroplastos) para convertir la energía solar y la capacidad de los animales para utilizar la energía almacenada en las plantas.

Estos procesos se encuentran determinados en gran medida por interacciones complejas entre distintos factores limitantes, tales como genética, nutrición, clima, patología y otros, que afectan y modifican la acción de los organismos en su medio.

Un factor que es vital para determinar la eficiencia de conversión es la capacidad del hombre para manejar el ecosistema (Olivares y Gasto 1981).

Los períodos de déficit alimentario de la pradera herbácea coinciden con etapas importantes del desarrollo fisiológico y reproductivo del ganado. Un ejemplo de lo anterior, constituyen particularmente los ovinos, en los cuales el período de empadre o cruzamiento se presenta en febrero (para el altiplano y valle bolivianos en particular), obteniéndose pariciones al final de junio y todo el mes de julio. La disponibilidad de forraje durante estos meses es muy pobre en los CANAPAS y, por consiguiente, la oveja madre no llega a cubrir eficientemente las necesidades nutricionales básicas como para asegurar una buena lactancia a su cordero.

Si se analizan algunas normas fisiológicas de esta especie animal, se puede comprobar que los ovinos (animal más representativo en la mayoría de las comunidades campesinas del altiplano y valles de Bolivia) se caracterizan por ser poliéstricos estacionales, lo que significa que presentan celos con mayor frecuencia cuando los días tienen períodos cortos de luz (época invernal). Este es el motivo por el cual existe entonces la posibilidad de que una gran cantidad de ovinos presenten celos y se apareen entre los meses de julio y agosto, provocando nacimientos alrededor del mes de diciembre (Birhuet, comunicación personal, 1985).

El período de apareo o empadre en la época invernal, puede llegar a convertirse en una etapa crítica desde el punto de vista alimenticio, si el nivel nutricional de la oveja o el carnero ha sido muy bajo, ya que su fertilidad estará reducida. Además, si se pretende obtener la respuesta máxima en términos de prolificidad, el nivel nutricional deberá incrementarse significativamente.

Rodríguez y Gasto (1972), comparando animales alimentados en CANAPAS simplemente y otros con acceso al ramoneo de arbustos de *Atriplex*, comprobaron que los porcentajes de ovejas paridas y los porcentajes acumulados de parición durante los primeros 75 días desde que se inició el período de nacimiento, muestran que la cantidad de ovejas paridas en CANAPAS, con predominancia total de herbáceas, es inferior en un 21% con respecto a las alimentadas con arbustos.

La concentración de partos de las ovejas en pradera arbustiva, dentro de los primeros 30 días fue superior en más del 50%. Esto sugiere que la respuesta ovárica en estas ovejas fue superior y que la alimentación con arbustos no sólo produjo mayores aumentos de peso, sino que además, si se mide la respuesta del animal como aumento de la actividad sexual de las ovejas, esta alimentación fue suficiente como para obtener una mejor respuesta al “flushing nutricional”.

Este dato se comprueba a través del Cuadro 11 en el que se ve que el número de ovejas con mellizos y el total de ovejas paridas fue significativamente superior en el rebaño que se alimentó con arbusto.

CUADRO 11. Porcentaje de ovejas con parición simple y doble, comparando alimentación con y sin arbustos.

| PRADERA | Parición simple (%) | Parición doble (%) | Total (%) |
|-----------|---------------------|--------------------|-----------|
| Arbustiva | 61.7 | 32.3 | 94.0 |
| Herbácea | 75.4 | 11.7 | 88.0 |

Fuente: Rodríguez y Gasto (1972).

Otro ejemplo importante es el trabajo realizado por Duchens y Cuneo (1980), quienes suplementando a ovejas con *Atriplex repanda* durante el último tercio de gestación, como refuerzo al pastoreo en CANAPAS herbáceas, obtuvieron corderos de mayor peso en los nacidos cuyas madres recibieron *Atriplex* suplementario.

Los corderos nacidos de ovejas no suplementadas con *Atriplex* tuvieron un peso de 10.9% inferior al de los corderos de ovejas suplementadas. Esta diferencia se mantuvo incluso hasta el primer mes de edad, fecha en que los corderos suplementados pesaban en promedio 11.2% más que los que no recibieron *Atriplex* como suplemento.

En relación al peso inicial de las ovejas madres, las que permanecieron en pradera arbustiva experimentaron menores pérdidas de peso al parto. Las pérdidas promedio de peso entre el último tercio de gestación y el parto fueron de 13.2% en las hembras no suplementadas con arbusto y sólo 6.4% en aquellas alimentadas en pradera arbustiva.

Este análisis real soportado por los ejemplos citados en el campo científico de la ciencia pecuaria, constituye otro justificativo valioso para la implantación de arbustos forrajeros en zonas con baja disponibilidad forrajera, especialmente del género *Atriplex* que crecen durante todo el año, soportan condiciones adversas de clima y suelo, y constituyen un excelente suplemento en los CANAPAS herbáceos de los Andes.

De este modo, la implantación de estos arbustos se traduce directamente en la elevación del nivel de vida del poblador andino, quien, a través del incremento de los niveles de proteína en su dieta, mejora su estado nutricional tornándose

al mismo tiempo menos vulnerable a algunas enfermedades comunes, fruto de estados de debilidad que ocasiona la desnutrición. En forma paralela, el incremento de la productividad hace eco en un mayor ingreso de recursos económicos para la familia campesina.

Históricamente, el manejo de los pastizales y praderas pusieron mucho énfasis en los pastos debido a su habilidad para producir grandes cantidades de forraje para la ganadería. Sin embargo, Holechek *et al.* (1989), revisaron numerosos estudios demostrando que los arbustos son importantes componentes de la dieta de animales en pastoreo en muchos lugares.

Típicamente, bovinos, ovinos y caprinos utilizan intensamente los arbustos durante los períodos en que los pastos y otras malezas se encuentran en dormancia y tienen valores nutritivos muy bajos. Durante la estación de dormancia, las hojas de los arbustos se encuentran siempre verdes conteniendo más proteína cruda que las hojas y tallos de los pastos. Esta cualidad hace que los animales silvestres, principalmente venados y antílopes en USA y Canadá hagan un gran uso de arbustos, en particular del género *Atriplex* (Mc. Daniel y Tledeman, 1981).

En el altiplano central de Bolivia, alrededor de Santiago de Collana, las vicuñas utilizan *Atriplex* rastreros nativos (*A. nitrophiloides*), conocida vernacularmente como “liwi liwi”, y otras Chenopodiaceas nativas como la *Suaeda foliosa*, conocida vernacularmente en la región con el nombre de Kauchi.

Una razón que podría justificar el empleo de los arbustos forrajeros es el incremento de la densidad calórica de la energía metabolizable producida por el pastizal, con lo cual se logra una reducción del costo ecológico de cosecha del forraje por el animal y, consiguientemente una mayor eficiencia productiva.

Los arbustos perennifolios que mantienen las hojas verdes todo el año, tienen menos fibra y mayor concentración de fósforo que cualquier parte que compone una gramínea (Holechek *et al.*, 1989).

Francllet y Le Houérou (1971) mencionan que los animales mayormente consumidores de *Atriplex* son los ovinos seguidos por los caprinos y camélidos, aunque también está comprobada la palatabilidad y alta digestibilidad en aves ponedoras y conejos.

Esta información fue comprobada y ampliada por Gutiérrez (1993), quién estudió las ventajas de la alimentación balanceada peletizada para conejos de la raza Angora, utilizando como ingredientes principales de las dietas *A. halimus* y *A. semibaccata*.

El estudio se realizó en el valle bajo del Departamento de Cochabamba. Se utilizaron tres grupos de animales y mediante un diseño estadístico de sobre cambio doble, se prepararon dos tipos de alimento balanceado, teniendo que peletizarlos para poder compararlos con el tercer tipo de alimento peletizado que comúnmente adquieren los productores de pelo de conejo Angora. Este pellets comercial fue utilizado como testigo.

Los tres tratamientos presentaron 17% de proteína, 2,300 kcal/kg de energía digestible, 2.3% de grasa, 16% de fibra, 1% de calcio y 0.5% de fósforo. La formulación de cada uno de los alimentos se realizó mediante programación lineal del método simplex, incluyendo minimización de costos.

Durante el experimento, la primera esquila no mostró ninguna diferencia entre los tratamientos. En la segunda y tercera esquila, los animales que recibieron el alimento testigo dieron promedios de 119 y 120 g de pelo respectivamente. La producción promedio de pelo cuando recibieron pellets con *A. halimus* fue de 116 y 115 g en las dos esquilas y de 117 y 121 g cuando recibieron pellets conteniendo *A. semibaccata*.

La inclusión de estas dos especies de *Atriplex* en la dieta de los conejos Angora, demostró que es posible sustituirlo por otros componentes más caros de la dieta comercial, sin que esto altere en absoluto los índices de producción de pelo.

No obstante, lo más interesante de destacar es que el costo del alimento balanceado peletizado fue disminuido en este experimento en un 21%, pues el costo del quintal de alimento comercial para 1993 fue de US\$ 9.4 (dólares

americanos); mientras que el costo del quintal de alimento preparado con las Halófitas fue de US\$ 7.4. Si esta diferencia es reflejada en términos de indicadores económicos financieros, se obtiene que la tasa interna de retorno (TIR) para el tratamiento que utilizó *A. semibaccata* es igual a 40.2%, que resulta significativa con respecto a la tasa bancaria de 19.5%.

La mejor relación obtenida en Beneficio/Costo (B/C) también correspondió al mismo tratamiento con un valor de 2.07, lo cual significa que por cada dólar invertido se tiene un retorno de US\$ 1.07.

La disponibilidad económica, una vez pagados los costos directos e indirectos, después de la TIR es el valor actual neto (VAN), que es el indicador económico financiero de mayor confianza, demostrando en este experimento que también el tratamiento de mayor VAN es el de la dieta que contiene *A. semibaccata* con un VAN de US\$ 600. El resumen de estos tres indicadores económicos para las tres dietas, se expresan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Indicadores Económicos financieros de tres dietas (dos con *Atriplex*) empleadas en la crianza de conejos Angora para la producción de pelo.

| Dietas | TIR | B/C | VAN |
|---------------------------|------|------|----------|
| Sin <i>Atriplex</i> | 28.3 | 1.79 | US\$ 515 |
| Con <i>A. semibaccata</i> | 40.2 | 2.07 | US\$ 600 |
| Con <i>A. halimus</i> | 38.2 | 2.03 | US\$ 581 |

Fuente: Gutiérrez (1993)

Para las expectativas económicas encontradas, se concluyó que la inclusión de especies de *Atriplex* en dietas de animales de granja, pueden constituir una interesante alternativa para reducir los costos de producción sin alterar el normal desarrollo ni los niveles de productividad de los animales.

El índice de conversión alimenticia (ICA) de los conejos, calculado para cada uno de los tratamientos mostró valores de 31% para la dieta con *A. halimus* y 34% para las dietas con *A. semibaccata* y para la comercial sin *Atriplex*.

Otras investigaciones efectuadas, sugieren que pastos maduros forrajeros más arbustos palatables, pueden proveer una dieta adecuada y balanceada que puede mejorar la performance de las ovejas durante el final del otoño y principios de invierno (Cook y Harris, 1968; Chatterton *et al.*, 1971; Van Epps *et al.*, 1971).

Otsyina *et al.* (1982), trataron de cubrir los requerimientos nutricionales de ovejas gestantes en pastoreo libre durante el otoño y principios de invierno. En las praderas donde se realizó el estudio, predominaba la gramínea *Agropyron cristatum* y algunos arbustos comunes en la zona, como ser *Atriplex canescens*, *Ceratoides lanata* y *Artemisia tridentata*. Los resultados mostraron que los arbustos fueron consistentemente más altos en contenido de proteínas totales y proteínas digeribles que el pasto del género *Agropyron* durante la etapa de estudio.

Atriplex canescens y *Ceratoides lanata* por sus tenores proteicos en invierno, mostraron ser los arbustos más promisorios para su utilización como suplemento al bajo tenor proteico de la gramínea disponible en la época crítica del año. Para cubrir los requerimientos dietéticos de las ovejas gestantes se requiere un mínimo de 56% de *Atriplex canescens*, o 60% de *Ceratoides lanata* en la dieta, mientras que otros arbustos presentes en el área de estudio no podrían ser utilizados en forma suplementaria por sus contenidos bajos de proteína digerible, que oscilan alrededor de 4.4%.

El valor alimenticio de los *Atriplex* es bastante alto, pues sus hojas y ramitas tienen un contenido proteico bruto de 15 a 25% en base seca.

Von Krampts, Hass y Mardebeck; citados por Franclét y Le Houérou (1971) resaltan la importancia del *Atriplex* como una de las raras fuentes vegetales de proteínas indispensables, comprobando que *A. hortensis* es una rica fuente de lisina, un aminoácido esencial indispensable para el crecimiento que también se encuentra en la leche, los huevos y la carne.

El porcentaje de proteína digerible en *A. canescens* corresponde a 8.24% según determinación de Otsyina *et al.*, (1982).

En Libia, animales alimentados con *Atriplex halimus* y *A. nummularia* mostraron respuestas favorables en ganancia de peso vivo, con 35 y 44 g por animal por día, respectivamente (Zaroug, 1985).

Otras *Chenopodiaceae* (ahora *Amaranthaceae*) promisorias son *Chenopodium auricomun*, del centro de Australia y *Chenopodium paniculatum* de Chile, pues constituyen un excelente complemento de los cactus por su valor proteico. Esto fue demostrado en Sudáfrica y África del Norte (Le Houérou, 1978).

Los cactus usados para ramoneo, conjuntamente con *Atriplex*, son aprovechados como rutina para emergencias durante la época seca en la cría de ovejas y permiten mantener en una emergencia de 20 a 25 ovejas/ha de cultivo combinado (*Cactus* y *Atriplex*).

La plantación de *A. canescens* y *A. nummularia* en combinación con huertos de dátiles, proporciona forraje suplementario al ganado beduino en varias comunidades de los países árabes.

Benjamín *et al.*, (1987) y Arieli *et al.* (1989), demostraron que el nitrógeno del forraje de *A. barclayana* es fácilmente disponible para rumiantes alimentados con dietas con alto contenido de sal. Sin embargo, a pesar de que el contenido de proteína cruda en las plantas es tan alto como 20%, no todo el N disponible es utilizado.

La razón aparentemente es porque un alto porcentaje del N total se encuentra en la forma de N no proteico soluble, el cual no es utilizado necesariamente por los rumiantes como una fuente de N, a menos que un alto material energético digestible esté también presente en el rumen durante la fermentación y la digestión (Hassan y Abdel Aziz 1979. Benjamín *et al.*,1987).

Vale hacer notar que Hassan y Abdel Aziz, trabajaron suplementando con cebada el valor nutritivo de *Atriplex nummularia*. A partir de este experimento, una vez más se justifica la utilización de arbustos del género *Atriplex* como alimento suplementario, que de todas maneras deberá ir acompañado a la dieta

base constituida por pasturas, principalmente gramíneas de considerable valor energético, para lograr un mejor y mayor aprovechamiento del aporte nitrogenado de los *Atriplex*.

La digestibilidad y energía digestible de la MS de las hojas de *A. repanda* presentan valores similares a los del forraje inicial herbáceo en primavera y superior a éste en el resto del año, alrededor de 50 a 60% de la MS y aproximadamente de 1.9 a 2.0 kcal/g de MS, respectivamente (Olivares y Gasto 1981).

Los tallos fotosintéticos de *Atriplex* presentan valores de 22 y 36% de digestibilidad de la materia orgánica y la energía digestible fluctúa entre 0.9 y 1.7 kcal/g de materia orgánica. La digestibilidad de los frutos varía entre 40 y 49%, su energía digestible entre 1.5 y 2.8 kcal/g de materia orgánica (Di Marco, 1973).

Wilson (1966); y Bohman y Lesperance (1967) determinaron que el forraje ofrecido por *Atriplex* contiene más proteína cruda, fibra y lignina que las gramíneas. Las hojas de estos arbustos alcanzan valores proteicos de 20% y las variaciones estacionales de sus componentes químicos son menores que en las gramíneas.

Resultados obtenidos en Chile por Di Marco (1973), estudiando la tasa de consumo, composición botánica y valor nutritivo de praderas nativas con *Atriplex repanda* indican que el arbustal con una densidad de 400 plantas/ha presenta una disponibilidad aproximada de 850 kg MS/ha en el mes de octubre, período en que se inicia su crecimiento y alcanza a 2,000 kg MS/ha a partir de enero, período en que expresa su máximo crecimiento en las regiones áridas de ese país.

Atriplex vesicaria pudo soportar una carga animal de 0.6 ovejas/ha y el consumo de hojas del arbusto se incrementó de un 10%, durante el período de buena disponibilidad del estrato herbáceo, hasta un 80% cuando el estrato herbáceo había sido consumido (Wilson *et al.*, 1969).

La utilización de arbustos forrajeros del género *Atriplex* por ovinos, ha sido estudiada en varios países y se ha concluido que estas nanofanerófitas tienen gran importancia en el manejo de praderas biestratificadas, dado que constituye un buen recurso de forraje para los periodos críticos de sequía o de escasez de pasto.

Valor Nutricional de los *Atriplex*

El tenor proteico de árboles y arbustos depende de diferentes factores, principalmente la especie, variedad, edad de la planta, estado fenológico, capacidad de recuperación al corte y porcentaje de hojas, tallos y frutos.

La proteína cruda (Nitrógeno x 6.25) es la entidad nutriente más comúnmente determinada para los forrajes. El nitrógeno es el principal constituyente de los tejidos animales y, por lo tanto, se le requiere continuamente para el funcionamiento de la célula.

Los procedimientos estándar para determinar la proteína cruda han sido reportados por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1975). Sin embargo, estos valores derivados por Kjeldahl pueden sobreestimar la disponibilidad de N en las dietas de ramoneo, debido a la tendencia de la proteína a formar complejos indigeribles con compuestos secundarios.

Las bacterias del rumen requieren de un nivel mínimo de 6-8% de proteína cruda para la fermentación eficiente del material vegetal (NAS, 1981; Van Soest, 1982).

Aunque un valor de reconocida importancia del ramoneo es la capacidad de retener altos niveles de PC durante los períodos secos (cuando las reservas de forraje herbáceo han disminuido), la información relacionada a las dietas animales es escasa.

Los extractos de proteína soluble de hojas de *Atriplex nummularia* y *A. repanda* corresponden, según los estudios de Silva y Pereira (1976), respectivamente a 26.6 y 19.6% del total de proteína presente en las hojas.

Los análisis de aminoácidos de las fracciones proteicas obtenidas, muestran una composición aminoacídica equilibrada con excepción de metionina que se encuentra en el límite inferior. El contenido de lisina y metionina depende del estado fenológico de la planta (Ferrer *et al.*, 1975).

Olivares y Gasto (1981) citan a Silva y Pereira (1976) quienes indican que los concentrados proteicos se presentan como suplementos valiosos para otros alimentos pobres en aminoácidos esenciales y, por lo tanto, pueden constituirse en un futuro próximo, como un interesante aporte en alimentos concentrados para monogástricos, entre los cuales podría posiblemente incluirse el hombre.

El Cuadro 13, presenta la composición de algunos aminoácidos esenciales en forma comparativa, entre algunas especies de *Atriplex* y otros alimentos, en base a referencias de tenor proteico provistos por varios autores ya mencionados.

CUADRO 13. Composición de aminoácidos esenciales en proteína de *Atriplex nummularia*, *Atriplex repanda* y en otros alimentos.

| Componente aminoacídico de proteínas | A M I N O Á C I D O S | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Ile | Lev | Lis | Met | Fen | Tre | Vol |
| Proteína | 4.2 | 4.8 | 4.2 | 2.2 | 2.8 | 2.8 | 6.3 |
| Hojas <i>A. nummularia</i> | 5.4 | 9.6 | 5.5 | 1.9 | 5.2 | 5.1 | 8.2 |
| Hojas <i>A. repanda</i> | 4.6 | 8.2 | 5.8 | 1.2 | 5.6 | 6.0 | 6.1 |
| Hojas diferentes vegetales | 4.6 a 6.6 | 9.1 a 10.7 | 4.5 a 7.3 | 0.9 a 2.8 | 4.9 a 6.8 | 4.3 a 5.8 | 5.9 a 6.8 |
| Leche | 8.5 | 11.3 | 8.2 | 3.4 | 5.7 | 4.5 | 8.5 |
| Huevo completo | 8.0 | 4.2 | 7.2 | 4.1 | 6.3 | 4.3 | 7.3 |
| Carne (vacuno, pollo, pescado) | 6.3 | 7.7 | 8.1 | 3.3 | 4.9 | 4.6 | |

FUENTE: Silva y Pereira (1976).

En condiciones locales, la determinación del valor nutricional de ambas especies (*A. halimus* y *A. semibaccata*), bajo diferentes estadios climáticos en un ciclo anual, se efectuó mediante el análisis proximal Weende, en los laboratorios de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba. De este modo, se cumple con el primer objetivo específico trazado en este documento.

El estado nutritivo de las dos especies de *Atriplex* en épocas invernal o seca y estival con mayor disponibilidad de humedad, expresan un notable incremento de contenido mineral en las dos especies en la época estival. Esto, posiblemente, debido a la mayor facilidad de la planta para aprovechar los complejos minerales mayormente activados y disueltos por la humedad existente en la época, la cual activaría el intercambio catiónico de las partículas minerales del suelo.

Con respecto a la composición de estos minerales, Lachover y Tadmor (1965) concluyeron que el 50% de las cenizas de *Atriplex halimus* están constituidas por Na Cl; en cambio, en *Atriplex repanda*, que se desarrolla en suelos no salinos, el contenido de Na Cl no es superior a 1.5% del total de cenizas.

