

EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS, AGUA Y VEGETACION EN LA LLANURA FLUVIO LACUSTRE DEL RIO DESAGUADERO (Altiplano Central de Bolivia).

1 ANTECEDENTES.

La llanura fluvio lacustre del río Desaguadero, es una importante zona ganadera en el Altiplano Central de Bolivia (aproximadamente 8000 Km²), gracias a la existencia de extensas áreas con pastizales naturales y forrajes introducidos que favorecen la cría de ganado ovino, vacuno y camélido. Sin embargo, esta zona presenta un déficit hídrico marcado en la mayor parte del año (250 a 350 mm), obligando a los productores a recurrir al riego complementario para la producción de forrajes, utilizando para tal fin las aguas del río Desaguadero o en algunos casos aguas subterráneas.

Esta llanura como presenta una topografía plana a casi plana, con predominio de partículas finas a muy fina en sus diferentes horizontes tiene un drenaje lateral y vertical bastante pobre que evita la evacuación de las sales.

Los procesos de salinización/alcalinización, están disminuyendo no solo la capacidad productiva de los suelos, sino amplias zonas se están convirtiendo en eriales y por consiguiente afectan la cantidad y calidad de los forrajes y también las posibilidades de sobrevivencia de la mayor parte de los productores que se dedican a la ganadería

Como las aguas del río Desaguadero y las aguas subterráneas, se constituyen en gran parte de la llanura en una de las únicas fuentes de agua para riego, consumo humano y animal, es importante conocer las características de estos recursos, ya que diversos estudios realizados indican que estas aguas, contienen importantes concentraciones de boro, sales (sulfatos, cloruros y carbonatos de Na, Ca y Mg) y metales como (As, Pb, Hg, Zn, Cu, C, Cr, Ni y otros), que limitan su uso. En ese sentido es importante conocer el impacto de estas aguas sobre los suelos regados, cultivos, animales y el hombre, en razón de que en la zona existen más de 20 sistemas de riego tradicional que están utilizando estas aguas por más de 4 décadas.

Actualmente la Autoridad Binacional del Lago Titicaca (ALT), con base a los Estudios Básicos llevados a cabo durante los años 1998 a 1992, y de acuerdo al Plan Director Binacional, ha concluido la implementación de las obras de regulación del río

Desaguadero en sus nacientes, situación que permitirá contar con mayores caudales de agua para riego durante la época de estiaje y por consiguiente intensificar el riego en toda la llanura.

El presente proyecto llevado a cabo en forma conjunta entre la ALT, Facultad de Agronomía –UMSA y el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN) pretende determinar la calidad de las aguas en esta importante zona ganadera, su impacto sobre suelos, forrajes y animales y con base a estos resultados definir algunas pautas para el manejo sostenible de estos recursos.

2 OBJETIVOS

2.2 Objetivo General

Buscar alternativas para el manejo sostenible de suelos, agua y vegetación en la llanura fluvio lacustre del río Desaguadero, y de esta manera favorecer a los productores ganaderos asentados en esta zona.

2.3 Objetivos Específicos.

- Caracterizar y evaluar la calidad de las aguas utilizadas para riego, consumo animal y humano.
- Determinar las características físico-químicas de los suelos regados y el impacto del riego sobre la salinización/alcalinización de este recurso.
- Determinar y comparar el grado de acumulación de metales pesados en suelos (parcelas), vegetación (forrajes) sometidos a diferentes años de riego.
- Evaluar la acumulación de metales pesados en tejidos de animales.
- Identificar posibles alternativas para el manejo sostenible de los recursos estudiados.
- Seleccionar áreas de interés para la implantación de parcelas demostrativas
- Evaluar y validar prácticas de manejo de suelos, agua y cultivos a nivel participativo en parcelas demostrativas seleccionadas.
- Caracterizar los suelos de las áreas seleccionadas.
- Seleccionar especies exóticas promisorias tolerantes a las condiciones de salinidad y clima (heladas).

3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.2 Etapas de Trabajo

Para el presente proyecto, se utilizó la siguiente metodología de trabajo:

- Trabajo de Gabinete 1
- Trabajo de Campo y Laboratorio
 - Muestreo periódico de aguas:
- Trabajo de Gabinete 2

Aspectos Metodológicos.

A lo largo del río Desaguadero, se definieron 4 puntos de muestreo periódico de agua (Puente Japonés, puente La Joya, puente Karasila y Toma de Pumanchalla), para analizar la calidad de las aguas. Así mismo estos muestreos periódicos y los análisis respectivos, se realizó en los canales de riego en Kochi, Japo y Santa María–Cocapata.

Se seleccionó 4 localidades, en cada localidad se seleccionaron parcelas con diferentes años de riego (4 tratamientos):

- T1 (Sin riego, testigo)
- T2 (1-10 años de riego)
- T3 (11-20 años de riego)
- T4 (> de 20 años de riego)

Considerando la variabilidad de los suelos del área, se vio por conveniente que cada tratamiento tenga 4 repeticiones, de las que se tomaron muestras a 3 profundidades: (0-10; 10-20 y 20-30 cm), haciendo un total de 192 muestras.

En las 4 localidades de estudio, se seleccionaron sitios para la excavación y descripción de calicatas representativas (1 x 0,80 x 1,20m), según la metodología de descripción de perfiles propuesta por la FAO (1976), las mismas que permitieron caracterizar los suelos de las zonas estudiadas.

Para determinar la acumulación de metales en la vegetación, en las parcelas seleccionadas (diferentes años de riego), se llevó a cabo el muestreo de dos especies vegetales: chiji (*Distichlis humilis*) y alfalfa (*Medicago sativa*).

