

Valores que inspiran



1ra Jornada Técnica de Calidad & Tratamiento de Aguas Residuales y Subterráneas

Impacto del uso de aguas no tratadas en sistemas agrícolas de La Maica, Cochabamba

Estudios Ambientales, **CICEI** – UCB (Cochabamba)

Estela Herbas Baeny

Directora de la Carrera de INGENIERIA AMBIENTAL

27/02/2020

CICEI

Ciencias del hábitat y la construcción

- Gestión de la construcción
- Infraestructura Urbana

Sistemas tecnológicos

- Sistemas inteligentes y Robótica
- Ingeniería de Software
- Seguridad de Tecnologías de Información

Procesos Industriales

- Análisis y Automatización de Sistemas Industriales
- Alimentos y Fitoquímica
- Desarrollo de procesos y productos
- Biotechnología

- T1 – Recursos Hídricos Urbanos
- T2 – Gestión integral de cuencas y calidad del agua
- T3 – Tratamiento de aguas y PTARs
- T4 – Gobernanza del agua y modelos de gestión
- T5 – Ecotoxicología y contaminación

Estudios Ambientales

- Gestión Integral del agua
- Restauración Ambiental
- Eficiencia energética y energía renovable
- Gestión Ambiental del Territorio
- Contaminación atmosférica
- Gestión del suelo y agroforestería

T1 – Recursos Hídricos Urbanos

P1: Calidad del agua en saneamiento básico de unidades educativas de Cochabamba

P1: Elaboración modelo balance hídrico real de subcuencas en Tiraque (VLIR-UOS)

P2: Diagnóstico calidad de agua potable y de consumo humano (ASOAPAL)

P3: Modelación hidrogeológica (UMSS-Hidráulica, UCB Santa Cruz)

T2 – Gestión integral de cuencas y calidad del agua

P1: Optimización de PTARs en Sacaba (EMAPAS)

P2: Dinámica de contaminantes en el Rio Rocha y la zona sur de Cochabamba

T3 – Tratamiento de aguas y PTARs

P1: Mapeo de la problemática del río Rocha

P2: La “CARA CRÍTICA DEL ROCHA” reconociendo la calidad el Rio Rocha (COSUDE-Helvetas).

T4 – Gobernanza del agua y modelos de gestión

P1: Diagnóstico ecotoxicológico del río rocha (GRESE, Francia; MHN Alcide d’Orbigny)

P2: Efectos de los contaminantes del Rio Rocha sobre la soberanía alimenticia y la salud pública (UHasselt; MHN Alcide d’Orbigny)

P3: Bioindicadores de contaminación de cuerpos de agua en Bolivia (UMSA; MHN Alcide d’Orbigny)

P4: Estudios de contaminantes emergentes en Bolivia y sus efectos (UHasselt; MHN Alcide d’Orbigny; Luxembourg University)

T5 – Ecotoxicología y contaminación

Línea de investigación

Gestión Integral del agua

Líder de Investigación:

Paul d’Abzac, Ph.D.

TRUJILLO ROCHA, Isabel

Utilización de diatomeas epilíticas(algas, bacillariophyta) como indicadores de eutrofización en el río Rocha, Cochabamba
(2009: Tesis)

RODRIGUEZ LEVY, Inti Ernesto

Análisis de la aplicabilidad de diversos índices basados en diatomeas (Chromista, Bacillariophyta) para la determinación de la calidad del agua en el río Rocha, Cochabamba, Bolivia
(2011: Tesis)

SEJAS LAZARTE, Winny Alejandra
Determinación del índice biótico más eficiente basado en macroinvertebrados para la evaluación de la calidad del agua del río Rocha, municipio de Cercado
(2018: Tesis)