También la proteína aumenta en época de mayor disponibilidad de humedad ambiental y temperatura (efecto de época o condición climática reinante). El nivel etéreo se reduce para ambas especies en la época estival, lo cual permite comprobar la gran disponibilidad de lípidos como fuente energética a modo de defensa del organismo frente al stress invernal.

La fibra cruda se incrementa para ambas especies en la época estival, simplemente por mayor disponibilidad de biomasa.

Finalmente, el nivel de carbohidratos a partir del extracto libre de nitrógeno es más alto en invierno, con lo cual se comprueba que estas especies, si bien no poseen índices de biomasa foliar que se puedan comparar con lo obtenido en una pradera, constituyen una poderosa fuente de suplemento alimenticio en la época seca que ayuda a contrarrestar la pérdida energética y proteica de los animales con baja disponibilidad de pastos en esa época, lo cual se traduce en

pérdida de peso, disminución de índices de conversión alimenticia y por ende pérdidas económicas para el agricultor ganadero. Los resultados numéricos del análisis bromatológico se expresan en los Cuadros 14 y 15.

CUADRO 14. Análisis proximal de *Atriplex halimus* en base seca.

| Época | Materia seca % | Ceniza % | Proteína % | Extracto etéreo % | Fibra cruda % | Ext. No nitrógeno % |
|----------|----------------|----------|------------|-------------------|---------------|---------------------|
| Invernal | 100 | 20.7 | 14.9 | 3.4 | 18.5 | 42.5 |
| Estival | 100 | 22.4 | 18.2 | 1.13 | 19.8 | 38.5 |

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 15. Análisis proximal de *Atriplex semibaccata* en base seca.

| Época | Materia seca % | Ceniza % | Proteína % | Extracto etéreo % | Fibra cruda % | Ext. No nitrógeno % |
|----------|----------------|----------|------------|-------------------|---------------|---------------------|
| Invernal | 100 | 18.0 | 14.3 | 3.1 | 15.9 | 48.7 |
| Estival | 100 | 20.8 | 16.1 | 1.03 | 25.4 | 36.7 |

Fuente: Elaboración propia.

A modo de información complementaria y comparativa, a continuación, en el cuadro 16 también se presentan los valores bromatológicos del Análisis Proximal, que presenta la composición Nutritiva de los arbustos de *Atriplex* en las parcelas del Chaco, durante el mes de diciembre.

Cuadro 16. Resultados del Análisis Proximal proteína (PB) y cenizas de *Atriplex halimus* y *Atriplex nummularia*, comparadas con *Opuntia ficus indica* – tuna. (Laboratorio nutrición animal FCAPyF- UMSS)

| No Muestra | Nombre de la muestra | % Materia Seca Total | % Proteína Bruta | % Ceniza |
|------------|----------------------------|----------------------|------------------|----------|
| 102/12 | <i>Atriplex halimus</i> | 96.94 | 12.89 | 12.03 |
| 104/12 | <i>Atriplex nummularia</i> | 94.35 | 14.56 | 16.55 |
| 105/12 | Penca tuna forrajera | 95.90 | 5.99 | 28.95 |

(*) Análisis realizado en muestra parcialmente seca

Como se observa en estos resultados del análisis de laboratorio, las muestras de tuna del Chaco, refleja un contenido proteico mayor a lo reportado por Nefzaoui y Salem (2002), quienes mencionan un valor de 4.8% de PB.

Mirreh, *et al.*, (2000) reporta valores de 20.5% PB y 18.2% PB para *A. halimus* y *A. nummularia*, respectivamente. No obstante, hay que tener cuidado de apreciar que los resultados del trabajo en el Chaco han sido realizados en Base parcialmente Seca. De todas maneras, con estos resultados se confirma que tanto el *Atriplex* como la tuna son una opción forrajera importante en el Chaco que a diferencia de las especies nativas que son caducifolias, permanecen de forma permanente.

Chávez (2009), realizó un Análisis Proximal de tres especies de *Atriplex* con dos diferentes tipos de tratamiento, incluyendo una sola variante, consistente en que al sustrato de las plantas del segundo TRT le fue agregado estiércol de ovino para el desarrollo de los primeros estadios de los plantines. Los resultados de ambos TRTs se exponen comparativamente en los cuadros 17 y 18 abajo.

Cuadro 17. Análisis Proximal de tres especies de *Atriplex* crecidas en sustrato agrícola, en vivero y sin adición de estiércol alguno como fertilizante.

| ESPECIE | % M S | % Cz | % E E | % F B | % E N N | % P B | E (Kcal/kg) |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------------|
| <i>A. nummularia</i> | 93.09 | 13.27 | 1.45 | 18.77 | 45.35 | 14.25 | 3742.92 |
| <i>A. semibaccata</i> | 93.97 | 11.29 | 1.35 | 26.33 | 45.99 | 9.01 | 3822.60 |
| <i>A. halimus</i> | 94.29 | 11.73 | 1.22 | 32.95 | 39.75 | 8.64 | 3845.90 |

Fuente: Chávez, 2009

Cuadro 18. Análisis Proximal de tres especies de *Atriplex* crecidas en sustrato agrícola, en vivero con sustrato agrícola e incorporación de estiércol de ovino como abono.

| ESPECIE | % M S | % Cz | % E E | % F B | % E N N | % P B | E (Kcal/kg) |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------------|
| <i>A. nummularia</i> | 93.03 | 17.70 | 0.90 | 16.11 | 46.04 | 12.28 | 3,479.43 |
| <i>A. semibaccata</i> | 94.53 | 13.40 | 1.64 | 20.46 | 46.72 | 12.31 | 3788.18 |
| <i>A. halimus</i> | 94.16 | 16.50 | 2.01 | 25.58 | 38.27 | 11.80 | 3687.04 |

Fuente: Chávez, 2009

De la comparación de ambas tablas (17 y 18), se puede interpretar que cuando las plantas están contenidas en un sustrato abonado que cubre o suplente las deficiencias del suelo, los contenidos de Proteína Bruta ascienden a niveles, posiblemente más acordes con la naturaleza nutricional de su composición. Los resultados son menos diferenciados entre las especies. Obviamente, la presencia y los efectos del abono natural influye significativamente en todos, pero algunas especies logran cubrir mejor que las demás sus contenidos de nutrientes, en este caso de la PB.

El incremento de cenizas minerales ocurre en las tres especies, gracias a la suplementación del abono, pero es más notorio en los casos de *A. nummularia* y *A. halimus*. En el caso de la FB, el TRT con abono ovino aparentemente reduce su presencia porcentual, no porque disminuya en concentración, sino simplemente sucede como medida compensatoria porcentual frente al incremento de los valores de los otros elementos como las Cz y la PB. También resulta obvio el incremento de Energía, cuyos valores no tienen nada que ver en términos porcentuales, en relación a la integridad de la composición proximal.

• **Palatabilidad y Selectividad de *Atriplex* por el Ganado**

Otras características de los arbustos del género *Atriplex* son su alta palatabilidad (Cordier, 1974; Sarson, 1970; Le Houérou, 1971; Pisano, 1966; Tejada y Guzmán, 1992), y su capacidad de absorber humedad por el tejido foliar (Arentsen, 1972).

Aunque los animales consumen tanto hojas como tallos tiernos, el mayor contenido de nutrientes se concentra en las hojas porque contienen mayor proteína cruda y una digestibilidad de la materia orgánica más alta que los tallos (Urrutia *et al.*, 2007).

Además de poseer grandes cualidades nutricionales, está comprobado por numerosos autores, que los *Atriplex* también son altamente palatables y preferidos por los animales, aún en presencia de otras forrajeras.

Los resultados obtenidos del estudio de la influencia de malezas y arbustos, entre los cuales se incluye el *Atriplex canescens* en el estado de

Nuevo México, EE.UU., mostraron que estas especies que gozan de alta palatabilidad podrían permitir la reducción de las necesidades de suplementación de proteína en bovinos durante los períodos en que los pastos se encuentran en dormancia (Arthur *et al.*, 1992).



Foto 33. Ganado ovino criollo ramoneando arbustos de *Atriplex halimus* de 1 año, desde su plantación. Cocaraya, Cochabamba.



Foto 34. Ganado bovino lechero ramoneando arbustos de *Atriplex halimus* de 1 año, desde su plantación. Cocaraya, Cochabamba.



Foto 35. Pruebas de palatabilidad y selectividad de especies agroforestales forrajeras (*A. halimus*, *A. semibaccata*, *Spartium junceum*, *Polylepis sp.* y *Tipuana tipa*) en sistema estabulado con ganado interespecífico. Facultad de Agronomía UMSS-Cochabamba.



Foto 36. Pastoreo mixto de ovinos y bovinos en una zona anteriormente desnuda de cobertura vegetal y posteriormente, casi totalmente cubierta por un tapiz de *Atriplex semibaccata*. Cocaraya, Cochabamba.

Núñez *et al.* (1989), comprobaron que el fourwing saltbush (*Atriplex canescens*) junto a otros arbustos de zonas desérticas como *Cercocarpus montanus* y *Ceratoides lanata*, son arbustos palatables que son utilizados intensamente por el ganado y animales mayores silvestres como los antílopes, ciervos de cola blanca, alces y cabras silvestres en el Oeste americano.

La composición de estos arbustos permite óptimas tasas de consumo por los animales y valores de retención de nitrógeno, iguales o superiores a los del heno de alfalfa, además son excelentes fuentes de proteína para los animales en pastoreo y los animales silvestres mayores.

Un rebaño de ovejas en estado de gestación, durante una etapa preliminar a un ensayo científico de nutrición en praderas, empezaron a ramonear inmediatamente arbustos de *Atriplex canescens* tan pronto como fueron introducidas a la pradera experimental, la misma que estaba compuesta por variedad de gramíneas y otros arbustos (Otsyina *et al.*, 1982).

Alipayo *et al.* (1992) evaluaron la composición botánica de la dieta de ovinos, bovinos y cabras Angora a través del procedimiento del análisis microhistológico de muestras fecales. Ellos encontraron que la presencia de *Atriplex canescens* en las heces de los bovinos, ovinos y caprinos constituían el 53%, 49% y 28% del total defecado respectivamente, mientras que los porcentajes de esta especie en la composición de la dieta eran del 45% en relación a las otras especies que componían la dieta de los ovinos y bovinos y del 13% en la dieta de las cabras Angora.

El consumo de la pradera por los animales en pastoreo, expresa en gran medida su valor nutritivo (Crampton *et al.*, 1960).

Este consumo es regulado por factores endógenos y exógenos. Entre los endógenos se tiene la capacidad física del rumen, en especial cuando se dispone de forrajes toscos de baja tasa de degradación, lo cual es muy importante ya que lo limita, pues la nueva ingestión dependerá de la velocidad

de degradación de la ingesta en el rumen. Cuando no existe el factor físico, el control de la ingesta es de índole fisiológico y el control del apetito está gobernado por los requerimientos del animal.

Dentro de los factores exógenos, la disponibilidad de la pradera es un aspecto muy importante, pues llega a regular también los factores de selectividad de la diversidad botánica disponible.

La selectividad es un factor muy importante a ser considerado cuando se analiza la acción del pastoreo. Está comprobado que los animales ingieren algunas especies más ávidamente que otras, e incluso pueden llegar a rechazar un grupo de ellas.

Los factores que determinan en gran medida la selección del animal son el contenido de fibra, la velloidad, el olor, el estado fisiológico, el color y otros.

Duffey *et al.*, (1974) resumen las características de la selección que realizan los ovinos, en los siguientes puntos:

- Seleccionan hojas con respecto a tallos
- Seleccionan material verde con respecto al seco.
- Seleccionan material fisiológicamente joven porque es generalmente corto o porque difiere del material viejo en su composición química.
- El material seleccionado usualmente posee un elevado contenido de nitrógeno, fósforo y energía.
- Cuando las densidades de carga animal son altas, existe una mayor variedad de especies que formar parte de la dieta seleccionada.
- Las especies no son uniformemente seleccionadas a través del año, los cambios dependen de la palatabilidad en una época particular.

Arnold *et al.*, (1960), complementan que las variaciones estacionales en la composición botánica y en la cantidad de alimento disponible establece cambios en la composición y cantidad de alimento ingerido, lo cual puede afectar la productividad.

El comportamiento de los ovinos en praderas con arbustos forrajeros varía fundamentalmente con la época de utilización, la disponibilidad de forraje herbácea y la densidad de plantación de los arbustos.

Algunos resultados obtenidos por los concejos de investigación de los países árabes para el estudio de *Atriplex*, indican que cuando se cultiva *A. halimus* en condiciones muy secas, se torna menos apetitoso para las ovejas, pero el gusto no se ve afectado mayormente para los camellos (Zaroug, 1985). Esto permite especular acerca del posible éxito de la implantación de *A. halimus* en áreas semiáridas del altiplano boliviano, donde los animales mejor adaptados son las llamas y las vicuñas.

Masri (1983), indica que *A. halimus* es poco apetecible en Jordania. Este autor informa que *A. halimus* es más apetecible para las ovejas en suelos no salinos. Sugirió que la poca aceptación de esta especie por las ovejas, en comparación con *A. nummularia*, ayuda a diferir el ramoneo de *A. halimus* de la primavera, cuando las plantas se encuentran efímeras; al otoño, cuando la existencia de alimento de la pradera para el ganado es más limitada.

En Australia, Wilson *et al.* (1969), determinaron que en primavera los ovinos preferían la pradera herbácea donde dominaban especies de los géneros *Danthonia*, *Medicago* y *Vulpia*, a pesar que el *Atriplex vesicaria* era abundante. En cambio, durante el verano la dieta estaba compuesta fundamentalmente del ramoneo de los arbustos.

Otro experimento mostró que, en el período en que un rebaño de ovinos consumió conjuntamente el estrato herbáceo y arbustivo, los porcentajes promedios de proteína, lignina y celulosa de la dieta seleccionada, cuando la disponibilidad era máxima, fueron de 15, 13 y 21%, respectivamente. Sin embargo, en el período en que el estrato arbustivo constituyó el principal recurso a fines de otoño e invierno, las dietas seleccionadas tenían un 20% de proteína 7% de lignina y 13% de celulosa (Olivares y Gasto, 1981).

Considerando además que los animales seleccionan hojas de *Atriplex* cuando disponen del máximo forraje ofrecido, se puede deducir que las hojas contienen más proteína cruda y menos lignina y celulosa que el forraje herbáceo después de su máximo período de crecimiento.

En el período verano-otoño, cuando los ovinos tuvieron la máxima disponibilidad de alimento utilizable, el forraje arbustivo representó el 10% del peso total de la dieta seleccionada (Olivares y Gasto, 1981).

Esta cifra aumentó en un 30% en octubre, pero en invierno (junio y julio), cuando el arbusto constituyó la principal fuente de alimento, los ovinos seleccionaron dietas con 90% de *Atriplex repanda*.

- ***Otras Amaranthaceas (ex Chenopodiaceas) Promisorias, para su empleo, como parte de las Dietas en la Ganadería Alto Andina***

Existen varias alternativas de la misma familia de las *Amaranthaceas* (ex *Chenopodiaceas*) en el Altiplano y Punas de los Andes altos, esas especies presentan interesantes fuentes alimenticias para el ganado; entre ellas se pueden mencionar principalmente a las especies silvestres de *Atriplex*, como el liwi liwi (*Atriplex pulvinata* y *A. nitrophilloides*), el K'auchi (*Suaeda foliosa*), la salicornia (*Salicornia pulvinata*), y la misma quinua que incluye en este caso a algunas especies silvestres como la ajara (*Chenopodium quinoa* var. *Melanospermum*), poco conocidas como alimento en la alimentación humana.

También, proveniente de la misma quinua comestible en todo el mundo, se obtienen residuos de cosecha como hojas secas, tallos (broza y jipi) y raíces. Actualmente, la broza es un material de desecho que rara vez es incorporado al suelo; mientras que el jipi de quinua es utilizado por algunas familias en la suplementación alimenticia de llamas.

Mollisaca y Bonifacio (2021) reportaron, según los análisis del jipi de cuatro variedades de quinua, valores entre 12 y 14.7 % de proteína, y valores fluctuantes entre 1.6 y 5.6 % para la broza. Ambos valores se encuentran muy

cercanos a los rangos que reportaron Alzerreca y Cardozo (1991), correspondientes a 2.4 y 9.4 % de proteína en la broza de quinua, y 10.1 % de proteína para el jipi de quinua (datos bromatológicos expresados en Base Materia Seca, BMS).

El contenido de calcio en el jipi varía de 1.6 a 2.06 %, mientras que en el contenido de calcio en la broza es bajo (0.38 a 0.99 %) y el contenido de hierro en el jipi es de 132 y 246 mg/100 g (Mollisaca y Bonifacio, 2021).

Mollisaca y Bonifacio (2021), demostraron que el rendimiento experimental de broza promedio de cuatro variedades de quinua (Jacha Grano, Surumi, Mayjama, y Chucapaca) fue de 2,26.87 kg/ha (BMS), lo cual representa una cantidad nada despreciable para plantear su aprovechamiento en el altiplano. Estos dos científicos, al mismo tiempo, determinaron mediante un ensayo experimental para evaluar el rendimiento de jipi, una producción de 1,192.5 kg/ha de jipi, como rendimiento promedio de las cuatro variedades anteriormente mencionadas. Ambos datos concluyen que estos subproductos constituyen un recurso forrajero complementario para la crianza de llamas.

Considerando la superficie cultivada con quinua de 160,000 hectáreas por año (El Fulgor, 2017; citado por Mollisaca y Bonifacio, 2021), se puede estimar la disponibilidad de 190,000 toneladas de jipi. Si este material se recolectara eficientemente del campo, se puede aprovechar para la suplementación de alimento para llamas en un enfoque de integración quinua-llama y contribuir positivamente a la diversificación productiva del altiplano árido (Mollisaca y Bonifacio, 2021).

Onofre y Bonifacio (2021), evaluaron las características fenológicas y agronómicas de la quinua silvestre del altiplano de Bolivia, evidenciando que la ajara es de ciclo anual, cuya semilla presenta grados variables de dormancia; sin embargo, una muestra estudiada presentó rebrote después de la madurez, por lo que dedujeron que presenta ciclo plurianual o perenne. Lo anterior permitió diferenciar la ajara como probable miembro del complejo quinua, y la quinua verdaderamente silvestre sería la quinua perenne que tiene semilla completamente dormante.

V
CAPÍTULO

Atriplex:
POTENCIAL VISIÓN FUTURA



POSIBILIDADES DEL EMPLEO DE ARBUSTOS DE *ATRIPLEX* EN LA ALIMENTACIÓN HUMANA

Con respecto al valor nutritivo y la posibilidad de incluir *Atriplex* en la dieta humana, esto resulta factible por sus bajos tenores de saponina localizada a nivel del fruto y las semillas; además, de su alto valor nutritivo. En Bolivia, Perú y Ecuador, el consumo de otras *Amaranthacear* como la quinua (*Chenopodium quinoa*) y la cañahua (*Chenopodium pallidicaule*) es una práctica común.

Alfaro (1992), comparó mediante valores de la composición proximal de proteína, grasa, carbohidratos, fibra, cenizas y humedad, las dos especies de *Atriplex* estudiadas en este texto, con dos especies vegetales consideradas entre las más altas nutricionalmente en el país, estas son la quinua (*Chenopodium quinoa*) y la espinaca (*Spinacia oleracea*).

Los resultados fueron sorprendentes con respecto a los tenores proteicos, minerales, fibra y carbohidratos, demostrando altísima superioridad de *A. semibaccata*, seguido de *A. halimus* en todos los casos. En todos estos elementos nutritivos, la quinua resultó en tercer lugar y la espinaca resultó el menos nutritivo de todos. Esta información se detalla en la investigación de Alfaro (1992), donde se reporta que el contenido de humedad alcanza el 90% en la espinaca y que las *Amaranthacear*, a excepción de la quinua, no llegan ni a 45% de humedad (*A. halimus*) y es menor a 18% de humedad en *A. semibaccata*.

Semillas de *Atriplex hortensis*, una vez removida la saponina, fueron sometidas a laminado en un equipo semi industrial, obteniéndose hojuelas de mayor tamaño que la quinua, pero de coloración similar a la que se obtiene de la quinua roja. La preparación de jugo con hojuela de *Atriplex hortensis* fue aceptable para los consumidores de jugo de hojuela de quinua, aunque fue percibida como de textura áspera al paladar.

En síntesis, es importante hacer notar que el comportamiento de algunas especies, como el hecho de ser xerófitas y a la vez con propiedad de absorber

sales del suelo (lo cual las agrupa entre las Halófitas), les concede **la propiedad de utilizar el espacio físico de su estructura en almacén de carbohidratos, ceniza, fibra y proteína principalmente en vez de acumular agua.** Esta propiedad las sitúa entre las especies más promisorias para zonas áridas y semiáridas, no sólo como alternativa de consumo animal, sino también para consumo humano.

ALGUNOS ARBUSTOS “CONSIDERADOS” ADVERSOS AL PROCESO PRODUCTIVO

No todas las especies leñosas son útiles para el ganado, por el contrario, muchas especies se consideran plagas, especialmente en las sábanas tropicales, donde la competencia de las especies leñosas y semileñosas reduce la producción de los pastizales. Numerosos autores reportan la invasión de especies semileñosas indeseables que, al competir con el pasto en la pradera, propician instancias de riesgo de desertificación y reducción de productividad de la pastura.

El gran incremento de arbustos, es el mayor problema que encara la industria ganadera en el sur de los Estados Unidos y el norte de México (Drawe, 1977).

Incluso algunos autores sugieren que este crónico problema requiere un cambio revolucionario de técnicas de manejo para combatir los arbustos (Hodgkinson y Harrington, 1984) y muchos otros como Simanton y Frasier (1980), Knipe (1983), Young (1980), Valentine (1989), Cannon (1977), Mosher *et al.* (1973), indican que el método más rápido y eficiente es la conversión de arbustos indeseables en pasturas y otras herbáceas deseables.