Los resultados obtenidos (suelos y vegetación) fueron tabulados estadísticamente por el paquete SAS y comparados por la prueba de Duncan al 5%.

Para evaluar el riego a nivel parcelario, a partir del 2do año en terrenos de familias seleccionadas se instalan en parcelas con diferentes años de riego, tubos de acceso para la Sonda Neutrónica, para determinar la dinámica del agua en el suelo regado, antes y después de cada aplicación.

3.3 Resultados Esperados.

Entre los resultados más importantes esperados durante la realización del presente estudio (2001-2003) se tiene:

3.3.1 Aguas

- Se conoce la variación estacional y temporal de los contenidos de metales pesados, sales y boro en las aguas del Desaguadero (desde Pte. Japonés hasta toma de Pumanchalla, canales de riego y pozos de agua).
- Se han clasificado las aguas superficiales (Desaguadero) y de pozos y se conoce su calidad para riego, consumo humano y animal.
- Se conoce el manejo tradicional de las aguas de riego en los sistemas de riego seleccionados y a nivel de riego parcelario.

3.3.2 Suelos

- Se conoce las características físico-químicas de los suelos representativos en las zonas de riego seleccionadas.
- Se ha determinado la incidencia del riego sobre la acumulación de sales /sodio y metales en los suelos (en parcelas sometidas a diferentes años de riego).
- Se conoce el manejo tradicional del suelo en las áreas seleccionadas.

3.3.3 Cultivos

Se conoce la incidencia del riego sobre la acumulación de metales pesados en la vegetación nativa (Chiji) y exótica (alfalfa).

Se ha determinado el manejo de forrajes y otros cultivos en la zona.

3.3.4. Animales

Se conoce la acumulación de metales pesados en los tejidos de animales (ovinos).

3.4 Parámetros de Evaluación.

3.4.1 Aguas.

pH, T; CE (In Situ).

pH, CE, Cloruros, Sulfatos, Carbonatos, Bicarbonatos, Boratos, Cationes y Aniones solubles, Sólidos Totales (ST), Sólidos en Suspensión (SS). Relación de Sodio Adsorbido (RAS). Metales Pesados (Cd, Mn, Cu, As, Co, Pb, Cr, Sn, Hg, Ni), Boro y arsénico.

3.4.2 Suelos.

Textura y presencia de grava; Carbonatos; pHe; Cee; Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC); Ca, Mg, Na, y K Intercambiables y Total de Bases Intercambiables (TBI); Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI); Materia Orgánica; Fósforo Disponible y Aniones y cationes Solubles, Boro. Metales Pesados (Cd, Cu, As, Co, Pb, Hg, Ni, Cr)

3.4.3 Vegetación

Metales Pesados (Cd, Cu, As, Co, Pb, Hg, Ni y Cr)

3.4.4 Animales

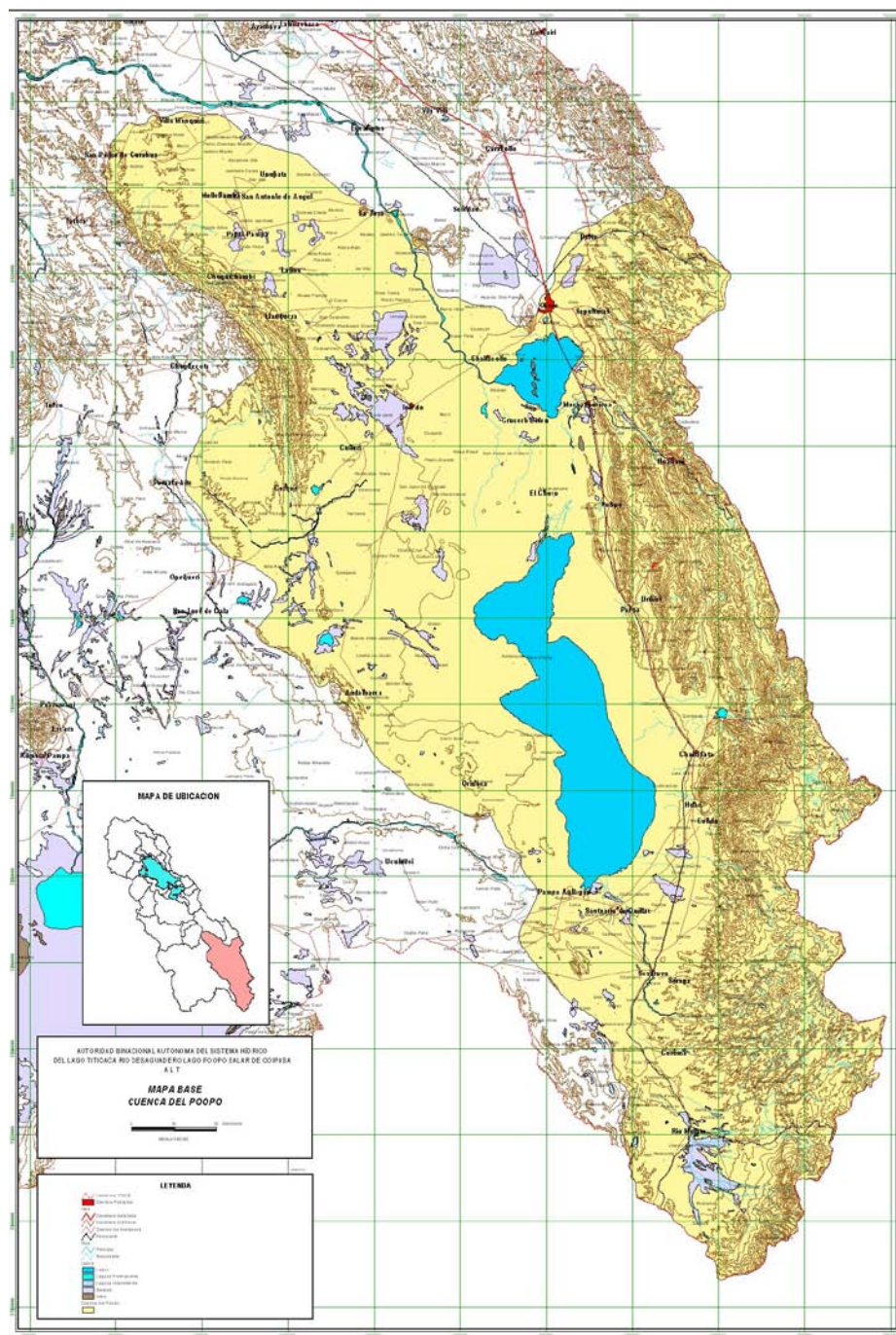
Acumulación de metales pesados en tejidos (Cd, Cu, As, Co, Pb, Hg, Ni y Cr)* De acuerdo a su presencia en suelos y agua

4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA.

4.1 Ubicación Geográfica del Estudio

La zona de El Choro, está ubicada en provincia Cercado del departamento de Oruro y corresponde a su II sección. Geográficamente está situada al sudoeste de la mencionada ciudad, entre las coordenadas 0695882, 7980275 y 0693841 y 7969803, y a una altura media de 3690 m.s.n.m. (Ver Figura 1).

Figura 1. Ubicación del Área del Proyecto en la Llanura Fluvio Lacustre del Río Desaguadero



1. Chilahualla (Santa Ana – Colqueamaya)
2. El Choro

4.2 Clima

De acuerdo a las zonas de vida propuesta por Holdrige (1975), el área de interés se encuentra ubicada en la zona Estepa Espinosa Montano Bajo Subtropical y según el estudio climatológico del Plan Binacional TDPS, la zona se caracteriza por ser una región semiárida y fría con precipitaciones menores a los 400 mm, las cuales se dan con preferencia entre enero y marzo. Las temperaturas del medio son bajas, con un promedio anual que se encuentra entre 6 a 8 ° C., los valores medios extremos oscilan entre -2 y 19 ° C, respectivamente.

La velocidad de los vientos supera en algunos meses los 40 km/h, lo que provoca en la época seca del año el arrastre de material edáfico, la dirección del viento predominante durante la época de invierno es de norte a sur o viceversa.

4.3 Fisiografía

Las áreas de estudio se encuentran ubicadas en la llanura fluvio lacustre del río Desaguadero, la misma que presenta un relieve topográfico relativamente plano, con pendientes máximos de hasta 2 %. Así mismo, no existen unidades de serranías o colinas que corten este paisaje plano.

4.4 Suelos

En general los suelos de la zona son poco desarrollados, debido a que se han formado a partir de sedimentos recientes (cuaternarios) de origen fluvio lacustre, que rellenan la llanura del Desaguadero y del Lago Poopó, las mismas que son parte del antiguo gran lago denominado Minchin.

Estos suelos, de acuerdo a los estudios de Colque E. (1987) y la ALT (2000), pertenecen en general a las clases III, IV y V de aptitud por capacidad de uso, presentando limitaciones de suelo, clima, drenaje y erosión.

Debido a las condiciones climáticas, la llanura presenta tendencia a la acumulación paulatina de sales y/o sodio en sus suelos y en algunos sectores problemas de inundación.

4.5 Vegetación

La cobertura vegetal de esta región, en su mayoría está conformada de pastos nativos, estando compuesto en un 54% de *Distichlis humilis*, *Muhlenbergia fastidiata*, *Suaeda foliosa*, *Orthophyla sp* y *Stipa ichu* y por otro lado por las introducidas en un 12 % (*Medicago sativa*, *Ordeum vulgare*). El área restante

(34%), representa áreas sin cobertura debido a los problemas de degradación y características de la cuenca.

4.6 Hidrografía

Toda el área de estudio se encuentra ubicada en la cuenca del lago Poopó (provincia Cercado), donde el río Desaguadero es el principal tributario del mencionado lago y del Uru Uru. Estos lagos, en la época de invierno, se secan casi por completo y presentan altos contenidos de salinidad y metales, imposibilitando su uso para consumo humano y animal.

4.7 Población

Según el censo (2001), la población en la sección municipal de El Choro llega a 3674 habitantes, distribuidos de la siguiente manera: El Choro (1100 habitante); San Felipe de Chaytavi (275); Rancho grande (400); Crucero Belen (371); San Pedro de Challacollo (1258) y Santa María (270), en las que predomina las mujeres (53,8 %), y la mayor parte de la población se encuentra en el área rural (66%) y el resto en el área urbana (pueblos).

5 RESULTADOS

5.1 Aguas

Las aguas del río Desaguadero se constituyen en gran parte de la llanura fluvio - lacustre del Altiplano Central de Bolivia, en una de las únicas fuentes de agua disponible no solo para riego sino para consumo humano y animal. La mayoría de los estudios realizados hasta el año 2001, muestran que el río Desaguadero presenta una variabilidad estacional marcada, ya que sus caudales durante la época seca del año son mínimos y en la época de lluvias son elevados.