Vale hacer notar que, la gran mayoría de los autores se refieren principalmente a la invasión de especies semileñosas espinosas que no representan un aporte considerable para la dieta animal. Estos arbustos mayormente pertenecen a los géneros *Prosopis* y *Larrea* (Hass y Dodd,

1972; Herbel *et al.*, 1983; Robinson *et al.*, 1970; Goen y Dahl, 1982; York y Peddie, 1969). Sin embargo, en condiciones topográficas y ecológicas diferentes y dejando de lado los aspectos nutricionales, estos arbustos son muy apreciados no sólo como elementos conservadores del suelo, sino también como fuentes energéticas para la cocina y artesanía rural, principalmente en los países en desarrollo.

LIMITANTES PARA SU USO COMO ALIMENTO

Algunos arbustos tienen altos niveles de polifenoles solubles y taninos que pueden reducir la digestibilidad y la retención de la proteína (Mould y Robbins, 1981; Nastis y Malechek, 1981; Robinson, 1982).

Atriplex canescens está clasificado en el grupo de especies vegetales nativas del norte de México y Sur de Estados Unidos como un vegetal de bajo tenor de fenoles solubles al igual que la alfalfa (Núñez *et al.*, 1989).

Esto puede traducirse en la disminución de las elevadas pérdidas de nitrógeno vía fecal en los animales.

Los resultados reportados por estos autores, muestran que la proteína encontrada en los arbustos nativos palatables es asimilable con similar eficiencia que la proteína del heno de alfalfa, "SI ESOS ARBUSTOS SON CONSUMIDOS A NIVELES MODERADOS".

El segundo objetivo de esta obra, permite evidenciar la existencia o ausencia de principios activos tóxicos que puedan constituir limitantes para la utilización de *Atriplex halimus* y *A. semibaccata* como alimento para el ganado.

Mediante análisis químico, se obtuvieron tenores de alcaloides, saponinas y taninos en muestras que incluían porciones de hojas y tallos jóvenes, habiéndose escogido tales porciones, por constituir las partes mayormente preferidas por los animales. Cada uno de los parámetros fueron determinados realizando los análisis sobre dos muestras como mínimo y luego se obtuvo el resultado final con los valores ponderados.

Los métodos empleados para la determinación de los diferentes parámetros fueron:

Alcaloides: Método cualitativo con los reactivos específicos para la prueba de alcaloides totales (Reactivo de Dragendorff, Mayer y Wagner, previas extracciones sucesivas en medio acuoso (neutro y ácido) y clorofórmico (Neutro y básico) de la muestra.

Referencia: Domínguez Jorge A. “Métodos de Investigación Fito química” p. 211.

Saponinas: Método de estimación Afro simétrica utilizando una curva patrón de saponina de 0 a 100 ppm, previa extracción acuosa de las saponinas de la muestra.

Referencia: Michael J. Koziol, *J. Sci. Food Agric.* 14th (1991)

Taninos: Método colorimétrico, lectura a 760 nm, previo desengrasado y extracción acuosa de la muestra.

Referencia: Método de Association of Official Analytical Chemists –USA (AOAC). 30.019 Edic. 14th. (1984).

Los resultados expresados en el Cuadro 19, fueron obtenidos en los laboratorios del Programa de Alimentos, Productos Naturales y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba.

CUADRO 19. Determinación de principios tóxicos en *Atriplex halimus* y *A. semibaccata*

| Parámetro | <i>A. halimus</i> en hojas y tallos | <i>A. halimus</i> en semilla | <i>A. semibaccata</i> en hojas y tallos |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| Alcaloides | No detectable | ----- | No detectable |
| Saponinas (%) | 0.30 | Negativo | ----- |
| Taninos (mg/100g) | 688.00 | ----- | 464.30 |

Fuente: Elaboración propia.

FRECUENCIA E INTENSIDAD DE EXPLOTACIÓN

Muchos estudios de niveles de podas han sido diseñados para simular las intensidades, frecuencias y estación del año cuando se acentúa la defoliación por los herbívoros. Estos estudios pueden sugerir lineamientos para los sistemas de pastoreo, pero existen numerosas diferencias entre los efectos de una poda o corte y el consumo directo del animal mediante el ramoneo o pastoreo (Culley *et al.*, 1933; Jameson, 1963). Sin embargo, existen serias limitaciones con la utilización de animales porque no siempre es posible ejecutar un buen control.

Efectos no deseados de eliminación de la vegetación en las partes de los arbustos inmediatamente superiores a la superficie del suelo ocurren generalmente en proporción a la intensidad del corte o ramoneo (Shepard 1971). Varios autores encontraron que el uso apropiado de los arbustos varía entre 20 a 75% de su volumen total, dependiendo de las especies (Aldous, 1992; Garrison, 1953).

De Bano (1957), Garrison (1953) y Shepard (1971) reportaron incrementos en ramas en sentido lateral luego de retirar del lugar ramas anuales en crecimiento de arbustos vecinos. Estos autores indicaron que la producción de plantas individuales para el ramoneo puede ser incrementada por defoliación, si la intensidad de la defoliación no es excesiva.

La cuantificación de los efectos de diferentes sistemas de manejo del pastoreo a partir de las respuestas de plantas individuales, pueden ayudar a definir y pulir ideas básicas sobre la intensidad del pastoreo y su manejo apropiado.

Price *et al.* (1989), indican que el continuo ramoneo de forwing saltbush (*Atriplex canescens*) produjo una relativa disminución del crecimiento de yemas primarias. Un alto porcentaje de yemas primarias produjeron yemas secundarias, pero como las plantas fueron ramoneadas intensamente y en forma tan frecuente, sólo unas cuantas yemas secundarias pudieron desarrollar en las primarias.

Finalmente, estos autores concluyeron que el ramoneo controlado apropiadamente en intensidad y en frecuencia, puede estimular el crecimiento de los arbustos del género *Atriplex*.

Le Houérou (1975), estimó que en Irán la capacidad de ramoneo era de una oveja/ha/año cuando se establece *Atriplex* en praderas desérticas, donde se desea fijar dunas mediante la implantación de arbustos. Mientras que en áreas sin *Atriplex* y protegidas en ese país, se estima que la capacidad de carga animal es de una oveja/4.5 ha/año.

El mismo autor indica que las áreas no protegidas de la misma zona tienen una capacidad de carga de una oveja/10-20 ha/6 meses.

Un sistema de pastoreo de duración corta puede ayudar a ejecutar etapas de descanso apropiado, pero no es necesario. Cualquier estrategia de pastoreo que provee por lo menos 60 días de receso en los inicios de la etapa de crecimiento, va a permitir un adecuado desarrollo del arbusto.

El ramoneo infrecuente, sobre períodos de 12 meses o más, favorece el desarrollo de ramas y partes maderables en relación a las partes verdes (hojas y yemas) y por consiguiente se reduce el valor pastoreable de los arbustos cuando alcanzan la madurez. Esto sucede en particular con *A. halimus* y *A. canescens* sub sp. *Linearis*.

En casos extremos de no ramoneo por 2-3 años o más, los arbustos pueden convertirse en totalmente no palatables, incluyendo para los camélidos, debido a que las pocas hojas presentes son inalcanzables por el excesivo material maderable intrínseco que hace inaccesible el consumo animal (Le Houérou, 1992).

Un buen manejo, entonces significa cortar periódicamente y racionalmente para rejuvenecer el arbusto.

Las hojas, brotes y yemas jóvenes que demuestran una mayor calidad forrajera, con mayor contenido de N y bajos tenores de cenizas y sales, son mayormente palatables y preferidas por el ganado.

Las tasas de rejuvenecimiento de hojas/tronco, pueden ser del orden de 70 a 80% hasta aproximadamente 6 meses y luego decrece lentamente (Le Houérou, 1983; 1986).

Otro atributo biológico de los arbustos salinos, respecto a su productividad y manejo, es el tiempo de vida de sus hojas. En la mayoría de las especies, especialmente *A. halimus* y *A. canescens*, el largo de vida de las hojas es de 6-9 meses, dependiendo de las condiciones locales, particularmente el stress hídrico. Esto indica que períodos de descanso mayores a 9 meses pueden significar un desperdicio en términos de utilización de forraje y una disminución en la disponibilidad de producto útil.

En algunos rodales de *A. halimus*, las ramas viejas y el material leñoso pueden dificultar el acceso de las ovejas a las hojas y ramillas tiernas. En este caso, es necesario cortar los arbustos para remover el material sobre maduro y permitir un ramoneo intenso, de manera que los animales utilicen el forraje disponible cuando es más nutritivo.

Siempre que se realicen cortes, se debe tener cuidado de evitar el ramoneo excesivo y la remoción de tejido fotosintético que pueda afectar adversamente el crecimiento y preservación de los arbustos. Es necesario investigar más para llegar al manejo óptimo de la corta/ramoneo, para asegurar el vigor y la longevidad de las especies plantas, sin reducir su papel de suplementar la alimentación del ganado en ambientes y épocas con limitaciones productivas.

Atriplex halimus se debe utilizar por pastoreo directo a partir de la segunda temporada después de plantar. La primera corta se debe hacer durante el tercer año a 10-20 cm sobre la superficie del suelo. La corta se repite cuando los arbustos se tornan leñosos o inaccesibles a los animales (Riveros, 1985).

En general, los arbustos deberían emplearse principalmente durante las temporadas de sequía, cuando la producción de las praderas es mínima. Entonces, se debería suplementar con concentrados o preparando ración mixta con granos.

Davis (1953), determinó que los efectos positivos de una defoliación apropiada declinan después de varios años si el tratamiento no es continuo.

Pieper y Donart (1978), comentan que muy pocos estudios han sido realizados para medir los efectos de la defoliación del *Atriplex canescens*. No obstante, esos estudios indican que la respuesta de esta especie es similar a otras especies de arbustos, dependiendo de la intensidad y frecuencia de la defoliación y el estado fenológico de la planta al momento de la defoliación.

Los efectos en el arbusto consumido serán estimulantes o adversos de acuerdo a estos factores (Buwai y Trlica 1977).

En Nuevo México, el vigor y la capacidad productiva de los *Atriplex* es usualmente reducida bajo un sistema de pastoreo anual continuo y las plantas que se presentan en moderadas a bajas densidades en la pastura, necesitan una estación (4 meses) de descanso cada 3 ó 4 años para mantener su población (Pieper y Donart, 1978).

RECOMENDACIONES Y TEMAS PRIORITARIOS DE INVESTIGACIÓN EN *ATRIPLEX*

Si bien es cierto, que por lo demostrado desde la primera obra en 1993 sobre la utilización de arbustos halófitos forrajeros para la zona andina boliviana y otras áreas con características similares en otros países, se ofrece una alternativa de optimización del uso de la tierra, se tiene la consciencia de que los problemas relacionados con el manejo, planificación de la producción, utilización de recursos y aspectos socio-económicos de la zona de los Andes, son de naturaleza muy variada y resultaría pretencioso pensar en ofertar una solución única.

No obstante, se recomienda enfáticamente la aproximación al conocimiento de estas especies, mediante la programación de temas priorizados de

investigación, cuyos resultados permitan sobre todo alcanzar niveles más altos de productividad.

Las resoluciones prácticas de sistemas agroforestales enmarcadas solamente dentro de un contexto intuitivo de experiencias particulares, si no están contenidas dentro del marco de la ciencia, a menudo conducen a resultados que además de frustrar la expectativa del pequeño productor de los Andes, provocan erogación de grandes montos económicos e inversiones sin ninguna expectativa de retorno aprovechable.

El dar curso a la simple intuición sin el conocimiento del método científico y la mínima comprensión de las bases de la biología, podrían constituir las causas de enormes perjuicios económicos y pérdida de valioso tiempo y recursos humanos. Un ejemplo puede ser el de pretender implantar cortinas rompe vientos con especies de hoja caduca.

Precautelando aspectos de precisión y eficiencia exigidos por la investigación, seguidamente resta cumplir un requisito indispensable de toda experimentación que se realice en la zona de los países andinos. Este importante crisol consiste en la practicidad o aplicabilidad de los resultados de la investigación para la solución de problemas prioritarios que, en esta región en particular, se traducen en actividades agropecuarias y forestales.

En este entendido, algunos de los temas agrosilvopastoriles que se requieren estudiar y experimentar como base para optimizar la productividad son los siguientes:

- Factores que determinan el rendimiento sostenido (a corto y largo plazo) y la productividad de especies arbustivas.
- Adaptación ecológica de las principales especies de *Atriplex* forrajero.
- Estudios de densidades de plantación, incluyendo el diagramado en áreas de vegetación mixta.
- Métodos de optimización de la siembra directa para reducir costos de establecimiento.

- Determinación de las mejores épocas y tratamientos para la producción y germinación de semillas.
- Sistemas de corte o poda de arbustos en diferentes épocas.
- Determinación de índices de tolerancia de las especies de uso agroforestal a temperaturas extremas, efectos de altitud, salinidad y pH del suelo.
- Definición de los mejores métodos de pastoreo, ramoneo y manejo ganadero en establecimientos arbustivos.
- Sostenibilidad de sistemas de producción combinada de cereales y rumiantes menores, incluyendo arbustos halófitos en prácticas agroforestales.
- Estudio de efectos antagónicos o sinérgicos de las combinaciones agroforestales donde interactúan especies herbáceas con leñosas y semileñosas (experimentaciones bajo dosel).
- Métodos de propagación clonal y vegetativa mediante técnicas de cultivo de tejidos de las especies utilizadas en programas de rehabilitación de tierras, preferencia animal y valor nutritivo.
- Selección de caracterización de individuos con caracteres heredables deseables para diferentes ecotipos regionales.
- Relación lignina, fibra y digestibilidad en sistemas de ramoneo.
- Determinación de índices de selectividad y palatabilidad bajo distintas condiciones de producción en diferentes especies animales.
- Factores de pérdida de disponibilidad forrajera (pisoteo, ramoneo, consumo de fauna silvestre y otros).
- Variación de ganancias de peso en rumiantes en diferente estado fisiológico y a distintas intensidades de ramoneo en *Atriplex* sp.
- Consumo voluntario promedio de MS/especies ganaderas.
- Respuesta ovárica al estímulo alimenticio con *Atriplex* en época de celo para incrementar la eficiencia reproductiva del ganado.
- Conformar una colección de trabajo de las especies de *Atriplex* del altiplano

- Investigación de la biología reproductiva y fisiología de la semilla de las especies de *Atriplex*.
- Desarrollar métodos de siembra directa y/o trasplante de especies de *Atriplex* en zonas áridas e hiper áridas, así como en suelos salinos.
- Establecer estrategias para sistemas de forrajicultura biosalina en las zonas de altitud y baja disponibilidad hídrica, como el altiplano boliviano.
- Completar mapas nacionales o regionales de poblaciones de *Atriplex*, en diferentes lugares desérticos y semi desérticos de América.
- Determinar ritmos, rangos y fases de crecimiento y desarrollo de los arbustos, para estimar la biomasa disponible por planta y unidad de superficie, de diferentes especies de *Atriplex*, con potencial forrajero, para derivar en recomendaciones de carga animal óptima y balance forrajero en praderas biestratificadas.
- Mayor conocimiento de crecimiento y desarrollo influidos por fototropismo y gradientes de temperatura en distintas épocas del año y distintos ecosistemas áridos y semiáridos.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

La seria y prometedor alternativa de incluir especies Halófitas arbustivas forrajeras, bajo prácticas y sistemas agroforestales con carácter productivo, en los ecosistemas salinos, alcalinos y semiáridos de la zona andina en general, enfatizando el territorio boliviano en particular, se ve favorecida por múltiples factores que incluyen los siguientes puntos:

- La creciente tendencia de la demanda de alimentos, obliga a buscar recursos económicos para la producción, optimizándose la utilización de los recursos naturales renovables de las regiones áridas y semiáridas.
- Los atributos fisiológicos, ecológicos, bioquímicos, anatómicos y morfológicos de los *Atriplex* conceden una probabilidad más para generar ecosistemas apropiados.

- La estabilidad de un determinado ecosistema se genera a través de la diversidad, la misma que resulta imprescindible cuando las condiciones de mercados, precios, climas, plagas, enfermedades y hábitos alimenticios son cambiantes e impredecibles.
- La forma vital de las nanofanerófitas puede permitir ocupar nichos ecológicos no competitivos, debido a que los mismos se hallan desocupados por otras formas de vida.
- Los arbustos forrajeros tienen mayor rusticidad, tolerancia y resistencia a la sequía en relación a otros grupos de plantas forrajeras.
- La introducción de arbustos de *Atriplex* en los CANAPAS con predominancia de especies anuales residentes, permite contar con un segundo estrato vegetal y, por lo tanto, duplicar la productividad. No obstante, es necesario investigar la adaptación de diferentes especies.
- La implantación de extensos arbustales que proveen de cobertura verde a suelos anteriormente desnudos y frágiles, producen gradual y sustancial mejoramiento del microclima regional, con lo cual también mejora el crecimiento de los estratos subordinarios.
- Los ecosistemas provistos de un estrato arbustivo, tienen ciclos biogeoquímicos más eficientes.
- El crecimiento de los arbustos halófitos y su desarrollo fenológico, ocurre en épocas diferentes que el de las demás especies de la comunidad vegetal en la pradera.
- La disponibilidad de biomasa forrajera arbustiva de las especies de *Atriplex*, permite racionalizar la estacionalidad de la producción.
- Los *Atriplex* representan bajos costos de almacenamiento del forraje producido en las épocas de abundancia, para disponer de alimento durante épocas de escasez.
- El contenido proteico de las plantas del género *Atriplex* es mayor que en otros componentes de los CANAPAS.
- Los coeficientes de digestibilidad que presentan los *Atriplex* en diversas especies animales, son altos.

- Los arbustos de *Atriplex* son de mejor palatabilidad para el ganado.
- La selectividad de diferentes especies de *Atriplex* por los rumiantes y pseudo-rumiantes (camélidos sudamericanos) es altamente evidenciable.
- Las halófitas tienen la propiedad de absorber sales y minerales del suelo, lo que beneficia a los animales que las consumen, ya que ellos no pueden extraer ni sintetizar estos elementos benéficos existentes en las capas del suelo y/o subsuelo.
- La particular propiedad de desalinizar los suelos constituye un arma potencial para convertir suelos marginales en áreas productivas.
- Los *Atriplex* cobran gran significancia en la recuperación de áreas degradadas, incorporándolas a corto y mediano plazo al proceso productivo.
- Los *Atriplex* son útiles componentes en protección de taludes y otras obras mecánico-biológicas.
- Estas Halófitas de múltiple utilidad también se consideran hábiles en la retención del proceso desertificador.

Es necesario hacer notar que cada uno de estos elementos fueron minuciosamente meditados y analizados por los autores de la presente obra, y que los mismos hallan asidero y común acuerdo con lo expresado por las principales autoridades científicas de diversos países del mundo en este preocupante y prioritario ámbito de estudio.

Con el temor de obviar involuntariamente la mención de varios, quienes merecen toda admiración y respeto, no se puede evitar de citar a algunos como A.D. Wilson, A. Olivares, J. Gasto, H. Le Houérou, A. Franclet, H. Stutz y otros científicos a quienes reconocemos y rendimos homenaje como a seres que contribuyen a mejorar el nivel de vida de los habitantes de este planeta. Mención especial a la calidad humana y científica del Dr. Rex D. Pieper, ilustre maestro personal de la asignatura de Range Management Techniques en la maestría de Animal Science, and Range Management, New México State University, USA.

BIBLIOGRAFÍA

- Abrol, I.P., Yadav, J.S.P., Massoud, F.I.,** 1988. Salt-affected soils and their management. FAO Soils Bulletin 39.
- Adair, LS., D.I. Andrews, J. Caimey, E.A. Funkhouser, R.J. Newton, and E.F. Aldon.** 1992. Characterizing gene responses to drought stress in fourwing saltbush (*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt). J. Range Manage. 45(5):454-461.
- Agronoticias. 2013.** Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe (FAO). En línea. Disponible en: <https://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/512459/>
- Aldon E.F.** 1984. Methods of establishing fourwing saltbush (*Atriplex canescens*) on disturbed sites in the southwest. P. 265-268. In: A.R. Tiedman, E.D. Mc Arthur, H.C. Stutz, R. Stevens and K.L. Johnson, (Eds.) Proc. Symp. on the Biology of *Atriplex* and related *Chenopods*. May 2-6, 1983. Provo. Ut. USDA, Forest Serv., Intermtn. Forest and Range Exp. Sta., Ogden, Ut. Gen. Tehn. Reg. INT-172.
- Aldous, S.E.** 1992. Deer browse clipping study in the Lake States Region. J. Wildl. Manage. 16:401-409.
- Alfaro D., G. y Acha, M.** 1992. Hacia la valorización de los cultivos andinos. II Seminario departamental de cultivos andinos. 14-15 de diciembre, Cochabamba.
- Alipayo, D., R. Valdez, J.L. Holechek, and M. Cárdenas.** 1992. Evaluation of microhistological analysis for determining ruminant diet botanical composition. J. range Manage. 45:148-152.
- Alzerreca H.** 1992. Degradación y Alteración de ecosistemas altoandinos de Bolivia. I Curso de Conservación de la naturaleza en Iberoamérica. IBTA/SR-CRSP. La Paz, Bolivia.
- Alzerreca, H. y Jeréz, B.** 1990. Análisis y propuestas para el manejo de especies nativas, pasturas y ganadería en la comunidad de Japo. Serie técnica No. 20. AGRUCO. 38 P.
- Alzerreca, H.** 1989. La ganadería en los sistemas de producción de pequeños productores campesinos de la zona andina. Acidean Development Thrust. Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (CIID). La Paz, Bolivia. 39 p.
- American Soc. Foresters.** 1950. Forest Terminology: a glossary of technical terms used in forestry. Washington, D.C.