El incremento paulatino de las sales en las aguas de la cuenca del Desaguadero, se debe en primer lugar a que el mencionado río atraviesa entre los sectores de Aguallamaya y Ulloma una vasta región del terciario, conformada de estratos yesíferos de las formaciones de Jalluma, Pando, Ballivián y Totora, las que luego de su mineralización aportan importantes cantidades de sales de diferentes cationes.

Por otro lado, las sales acumuladas en las capas superficiales de los suelos aledaños, durante la época seca del año, son lavadas por las lluvias, hacia los ríos, quebradas, acumulándose en la parte más baja de la cuenca (cuenca del Poopó).

Con base a estos resultados, se puede indicar que a inicios de la época de riego (junio-julio) y de acuerdo al Diagrama de Laboratorio de Salinidad de los EUA (1953), las aguas del río Desaguadero presentan mayores limitaciones ya que son de la clase C3S2, mientras que en la época húmeda del año esta agua pertenecen a la clase C2S1.

5.1.1 Características Físico-Químicas de las Aguas del Río Desaguadero.

De acuerdo a los resultados de los análisis de aguas realizados por la ALT (2001-2002), para cada sitio de muestreo, se realiza un análisis del comportamiento hidro-químico del Desaguadero para fines de riego.

En los resultados de los años 2001 y 2002 (para Pte. Japonés, Pte. Soledad, Pte. Karasila, Pumanchalla), se puede distinguir, que los iones estudiados (pH, Conductividad eléctrica, SS, SD, ST, Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, CO₃, HCO₃, B, RAS) van incrementándose en las aguas del Desaguadero a medida que transcurre la época seca del año, siendo mayores al inicio de la época húmeda del año (Enero), sin embargo, según estudios hidro-químicos de años anteriores, muestran que la concentración de estos electrolitos en pleno periodo húmedo disminuye debido a la dilución.

Aplicando el Diagrama para la clasificación de las aguas de riego (USDA), las aguas del río Desaguadero corresponden a una clase de salinidad alta (C3) para los cuatro sitios y todas las fechas de evaluación, a excepción del mes de enero-02 (periodo de mayor pluviosidad) en el que presenta una salinidad muy alta (C4), desde La Joya a Pumanchalla. Estos resultados coinciden con estudios anteriores realizados por Quintanilla (1994), Ledezma (1999) Orsag y Miranda (2000) y Huanca (2002), donde se obtienen similares resultados.

Esta presencia de concentraciones elevadas de sales en el agua, de acuerdo a literatura es una limitante para el riego, principalmente en zonas secas y en suelos que presentan problemas de drenaje, tal como presenta el área de estudio.

Respecto al peligro de sodio (álcali) las aguas del río Desaguadero, en los puntos evaluados durante los años 2001 y 2002 (meses de mayo a julio), pertenecen a la clase de sodicidad baja (S1), notándose cierta disminución de este valor con relación a trabajos de años anteriores.

5.1.2 Concentración de Metales Pesados en las Aguas del Desaguadero

De acuerdo a los resultados de los análisis de metales pesados, las aguas del Desaguadero (2001 y 2002), desde Puente Japonés (sector Santa Ana) a Pumanchalla, presentan concentraciones de metales que aumentan de mayo a enero (arsénico, hierro, mercurio, níquel, zinc y cadmio) para la mayoría de los puntos evaluados. El manganeso, cadmio, hierro, cobalto, cromo y mercurio se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles propuestos por la Norma Boliviana (Reglamentación de la Ley del Medio Ambiente de Bolivia: Estándares de Calidad de Aguas para Cuerpos de Agua Ecológicos, 1995), y de la FAO (Concentraciones Máximas Recomendadas en Aguas de Riego, 1972). Por consiguiente, su aptitud de uso tanto para riego como para consumo humano no tiene restricciones respecto a estos metales.

Sin embargo, se determinó que existen concentraciones importantes de zinc, boro, cobre, plomo, níquel y arsénico por encima de los máximos permisibles, encontrándose variación de sus concentraciones según el lugar y principalmente las fechas de evaluación.

De estos elementos, se debe indicar que principalmente el Pb y el As, son particularmente más tóxicos para los animales, mientras que el Cu, Ni y Bo, son más tóxicos para las plantas y son denominados fitotóxicos.

5.2 Suelos

5.2.1 Impacto del Riego sobre la Acumulación de Metales en los Suelos Regados

El río Desaguadero, de acuerdo a la evaluación de sus aguas, presenta algunas limitaciones para su uso, debido a que no solo contienen sales sino también algunos metales. En ese sentido, como estas aguas están siendo utilizadas para el riego en algunas provincias de La Paz (G. Villarroel y Aroma) y Oruro (T. Barrón, Saucarí y Cercado) por varias décadas, es necesario conocer el posible impacto de esta actividad sobre la acumulación de metales en los suelos ya que al ir acumulándose en las diferentes profundidades pueden disminuir su fertilidad y luego pasar a las plantas (forrajes o cultivos) disminuyendo su calidad y luego acumularse en los tejidos de los animales y el hombre.

Entre los metales más tóxicos para el medio, se tiene el mercurio, plomo, cadmio, cobre, níquel y cobalto, los primeros tres (Hg, Pb y Cd), son particularmente tóxicos para los animales y los últimos tres (Cu, Ni y Co) son más tóxicos para las plantas (fitotóxicos) que para los animales.

La acumulación de metales pesados y otros como el arsénico en las capas superficiales del suelo puede tener algunas consecuencias:

- Reducción de la fertilidad de los suelos debido a los efectos tóxicos de los metales.
- Transferencia de la fracción biodisponible de los metales hacia los cultivos y su paso a la cadena trófica (animales y posteriormente al hombre).
- Contaminación progresiva de la napa freática por lavado y percolación de la solución mineral.

Como el metal zinc, no es tan tóxico para los animales y para las plantas como el mercurio, plomo, cadmio, cobre, níquel y cobalto, no existe por el momento problemas por su presencia en los suelos de estudio, sin embargo, es necesario indicar que este podría seguir acumulándose en los suelos (tal como lo demuestran las correlaciones encontradas entre la concentración de metales y el porcentaje de arcilla) y en algún momento sobrepasar su carga crítica y encontrarse en cantidades disponibles para las plantas. En ese sentido, es necesario llevar a cabo monitoreos periódicos en las parcelas bajo riego para evaluar las tendencias de acumulación y por otro lado, determinar las concentraciones disponibles en el suelo ya que de este aspecto va a depender su acumulación paulatina en los alimentos y forrajes.

Otro elemento, presente en los suelos de estudio, es el cobre, el mismo que se encuentra en todas las localidades estudiadas, sus tratamientos (testigo: 0-10 años de riego, 11-20 y > a 20 años de riego), repeticiones y profundidades respectivas. Este metal en todas las parcelas de estudio se encuentra por encima del rango común (1-20 ppm) de Klokke (1980) y dentro del límite propuesto por la FAO (50-100ppm). En ese sentido, al igual que en el caso anterior, no parece haber por el momento problemas serios, relacionados a la incidencia del riego sobre la acumulación de este metal en el suelo, sin embargo es necesario considerar que este elemento es fitotóxico para las plantas.

El cromo, al igual que los dos metales anteriores se encuentra en cantidades variables y para la mayoría de los casos por encima del límite superior del Rango Común propuesto por Klokke (1980), pero por debajo del límite propuesto por la FAO, lo que demuestra que por el momento no existe una incidencia marcada de los años de riego sobre la acumulación de metales en el suelo.

El cadmio, un metal bastante tóxico para las plantas, se encuentra en todas las localidades estudiadas, sus tratamientos y repeticiones respectivas, dentro de los valores propuestos por la FAO (1-3ppm).

Los otros dos metales estudiados en el suelo (manganeso y hierro) al igual que en los casos anteriores se encuentran en cantidades variables, los mismos que no han podido ser comparados con los límites críticos de algún autor por no existir esta información ya que estos elementos no son tan tóxicos para las plantas.

Los contenidos de arsénico encontrados en las parcelas estudiadas de las diferentes localidades y sus tratamientos, profundidades y repeticiones respectivas, se encuentran por debajo del límite crítico propuesto por la FAO (20-30 ppm) y dentro del Rango Común (2-20 ppm) y Máximo Tolerable (20ppm) propuesto por Klokke. También el plomo encontrado en las parcelas estudiadas, muestran valores que se encuentran por debajo del Límite Crítico propuesto por la FAO (80-100 ppm), el Máximo Tolerable de Klokke (200 ppm), la Concentración Total Crítica de Rams y Steines (200ppm) y la Concentración Crítica (50–300 pp) de la Comunidad europea.

Los contenidos de níquel en las diferentes parcelas estudiadas también muestran resultados nada preocupantes ya que se encuentran para todas las parcelas estudiadas (tratamientos, profundidades y repeticiones) por debajo de Límite Crítico (35 ppm) de la FAO, Rango Común (2-50).

5.3 Vegetación

5.3.1 Impacto del Riego sobre la Acumulación de Metales en la Vegetación Estudiada.

A fin de conocer el impacto de las aguas del Desaguadero, sobre la acumulación de metales en la vegetación (forrajes) de las zonas regadas, se ha realizado un muestreo sistemático de dos especies forrajeras: chiji (*Distichlis húmilis*) y alfalfa (*Medicago sativa*) en 64 parcelas seleccionadas.

Para evaluar las concentraciones de metales presentes en la vegetación de estudio y determinar los posibles grados de contaminación, se ha tomado en cuenta algunos metales como el arsénico, molibdeno, cobalto y cobre, mientras que para otros elementos (plomo, cromo, cadmio, plata, níquel, mercurio, etc.) no se tiene parámetros para su comparación.

De acuerdo a los resultados obtenidos sobre los contenidos de metales (cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, mercurio, manganeso, níquel, plomo y zinc) en las especies de referencia, se puede mencionar lo siguiente:

Primero gran parte de los metales estudiados (cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, y manganeso) se encuentran en las localidades de estudio en mayores

concentraciones en el chiji que en la alfalfa y solo el mercurio y zinc se presentan en mayores concentraciones en la alfalfa.

Uno de los pocos elementos que se encuentra en la vegetación estudiada por encima de las concentraciones normales, es el cobalto, aunque no muestra una tendencia marcada a aumentar en la vegetación a medida que aumentan los años de riego.

Las concentraciones encontradas, son en general mayores en el chiji que en la alfalfa y sobrepasan los niveles de referencia propuestas por los mencionados autores (0,01-1,0 ppm) en todas las zonas estudiadas (Pallquiri, Kochi-Rancho Grande, Japo y Cocapata-Santa María) en un 200%.

La presencia de cobalto en la alfalfa, no es tan marcada ya que sus concentraciones no sobrepasan para la mayoría de los casos las concentraciones normales y solo en Kochi-Rancho Grande, sus límites sobrepasan ligeramente estos límites (superiores) de las concentraciones normales mencionadas.

Los contenidos de arsénico en todas las localidades estudiadas (tratamientos, profundidades y repeticiones), están dentro de las concentraciones normales, y parece que estos metales no esenciales, no son absorbidos con preferencia por las plantas.