- AOAC.** 1975. Official Methods of Analysis (12th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- AOAC.** 1984. Official Methods of Analysis (14th Ed.) Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Arancibia B. J., E. Tejada, R. Guzmán y J.L. Delgado.** 1992. Evaluación de áreas silvopastoriles en la región andina de Cochabamba. **In:** XI Reunión Nacional de ABOPA, Oruro, Bolivia.
- Arentsen, O.J.** 1972. Absorción foliar de humedad atmosférica y relaciones hídricas en *Atriplex semibaccata* y *Atriplex repanda* Phil. Tesis Ing. Agr. Santiago, Facultad Agronomía, Universidad de Chile. 49 p.
- Arieli, D., E. Naim, R.W. Benjamin and D. Pastemak.** 1989. The effect of feeding saltbush and sodium chloride on energy metabolism in sheep. *Anim. Prod.* 40:452-57.
- Arnold, G.W., J.M. Ball, W.R. Manns, and I.G. Busch.** 1966. Studies on the diet of the grazing animal. I seasonal changes on the diet of sheep grazing on pasture of different availability and composition. *Aust. Jour. Agric. Resch.* 17:543-556.
- Arthun, D., Holechek, J.L. Wallace, J.D. Galyean, M.L. Cardenas, M. and Rafique, S.** 1992. Forb and Shrub influences on steer nitrogen retention. *J. Range Manage* 45: 133-135.
- Askins, G.D. and Turner, E.E.** 1972. A behavioral study of Angora goats on West Texas Range. *J. Range Manage.* 25(2):82-87.
- Augstburger, F.** 1990. El manejo del Ganado en una comunidad campesina. Desarrollo y medio ambiente. Cooperación Técnica Suiza. La Paz, Bolivia. Pp 25-27.
- Benjamín, R.W., E. Oren, and E. Katz.** 1987. Apparent digestibility of *Atriplex barclayana* and the nitrogen balance of sheep consuming this shrub p. 7-35. **In:** Analysis of animal nutrition in shrub-grassland grazing systems with special reference to semiarid Africa. Prog. Rep. BGUNARI-41-87. The Inst. For Appl. Res. Ben-Gurion Univ. of the Negev. Beer-Sheva, Israel.
- Berte, Ch. y Pretel J.** 1985. Los *Atriplex*, posibilidades para su revalorización en la zona de Cajamarca, Perú. Centro de Investigación y capacitación forestal (CICAFOR). Cajamarca. 43 p.
- Bille, J.C.** 1978. Role des arbres et arbustes en tant que source de protéines dans la gestión des paturages d'Afrique Tropicale. Eighth World Forest. Congr., Jakarta. Mimeo. 16 p.
- Birhuet, D.** 1985. (Comunicación personal). Cátedra de Ovinotecnia. Departamento de Zootecnia y producción animal. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. UMSS.

- Black, R.F.** 1954. The anatomy of Australian members of the genus *Atriplex*. I *Atriplex vesicaria*. Heward and *A. nummularia*. Lindl. Austral. Jour. Bot. 2:269-286.
- Blanco, S.** 2003. Adaptabilidad de tres especies de *Atriplex* sp. en suelos degradados Valle Grande. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 108 p.
- Blancou, J., H. Calvet, D. Friot, et J. Valenza.** 1977. Composition du paturage naturel consommé par les bovins en milieu tropical: Note sur une technique d'étude nouvelle. Colloque sur les recherches sur l'élevage bovin en zone tropicale humide, Bouaké, Côte d'Ivoire. Mineo 10 p.
- Blanchemain, A.** 1964. Conditions et possibilités pour un meilleur élevage de chèvres. Goat Raising Seminar FAO, Robe, mimeo. 11 p.
- Bleasdale, J.K. and J.A. Nelder.** 1960. Plant population and crop yield. Nature 198:342.
- Bonifacio A.** 2022. La diversidad de leguminosas, arbustos y pastos multipropósito del agroecosistema de la quinua en el altiplano árido de Bolivia. Tesis Académico de Número. Academia Nacional de Ciencias de Bolivia. La Paz, Bolivia. 59 p.
- Bonifacio, A. y Cayoja, M.** 1998. Pruebas de germinación y propagación vegetativa de especies de *Atriplex*. Revista Latinoamericana de Agricultura y Nutrición 1(3): 2-7.
- Bonifacio A., Aroni G., Villca M.** 2018. Adaptación y perspectivas de aprovechamiento del lupino Silvestre en sistemas de producción del altiplano. Revista de Agricultura 57: 10-18.
- Bonifacio A.; Aroni G.; Villca M.; Alcon M.; Ramos P. y Chambi L.** 2014. Los arbustos nativos y las perspectivas de su contribución a la sostenibilidad de la producción de quinua. Revista de Agricultura 54:73-83
- Bordon, A.** 1988. Forrajeras naturales. In: FAO ed. Desmonte y habilitación de tierras en la región chaqueña semiárida. Santiago, Chile. P. 56-84.
- Bohman, U.R. and A.L. Lesperance.** 1967. Methodology research of range forage evaluation. J. Anim. Sci. 26: 820-826.
- Böhner, T; Luebert, F. & Weigend M.** 2018. *Atriplex retusa*, the correct name for *A. deserticola* (Chenopodiaceae; Amaranthaceae sensu APG). Phytotaxa 373 (1): 095-09
- Bravo, C.** (xxxx) Cultivo *in vitro* de *Atriplex halimus*. Tesis de grado de ingeniero forestal. Universidad de Chile, Facultad de ciencias agrarias y forestales, Escuela de ciencias forestales, departamento de silvicultura. Santiago de Chile. 57 p.

- Brignone, N.F.; Denham, S.; Pozner, R.** 2016. Synopsis of the genus *Atriplex* (*Amaranthaceae, Chenopodioideae*) for South America. *Australian Systematic Botany* 29: 324-357.
- Brownell, P.F.** 1965. Sodium as an essential micronutrient for a higher plant (*Atriplex vesicaria*). *J. Plant Physiology* 40 (3): 460-468.
- Brownell, P.J. y C.J. Crossland.** 1972. The requirement for sodium as a micronutrient by specie having the C4 dicarboxylic photosynthetic pathway. *J. Plant Physiology* 49 (5): 794-797.
- Bryant, F.C., M.M. Kothmann, and L.B. Merrill.** 1979. Diets of sheep, Angora goats, Spanish goats, and whitetailed deer under excellent range condition. *J. Range Manage.* 32:412-417.
- Bunzli, B.** 2007. Introducción de arbustos forrajeros en la comunidad Mapuche Gramajo. *LEISA Revista de Agroecología.* 22.4
- Buwai, M., and M.J. Trlica.** 1977. Multiple defoliation effects on herbage yield, vigor and total nonstructural carbohydrates of five range species. *J. Range Manage.* 30:164-171.
- Campero, S.; F. Condori; G. Ayala y B. Choquetopa.** 2018. Manual hacia una Agricultura Resiliente para la Seguridad Alimentaria con Soberanía. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, SAT. La Paz, Bolivia. 184 p.
- Cárdenas, M.** 1971. El Altiplano como un Sistema ecológico. **In.** Proyecto de Pasturas de los Andes Altos. I. Reunión. Ministerio de Agricultura. IICA Zona Andina. La Paz, Bolivia. Pp. 58-65.
- Cardozo, A.; E. Tejada; X. Medinaceli; M. Sequeiros; A. Stemmer; A. Valle Zarate; O. Aguirre; A. Canqui; A. Claros; S. Copa; R. Foronda; Z. Martínez; R. Puch; y T. Rodríguez.** 2007. Los Camélidos. La Paz, Bolivia. 466 pp.
- Carrillo, E. y Parra M.A.** 2011. Producción y Valor Nutritivo de Forraje de *Atriplex* en un Suelo Salino. *Biotecnia; Vol XIII, No 2 (Año 2011).* Universidad de Sonora. <http://dx.doi.org/10.18633/bt.v13i2.86>
- Cannon, L.** 1977. Brush clearing on southwestern Oregon hill pastures with silvex *Down the Earth.* 33(1):20.
- Centro de Investigación y Servicios en Teledetección, CISTEL.** 1990. Una nueva visión de los recursos Agroforestales en Bolivia. El aporte de la teledetección. Universidades Mayor de San Simón y Sherbrooke. Cochabamba. 16p.
- Charreau, C. et P. Vidal.** 1965. Influence de l'acacia albida sur le sol: nutrition minérale et rendement des mils Pennisetum. *L'Agron. Trop.* Paris. Sp.

- Chatterton, N.J., J.R. Goodin, C.M. McKell, R.V. Parker, and J.M. Rible.** 1971. Monthly variation in the chemical composition of desert saltbush. *J. Range Manage.* 24:55-56.
- Chávez, B.,** 2009. Producción de Plantines de tres Especies de *Atriplex* en Condiciones de Vivero, en la Comunidad de Amachuma, Provincia Murillo. Trabajo Dirigido. Universidad Mayor de San Andrés. 97 p.
- Chiagra, X** 2002. Suplementación invernal con zampa (*Atriplex nummularia*) y tuna (*Opuntia ficus indica*) en cabras criollas. E.E.A. INTA Junín, Centro Regional Cuyo. Sitio Argentino de Producción Animal. www.produccion-animal.com.ar. P. (1-2).
- Clark, D.A., M.G. Rolston, and N. Dymonk.** 1982. Diet selection by goats and sheep on hill country. *Proceeding of the New Zealand Society of Animal Production*, 42:155-157.
- Columba, M., G. Arze and E. Tejada.** 1996. High Altitude Reclamation In. a Gold Mine – Kori Kollo Mine, Oruro- Bolivia. Gold Mineries Meeting. Australia. 18 p.
- Cook, C.W. and L.E. Harris.** 1968. Nutritive values of season ranges. *Utah Agr. Exp. Sta., Utah State Univ., Bull.* 472. 55p
- Cordier, J.** 1974. De la composition de quelques produits fourrages tunisiens et de leur valeur dans l' alimentation des outons. *Ann Serv. Bot. Agron. Tun.* 20:25-108.
- Crampton, E.W., E. Donefer y L.E. Lloyd.** 1960. A nutritive value index for forages. *J. Anim. Sci.* 19:538-544.
- Culley, M.J., R.S. Campbell, and R.H. Canfield.** 1933. Values and limitations of clipped quadrats. *Ecology* 14:35-39.
- Davis, C.W.** 1953. Clipped plots on Annie Creek and Hyster Experimental areas for 1952. South Dakota Dept. Game, Fish and Parks P-R Project 12-R-10. Completion report.
- De Bano, L.F.** 1957. The effects of season and degree of use on the physiological response and nutritive content of desert forage plants. M.S. Thesis. Utah State Univ. In: R.E. Sosebee (Ed.). *Rangeland Plants Physiology. Soc. Range Manage. Range Sci. Series No. 4.*
- Díaz, T.; Barrero, D. y Tejada, E.** 2017. Cambio Climático, Desastres Abióticos y sus Impactos sobre la Salud Animal, Salud Pública y la Seguridad Alimentaria en América Latina y el Caribe. *Bienestar Animal y Seguridad Alimentaria en las Américas.* Universidad de Guadalajara, México.
- Di Marco, A.O.** 1973. Consume y preferencia ovina estacional al aumentar la intensidad del pastoreo en un bioma biestratificado con *Atriplex repanda*. Tesis M.S.

Santiago, Universidad de Chile. Programa para graduados en Cs. Agropecuarias y Forestales de Chile. 89 p.

- Drawe, D.L.** 1977. A study of five methods of mechanical brush control in South Texas. *Rangeman's J.* 4 (2):37-39.
- Draz, O.** 1980. Range and Fodder Development. Syrian Arab Republic. AG: DP/SYR/68/001, FAO, Roma.
- Duchens, S.H. y F.J. Cuneo.** 1980. Utilización por ovinos de una pradera natural biestratificada con *Atriplex repanda* Phil. durante el último tercio de gestación. Tesis Ing. Agr. Santiago. Facultad de agronomía Universidad de Chile. 86 p.
- Duffey, E., M.G. Morris, J. Scheall, L.K. Wad, D.A. Wells, and T.C.F. Wells.** 1974. Grassland ecology and wildlife management. London, Chapman Hall. 281 p.
- Duncan, W.G.** 1958. The relationship between corn population and yield. *Agron. Jour.* 50:82-84.
- Dunford, M.P.** 1984. Cytotype distribution of *Atriplex canescens* (*Chenopodiaceae*) of southern New Mexico and adjacent Texas. *The Southwest Natur.* 29:223-228.
- Dwyer, D.D. and H.C. De Garm.** 1970. Greenhouse productivity and water-use efficiency of selected desert shrubs and grasses under four soil-moisture levels. *New Mexico State Univ. agr. Exp Bull.* 570.
- Elías, C.E. y D.J. Ramírez.** 1973. Influencia de diferentes densidades de plantación en el rendimiento de naranjo cultivar. Valencia, Nuevo León. *Agric. Tecn. México.* 3:223-232.
- Elleberg, H.** 1983. Desarrollar sin destruir, respuestas de un ecólogo a 15 preguntas de Agrónomos y planificadores bolivianos. Instituto de Ecología-UMSA, La Paz, Bolivia. 55p.
- Erwin, K. and J.P. Dobrowolski.** 1992. Dynamics of shrub die-off in a salt desert plant community. *J. Range Manage* 45(2): 194-199.
- Etienne, M.** 1978. Amelioration des conditions de parcours et des pâturages naturels pour la production de proteins animals en zone montagnaise de Corse. Eighth World For. Congr. Vol. Contr., Item 10, Jakarta. Mimeo 15p.
- Everist, S.L.** 1972. Wildland Shrubs, their biology and utilization, USDA. Forest Serv. Gen. Techn. Re. INT-1. In: Mc. Kell, Blaisdell and Goodin, Australia, pp. 16-25.
- FAO.** 2022. <https://www.fao.org/newsroom/detail/1-billion-dryland-like-hectares-under-threat-fao-study-confirms/es>
- FAO.** 2021. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/gssmap>
<https://www.fao.org/events/global-symposium-on-salt-affected-soils/es>.

- FAO/IIASA/ISRIC/ISS/JRS/**, 2008 <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/ru/>
- FAO.** 1974. The ecological management of Arid and semiarid Rangelands in Africa and near, and Middle East, report of an expert consultation. 47 p. AGP: Misc/26, FAO, Rome.
- Fernandez & Jonhston**, 1978. Efecto de la testa en la germinación de *Atriplex repanda* Phil. I. Entrada de agua a la semilla. Phytion 36: 97-102.
- Fernández, H.G.** 1978. Influencia de la edad en la germinación de *Atriplex repanda*. Phytion 36(2):111.-115
- Ferrer, I., E. Silva y R. Barriga.** 1975. Preparación de un concentrado proteico de *Chenopodium álbum*. VII Jornadas de Química, Valparaíso.
- Fox, J.E.** 1984. Rehabilitación of Mined Lands. Review Article Forestry Abstracts 45 (9):565-600.
- Franclét, A. y H. Le Houérou.** 1971. Les *Atriplex* en Tunisie et en Afrique du Nord. Rome FAO. 249 P.
- Frankton, C., and I.J. Bassett.** 1970. The genus *Atriplex* (*Chenopodiaceae*) in Canada. II. Four native western annuals: *A. argentea*, *A. truncate*, *A. powelli* and *A. dioica*. Ca. J. Bot. 48:981-989.
- Gargano, L.A.** 1978. Influencia de algunas variables de suelos del Norte Chico en el crecimiento inicial de *Atriplex repanda* Phil. tesis M. Sc., Universidad de Chile. Santiago. 75p.
- Garrison, G.A.** 1953. Effect of clipping on some range shrubs. J. Range Manage. 6:309-317.
- Gasto, J. y D. Contreras.** 1972. Análisis del potencial pratense de Fanerófitas caméfitas en regiones mediterráneas de pluviometría limitada. Bull. Tech. Fac. Agr. Univ. de Chile. Santiago. 35:30-59.
- Gasto, J.** 1978. Los árboles y arbustos en el manejo de pastos naturales, con referencia particular a la producción de proteína. Eighth World Forest. Congre., Jakarta. Mimeo. 21p.
- Giffard, P.L.** 1972. Role de l'acacia albida dans la regeneration des sols en zone tropicale aride. VII Congr. For. Mond., Buenos Aires. Sp.
- Giorgetta M.,** (s.f.) Giorgetta.ch/fl_amaranthaceae, En línea disponible en: https://giorgetta.ch/fl_amaranthaceae_atriplex_nitrophiloides.htm
- Glenn, E.P., and J.W. O'Leary.** 1984. Relationship between salt accumulation and water content of dicotyledonous halophytes. Plant cell Envir. 7:253-261.

- Goen, J.P., and B.E. Dahl.** 1982. Factors affecting budbreak in honey mesquite in West Texas. *J. Range Manage.* 35(4): 533-534.
- Goodin, J.R.** 1984. Assessment of the potential of halophytes as energy crops for the electric utility industry. *Elect. Power Res. Inst. Palo Alto, Calif.* AP-3687.
- Gould, W.L.** 1982. Wind erosion curtailed by controlling mesquite. *J. Range Manage.* 35(5):563-566.
- Granier, P.** 1975. Note sur l'introduction des techniques d'amlioration de la productivité de l'élevage en zone sahélienne. Mimeo 37 p. IEMVT, Maisons alfort sp.
- Greenway, H., and R. Munss.** 1980. Mechanisms of salt tolerance in Nonhalophytes, Department of Agronomy University of Western Australia, *Planta Physiology.* 31: 149-190.
- Gutiérrez G., J.M.E.** 1993. Alimentación balanceada peletizada para conejos Angora con Xerófitas forrajeras. Tesis Ing. Agr. Facultad Cs. Agr. y Pec. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba. 124 p.
- Has, R., and J. Dodd.** 1972. Water stress patterns in honey mesquite. *Ecology* 53:674-680.
- Hanson, HC.** 1950. Ecology of the grassland II. *Bot. Rev.* 16:283-360.
- Harardine, A.R. and A.L. Jones.** 1985. Control of gorse regrowth by Angora goats in the Tasmanian midlands. *J. Austr. Exp. Agric.* 25:550-556.
- Harrington, G.N.** 1979. The effects of feral goats and sheep on the shrub populations in a semi-arid woodland. *J. Austr. Rangeland* 1(4):334-345.
- Hassan, N.L., and H.M. Abdel Aziz.** 1979. Effect of Barley supplementation on the nutritive value of saltbush, *Atriplex nummularia*. *World Rev. Animal Prod.* 15:47-55.
- Hennessy, J.T., R.P. Gibbens, J.M. Tromble, and M. Cardenas.** 1983. Vegetation changes from 1935 to 1980 in Mesquite dunelands and former grasslands of Southern New Mexico. *J. Range Manage.* 36(3):370-374.
- Herbel, C.H., W.L. Gould, W.F. Leifeste, and R.P. Gibbens.** 1983. Herbicide treatment and vegetation response to treatment of mesquites in Southern New Mexico. *J. Range Manage.* 36 (2):149-151.
- Hervé D., Ledezma R., Orsag V.** 2002 (eds.). LIMITANTES y MANEJO DE LOS SUELOS SALINOS Y/O SÓDICOS EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO. IRD, CONDESAN, Talleres gráficos Pérez. La Paz. Bolivia. 266 p.
- Hodgkinson, K.C. and G.N. Harrington.** 1985. The case of prescribed burning to control shrubs in eastern semi-arid woodlands. *J. Austr. Rangel.* 7(2):64-74.