Esta baja presencia y poca diferenciación de los metales en la vegetación de los diferentes tratamientos (años de riego) puede estar relacionada con la baja incidencia del riego en las parcelas (suelos) regadas y por sus características que impiden la alta disponibilidad de los mismos (contenidos elevados de arcilla y materia orgánica, pHs elevados y presencia de carbonatos).

Considerando que los elementos más tóxicos en el medio son el mercurio, plomo, cadmio, cobre, níquel y cobalto, de los cuales los primeros tres (Hg, Pb y Cd), son particularmente tóxicos para los animales y los últimos tres (Cu, Ni y Co) son más tóxicos para las plantas (fitotóxicos), la presencia del cobalto en la vegetación, no debería ser motivo de preocupación por su posible acumulación en los animales pero sí tener algunos efectos sobre las plantas. Sin embargo, como es un microelemento indispensable para los cultivos y principalmente para las leguminosas, sería conveniente estudiar más profundamente su incidencia sobre la producción de forrajes y su relación con los suelos.

Como los niveles de metales pesados hallados en las plantas no son altos, estas concentraciones no parece que afectaran seriamente a los animales que consumen estos forrajes y por consiguiente no deberían ser motivo de preocupación, sin embargo es necesario tomar en cuenta en esta zona semiárida del Altiplano que el ganado puede consumir durante la época seca del año, algo de suelo mezclado con la escasa vegetación, por consiguiente algunos metales tóxicos podrían acumularse en los animales.

Algunos metales en forma de cationes, no pueden ser fácilmente translocados a la parte superior de las plantas (Cu, Pb, Cd) y por lo tanto quedan después de su absorción acumulados en las raíces y no son consumidos por el ganado, aspecto a tomar en cuenta en estas zonas ya que los animales consumen principalmente las partes aéreas de las plantas.

5.4 Acumulación de metales en Ovinos

Los contenidos de los metales (manganeso, zinc, cromo, cadmio, plomo, arsénico, níquel y cobre) en la sangre de ovinos, muestran resultados bastante variados, donde destaca principalmente la presencia de plomo. Esta situación debería ser motivo de preocupación, ya que este elemento conjuntamente con el cadmio y mercurio, son particularmente tóxicos para los animales y afectar la producción animal (calidad y cantidad) y a la larga afectar a los humanos que se alimentan con este tipo de animales.

Los contenidos de zinc, cobre, cromo, níquel y manganeso determinados en la sangre, no parecen encontrarse en cantidades críticas, además el cobre y níquel son más tóxicos para las plantas y no tanto para los animales.

Los niveles de arsénico en la sangre de los ovinos seleccionados, se encuentran dentro de los límites normales.

Por otro lado, los niveles de metales encontrados en la lana (fibra) de oveja, también muestran valores muy variados y no parecen encontrarse en cantidades críticas.

5.5 Riego mas utilizado

El método de riego más utilizado en la llanura es el riego por inundación, donde las láminas y turnos de agua aplicados en las parcelas de estudio varían de una

localidad a otra y en las parcelas de una misma localidad, así, se ha visto que las parcelas seleccionadas durante el año 2002 y 2003, han recibido diferentes turnos de riego, con láminas que fluctúan entre 10 a 50 mm.

Así mismo, el agua que dispone cada usuario es utilizado para humedecer el suelo antes de su preparación o para la siembra, lo que disminuye el agua disponible para el riego de las parcelas con alfares.

Las mediciones de humedad realizadas periódicamente a diferentes profundidades del suelo, permiten constatar que la humedad inicial de las parcelas (antes del 1er. riego) son bajas (varían entre 10 a 20 %de HV), y están en función a la textura del horizonte y profundidad de la napa frática. Estas bajas humedades se deben a que los suelos desde las últimas lluvias (marzo) hasta el primer riego (julio), pierden gran parte de su humedad residual por evaporación y consumo por la vegetación y por lo tanto la aplicación de agua de riego es la única opción para poder producir en la época seca del año.

Se ha podido evidenciar que luego de la aplicación del riego, en la mayoría de las parcelas estudiadas, el agua aplicada se almacena con preferencia en los horizontes inferiores del suelo. Esto se debe a que las láminas de agua aplicadas por inundación en un suelo seco, se drenan fácilmente hacia los horizontes inferiores del suelo a pesar de que en algunos casos las texturas son pesadas.

6 ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA LLANURA FLUVIO LACUSTRE DEL DESAGUADERO

En base a la caracterización de los recursos naturales de la llanura fluviolacustre del Desaguadero, análisis del manejo tradicional de los recursos suelos, agua y vegetación e identificación de sus limitaciones, a continuación se proponen algunas alternativas para el manejo sostenible de estos recursos:

6.1 Manejo de Praderas Degradadas

Como las pasturas naturales están desapareciendo paulatinamente en varias zonas de la llanura fluviolacustre del Desaguadero debido al sobrepastoreo y degradación de los suelos (salinización/alcalinización, erosión, etc), hay una disminución marcada de la producción de pastos nativos que afecta la actividad agrícola y economía de los pobladores.

En ese sentido, a continuación se proponen algunas propuestas para la recuperación de las de las pasturas degradadas:

- Re (siembra) de pastos nativos.
- Siembra de pastos con ayuda de zanjas de infiltración.
- Transplante de pastos.
- Instalación de pastos cultivados.
- Instalación de claustros o cerramientos.