- Holechek, J.L., Vavra, M. and Pier R.D.** 1982. Methods for determining the nutritive quality of range ruminant diets: A review. *J. Animal Science* 54:363-375.
- Holechek, J.L., R.D. Pieper, and C.H. Herbel.** 1989. Range management principles and practices. Prentice-Hall Publ. Co., Englewood Cliffs, N.J.
- <https://www.fao.org/events/global-symposium-on-salt-affected-soils/es>.
- <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>
- https://www.un.org/es/events/desertification_decade/background.shtml
- <http://www.bolivianland.net/>.
- <http://bolivianing.com/bolivia>
- <http://labiodiversidadenbolivia.com>
- <http://www.ine.gob.bo/pdf/boletin/>.
- <http://www.paginasiete.bo/economia>.
- <http://www.elpaisonline.com>
- <https://bolivia.wcs.org>
- <https://www.fao.org/newsroom/detail/1-billion-dryland-like-hectares-under-threat-fao-study-confirms/es>
- Huss, D.L.** 1979. The rangeland and Fodder Crop Situation and Prospects for Development in the United Arab Emirates, FAO/RNEA. Cairo.
- Huss, D.L., Bernardon, A.E. y Anderson, D.L.** 1986. Principios de manejo de praderas naturales. INTA-FAO, Santiago de Chile. 370 p.
- Huss, D.L., J.M. Zertuche, J.L. Juarez de Leon, and C. Carrera.** 1970. Informe sobre proyecto de experimentación para el aprovechamiento con ganado caprino de zonas con vegetación de tipo matorral alto sub-perennifolio en la región de Linares, N.L. Typed report Dept. Zootecnia, ITESM. Monterrey, Mexico: 48 p.
- Hyder, S.Z.** 1981. Preliminary Observations on the performance of some exotic species of *Atriplex* in Saudi Arabia. *J. Range Manage.* 34 (3): 208-211.
- IANAS:** 2017. Retos y Oportunidades de la Seguridad Alimentaria en las Américas: El punto de vista de las Academias de Ciencias. Versión en español: <http://www.ianas.org/docs/books/fnb06.pdf>
- Ibisch, P. L., S.G. Beck, B. Gerkmann & A. Carretero.** 2003. La diversidad biológica. Pp. 47-88. **En:** Ibisch, P. L. & G. Mérida (eds.) Biodiversidad: La Riqueza de Bolivia. Fundación Amigos de la Naturaleza, Santa Cruz.
- INE,** 2022. Instituto Nacional de Estadística. (INE) Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.gob.bo/>

- INE, Instituto Nacional de Estadística Bolivia.** 2015. Censo Agropecuario 2013 Bolivia. [Online] Instituto Nacional de Estadística Bolivia Available at: http://www.ine.gob.bo/pdf/cna_BOLIVIA_final.pdf [Accessed Enero 2017].
- Jameson, D.A.** 1963. Evaluation of the responses of individual plants to grazing, p. 109-116. In Range Research Methods. USDA Misc. Pub. 940. 172p.
- Kirmse, D.R.** 1985. Evaluación del rendimiento en forraje y valor nutritivo de árboles y arbustos. **In:** Estado actual del conocimiento sobre Prosopis tamarugo. Chile pp. 411-416.
- Knipe, O.D.** 1983. Effects of Angora goat browsing on burned-over Arizona chaparral. Rangelands 5(6):252-255.
- Knoess, K.H.** 1977. The camel as a meat and milk animal. World Animal Review. FAO, Rome. 22:3-8.
- Kozlowski, T.T.** 1972. Seed Biology Vol. I. Importance development and germination. Academic Press. N.Y.
- Lachover, D. y Tadmor, N.** 1965. Etude qualitative de *L'Atriplex halimus* comme plante fourragère poussant dans le conditions semi-arides d'Israel. L'Agronomie Tropicale. 20:11-16.
- Lailahacar, K.S.** 1976. Effect of soil parameters on the components of biomass production in *Atriplex polycarpa* (Torr.) Wats, and *Atriplex repanda* Phil. Tesis Ph.D. University of California, Davis. 57 p.
- Leitch, I.** 1940. The feeding of camels. Imperial Bureau of Animal Nutrition, Technical Communication No. 13.
- Le Houérou, H.N.** 1992. The role of saltbushes (*Atriplex* spp.) in arid land rehabilitation in the Mediterranean Basin: a review. Agroforestry Systems 18: 107-148.
- Le Houérou, H.N.** 1991. Relations entre la variabilité des précipitations et celles de la production primaire et secondaire en zone aride. **In:** Le Floc'h E, Grouzis M., Cornet A. and Bille J.C., eds. L'aridité, une contrainte au développement. Coll "Didactiques": 193-216, ORSTOM, Paris.
- Le Houérou, H.N.** 1990. Criteria for plant selection. **In:** Mc Kell M et al., eds. The improvement of tropical and subtropical rangelands, ch. 8, pp 186-209. National Academic Press. Washington D.C.
- Le Houérou, H.N. and Pontanier, R.** 1987. Les plantations Sylvo-pastorales dan la zone aride de Tunisie. Notes techniques du MAB, No. 18, UNESCO, Paris. 81pp.
- Le Houérou, H.N.** (Ed.) 1980. International Symposium on Browse in Africa. International Livestock Centre for Africa (ILCA). Addis Abeba 8-12 April.

- Le Houérou, H.N.** 1978. El papel que desempeñan los árboles y arbustos en el manejo de pastos naturales, con referencia particular a la producción de proteína. Eighth World Forestry Congress, Jakarta, Indonesia. 35p.
- Le Houérou, H.N.** 1977. Biological recovery versus desertization. In: Johnson DL, ed, The Human Face of Desertization. Economic Geography: 53(4): 413-420.
- Le Houérou, H. N.** 1975. Report on a Consultation Mission to the Range Organization of Iran. FAO, Roma.
- Houérou, H.N.** 1971. Africa. The mediterranean región. In: Mc Kell, C.M. *et al.* Wildland. Shrubs. Their biology and utilization. Internat. Sympt. Utah State Univ. Logan, Utah. 26-36.
- Le Houérou, H. N.** 1965. Les cultures fourragères en Tunisie. Doc. Techn. No. 13, Inst. Nat. Rech. Agron. De Tunisie, 81 pp.
- Ley N° 300.** 2012. Ley marco de la madre tierra y desarrollo integral para vivir bien. Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia, Edición N° 0432. 44 p.
- Ley N° 071.** 21 de diciembre de 2010. Ley de derechos de la madre tierra. Gaceta Oficial de Bolivia. 5 p.
- Liaccos, G.L. and Ch. Mouloupoulos.** 1967. Contribution to the identificatio of some range types of *Quercus coccifera*. Univ. of Tessalonicki. 54p.
- Macías, M. y M. Dowell W.** 1990. Erosión y escurrimiento en el área de Aiquile: su magnitud e impacto en la degradación de las tierras. Informe preliminar de las investigaciones aplicadas de la Unidad de Conservación de Suelos y Aguas. Programa de Desarrollo Alternativo Regional. Cochabamba, Bolivia. 32p.
- Maignan, F.** 1968. Rapport au Gouvernement de l'Algerie sur les problemas posés par l'amélioration des productions fourrageres et pastorales. FAO, Roma.
- Malcolm, C.V.** 1969. Use of halotypes for forage production on saline Westlands. J. Australian Inst. Agr. Sci. 35:38-49.
- Malcolm, C.V.** 1976. Establishing shrubs in saline environments. Tech. Bull. 14, Dept. of Agric., West Australia, Perth. 37 p.
- Malechek, J.C. and C.L. Leinweber.** 1972. Forage selectivity by goats on lightly and heavily grazed ranges. J. Range Manage. 29:9-12.
- Masri, A.** 1983. Range Management and Stabilization of Nomadic Sheep Husbandry. Proyecto FAO/UNDP/JOR/79/010, FAO, Roma.
- Mc Arthur, E.D., R. Stevens, and A.C. Blauer.** 1983. Growth performance comparison among 18 accessions of *Atriplex canescens* at two sites in central Utah. J. Range Manage. 36:78-81.

- Mc Daniel, K.C. and J.A. Tiedeman.** 1981. Sheept use on mountain winter range in New Mexico. *J. Range Manage.* 34 (2): 102-104.
- Medrano, A.; Torrico, J.** 2009. Consecuencias del incremento de la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el altiplano sur de Bolivia *CienciAgro* 1(4): 117-123.
- Mendoza, J.** 2001. Introducción de *Atriplex deserticola* Phil bajo tres densidades de plantación en el altiplano norte de La Paz. 58 Pag.
- Merrill, L.B., and C.A. Taylor.** 1976. Take note of the versatile goat. *Rangeman's J.* 3:74-76.
- Miranda, R.; Calderón, S. y Cadena, F.** 2016. Erosión Eólica en Zonas Productoras de Quinua en el Altiplano Boliviano. *Revista CINTEX*, 21(2), 71-84. Recuperado a partir de <https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/18>.
- Mirreh, M., Osman A., Ismail M., Al Daraan M., and Al Rowaili M.,** 2000. Evaluation of six halophytic shrubs under centre-pivot sprinkler irrigation. **In:** Gintzburger G., M. Bounejmate and A. Nefzaoui (eds.). *Fodder Shrub Development in Arid and Semi-arid Zones. Proceedings of the Workshop on Native and Exotic Fodder Shrubs in Arid and Semi-arid Zones, 27 October-2 November 1996, Hammamet, Tunisia.* ICARDA, Aleppo (Syria). Vol. II: 293308.
- Mollisaca P.E: y Bonifacio A.** 2021. Rendimiento y análisis bromatológico de subproductos de trilla de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* willd.) en Kiphakiphani, La Paz – Bolivia. *RIIARn* 8(3): 59-65.
- Moraes R., M. & S. Beck.** 1992. Diversidad florística de Bolivia. pp. 73 111. M. Marconi (ed.) *Conservación de la Diversidad Biológica en Bolivia.* CDC Bolivia/ USAID Bolivia, La Paz.
- Morales, D.** 2021. Mujeres productoras en la crisis económica y ambiental tras el auge de la quinua en el altiplano sur de Bolivia, Foro andino amazónico de desarrollo rural. 59 p. En línea. Disponible en: https://cipca.org.bo/docs/publications/es/267_mujeres-productoras-en-la-crisis-economica-y-ambiental-tras-el-auge-de-la-quinua-en-el-altiplano-sur-de-bolivia.pdf.
- Mosher, W., H. Hatfield and W. Krueger.** 1973. Minimum seedbed preparation for seeding native grass hills in western Oregon. Abstract of papers. 26th. Annual Mtg., Soc. Range Manage. P. 7-8.
- Mould, E.D., and C.T. Robbins.** 1981. Nitrogen metabolism in elk. *J. Wildl. Manage.* 45:323-332.
- Murra, J.V.** 1975. Formaciones económicas y políticas del mundo andino. Lima: Instituto de estudios peruanos. 339 p.

- Mulas, M. y Mulas, G.** 2004. The strategic use of *Atriplex* and *Opuntia* to combat desertification. University of Sassari, Desertification Research Group. Sassari, Italia. 101 p.
- Murra, J.V.** 1976. Los límites y las limitaciones del “Archipiélago vertical” en los Andes. Homenaje al Dr. Gustavo Le Pauge. La Paz. Pp. 66-87.
- NAS** 1981. Nutrient requirements of goats. Angora, dairy and meat goats in temperate and tropical countries. National Academy Press, Washington, D.C. 91p.
- Nastis, A.S., and J.C. Malechek.** 1981. Digestion and utilization of nutrients in oak browse by goats. *J. Anim. Sci.* 53:283-289.
- Navarro, G. S., & W. Ferreira.** 2007. Leyenda explicativa de las unidades del mapa de vegetación de Bolivia a escala 1:250 000. Rumbol, srl., Cochabamba. 65 p.
- Navarro, G.** 2002. Conceptos generales y bases metodológicas. Pp. 2-49. **En:** Navarro, G. & M. Maldonado (eds.) *Geografía Ecológica de Bolivia – Vegetación y Ambientes Acuáticos*. Fundación Simón I. Patiño, Cochabamba.
- Nefzaqui, A., Ben Salem, H.,** 2002. Cacti: efficient tool for rangeland rehabilitation, drought mitigation and to combat desertification. Proceedings of the fourth international congress on Cactus pear and Cochineal. Hamamet, Tunisia, 22-28 October 2000. *Acta Horticulturae*, 581.
- Nerd, A., and D. Pastemak.** 1992. Growth, ion accumulation and nitrogen fractioning in *Atriplex barclayana* grown at various salinities. *J. Range Manage.* 45: 164-166.
- Newton, R.J., and J.R. Goodin.** 1985. Unconventional arid land plants as biomass feedstocks for energy. P. 387-397. **In:** G.E. Wickens, J.R. Goodin and D.V. Field (eds.) *Plants for arid lands*. George Allen & Unwin, England.
- Newton, R.J., and J.R. Goodin.** 1987. Unconventional plants for biomass feedstocks in arid west Texas. P. 1-7. **In:** J. Tipton (ed.). *Occasional papers of the Chihuahuan Desert Research Institute*. No. 7.
- Newton, R.J., and J.R. Goodin.** 1989 a. Physiological adaptation of shrubs: moisture stress adaptation. p. 365-383. **In:** C.M. Mc Kell (ed.) *Shrub biology and utilization*. Academic Press. N.Y.
- Newton, R.J. and J.R. Goodin.** 1989 b. Physiological adaptation of shrubs: temperature stress adaptation p. 385-402. **In:** C.M. Mc Kell (ed.) *Shrub biology and utilization*. Academic Stress. N.Y.
- Nielsen, M. O., Keani, A., Tejada, E., Chwalibog, A. and Alstrup, L.** 2014. Energy metabolism and methane production in llamas, sheep and goats fed high- and

low-quality grass-based diets. Archives of Animal Nutrition. Vol. 68:3, pp 171–185, DOI 10.1080/1745039X. 2014. 912039.

- Nielsen, M.O., Tejada, E., Christensen, V.G., Nielsen, L.** 2010. Adaptive Metabolic Responses in Sheep, Goats and llamas when Feed Grass based Diets Differing in Protein Content. EAAP Scientific Series, 2010, 127 (1), pp 507-508.
- Nielsen, M.O., Tejada, E., Chwalibog, A. Tauson.A.H., Nielsen L.** 2010. Digestive Efficiency, Metabolism of Nitrogen and Methane Emission in Sheep, Goats and llamas Fed Grass based Diets Differing in Protein Content. EAAP Scientific Series, 2010, 127 (1), pp 497-498.
- Norris, J.B.** 1968. Biological control of oak. Amer. Soc. Range Manage. Abstracts of papers, 21st. Annual Meeting, p. 29.
- Nunez-Hernandez, G., J.L. Holechek, J.D. Wallace, M.L. Galyan, A. Tembo, R. Valdez and M. Cardenas.** 1989. Influence of native shrubs on nutritional status of goats: nitrogen retention. J. Range Manage 42(3):228-232.
- O'Leary, J.W.** 1984. The role of halophytes in irrigated agriculture. P. 285-300. In: R.C. Staples (ed.) salinity tolerance in plants: Strategies for crop improvement. John Wiley and Sons, New York, N.Y.
- O'Leary, J.W.** 1985. Saltwater crops. Chemtech 15:562-566.
- Oliet, J. y Prada, A.** 2012. *Atriplex halimus* L. En libro: Producción y Manejo de semillas y plantas forestales (pp.220-237). Editorial: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. P: 220 -237. Madrid, España.
- Olivares, A. y J. Gasto.** 1981. *Atriplex repanda*. Organización y manejo de ecosistemas con arbustos forrajeros. Universidad de Chile. Santiago. 300p.
- Onofre y Bonifacio.** 2021. Evaluación de las características fenológicas y agronómicas de la quinua silvestre (*Chenopodium quinoa* sp.), del Altiplano boliviano. Revista IAREN 8(3):7-20.
- Osmond, C.B.; Bjorkman, O.; Anderson, E.J.** 1980. Physiological Processes in Plant Ecology: Toward a Synthesis with *Atriplex*. Ecological studies 36, Springer-Verlag, 468 p.
- Otsyina, R., C.M. Mc Kell, and G. Van Epps.** 1982. Use of range shrubs to meet nutrient requirements of sheep grazing on crested wheatgrass during fall and early winter. J. Range Manage. 35 (6): 7s51-753.
- Palmbland, I.G.** 1968. Competition in experimental populations of weed with emphasis on the regulation of population size. Ecology 49:26-54.

- Papanastasis, V.** 1977. Conversion of *Quercus coccifera* bushlands to grasslands in Greece. Sect., For. Res. Fust., Min. of Agric., Thessaloniki. Mimeo 6p.
- Pasternak, D., A. Danon, and A. Aronson.** 1985. Developing the seawater agriculture concept. *Plant and Soil* 89:337-348.
- Pérez, R.** 2017. Propagación por acodo aéreo de *Terminalia amazonia* (J. F. Gmel.) Exell, usando tres concentraciones de auxinas. Tesis de Ing. Forestal. Universidad Nacional de Cajamarca. 102 p. Perú.
- Pieper, R.D., and G.B. Donart.** 1978. Response of fourwing saltbush to periods of protection. *J. Range Manage.* 31:314-315.
- Pisano, V.E.** 1966. Palatabilidad de especies forrajeras nativas probadas con ovinos. *Agric. Técnica (Chile)* 26:6-16.
- PNUMA,** 2010. Boletín: Decenio para los Desiertos y la Lucha contra la desertificación. https://www.un.org/es/events/desertification_decade/background.shtml.
- Price, D.L., Donart, B., and Soutward, G.M.** 1989. Growth Dynamics of fourwing saltbush as affected by different grazing management systems. *J. Range Manage.* 42(2): 158-162.
- Prieto, G. y Queiroz, J.S.** 1995. BOLETÍN TÉCNICO IBTA/SRCP. Cultivo por Trasplante del *Atriplex halimus* en suelos salinos para el altiplano Central de Bolivia. 13 p.
- Proyecto GEÑO I – Centro Aguas.** 2013. Agua, Sequía y Producción agropecuaria en el Chaco cruceño. Santa Cruz, Bolivia. 195 p.
- Proyecto GEÑO I - Unidad Coordinadora de Emergencias de FAO.** Informe Final de proyecto para la UE. 2013.
- Renolfi, R.F.** 1990. Manejo de forrajeros en Libia. **In:** Estado actual del conocimiento sobre *Prosopis tamarugo*. FAO, Arica-Chile. Pp 209-213.
- Riveros, F.** 1985. Arbustos forrajeros en libia. **In:** Estado actual del conocimiento sobre *Prosopis tamarugo*. FAO, Arica Chile. pp 209-213.
- Robinson, E.D., B.T. Cross, And. C.E. Fisher.** 1970. Effect of aerial honey mesquite control of beef and forage production. *Tex. Agr. Exp. Sta. PR-2802* in brush research in Texas, 1970: p. 11-15.
- Robinson, K.N.** 1982. An evaluation of the relationships between fecal nitrogen and digestibility, crude protein and dry matter intake of forages. M.S. Thesis. Texas A&M Univ., College Station.
- Rodriguez, E. y C.J. Gasto.** 1972. Estudio del efecto del consumo de pradera natural biestratificada con *Atriplex repanda* en el período de encaste de ovinos. Facultad

de Agronomía. Universidad de Chile. Dpto. de Producción Animal, Informe mimeografiado. 38 p.

- Rodríguez, N.** 1998. Métodos de escarificación en semilla de *Atriplex* nativo. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 86 p.
- Rodríguez, P. y A. Cardozo.** 1989. Situación actual de la producción ganadera en la zona andina de Bolivia. PROCAD-UNITAS. La Paz, Bolivia. 99p.
- Román, S.** 2022. Experiencias en establecimiento de *Atriplex* en el Chaco boliviano (Comunicación personal). Proyecto Geñoi. Bolivia.
- Román, C.** 2021. Costos de Establecimiento de *Atriplex* sp. (Comunicación personal). Proyecto Mercados Inclusivos. Swiss Contact. Bolivia.
- Román, S.; Flórez M.; Ruíz, U. y Tejada, E.** 2014. Halófitas Arbustivas Forrajeras. *Atriplex*: Un recurso potencial para Agroforestería Chaqueña y otras Zonas Sub Húmedas y Semi Desérticas. Proyecto Geñoi. Organización de Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Comisión Europea (ECHO), Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras / Vice Ministerio de Defensa Civil / Proyecto Geñoi. Bolivia. 72 p.
- Romero, J.; Paredes, Ramírez, G.** 2003. *Atriplex canescens* (Purch, Nutt), como fuente de alimento para las zonas áridas. CIENCIA UANL / VOL. VI, No. 1, ENERO-MARZO 2003. P:85-92.
- Rosas, M. R.** 1989. El género *Atriplex* (*Chenopodiaceae*) en Chile. Gayana Bot. 46(1-2): 3-82.
<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:26387-2>
- Rossi, C.** 1985. Utilización de la penca (*Opuntia* spp) en los sistemas de producción de carne en zonas Áridas y semiáridas cálidas. IVª Reunión de Intercambio Tecnológico en Zonas Áridas y Semiáridas. Salta, Argentina, pág. 521-536. www.produccion-animal.com.ar.
- Sarson, M.** 1970. Resultants d'un essai sur l'alimentation du mouton en periode de desetter fourragère au centre d'Ousseltia Tech. Note. 6 FSNN. Tun. 17.6p.
- Sarson, M. et P. Salmon.** 1978. Role des arbres et arbustes fourragers dans l'aménagement des paturages naturels en Afrique du Nord. Eighth World For. Conr. Mimeo 14p.
- Shepard, H.R.** 1971. Effects of clipping on key browse species in southwestern Colorado. State of Colorado Division of Game, Fish and Parks Tech. Pub. 28.
- Shinozaki, K., K. Yoda, K. Hosumi, y T. Kira.** 1964. A quantitative analysis of plant form. The pipe model theory. I. Basic. Analyses. Japanese Journ. Ecol. 14 (3):97-105.

- Sidahmed, A.E., J.G. Morris, and S.R. Radosevich.** 1981. Summer diet of Spanish goats grazing chaparral. *J. Range Manage.* 34:33-35.
- Sieg, C.H., D.W. Uresk, and R.M. Hansen.** 1983. Plant-soil relationships on bentonite mine spoils and sagebrush-grassland in the northern High Plains. *J. Range Manage.* 37:289-294.
- Silva, J.,** 2004 Propagacion vegetativa de *Atriplex* sp. (planta de sal) en cuatro sustratos de enraizamiento y respuesta a la fertilización nitrogenada en ambiente de walipini (Letanías, Viacha). Tesis Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 88 p.
- Silva, R.H.** 1973. Estudio histológico de las especies del género *Atriplex*. Seminario de Título Prof. Biol. y Ciencias. Universidad de Chile. La Serena. 41 p.
- Silva, S.E. y C.CH. Pereira.** 1976. Aislación y composición de las proteínas de hojas de *Atriplex nummularia* y *Atriplex repanda*. *Ciencia e investigación Agraria.* 3(4):169-174.
- Simanton, J.R., and G.W. Frasier.** 1980. Stock water development to enhance benefits of brush to grass conversion. *Rangelands* 2(4): 146-147.
- Smith, J.A., G.E. Schuman, E.J. Dpuit, and T.A. Sedbrook.** 1985. Wood residue and fertilizer amendment of bentine mine spoils: I spoil and general vegetation responses. *J. Envir. Quality* 14:575-580.
- Somlo, R., G. Campbell, and A. Pelliza-Sbriller.** 1981. Study of the dietary habits of Angora goats in rangelands in Patagonia. P. 525-544. In. Proc. Internat. Symposium on Nutrition and Systems of goat feeding. (Vol. 2).
- Stevens, P. F.** (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2017
- Storey, R., N. Ahmad, and R.G. Wyn Jones.** 1977. Taxonomic and ecological aspects of the distribution of Glycinebetaine and related compounds in plants. *Oecologia.* 27:319-332.
- Storey, R., and R.G. Wyn Jones.** 1977. Quaternary ammonium compounds in plants in relation to salt resistance. *Phytochemistry* 16: 447-453.
- Storey, R., and R.G. Wyn Jones.** 1979. Reponses of *Atriplex spongiosa* and *Suaeda monoica* salinity. *Plant Physiol.* 63:156-162.
- Stutz, H.C., and S.C. Sanderson.** 1979. The role of polyploidy in the evolution of *Atriplex canescens*. P. 615-628. In: J.R. Goodin and D.K. Northington (eds.) Arid Land Plant Resources. Int. Ctr. Arid Semi-arid Land Stud. Texas Tech Univ. Lubbock.

- Tejada, E.** 2020. De Medio Ambiente y Alimentación a “Cuarto Ambiente” con Inseguridad Alimentaria. Revista Novamerica. Brasil. pp 59-63. <http://sue.unam.mx/resle>. www.novamerica.org.br **Publicación en Portugués y Español.**
- Tejada, E.; Huertas, G.; Lavell, A.;** 2017. Retos y Oportunidades de la Gestión de Riesgos para contrarrestar los Efectos de las Emergencias en la Producción Pecuaria Familiar. Bienestar Animal y Seguridad Alimentaria en las Américas. Universidad de Guadalajara, México.
- Tejada, E.; Arze, M.; Moraes, M.; Bustillos, F.; Larrazabal, D.; Trepp, A.; Leigue, L.; Ávila, G.; Blajos, J.; Mariscal, C.A.; Cabrera, O. y Gutiérrez, J.** 2017. Food Nutrition Security in Bolivia; Country of Incalculable Wealth. **In:** Challenges and Opportunities for Food and Nutrition Security in the Americas. The view of the Academies of Science. Federal Ministry of Education and Research, Inter American Network of Academies of Science (IANAS), Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften. Inter Academy Partnership (IAP) Science Research Health. pp 53-75. www.ianas.org. (Versión en español: <http://www.ianas.org/docs/books/fnb06.pdf>).
- Tejada, E.; Huertas, G.; Lavell, A.** 2016. Estrategias de Gestión de Riesgos para Contrarrestar los Efectos de los Desastres Abióticos en la Producción Pecuaria familiar. XIII Reunión de la Comisión de Desarrollo Ganadero para América Latina y El Caribe, Capítulo Cono Sur y Andino. FAO. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Mayo 2016.
- Tejada, E.; Estrada, M.; Nielsen M.; Icuña, S.** 2015. Llamas y Cambio Climático; Intercambio de Oxígeno y Emisión de Gases de Efecto Invernadero Comparados con Ovinos y Caprinos, por Influencia de Índices de Consumo y Coeficientes Respiratorios. Rev. Investg. Altoandín. 2015; Vol.17 No 3: 465 – 468. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2015.166>. <http://huajsapata.unap.edu.pe/ria> (Conferencia presentada en el VII Congreso Mundial en Camélidos. pp. 810. Puno, Perú).
- Tejada, E.; Román, S.; Flórez, M. and Ruiz, U.** 2014. In Search of Forage for Sub Humid and Semiarid Zones: The Halophytes, Promise to Prevent Forage Scarcity and Mitigate Disasters in the American Gran Chaco. Simposio Internacional de Expertos en desiertos. Santiago de Chile. FAO/UNESCO.
- Tejada, E.** 2011. Experiencias exitosas de Gestión de Riesgos de Desastres en el Sector Agropecuario, para la Adaptación al Cambio Climático. Organización de Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Cooperación Italiana en Bolivia. 160 p.

- Tejada, E.** 2006. Incorporación del Guanaco al Conocimiento de los Camélidos Sudamericanos en los Andes Altos. Pp 133-143. **In:** Los Camélidos. A. Cardozo. La Paz, Bolivia. 350 p.
- Tejada, E.; R. Suarez; F. Martínez; P. Choque y M. Torrez.** 2004. Ruptura de Barreras Geográficas y Socio Económicas Limitantes del Refrescamiento de Sangre en Rebaños de Llamas de Pequeños Criadores de la Zona Andina de Bolivia. XIII Reunión Nacional de ABOPA. Cochabamba, Bolivia. 350 p.
- Tejada, E.** 1999. Reforzamiento Fibro Energético Complementario al Pastoreo de Llamas Desparasitadas en el Altiplano Central. **In:** Libro de Resúmenes II Congreso Mundial sobre Camélidos. 124 p. Cusco – Perú.
- Tejada, E. 1995.** Consideraciones Biológicas Digestivas de los Camélidos como Bases de Optimización para el Aprovechamiento Vegetal. **In:** Memorias Seminario Nacional de Investigadores y Productores de Camélidos Sudamericanos. SERENA, AIGACAA, La Paz.
- Tejada, E.** 1994. Crianza de la Familia Camélida con Relación a la Preservación de su Hábitat y del Medio Ambiente. **In:** Primer Simposio Internacional de Camélidos. Naciones Unidas de la O.E.A. y Escuela Militar de Ingeniería de las FF.AA. La Paz.
- Tejada, E., Loayza, O y Salinas, D.** 1994. Adaptación y Desarrollo Fenológico de Arbustos Forrajeros Introducidos en el Altiplano Boliviano. (Inédito, excepto en Reporte Técnico IBTA, Programa de Ganadería y Forrajes. 8 p.).
- Tejada, E. y Guzmán, R.** 1993. Halófitas Arbustivas Forrajeras: Un Recurso potencial para la Agroforestería Andina. PROGRAMA DE REPOBLAMIENTO FORESTAL. CORDECO-IC-COTESU. Cochabamba, Bolivia. 117p.
- Tejada, E. y Guzmán, R.** 1992. Palatabilidad y selectividad de especies forestales arbóreas y arbustivas en ovinos, caprinos y camélidos. Programa de Repoblamiento Forestal, CORDECO-IC-COTESU. Cochabamba. Pp. 10-14.
- Tejada, E.** 1990. Brush control and grazing behavior of goats on semidesert mesquite brush dominated rangeland. M.Sc. Thesis, New México State Univ., Las Cruces. USA.106 P.
- Tejada, E.** 1986. B Sc. Tesis: Diagnóstico de Concentración de Cobre y Fósforo que Inciden en la Reproducción del Ganado Lechero. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. 109 p.
- Termaat, A., and R. Munns.** 1986. Use of concentrated macronutrient solution to separate osmotic from Na Cl-specific effect on plant growth. Australian J. Plant Physiol. 13: 529-522.

- Terrazas, W.** 1986. Erosión de suelos y cuencas. **In:** Perfil Ambiental de Bolivia. Agencia para el Desarrollo Internacional. Instituto Internacional para el desarrollo y medio ambiente. La Paz, Bolivia. pp. 98-107.
- Trollope, W.S.W.** 1983. Control of bush encroachment with fire in the arid savannas of South Eastern Africa. Ph.D. Dissertation. University of Natal, Pietermaritzburg.
- Urrutia, M. J. Beltran S, Loredo C., Días, M. Games, H,** 2007. Chamizo: Forraje de Calidad en Zonas Semiáridas en Zonas Semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis. Folleto Técnico No. 30. San Luis Potosí, S.L.P. México. 40 p.
- Urrutia, M. J., Días G., Gámez V., Rivera L., Beltrán L. y Luna V.** 2007. Utilización de chamizo (*Atriplex canescens*) y nopal (*Opuntia ficus indica*) como principales alimentos para producción de leche caprina en la Estación de estiaje. Vº Congreso de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos, Mendoza, Argentina. Campo Experimental San Luis, INIFAP. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. p. 1-3. www.produccion-animal.com.ar
- USAID/BOLIVIA MISSION.** 1988. Agriculture Sector Assessment Office. Office of USAID/BOLIVIA MISSION: Chemonics International Consulting Division. Washington, D.C. USA. 247p.
- Valentine, J.F.** 1989. Range development and improvements. Academic Press. Inc. San Diego, California. 524 p.
- Van Epps, G., A.P. Plummer, and C.M. Mc Kell.** 1971. The future potential of shrubs on Utah ranges. Utah Sci. 32:21-23.
- Van Soest, P.J.** 1982. Nutritional ecology of the ruminant. O and B Book Inc., Corvallis, Or. 374p.
- Villegas, N.** s.a. Leyes para sacarle "La madre" a la tierra Análisis, Petrolera 30-35.
- Voorhees, M.E., M.J. Trlica, and D.W. Uresk.** 1987. Growth of rillscale (*Atriplex suckleyi*) on bentonite mine spoil as influenced by amendments. J. Envir. Quality 16:411-416.
- Voorhees, M.E.** 1990. Forage quality of rillscale (*Atriplex suckleyi*) grown on amended bentonite mine spoil. Great Basin Natu. Vol. 50:57-62. No. 1, Artículo 7. Disponible en: <https://scholarsarchive.byu.edu/gbn/vol50/iss1/7>
- Voorhees, M.E., D.W. Uresk, and M.J. Trlica.** 1991. Substrate relation for rillscale (*Atriplex suckleyi*) on bentonite mine spoil. J. Range Manage. 44:34-38.
- Warren, L.E., D.N. Ueckert, and J.M. Shelton.** 1984. Comparative diets of Rambouillet, Barbado and Karakul sheep and Spanish and Angora goats. J. Range Manage 37(2):172-180.

- Watson, M.C.; Roundy, B. A.; Smith, S.E.; Heydari, H. and Munda, B.** 1995. Water requirements for establishing native *Atriplex* species during summer in South Arizona. Proceedings: wildland shrub and arid land restoration symposium. U.S.D.A. Forest Service. G.T.R.-INT-GTR-315, 119-125.
- Weisner, E.L., and W.J. Johnson.** 1977. Fourwing saltbush (*A. canescens*) propagation techniques. *J. Range Manage.* 30:154-156.
- Wicke, B., Smeets, E., Dornburg, V., Vashev, B., Gaiser, T., Turkenburg, W., Faaij, A.,** 2011. The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. *Energy and Environmental Science* 4, 2669-2681.
- Wiggins, J.** 1980. *Flora of Baja California.* Stanford Univ. Press, Stanford, Calif.
- Willey, R.W. and S.B. Heath.** 1969. The quantitative relationship between plant population and crop yield advances in Agronomy. 21:281-321.
- Wilson, A.D., N.A. Abraham, R. Barratt, J. Choate, D.R. Green, R.J. Harland, R.E. Oxley and R.J. Stanley.** 1987. Evaluation of methods of assessing vegetation change in the semi-arid rangelands of Southern Australia. *J. Austr. Rangel* 9(1):6-13.
- Wilson, A.D., J.H. Leigh, N.L. Hindley, and W.E. Mulham.** 1975. Comparison of the diets of goat and sheep on a *Casuarina cristata* woodland community in western New South Wales. *J. Austr. Agric. Anim. Husb.* 15:45-53.
- Wilson, A.D., J.H. Leigh, and W.E. Mulham.** 1969. A study of Merino sheep grazing a bladder saltbush (*Atriplex vesicaria*) and cotton bush (*kochia aphyllal*) community on the Riverine Plain. *Aust. Jour. Agric. Resch.* 20(6):1123-1136.
- Wilson, A.D.** 1966. The intake and excretion of sodium by sheep fed on species of *Atriplex repanda* (saltbush) and *Kochia* sp. (bluebush). *Aust. Jour. Agric. Resch.* 17:155-163.
- Winkel, T.** 2014. Altiplano Sur de Bolivia. Capítulo: 5.1.b. En: Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. Bazile D. (Ed.), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago, Chile, pp. 432-449.
- Wood.** 2005. La Guía "Darwin" de las Flores de los Valles Bolivianos. DARWIN INITIATIVE. University of Oxford, Reino Unido. 187 p.
- York, J.C., and W.A. Dick-Peddie.** 1969. Vegetative changes in southern New Mexico during the past hundred years. P. 157-166. **In:** *Arid lands in perspective.* Univ. Ariz. Press, Tucson.
- Young, MD.** 1980. Population decline and socio-economic adjustment in the central poplar box (*Eucalyptus populnea*) lands: response to changes in the grazing industry. *J. Austr. Rangel.* 2:41-52.

- Zaroug, M.** 1985. Importancia de los árboles y arbustos forrajeros en la productividad de praderas y sistemas agrícolas del cercano oriente. **In:** Estado actual del conocimiento sobre Prosopis tamarugo. FAO. Aria, Chile. Pp. 175-190.
- Zuñiga, F.M.** 1973. Determinación de curvas de crecimiento en *Atriplex repanda* Phil. En función de la densidad poblacional. Tesis Ing. Agr. Santiago. Facultad de Agronomía. Universidad Católica de Chile. 80p.

ANEXOS



Anexo 1.

Sistema de clasificación de las Angiospermas APG4, (Grupo para la Filogenia de las Angiospermas, acrónimo APG, del inglés **Angiosperm Phylogeny Group**) versión 4, actualizada para el año 2022 (en idioma Ingles). Sólo se adjunta en el anexo la parte concerniente a las *Amaranthaceae* dentro del orden de las *Caryophyllales*, pero si el lector desea encontrar más información ampliada a otras especies, abajo también se adjuntan los links necesarios para encontrarlas.

Menciona a las *Amaranthaceae* entre el orden *Caryophyllales* y , como se puede encontrar en el link del Missouri Botanical Garden: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/> - que hace mención a esa base de datos filogenética de las Angiospermas.

Este siguiente texto ha sido extraído y copiado de:

Stevens, P. F. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2017. [and, more or less continuously updated since].” will do. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.

peter.stevens@mobot.org (Missouri Botanical Garden), or

stevensp@umsl.edu (University of Missouri, St Louis)

Website originally developed by Hilary Davis.

Page last updated: 01/10/2022 21:17:01

y, debe ser citado de la siguiente manera:

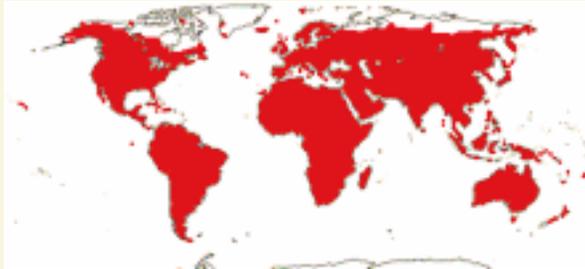
Stevens, P. F. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2017. [and more or less continuously updated since].” will do. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.

O bien mencionar los siguientes links:

peter.stevens@mobot.org (Missouri Botanical Garden), o

stevensp@umsl.edu (University of Missouri, St Louis)

AMARANTHACEAE Jussieu, nom. cons. - Back to Caryophyllales



Succulent, herbaceous or shrubby (lianes), often in saline conditions; anthraquinones, (isoquiniline alkaloids), 6-7-methylene-dioxyflavonols, isoflavonoids, betalain production +, soluble calcium oxalate accumulation; various-arranged medullary bundles innervating leaves, surrounded by ring of vascular bundles derived from continuous procambium, successive cambia +, inc. roots; wood storied, **rayless**, esp. when young; vessels in multiples; pericyclic fibres few (0); cork cambium pericyclic [esp. chenopods; and elsewhere]; crystal sand + [less common in chenopods]; cortical and/or medullary vascular bundles + [less common in amaranths s. str.]; (stem with endodermis); sieve tube plastids lacking protein crystalloids, (starch grain +); nodes often swollen, (1:3, 1:5); petiole bundles \pm annular; stomata also paracytic (dia- and anisocytic); hairs often uniseriate; leaves (opposite), lamina margins entire (toothed); A 5, opposite P; tapetal cells 2(-5)-nucleate, (amoeboid); pollen often starchy, foot layer well developed; G annular and open early in development, (median member abaxial); ovule also amphitropous, etc., parietal tissue 2-9 cells across, in radial rows or not, nucellar cap 2-4 cells across; embryo sac \pm digesting chalazal region, (antipodal cells persist); endotegmen \pm thickened and lignified, tanniferous; endosperm +, at tip of radicle, (embryo sac haustorium during early development), embryo chlorophyllous or not; cotyledons longer than radicle [?level]; $x = 9$, nuclear genome [1 C] (0.124-)1.321(-14.052) pg.

180 [list]/2,050-2,500. \pm World-wide. Map: from Hultén and Fries (1986), Jalas *et al.* (1999) and Culham (2007). [Photo - flowers, fruits, Collection.]

Age. A possible age for the clade is 87-47 Ma (Kadereit *et al.* 2012: note topology).

Friis *et al.* (2011) thought that seeds possibly of Amaranthaceae from the late Cretaceous of southern Sweden do not belong here.

AMARANTHOIDEAE Burnett

Cuticle waxes lacking platelets; hairs uniseriate; inflorescence branched or not, usu. spike-like or capitate; bracts disarticulating, bracteoles \pm papyraceous/scarios; **P scarious**, variously pigmented; A 5, basally connate, [**pseudo**]staminodes +; integuments with basal air space [?level]; archesporium unicellular; seeds erect, radicle directed downwards [Ama. Bos. Char.]; embryogeny chenopodiad[!].

70/750. Tropical to subtropical, relatively few warm temperate or cooler.

AMARANTHEAE Reichenbach

Annual or perennial herbs to shrubs (climbers); leaves (opposite); inflorescence with flowers in groups of three (two sterile); A (1-), free; style (long), stigma bilobed/capitate/linear; fruit (achenial), (dehiscence irregular); seeds (arillate - Chamissoa); $n = 16, 17$; **nuclear genome duplication** [?here].

Amaranthus (74). Tropical to warm temperate.

[*Psilotrichum ferrugineum* [Allmaniopsis [Aerveae [Achyrantheae + Gomphreneae]]]]: ?

[Allmaniopsis [Aerveae [Achyrantheae + Gomphreneae]]]: ?

[Aerveae [Achyrantheae + Gomphreneae]]: (pseudostaminodes 0); **fruit thin-walled**, (bursting); genome duplication.

2. POLYCNEMOIDEAE Ulbrich — Synonymy: POLYCNEMACEAE Menge



Annual to perennial herbs or small shrubs; habitat often $\hat{A}\pm$ saline; leaves (opposite), needle-like/succulent; flowers axillary, bracts disarticulating, bracteoles large; P petaloid; A basally connate, (3, 2), **anthers bisporangiate** [?unithecous]

(unisporangiate), (pseudostaminodes +); anther with outer parietal layer of wall producing endothecium and middle layer, the inner producing middle layer and tapetum [basic type]; **epidermis with fibrous thickening on longitudinal anticlinal walls, endothecium with such thickening on transverse anticlinal walls**; pollen smooth, (with microspines - *Surreya*); archesporium unicellular; stigma $\hat{A}\pm$ capitate, papillate; G [2]; ovule circino- \pm campylotropous; integuments with space at base; outer periclinal wall of exotesta massive, with stalactites; n = 9.

4/13: *Polycnemum* (6). Widely scattered, $\hat{A}\pm$ temperate, but not East Asia, E. North America or southern Africa. Map: see Masson and Kadereit (2013: Fig. 1) and Australia's Virtual Herbarium (consulted vii.2013).

Age. Crown-group Polycnemoideae are dated to (54.0-35.6(-19.5) Ma (Masson & Kadereit 2013).

[Betoideae [Salicornioideae + Chenopodioideae.]]: ?

Age. An estimate of the age of this clade is 65.0-56.5 Ma (G. Kadereit *et al.* 2005).

3. BETOIDEAE Ulbrich — Synonymy: **BETACEAE** Burnett



Annual to perennial herbs (subshrub; vine); bracteoles +[?]; P (3) 5; A 5 (1); (G semi-inferior); (P persistent, accrescent - *Beta*); **fruit circumscissile** [= a pyxidium].

5/13: *Beta* (9). N. India to maritime Europe, California. Map: from Hohmann *et al.* (2006).

Age. The age of crown-group Betoideae is about 48.6-35.4 (including *Acroglochin*) or 38.4-27.5 (excluding it) Ma (Hohmann *et al.* 2006).

[Salicornioideae + Chenopodioideae] [if this clade exists]: isoflavonoids common; cuticle waxes as platelets; stomata oriented at right angles to the long axis of the leaf [?extent]; bracts persistent, bracteoles 0, bracts and P \pm fleshy/herbaceous, red to \pm green; P quincuncial, \pm connate; carpelate flowers: P unequal, 3 smaller; disseminule an anthocarp, bract and perianth variously accrescent, (with spines, hooks, etc.); archesporium multicellular [?level]; (embryo chlorophyllous); $x = 9$; 300 bp deletion in chloroplast DNA inverted repeat.

104/1,400. Worldwide, especially deserts.

Age. It has been suggested that polyporate pollen identified as *Polyporina cribraria*, of Maastrichtian age and from Canada, belongs to Chenopodiaceae (Srivastava 1969).

4. SALICORNIOIDEAE Dumortier / chenopod II

Age. The age of this node is around 41.3-37.6 Ma (G. Kadereit *et al.* 2006); another estimate is 55.5-46.8 Ma (Kadereit & Freitag 2011).

[Suaedeae + Salicornieae]: plants often of saltmarshes; lamina not developed; P basally connate.

Age. This node was dated to 38.2-28.7 Ma (Kadereit *et al.* 2006) or ca 39 Ma (Pirainen *et al.* (2017)).

4A. SUAEDEAE Moquin Tandon

Annual to perennial herbs to shrubs; C4 photosynthesis +/-; plant usually glabrous; lamina usually terete; inflorescence spicate, loose, leafy, bracteoles +; G [2-3], (inferior), (styles impressed), (connate and \pm infundibuliform), (capitate), filiform, papillate all around; P \pm enlarged/winged in fruit, diaspores commonly heteromorphic; perisperm 0, **embryo spiral**.

2/83: Suaeda (82). \pm worldwide, especially Central to East Asia, not forests.

4B. SALICORNIEAE Dumortier — Synonymy: SALICORNIAEAE Martynov

Annual or perennial herbs to low shrubs; (C4 photosynthesis - *Tecticornia indica*); stem usu. articulated; plant glabrous; leaves usu. opposite, \pm terete or scaly, (reduced to a rim, etc.), base (semi-)amplexicaul, (decurrent, connate); **inflorescence dense, spike-like**, leafless; P (2-)3-4(-5), \pm **connate**; A (1-)2-3(-4);

G [2-3]; perisperm (0, endosperm copious), embryo spiral/curved or bent, radicle longer than cotyledons.

12/120: *Tecticornia* (44), *Sarcocornia* (30), *Salicornia* (>15; ca ?30). ± Worldwide, esp. temperate and tropics, not humid tropics, most in the Australian region.