6.2 Propuesta para el Manejo de los Recursos Naturales de la Llanura Fluvio lacustre bajo una Agricultura Salina

De acuerdo a los estudios realizados en la llanura fluvio lacustre del Desaguadero, se ha determinado que es muy común encontrar suelos pesados con diferentes grados de salinidad/alcalinidad. En ese sentido, la agricultura a secano en estas zonas se hace riesgosa y es cada vez más difícil o imposible, que se desarrollen en estos suelos cultivos sensibles (haba, papa dulce, etc.) a las altas concentraciones de sales/sodio y otras limitantes.

En ese sentido, como en este tipo de suelos es difícil garantizar el crecimiento de especies sensibles a las altas concentraciones de sales, la “Agricultura Salina” se muestra como una solución viable para gran parte de la llanura fluvio lacustre del río Desaguadero.

Para tal efecto, a continuación se propone algunas pautas para impulsar y consolidar en esta zona del Altiplano boliviano una “Agricultura Salina”, la misma que ya se la practica de alguna manera en algunas zonas de esta planicie.

Dentro de una agricultura salina se debe considerar los siguientes aspectos:

- Manejo de Cultivos Tolerantes a la Salinidad.
- Manejo de Suelos
- Manejo de Agua

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Agua

De acuerdo a los aforos y muestreos de agua realizados en cuatro puntos del río Desaguadero (Puente Japonés, Puente Soledad, Puente Karasila y Pumanchalla), 3 canales de riego (Kochi, Japo y Cocapata SM) y dos pozos de agua (Rancho Grande y Santa María) en El Choro, durante los años 2001 y 2002 se pueden sacar las siguientes conclusiones:

Los caudales promedio del río Desaguadero (Soledad y la Joya) obtenidos a partir de marzo del año 2002 son superiores a los años anteriores en aproximadamente 150 m³/s para la época seca del año, lo que significa un incremento entre 400 a 600 %.

Aplicando el Diagrama para la clasificación de las aguas de riego, las aguas del río Desaguadero (sector Pte. Japonés a Pumanchalla), corresponden a una clase de salinidad alta (C3), a excepción del mes de enero (2002), en el que presenta una salinidad muy alta (C4). Estas concentraciones de sales en el agua de riego pueden presentar ciertas limitaciones para el riego, principalmente en zonas semiáridas.

Respecto al peligro de sodio (álcali) las aguas del río Desaguadero, pertenecen a la clase de sodicidad baja (S1), confirmándose una disminución de estos valores en relación a trabajos de años anteriores, sin embargo a partir de septiembre hasta enero (época lluviosa) el sodio se incrementa nuevamente en el río alcanzando un rango medio (S2), Estos valores coinciden con los obtenidos en años anteriores por diferentes autores.

Respecto a la toxicidad iónica de sodio, cloruros y boro solubles, las aguas de los canales presentan una restricción de uso de ligera a moderada en la mayoría de las fechas evaluadas.

Evaluando la concentración de metales pesados en los canales de los sistemas de riego de la zona de El Choro podemos ver que los contenidos de metales: manganeso, zinc, cadmio, hierro, plomo, cobalto, cromo y mercurio para todos los lugares y fechas evaluadas se encuentran por debajo de los límites propuestos por la FAO: Concentraciones Máximas Recomendadas en Aguas de Riego (1972) y La Reglamentación de la Ley del Medio Ambiente de Bolivia.

El contenido de arsénico en las aguas de los tres puntos evaluados para el mes de mayo-2001 se presenta por debajo de los límites máximos permisibles, tanto para consumo humano y riego, sin embargo para el mes de julio-2001 su concentración se incrementa, correspondiendo estas aguas no aptas para consumo humano y riego.

7.2 Suelos

En base a la descripción de 12 perfiles representativos, descritos y muestreados en Pallquiri, Kochi Rancho Grande, Japo y Cocapata-Santa María-Cruz Choro de la llanura fluvio lacustre del río Desaguadero, podemos indicar lo siguiente:

Los suelos de esta llanura son jóvenes, ya que no presentan un desarrollo genético significativo, al margen de la formación de horizontes superficiales.

En base a 192 muestras obtenidas en 64 parcelas con diferentes años de riego (testigo= 0 años de riego; 1-10 años ; 11-20 y > a 20 años de riego) de 4 localidades (Pallquiri, Kochi-Rancho Grande, Japo y Cocapata-Cruz Choro- Santa María) de El Choro (Oruro) a tres profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20 a 30 cm de profundidad) y 4 repeticiones, se determinó el impacto del riego sobre la salinización o alcalinización de los suelos:

De acuerdo a los análisis, se puede ver que el pH de los suelos va en incremento a medida que pasan los años de riego llegando a 8,99 en Pallquiri y a 8,92 en Cocapata (tratamiento mayor a 20 años de riego), lo que demuestra el impacto del riego sobre la reacción del suelo.

El calcio cambiante en los diferentes tratamientos y profundidades de estudio tiene un comportamiento variado, es así para años de riego Japo presenta alta significancia y no así para el resto de las localidades, habiendo en todos los casos diferencias numéricas.

El magnesio cambiante, al igual que el calcio solo para la variable años de riego, tan solo en Japo presenta significancia en su contenido y no así el resto de las localidades de estudio, pero si numéricas que si bien no tiene un valor estadístico.

Los contenidos de boro soluble determinadas en las diferentes localidades y sus parcelas con diferentes años de riego (tratamientos), muestran resultados variables en las diferentes localidades de estudio, encontrándose valores críticos principalmente en Cocapata –Santa María, ya que sus valores en algunos casos están cerca de los valores aptos solo para los cultivos tolerantes como es la alfalfa.

El PSI en extracto no presenta en las parcelas con diferentes años de riego una incidencia significativa de la aplicación del riego y solo se observa algunas diferencias numéricas a diferentes profundidades.