Age. Crown-group Salicornieae are 35-25.3 Ma (G. Kadereit *et al.* 2006) or ca 29.1 Ma (Pirainen *et al.* 2017).

[Camphorosmeae + Salsoleae]: often plants of deserts and steppes; hairs long, jointed, multicellular [young plant at least]; leaves often isobifacial; fruiting perianth often with wings; exotestal stalactite thickenings 0.

Age. The age of this node is some 43.6-32.2 Ma (Kadereit & Freitag 2011).

4C. CAMPHOROSMEAE Moquin-Tandon



Often shrubby (herbaceous, annual); (C4 photosynthesis); hairs with swollen bases, (“prickles” +); leaves terete; (flowers unisexual); pollen usu with >70 pores; styles filiform, with papillae all around; fruiting perianth also fleshy, spiny.

22/180: *Sclerolaena* (64), *Maireana* (57). Northern Temperate to subtropical, to the Sahara, W. North America, southern Africa, esp. Australia (map: from Kadereit & Freitag 2011).

Age. The age of crown-group Camphorosmeae has been estimated at 27.0-17.3 Ma (G. Kadereit & Freitag 2011).

4D. SALSOLEAE Dumortier — Synonymy: **SALSOLACEAE** Menge

(Annual) herbs to shrubs (trees); C4 photosynthesis (not - some *Salsola* relatives); (hairs adaxial to leaf base - *Anabasis*); leaves (opposite), terete; bracteoles +; P separate, quincuncial; anther appendages coloured, vesicular [*Caroxylon*]; stigmas flattened, papillae adaxial; P developing abaxial wings (not), (capsule circumscissile); diaspores commonly heteromorphic; seed compressed, coat often thin; **perisperm 0, embryo spiral**, (cotyledons terete), (chlorophyllous).

33/300: *Caroxylon* (43), *Climacoptera* (42), *Anabasis* (29), *Salsola* (25). Europe and the Mediterranean, esp. central to southwest Asia, northern and southern Africa, Australia.

Age. The age of crown-group Salsoleae is some 43.6-36.1 Ma (G. Kadereit & Freitag 2011).

5. CHENOPODIOIDEAE Burnett / chenopod I

5A. CORISPERMEAE Moquin Tandon — Synonymy: **CORISPERMACEAE** Link

Annual herbs; C4 photosynthesis 0; hairs stellate or branched; inflorescence spicate; (flowers unisexual), bracteoles 0; P 0-5, vascular bundles 0; fruits/seeds monomorphic; pericarp parenchymatous outside [“uppermost”], sclerenchymatous internally [“below”], no crystal layer; testa thin, tanniniferous, exotestal stalactite thickenings 0; perisperm 0, embryo horseshoe-shaped.

3/78: *Corispermum* (70). Eurasia and North America.

5B. CHENOPODIEAE Burnett — Synonymy: **ATRIPLICACEAE** Jussieu, **BLITACEAE** Kuntze, **CHENOPODIACEAE** Ventenat, nom. cons., **SPINACIACEAE** Menge

Annual to perennial herbs (shrubs); (C4 photosynthesis - esp. *Atriplex*); root and stem cork cambium superficial (both: ?sampling); (cuticle waxes 0); flowers (unisexual), bracts disarticulating; staminate flowers: A basally connate; carpelode 0; carpelate flowers: P (0 - *Atriplex*); staminodes 0; fruit (circumscissile), (bracteoles enlarged); (diaspores heteromorphic); pericarp usu. thin, evascularized; exotesta much enlarged, with tanniniferous stalactites; n = (6, 8) 9 (10).

10/500: *Atriplex* (300), *Chenopodium* (150). More or less world-wide.

Age. The crown-group age of Atriplicieae is ca 28.9 Ma (Brignone *et al.* 2020).

5C. AXYRIDEAE Burnett

3/10: *Axyris* (5). Europe to Korea, W. North America.

5D. DYSPHANIEAE Burnett — Synonymy: **DYSPHANIACEAE** Pax, nom. cons.

Annual to short-lived perennial herbs; plant often aromatic; gland or bladder hairs, simple multicellular hairs +; (pericarp with long simple hairs); exotestal tanniferous stalactites usu. 0; perisperm copious, farinose; embryo annular to ± straight; $n = 8, 9$.

4/43(-46): *Dysphania* (40). More or less world-wide, rather scattered, not northern, nor Indian-East Asia-Malesia. Map: see Uotila *et al.* (2021: Fig. 1).

- Amaranths are usually herbs and are commonest in tropical areas. The perianth is chaffy and coloured in flower, the stamens are basally fused and there are often staminode-like structures; the fruit is a circumscissile capsule or, more often, with thin walls and indehiscent, and it may be surrounded by spines and hooks from the modified lateral flowers of the triad.
- Chenopods are more or less succulent herbs often with swollen nodes; they prefer dry and/or saline and temperate to subtropical habitats. The small flowers have a greenish perianth that often becomes variously elaborated after flowering and surrounds the usually indehiscent fruits.

Evolution: Divergence & Distribution. For dates in Australian chenopods, see G. Kadereit (2005), Cabrera *et al.* (2012), etc., for those in Atripliceae, especially *Atriplex*, see Brignone *et al.* (2020), and for those in *Gomphrena* and relatives, see Ortuño Limarino and; Borsch (2020).

There may have been an increase in the diversification rate in Amaranthaceae that is dated to (64.1-51.0(-43.7) Ma (Magallón *et al.* 2018).

[Salicornioideae + Chenopodioideae], Chenopodioideae or just “chenopods” in the discussion below (Amaranthoideae are “amaranths”), probably originated in Eurasia, perhaps in environments close to the shore, with subsequent movement around the northern hemisphere and then into the southern hemisphere (e.g. Zhu 1996: maps; Hohmann *et al.* 2006; G. Kadereit *et al.* 2010, 2012). Within Betoideae, California-Mediterranean disjunctions have been dated to 15.4-8.1 Ma, the plants perhaps moving via Beringia (Hohmann *et al.* 2006). Adaptations to salt tolerance like succulence are also adaptations to drought tolerance, and may have first appeared in

coastal plants of Eurasia in the Eocene, and they may have facilitated the subsequent adoption of C_4 photosynthesis; C_4 species developed in lineages that were already adapted to drought and could tolerate salt, and they moved in to yet more arid environments (Kadereit *et al.* 2012).

Chenopods are notably diverse in Australia, and there have been some nine invasions there, mostly since the late Miocene and so within the last 10 Ma or so (G. Kadereit *et al.* 2005). Chenopods are very diverse in dry and/or saline conditions in Australia, and include 285 endemic species (as of 2004) (Kadereit *et al.* 2004). *Sclerobliton* may be the oldest, some 42-26 Ma, but with no subsequent diversification, while the *Chenopodium* section *Orthospermum/Dysphania* clade may be 16.1-9.9 Ma. Aridification in Australia had begun early in the Miocene ca 22 Ma, and pollen records show chenopods becoming more abundant from the late Miocene onwards (Kershaw *et al.* 1994). There are almost 150 species of shrubby drought- and salt-tolerant - and C_3 - Camphorosmeae began radiating (11.5-7.5(2.1) Ma. Oddly enough, these Australian Camphorosmeae are sister to the Central Asian *Grubovia*, also C_3 but including a mere three species (Shepherd *et al.* 2004; Kadereit *et al.* 2004; Kadereit & Freitag 2011; Cabrera *et al.* 2012; Freitag & Kadereit 2014; Mosyakin & Iamónico 2017). The diversity in Australian Salicornieae is also great (Wilson 1980; Piirainen *et al.* 2017). C_4 taxa like *Atriplex* (Chenopodiaceae) have also diversified extensively in Australia, mostly after 6.3-4.8 Ma (Kadereit *et al.* 2010). The genus has been quite peripatetic, thus *Atriplex chilensis*, a C_3 species from South America, is embedded in a clade otherwise from Eurasia (Brignone *et al.* 2020). *Atriplex* has moved from Australia to South America, thence to North America, and then back to South America (Brignone *et al.* 2020); there may have been two invasions of Australia (Prideaux *et al.* 2009; Kadereit *et al.* 2010 - for further details, see below).

Ortuño Limarino and Borsch (2020) discuss the evolution of Amaranthoideae-*Gomphrena* in some detail. The Australian C_4 taxa form a clade, and the *Gomphrena* s.l. immediately basal to this clade are plants of the sea shore, perhaps suggesting that this genus got to Australia via sea currents (see Ortuño Limarino & Borsch 2020: Fig. 8).

Sheahan *et al.* (2020) suggested that betalain production might be an apomorphy for Amaranthaceae. Ortuño Limarino and Borsch (2020) discuss the evolution of a number of characters in *Gomphrena* and its relatives, and these include root characters and various other vegetative and floral features. In Achyrantheae (amaranths) in particular there are sterile flowers associated with the fertile flower that have become modified as spines or hooks, presumably being involved in epizoochory, and it is estimated that these have evolved at least 14 times (Di Vincenzo *et al.* 2018). For the evolution of pollen morphology in Iresine, see Borsch *et al.* (2018).

Ecology & Physiology. Chenopods alone include some 558 species in about 40 genera that have the C₄ photosynthetic syndrome (Freitag & Stichler 2000), fully one third of all BLA C₄ species (Osmond *et al.* 1980; Sage *et al.* 2012; Sage 2016; Bena *et al.* 2017; Edwards 2019). There have been 9-13 or more independent acquisitions of the C₄ pathway, perhaps with reversals (e.g. Pyankov *et al.* 2001; G. Kadereit *et al.* 2012), including three acquisitions in *Suaeda* (Suadeae) alone (Kapralov *et al.* 2006; Schütze *et al.* 2013). The first acquisition of C₄ photosynthesis in Chenopodioideae (Salsoleae, Caroxyloneae are a little younger) can be dated to the early Miocene ca 24 Ma, while a major C₄ clade of some 180 species in *Atriplex* may be 14.1-10.9 My; other acquisitions of the C₄ pathway may be a quarter of that age or less (Kadereit *et al.* 2003; Kadereit *et al.* 2010; Zacharias & Baldwin 2010; Kadereit & Freitag 2011; Brignone *et al.* 2020; Christin *et al.* 2011b for many dates), however, Kadereit *et al.* (2012) estimated that the first acquisition of C₄ photosynthesis was a little earlier (47-22 Ma) at the Eocene/Oligocene boundary, perhaps in the [Salsoleae + Camphorosmeae] clade; Suadeae may be 25-20 Ma, or much younger, the C₄ species being (16.9-)-13.9(-11.2) Ma. Around 255 species of Amaranthoideae are C₄ fixers, with some 5 origins that have been dated to (15.6-)-8.8 Ma or less (Akhani *et al.* 1997; Pyankov *et al.* 2001; Kadereit *et al.* 2003, 2012; Sage *et al.* 2007, 2011; Kadereit & Freitag 2011; Sage 2016).

In Amaranthoideae-Gomphreneae C₄ photosynthesis has arisen three times or so, probably in species growing in warm and more or less humid environments, C₄ species tending to occur in drier and winter-cool/cold habitats (Bena *et al.* 2017). The major clade of C₄ plants here is in *Gomphrena* itself, all or nearly all the genus depending on the basal topology of the genus and its limits, some of these species growing at extremely high elevations (4,700 m) in the Andes (Ortuño Limarino & Borsch 2020).

There are several types of C₄ photosynthesis and ca 17 different kinds of C₄ leaf anatomy in the family, particularly in the chenopods (e.g. Edwards & Voznesenskaya 2011; Freitag & Kadereit 2014; Ortuño Limarino & Borsch 2020); G. Kadereit *et al.* (2014) discussed parallel evolution of C₄ leaf types in Camphorosmeae. For summary comparisons of the chloroplast types of C₃ and C₄ taxa, see Koteyeva *et al.* (2011b), and for comparisons of two C₄ species of *Suaeda*, see Koteyeva *et al.* (2011c). Voznesenskaya *et al.* (2013) discuss in detail transitions between photosynthetic types in the predominantly C₄ Salsoleae. Rosnow *et al.* (2014b) noted that different amino acids were to be found in Suaedeae in a position thought to be critical in determining affinity for phosphoenolpyruvate in the carboxylase enzyme. For the evolution of enzymes involved in C₄ photosynthesis in *Alternanthera* (Gomphreneae), where there are also C₂ intermediates, see Gowik *et al.* (2006); C₄ photosynthesis seems to have originated once here (Sánchez-del Pino *et al.* 2012).

In at least four species of Suaedeae the various elements of C_4 photosynthesis are all to be found within a single cell. Thus there is no conventional Kranz anatomy, but the chloroplasts involved in different parts of the carbon fixation process are distinct and spatially segregated; this condition has evolved independently at least twice (Voznesenskaya *et al.* 2002; Edwards *et al.* 2003; Kapralov *et al.* 2006: *Bienertia*, *Suaeda*). Partitioning of the plastids within the cell is maintained by the distinctive organization of the cytoskeleton (Chuong *et al.* 2006), although plasticity is induced by the light environment (Lara *et al.* 2008). The different plastids in *Beinertia* may be either proximal and distal (with respect to adjacent veins) in elongated cells, or peripheral and central, the latter domain including most chloroplasts and being where the C_3 part of the pathway occurs (Offerman *et al.* 2011); Rosnow *et al.* (2014a) explore how the chloroplasts differentiate. Perhaps particularly interesting is *Borszczowia* (= *Suaeda* s.l.) in which there is just a single ring of palisade cells, but there is differentiation within these cells such that the outer part has relatively few chloroplasts and no starch is synthesized, but the inner part has numerous chloroplasts and starch is synthesized, etc., and so the latter part functions like the bundle sheath cells of other C_4 plants (Freitag & Stichler 2000; Voznesenskaya *et al.* 2001, 2003). In this and some other anatomical variants that carry out C_4 photosynthesis there is effectively a single ring of photosynthesising cells that surround a single ring of bundle sheath cells that surrounding a ring of vascular bundles (they vary in their orientation) - in some ways functionally equivalent to a single vascular bundle in a C_4 grass.

Chenopods in general are most diverse in deserts from Sahara to Central Asia. Many succulent chenopod C_4 halophytes grow in the Irano-Turanian region (Ogburn & Edwards 2010) and they make up a major element of the vegetation there. In the rather cold Gobi deserts 15-17% of the species are C_4 plants (they are only 3.5% of the total Mongolian flora), and they contribute 30-90% of the biomass there (Vostokova *et al.* 1995; Pyankov *et al.* 2000a). Over 50% of the total C_4 flora in the Gobi Desert is made up of fast-growing C_4 chenopods (there are also some Polygonaceae), some of which are arborescent. A similar combination of plants also dominates the halophytic vegetation of the Central Asian Turanian deserts (Winter 1981); these are somewhat warmer than the Gobi deserts. Some of these C_4 plants get quite large, *Haloxylon aphyllum* (Salsoleae) reaching 10 m in height and with a trunk to 1 m across (Winter 1981). Succulent C_3 chenopods are common in the Gobi in true desert conditions, and also in moist, saline soils (Pyankov *et al.* 2000a). As mentioned, chenopods are very diverse in Australia, chenopod shrublands dominating in the southern part of the continent where they grow in arid, saline conditions (Leigh 1994).

There are ontogenetic changes in photosynthetic mechanisms in some taxa like *Atriplex*, *Maireana* and *Tecticornia* (e.g. Pyankov *et al.* 2000b; Muhaidat *et al.* 2018 and references), and Akhani and Ghasemkhani (2007) looked at a number of chenopods from N.E. Iran and suggested that species with C_3 cotyledons, the other leaves being C_4 ,

preferred the temperate or cold temperate conditions of the Irano-Turanian region, while those species all of the leaves of which were C_4 preferred warmer areas or open, disturbed conditions.

The largest concentration of halophytes - plants that can tolerate conditions in which the electrical conductivity of the soil solution is equivalent to ca 80 mM NaCl or more (Bromham & Bennett 2014) - in flowering plants occurs in this clade, with ca 510 halophytic species, mostly chenopods (381 spp.) (see also Saslis-Lagoudakis *et al.* 2016: also [Cyperaceae + Juncaceae] - Poales). These halophytes show “extreme conservation of salt tolerance” (Bromham 2015: pp. 334-335), salt tolerance having arisen only once or twice and being a retained feature (G. Kadereit *et al.* 2012; Moray *et al.* 2015). This is unlike the “tippy” (highly polyphyletic) distribution in other families that have a substantial number of halophytes, for instance, in Poaceae, where there has also been frequent loss of this feature (Kadereit *et al.* 2012; Bennett *et al.* 2013; Bromham & Bennett 2014; Bromham 2015; Piirainen *et al.* 2017). A number of halophytes, perhaps ca 43%, are also C_4 plants, and there is a connection between these two features (Sage & Monson 1999; Jacobs 2001; Sage 2002; Flowers & Colmer 2008; Kadereit *et al.* 2012; Bromham & Bennett 2014), and also with heavy metal tolerance (Lutts & Lefève 2015), as in other families like Poaceae (see Rajakaruna *et al.* 2016 for extreme physiologies in general). Interestingly, the bulk of the diversity in Camphorosmeae (14 genera and ca 147 species out of 22 genera, 180 species), is Australian, and are C_3 plants that favour dry and often saline conditions (Freitag & Kadereit 2014).

Most work on salt tolerance has been carried out on a few species of *Atriplex* (Chenopodiaceae: see Osmond *et al.* 1980), there are some studies on genera like *Suaeda* (Suadeae) and *Chenopodium*, but knowledge of salt tolerance in other genera is sketchy. The salt glands are epidermal hairs consisting of a stalk one to a few cells long and a head. Chloroplasts are reported as occurring in the stalk cells, at least (Kelley *et al.* 1962), and the plant gets rid of the accumulated salt when the heads break off or abscise (Schirmer & Breckle 1982). The hairs are commonest on younger parts of the plant where the problem of salt accumulation is most severe, although a number of other functions have also been ascribed to these salt glands (Karimi & Ungar 1989). For additional information on salt tolerance in chenopods, see articles in *Ann. Bot.* 115(3). 2015.

Furthermore, in common with some other groups inhabiting dry and/or saline habitats (including Tamaricaceae and Cactaceae in Caryophyllales), a number of Amaranthaceae, especially chenopods, have very fast germination. Here seeds usually have thin seed coats and long embryos and they germinate within a single day from the start of imbibition. This may begin when rain temporarily decreases salinity, temperatures are appropriate, etc. - quick establishment is of the essence in the

conditions in which these plants live (Parsons 2012; Parsons *et al.* 2014; esp. G. Kadereit *et al.* 2017). However, Salicornieae and Salsoloae in particular can tolerate very high salt concentrations at germination, even saltier than seawater, and they may not germinate so quickly, while in taxa with heteromorphic diaspores (see also below), diaspores of one morph may show fast germination while those of the other morph enter the seed bank (Parsons 2012; Kadereit *et al.* 2017 for many details). C_4 taxa may tolerate higher temperatures at germination, while in Australian Camphorosmeae in particular, many of which are C_3 plants, the perianth part of the anthocarp is persistent and causes the seed to remain dormant (Kadereit *et al.* 2017). Fast germination is connected with the absence of perisperm, so increase in relative embryo size - importantly, no reserves have to be transported from the perisperm or endosperm to the embryo - in species with C_4 photosynthesis and/or growing in saline habitats (Vandelook *et al.* 2021).

Fahn and Schori (1968) emphasized that there were anastomoses between xylem and phloem strands in different rings of secondary thickening in taxa from Atriplicoideae, Salsoloideae and Camphorosmoideae. This was perhaps important for facilitating functioning of this tissue in desert plants; they also noted that the phloem, at least, remained functional for seven years or more.

Ptilotus (Aerveae) diversified in the central arid part of Australian (the Eremean) within the last ca 21.5 Ma (Hammer *et al.* 2020). Taxa of *Ptilotus*, with around 120 species in Australia, can accumulate phosphorus to levels at which other amaranths are harmed, and they can also grow in soils that are low in phosphorus (Suriyagoda *et al.* 2015).

Almost a hundred species of amaranths are to be found in the Brazilian Cerrado, and Campos *et al.* (2021) note that a variety of carbohydrates - sucrose and different kinds of fructans - were stored in the underground parts of different amaranths.

Pollination Biology & Seed Dispersal. Ortuño Limarino and Borsch (2020) emphasize that the flowers of some *Gomphrena* are pseudanthial, being aggregated into heads and some having brightly-coloured inflorescence bracts. For the evolution of breeding systems in *Atriplex*, see Goldberg *et al.* (2017).

In chenopods in particular the perianth may become accrescent and envelop the fruit, being variously fleshy, winged or spiny and involved in dispersal, that is, the fruits are anthocarps (e.g. see illustrations in von Mueller 1889-1891; *Fl. Austral.* 4. 1984; Cabrera *et al.* 2009). Taxa with heteromorphic diaspores are also quite common here (Imbert 2002, also above), indeed, they are probably relatively more common here than in any other group of comparable size/age. In Achyrantheae (amaranths) in particular the two sterile flowers associated with the fertile flower quite often are modified as

spines or hooks, sometimes hairs, the former presumably being involved in epizoochory (Di Vincenzo *et al.* 2018). The diaspore types differ in their longevity, optimal conditions for germination, etc. (Song & Wang 2015; see also L. Wang *et al.* 2010; Gul *et al.* 2013; Kadereit *et al.* 2017).

Plant/Animal Interactions. Cecidomyiid midges (*Asphondylia*) form galls on chenopods like *Sarcocornia* and *Tecticornia* in Australia; fungi also live in the galls, although the relationship between the fungi and the midge larvae — the former seem to be eaten by the latter — is unclear (Teresa Lebel, pers. comm.); this trophic relationship is also likely in the so-called ambrosia galls (for fungi and cecidomyiids, see Dorchin *et al.* 2019 and references). Dorkin *et al.* (2019) noted that around 60% of the cecidomyiid Lasiopterini - there are perhaps some 5,000 species in the group, although most are undescribed - were to be found on chenopods.

Atriplex was probably a major item in the diet of the extinct giant (ca 230 kg) kangaroo *Procoptodon goliath*, and most of these species of *Atriplex* are in a clade that has diversified within the last 6.3-4.6 Ma (Prideaux *et al.* 2009; Kadereit *et al.* 2010). Indeed, this and other browsing sthenurine kangaroos represent a diversification that went on through the later Miocene into the Pliocene despite increasing aridity; chenopod biomass was, however, increasing (Couzens & Prideaux 2015).

Plant-Bacterial/Fungal Associations. Although the family is apparently largely without mycorrhizae (see Delaux *et al.* 2014 for *Beta* and *Spinacea*), vesicular-arbuscular mycorrhizae have been reported from chenopods in the Red Desert of Wyoming - but only on native taxa and under undisturbed conditions (Miller 1979); c.f. also Zygophyllaceae.

Vegetative Variation. The nodes are nearly always unilacunar, but there is considerable variation in the number of traces that enter the leaf (e.g. Wilson 1924; Fahn & Brodo 1963: *Salsola*, *Suaeda*; Balfour & Philipson 1962). Some *Salicornieae* have 1:1 nodes in which two lateral branches diverge, descend, and enter the stem cortex (Wilson 1980), indeed, to say that there is basically 1:1 nodal anatomy here masks a considerable amount of variation (e.g. Bisalputra 1962: chenopods; Costea & de Mason 2001: *Amaranthus*). For a discussion about the cortical vascular system and leaves of *Salicornia* and relatives, see Fahn and Arzee (1959), James and Kyhos (1961) and Beck *et al.* (1982), etc. (more literature in Piirainen *et al.* 2017); Joshi (1931) and Costea and De Mason (2001) discuss medullary bundles. A question: Is the fleshy cortex of the stem of foliar or cauline origin? Fahn and Schori (1968) and others have looked at details of the architecture of secondary thickening here.

Variation in leaf anatomy in the chenopods is very considerable and is close to unmatched in other BLA families (Freitag & Stichler 2000). Tissue serving as water

reserves may be central or peripheral; the position and development of palisade photosynthetic tissue varies greatly; vascular bundles may be in a plane or circle, complete or not, and peripheral vascular bundles may have xylem on the outside (with respect to the leaf centre) or the inside; a midrib vascular bundle may be evident or not, and so on (e.g. Freitag & Stichler 2000; Freitag & Kadereit 2014). Variants occur in taxa with C₃ and C₄ photosynthesis, thus in Camphorosmeae alone, of the 10 anatomical “types” there, four carry out C₃ photosynthesis, five C₄ photosynthesis, and one is intermediate, interestingly, the great majority of the group, all Australian, are C₃ plants (Freitag & Kadereit 2014). All told, there are some 17 C₄ anatomical variants (G. Kadereit *et al.* 2003; Schültze *et al.* 2003; for surveys, etc., see e.g. Carolin *et al.* 1975; Jacobs 2001); see also above.

Genes & Genomes. For genome size - small in the family as a whole - and evolution in *Chenopodium* s.l., see Kolano *et al.* (2015) and Mandák *et al.* (2016: ?sampling), and for that in *Amaranthus* see Stetter and Schmid (2017). Maiwald *et al.* (2020) discuss variation and distribution of Cassandra terminal repeats in the family. For a genome duplication at the *Aerva/Alternanthera* node (Aerveae-Gomphreneae), see Y. Yang *et al.* (2015, 2017; S. A. Smith *et al.* 2017); there is also a duplication pegged to *Amaranthus* (S. A. Smith *et al.* 2017; Yang *et al.* 2017).

Ptilotus and its sister taxon, *Ouret*, are polyploids on $x = 27$ (for some chromosome numbers, see Stewart & Barlow 1976), while there has been extensive hybridization in *Chenopodium*, *C. quinoa* itself being a tetraploid (Kolano *et al.* 2019).

Economic Importance. For the American grain amaranths, see Clouse *et al.* (2016) and Stetter and Schmid (2017) and references - there are also some nasty glyphosate-resistant weedy amaranths, the pigweeds. Indeed, Amaranthaceae include a disproportionally large number of notably serious and widespread weeds (Daehler 1997) and are well represented among naturalized/invasive taxa (Pysek *et al.* 2017)

Chemistry, Morphology, etc.. Triterpenoid saponins are common enough in flowering plants, but 30-noroleanane triterpenoids are distinctly less common, but they have been found in two amaranth and four chenopod genera (Lyu *et al.* 2018); for saponins in general here, see Mroczek (2015).

Fron (1899) looked at the anatomy of stem and root in young chenopods, i.a. noting that the arrangement of the vascular tissue could be spiral, although there could be infrageneric variation in this. *Polycnemon* and *Nitrophila* have been reported to have ordinary secondary thickening, but c.f. Heklau *et al.* (2012) and Masson and Kadereit (2013); noye the rings in the swollen roots of beetroots and see Krumbiegel and Kástner (1993) for *Chenopodium*. The absence of rays in the wood is pervasive in the chenopods, with a few exceptions, and Amaranthoideae also lack them (Carlquist

2015b; see also Carlquist 2003c). Stem collenchyma is well developed; there are nucleated xylem fibres (Rajput 2002). Stem-borne roots of *Polycnemum* seem to have a superficial cork cambium (Heklau *et al.* 2012; see also Fron 1899).

Chenopod flowers show a considerable amount of variation, partly because of the involvement of the perianth in fruit dispersal, and partly because the flowers may be quite reduced; it can be difficult to interpret what one is looking at. In the reduced perianth of the Australian *Tecticornia* (Salicornieae) the odd member is abaxial (for floral development, see Shepherd *et al.* 2005b). The “bracteoles” enveloping the flower and fruit in some species of *Atriplex* (Chenopodieae) are modified perianth members (Flores-Olvera *et al.* 2011). Whether or not the flower parts of *Chenopodium* are spiral or whorled has occasioned much discussion (Sokoloff *et al.* 2018 and references).

Vrijdaghs *et al.* (2014), Borsch *et al.* (2018) and Sánchez-del Pino *et al.* (2020) suggest that the lateral appendages on either side of the filament in Gomphreneae, at least, cannot be called pseudostaminodes, and the latter suggest that the paired appendages on the filaments and the single structures coming from the filament tube between the filaments are not homologous (see also Ortuño Limarino & Borsch 2020). The arrangement of the androecium during development and in the mature flower of *Pleuropetalum* (Celosieae) is different (Ronse Decraene *et al.* 1999).

The ovule primordium, central on the receptacle, is initially surrounded by but detached from if later attached to the annular ovary wall, and so the gynoeceum has been described as being “(ontogenetically) acarpellate” (Sánchez-del Pino *et al.* 2020: p. 315).

Pollen is mostly fairly homogeneous (Nowicke 1975; Skvarla & Nowicke 1976), having a similarly thickened tectum, apertures (pores) with reduced pointed flecks of exine underlain by lamellar plates, and a thickened endexine. K.-Q. Lu *et al.* (2018) divided the pollen of a number of eastern Asian chenopods into six types based on details of the variation in pore size and the ornamentation of the pore membranes; it will be interesting to see how these “types” hold up as sampling is improved. Pollen variation in part of Amaranthoideae is more extensive, the metareticulate pollen of Celosieae being particularly distinctive (e.g. Borsch 1998; Borsch & Barthlott 1998; Sánchez-del Pino *et al.* 2016). Livingstone *et al.* (1973), and especially K. Müller and Borsch (2006c) discuss the evolution of the distinctive stellate pore ornamentation of the pollen of Achyrantheae subclade II. The morphology of such pores is complex, but it can be decomposed into a number of variables which occur individually outside of this clade (Müller & Borsch 2006c); As Townsend (1993: p. 73) described such pores, they “rather resemble a hermit crab emerging from its shell”. Borsch *et al.* (2018) took a detailed look at palynological variation within *Iresine* (Gomphreneae).

2-carpelate members of the family usually have collateral carpels, but they are sometimes superposed. The chalazal region of the ovule is more or less digested by the embryo sac in at least some Amaranthaceae - and this is also once recorded from Nyctaginaceae (Maheshwari 1950). For fruit wall and seed coat anatomy in chenopods, see Sukhorukov and Zhang (2013); heteromorphism of diaspore type may be accompanied by variation in whether the embryo is chlorophyllous or not (Imbert 2002). There are also complex variation patterns involving embryo shape, the relative size of the cotyledons and the nature of the seed reserve, if any (Vandelook *et al.* 2021); I certainly have not done them justice above.

All in all, Amaranthaceae are morphologically heterogeneous: e.g.

- *Pleuropetalum* (Celosieae): Leaves spiral; inflorescence racemose; A 5-8, connate basally, paired in development, pseudostaminodes 0; G [5-6], several basal unordered ovules/carpel; fruit \pm fleshy, pericarp abscises, mound of shiny black seeds exposed, looks like a little blackberry [esp. *P. darwinii*]; n = 8, 9. 3 spp; Tropical America, Galapagos. See Ronse Decraene *et al.* (1999), Townsend (1993).
- *Dysphania* (Dysphanieae): Plant gynomonoecious, bracteoles 0, perfect flowers: P 3, A 2, opposite P, pollen 3-celled, carpelate flower: P 2, cucullate; [G 2]; ovule 1, integuments with space at base, nucellar beak becomes massive; embryo long, slightly curved, perisperm +; n = 8 (9), polyploidy on both base numbers. 7-10 spp., widely distributed. See Eckardt (1967a, b).

“Am” = Amaranthoideae, “Chen” = Chenopodioideae + Salicornioideae, “Po” = Polycnemoideae. Additional general information can be found in Eliasson (1988: Am), Robertson (1981: Am), Kühn (1993: Chen), Townsend (1993: Am), Judd and Ferguson (1999: Chen), Sukhorukov *et al.* (2014: Corispermeae) and Zhu and Sanderson (2017: Chen). See also Blunden *et al.* (1999: betaine distribution), Hegnauer (1964, 1989: chemistry), Shelke *et al.* (2019: secondary thickening, *Suaeda*), Hu and Yang (1994), Rajput (2002), and Grigore *et al.* (2014), various aspects of anatomy, Zumaya-Mendoza *et al.* (2019: *Iresine* stem), Bisalputra (1961: seedling, 1962: stem/node anatomy, both Chen), Carolin (1983: Am, Chen, indumentum), Acosta *et al.* (2009: Am) and Urmi-König (1981: Chen), both inflorescence morphology, Payer (1857), Sattler (1973), Choob and Yurtseva (2007) and Flores Olvera *et al.* (2008, 2011), all Chen floral morphology, Bakshi (1952: Am) and Hakki (1972, 1973: Chen), both floral morphology and embryology, Flores Olvera *et al.* (2006), Tsymbalyuk (2008) and Zhu and Sanderson (2017), all pollen, Ronse De Craene (2020: Am), gynoecium, Meunier (1890), Kajale (1940b: extensive, Am), Wilms (1980) and Naidu (1984), ovules and seeds, Veselova *et al.* (2016: Po, extensive discussion), and Shepherd *et al.* (2005b), Sukhorukov (2007, 2008) and Sukhorukov *et al.* (2015, 2018c), Chen fruits and seeds.

Phylogeny. *Amaranthus* was sister to Beta and other chenopods in an ORF 2280 phylogeny, and this group was in turn sister to a [*Celosia* (Amaranthaceae) + *Froelichia* (Gomphreneae)] clade (Downie *et al.* 1997). Cuénoud *et al.* (2002) found Amaranthaceae s. str. (= Amaranthoideae above) to be monophyletic, with very strong (97%) support, and the old Chenopodiaceae (everything else) were perhaps monophyletic, but their subtending branch collapsed in a strict consensus tree; the sampling was moderately good, but only the *matK* gene was analysed. Such findings set the scene for subsequent results (Morales-Briones *et al.* 2019/2020: Fig. 1 is informative from this point of view). In an extensive *rbcL* analysis, much of the Chenopodiaceae were again monophyletic, but with little bootstrap support, ditto the Amaranthaceae (incl. Polycnemoideae), while Betoideae were paraphyletic (G. Kadereit *et al.* 2003). Other studies had suggested that Chenopodiaceae were paraphyletic and perhaps even that Amaranthaceae were polyphyletic (Pratt 2003; Pratt *et al.* 2001). In an analysis of *matK/trnK* sequences, K. Müller and Borsch (2005b, c) found that *Polycnemonum* and *Nitrophila* (100% support) were sister to the rest. In G. Kadereit *et al.* (2005) relationships were [chenopods [*Corispermum* + the rest]]. Masson and Kadereit (2013: ?wrong reference) found a clade [other Amaranthaceae + Chenopodiaceae] had 70% bootstrap support and still lower PP values, while Amaranthaceae s. str. had 100% support and Chenopodiaceae s. str. again 70% bootstrap support yet 1.0 PP. Amaranthaceae s. str. and Chenopodiaceae s. str. had similar support values in Kadereit *et al.* (2017), Polycnemoideae being placed sister to Chenopodiaceae, but support for this position was not strong. See also Z.-D. Chen *et al.* (2016) for relationships between Chinese taxa, where these two main clades were not very well supported. J. F. Walker *et al.* (2018) also found that [*Polycnemonum* + *Nitrophila*] might be sister to the chenopods, or might even form a clade with *Beta*, while [*Polycnemonum* + *Nitrophila*] was sister to [chenopods + amaranths] in Di Vincenzo *et al.* (2018)... Yao *et al.* (2019) found that a well supported [*Spinacia* + *Beta*] clade was sister to their Amaranthaceae s.str., although that position had little support and they noted that their sampling was exiguous.

In a complex series of analyses of nuclear (92 transcriptomes/reference genomes) and chloroplast data, the overall sampling being pretty good, Morales-Briones *et al.* (2019/20) found gene-tree discordance, perhaps caused by hybridization between the main clades, incomplete lineage sorting, etc.; most genes were in fact phylogenetically uninformative. Basic relationships from nuclear data, well supported apart from the position of Polycnemoideae, were [amaranths [Polycnemoideae [Betoideae + chenopods]]], while chloroplast data suggested [chenopod II [[chenopod I + Betoideae] [amaranths + Polycnemoideae]]]. A number of relationships in the latter analysis were supported by a very low proportion of informative genes, with alternative positions about as likely (Morales-Briones *et al.* 2019/2020).

In the rest of this section I shall use the names from the five-subfamily classification suggested by Morales-Briones *et al.* (2019/2020) as far as possible-

Within Amaranthoideae Ogundipe and Chase (2009) found that *Bosea* and *Charpentiera* were successively sister to the rest, but Amaranthoideae, Amarantheae and Amarathineae were paraphyletic. [[Amarantheae + Celosieae] [*Psilotrichum ferrugineum* [Aerveae [Gomphreneae + Achyrantheae]]]] were the core relationships recovered by Di Vincenzo *et al.* (2018). However, at the generic level there was extensive para/polyphyly, thus although *Psilotrichum ferrugineum* occupied an isolated position along the spine of the tree (which should be confirmed), other species of the genus were in Achyrantheae subclade II (Di Vincenzo *et al.* 2018). Relationships between Aerveae, Gomphreneae and Achyrantheae were unclear in Hammer *et al.* (2017).

Amarantheae: For relationships in *Amaranthus* itself see Stetter and Schmid (2017) and in particular Waselkov *et al.* (2018). Gomphreneae: *Iresine* should be circumscribed broadly (Borsch *et al.* 2018 for a phylogeny). There is a [gomphrenoid (*Gomphrena* is polyphyletic) + alternantheroid (*Alternanthera* is monophyletic)] clade (Sánchez-del Pino 2007; Sánchez-del Pino *et al.* 2009; see also Bena *et al.* 2017). The monophyly of *Alternanthera* has been confirmed (Sánchez-del Pino *et al.* 2012) while Ortuño Limarino and Borsch (2020) found genera like *Philoxerus*, *Lithophila* and *Gossypianthus* to be embedded in *Gomphrena* (and some *Gomphrena* to be close to unrelated genera like *Pfaffia*...). Depending on the analysis, a geographically heterogeneous [*Guilleminea* + *Gomphrena prostrata*] clade was sister to the rest of *Gomphrena*, or a small group of *Gomphrena* from Bahia, Brazil, occupied that position (Ortuño Limarino & Borsch 2020); *Tidestromia lanuginosa* was sister to the rest of the gomphrenoid group. Aerveae: Hammer *et al.* (2015, 2019; also generic limits, esp. 2021) discuss relationships in the Australian *Ptilotus*, where West Australian species are sister to the rest.

J. F. Walker *et al.* (2018a) discussed the morphology and relationships of Polycnemoideae in some detail - morphology more = Amaranthaceae, habitat, = Chenopodiaceae. See also Masson and Kadereit (2013) for relationships within Polycnemoideae.

As to Betoideae, Hohmann *et al.* (2006) found that *Acroglochin*, with circumscissile capsules like other members of the subfamily, tended to wander around the tree; they did not place it.

Relationships within the old Chenopodiaceae are having to be reworked because the often highly reduced and modified flowers and fruits have been difficult to understand and interpret and previous taxon delimitations are unsatisfactory. Thus in

Camphorosmeae and Salicornieae, for example, there is much variation in fruit and seed, the former in particular involving apparent adaptations for dispersal, and genera based on this variation are not holding up, even though some have only recently been described (Shepherd & Wilson 2007, c.f. Wilson 1980; G. Kadereit & Freitag 2011). G. Kadereit *et al.* (2005) discuss relationships in Australian chenopods - Australia is a centre of diversity for the group.

Chenopodioideae/Chenopod I. Chenopodieae: G. Kadereit *et al.* (2010) examined relationships in the old Atripliceae, and *Chenopodium* as included there turned out to be polyphyletic; Fuentes-Bazan *et al.* (2012a) found that *Atriplex* and other genera were nested within *Chenopodium* s.l. - in fact, members of four tribes of the old Chenopodioideae were intermingled (see also Kolano *et al.* 2015; Mandák *et al.* 2016 for *Chenopodium* s.l.). Sukhorkov *et al.* (2018) looked at relationships around Blitum. Relationships between Dysphanieae (plant aromatic, with stalked or sessile glands), Atripliceae Duby (inc. Chenopodieae), Axyrideae and Anserineae (inc. Spinacieae) are unclear, although the groups seem to be monophyletic (Fuentes-Bazan *et al.* 2012b for a summary). For *Atriplex* and relatives, see also Zacharias and Baldwin (2010: North American taxa), while for relationships in Dysphanieae, see Uotila *et al.* (2021), who found conflict between nuclear and chloroplast data in the basal relationships.

Salicornioideae/chenopod II. Camphorosmeae: Cabrera *et al.* (2009) looked at relationships in the Australian Camphorosmeae, a monophyletic group, and G. Kadereit and Freitag (2011) at those in Camphorosmeae as a whole. Salicornieae: see Kadereit *et al.* (2006). For relationships in the Australian *Tecticornia* and its relatives, see Shepherd *et al.* (2004, 2005a) and for the relationships between the paraphyletic *Sarcocornia* and *Salicornia*, see Steffen *et al.* (2015). Species limits in the ecologically important *Salicornia* are difficult, and there is hybridization (Chatreñoor & Akhani 2021). For a general phylogeny of the tribe, see Piirainen *et al.* (2017). Salsoleae: Wen *et al.* (2010) found that Salsoleae s.l. were monophyletic, Akhani *et al.* (2007) looked at relationships in Old World, and also other, Salsoleae. Suaedeae: See Schütze *et al.* (2003) for relationships.

Classification. J. F. Walker *et al.* (2018a) inclined towards recognition of Chenopodiaceae and Amaranthaceae s. str., although Polycnemoideae were to a certain extent intermediate. Chenopodiaceae s. str. are recognised by Cronquist, and more recently by Hernández-Ledesma *et al.* (2015) and Zhu and Sanderson (2017). Indeed, in the past the two families have been recognised as being separate, if close, but given the pattern of relationships suggested by Morales-Briones *et al.* (2019/2020) a single family with five subfamilies does seem to be more sensible.

For the classification of the old Suaedoideae, see Schütze *et al.* (2003), of Salsoloideae, see Akhani *et al.* (2007), of Chenopodioideae, see Fuentes-Bazan *et al.* (2012b), of

Camphorosmoideae, Kadereit and Freitag (2011), of Salicornioideae, see Piirainen *et al.* (2017 - a new genus still to be described), and of Betoideae, see Iamónico (2019). Apart from Betoideae, these classifications can largely be followed, but with subfamilies equivalent to tribes, etc..

Cabrera *et al.* (2009) found generic problems in the Australian Camphorosmeae, *Maireana* being in a particular mess (see also G. Kadereit & Freitag 2011). Within Chenopodieae, Zacharias and Baldwin (2010) divided the C₃ North American *Atriplex* and relatives, which are quite variable, into a number of genera, while Fuentes-Bazan *et al.* (2012b) made the needed nomenclatural changes for the dismemberment of *Chenopodium* s.l. into seven genera (see also Kadereit *et al.* 2016), however, the limits of *Chenopodium* in Australia have been expanded (Mosyakin & Iamónico 2017). Within Gomphreneae, *Iresine* should be circumscribed broadly and the limits of the polyphyletic *Gomphrena* (Sánchez-del Pino 2007; Sánchez-del Pino *et al.* 2009) are being adjusted (see Ortuño Limarino & Borsch 2020). Some of the extreme halophytic genera are morphologically much modified, and generic limits are difficult. For generic limits in Aerveae, see Hammer *et al.* (2019).

Given the obvious general relationships between the old Chenopodiaceae and Amaranthaceae, and the complexity of the details of the relationships between them, a classification of Amaranthaceae s.l., albeit incomplete, is suggested above, however, what the future holds in terms of ideas of relationships will determine its fate.

Código QR 9



Ingrese al QR para más información del Sistema de Clasificación de Angiospermas.