El PSI en extracto, muestra cierto aumento paulatino en el suelo a medida que aumentan los años de riego, mostrándose además una tendencia creciente (diferencias numéricas) del sodio en dirección de las capas inferiores. En ese sentido, se puede indicar que en esta localidad existe una incidencia clara del riego sobre la sodificación de los suelos. Esta tendencia a futuro debería ser motivo de preocupación ya que la larga la acumulación paulatina del sodio puede incidir en las propiedades físico-químicas y por consiguiente afectar la capacidad productiva de los suelos y disminuir la producción de forrajes, base importante para la actividad ganadera del área.

Se evaluó el impacto del riego sobre la acumulación de metales pesados en las parcelas bajo riego. Se puede ver que el contenido zinc en las localidades de estudio, para sus tratamientos, repeticiones y sus profundidades respectivas, se encuentran para todos los casos por encima del Rango Común (3-50 ppm) propuesto por Klokke y por debajo de valores críticos propuestos por la FAO (300 ppm). En ese sentido, se puede indicar que las concentraciones halladas en los suelos de estudio se encuentran por debajo de los límites críticos.

El cobre, se encuentra en todas las localidades estudiadas (tratamientos), repeticiones y profundidades respectivas por encima del rango común (1-20 ppm) de Klokke (1980) y dentro del límite propuesto por la FAO (50-100ppm).

El cadmio, un metal bastante tóxico para las plantas, se encuentra en todas las localidades estudiadas, sus tratamientos y repeticiones respectivas, dentro de los valores propuestos por la FAO (1-3ppm) y del Rango Común de Klokke (0,1 –1ppm).

Los contenidos de arsénico encontrados en las parcelas estudiadas de las diferentes localidades y sus tratamientos, profundidades y repeticiones respectivas, se encuentran por debajo del límite crítico propuesto por la FAO (20-30 ppm) y dentro del Rango Común (2-20 ppm).

Los contenidos de níquel en las diferentes parcelas estudiadas también muestran resultados nada preocupantes ya que se encuentran para todas las parcelas estudiadas (tratamientos, profundidades y repeticiones) por debajo de Límite Crítico (35ppm) de la FAO, Rango Común (2-50).

Los metales de manganeso y hierro, al igual que en los casos anteriores se encuentran en cantidades variables.

7.3 Vegetación

En 122 muestras de vegetación (forrajes) de chiji (*Distichlis humilis*) y alfalfa (*Medicago sativa*), obtenidas en 64 parcelas con diferentes años de riego (testigo = 0 años de riego; 1-10 años; 11-20 y > a 20 años de riego) de 4 localidades y sus repeticiones respectivas, se conoce la acumulación de algunos metales en su parte aérea, notándose una variabilidad marcada y poca relación con los años de riego. Las concentraciones del cobalto, son en generalmente mayores en el chiji que en la alfalfa y sobrepasan los niveles de referencia propuestas.

La presencia de cobalto en la alfalfa, no es tan marcada ya que sus concentraciones no sobrepasan para la mayoría de los casos las concentraciones normales y solo en Kochi-Rancho Grande, sus límites sobrepasan ligeramente estos límites (superiores) de las concentraciones normales mencionadas.

Los contenidos de arsénico en todas las localidades estudiadas (tratamientos, profundidades y repeticiones), están dentro de las concentraciones normales.

La baja presencia y poca diferenciación de los metales en la vegetación de los diferentes tratamientos (años de riego) puede estar relacionada con la baja incidencia del riego sobre la acumulación de estos en las parcelas (suelos) regadas y por sus características que impiden la alta disponibilidad de los mismos (contenidos elevados de arcilla y materia orgánica, pHs elevados y presencia de carbonatos).

Por otro lado, el cobre y zinc, no presentan en las dos especies estudiadas (chiji y alfalfa), contenidos por encima de las concentraciones normales de referencia para ninguna de las localidades estudiadas.

Los contenidos de mercurio en ambas especies son muy variables, sin sobrepasar en general los 8 ppm, aunque para ambas especies se nota en Kochi cierta tendencia ascendente a medida que pasan los años y para la alfalfa en Japo. Por otro lado, este elemento, es uno de los pocos que se encuentra en la alfalfa en mayores cantidades que en el chiji.

Los contenidos de cadmio, encontrados en ambas especies en todas las parcelas de estudio son uno de los más bajos que el resto de los elementos, con valores más o menos similares en cada especie y si aumentar con los años de riego.

El cromo, en ambas especies, no sobrepasa 1 ppm, así mismo, no se observa en general tendencias a incrementarse en los suelos con más años de riego.

El níquel en Pallquiri y Cocapata, no está presente de manera significativa en la alfalfa a pesar de que requiere del níquel para favorecer la fijación del nitrógeno atmosférico, esto quizás porque los porcentajes presentes en los suelos no afectan y no llegan a límites de toxicidad.

7.4 Animales

Los contenidos de metales (manganeso, zinc, cromo, cadmio, plomo, arsénico, níquel y cobre) en la sangre de ovinos, muestran resultados bastante variados, donde destaca principalmente la presencia de plomo.

Los contenidos de zinc, cobre, cromo, níquel y manganeso determinados en la sangre, no parecen encontrarse en cantidades críticas, además el cobre y níquel son más tóxicos para las plantas y no tanto para los animales.

Los niveles de arsénico en la sangre de los ovinos seleccionados, se encuentran dentro de los límites normales.

Por otro lado, los niveles de metales encontrados en la lana (fibra) de oveja, también muestran valores muy variados y no parecen encontrarse en cantidades críticas.