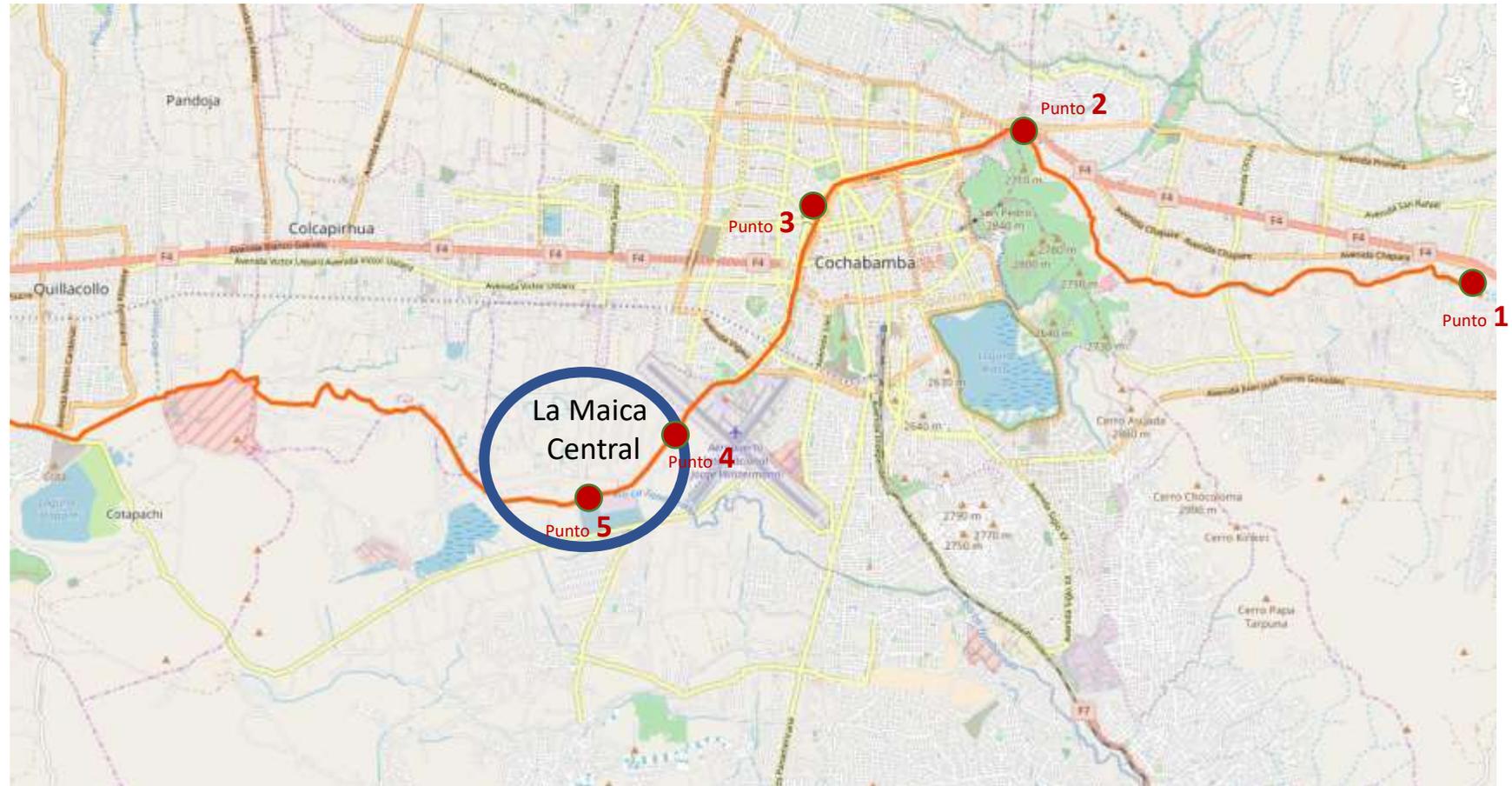
TOLEDO MEDRANO, Rene Oscar

Evaluación de la calidad de las aguas de Río Rocha en la jurisdicción de Semapa en la Provincia Cercado de Cochabamba- Bolivia
(2005 Tesis)

FLORES MERCADO, Rodrigo
Evaluación del uso de muestreadores pasivos como herramienta para monitorear la contaminación química de ETM`s y COH`s en el Río Rocha, respecto al muestreo convencional
(2017: Tesis)

GONZALES-UCUMARI SAN MIGUEL, Nicolas
Caracterización de los polutantes orgánicos y metálicos del río Rocha, Cercado (Cochabamba)
(2017: Tesis)

DIAGNOSTICO INICIAL



Investigaciones desarrolladas

En desarrollo: Efectos de los contaminantes del Rio Rocha sobre la soberanía alimenticia y la salud pública (UHasselt; MHN Alcide d'Orbigny)

CATACORA FLORES, Quilla Libertad

**Efectos de la calidad del
agua residual reutilizada
para el riego, sobre el suelo
y un cultivo experimental de
pasto forrajero, en la Maica
Central, Cercado,
Cochabamba.**

(2019 : Tesis)

RÍOS GUZMÁN, Damaris

**Evaluación del riesgo
toxicológico para el ganado
lechero por consumo de
agua de pozo contaminada
en la zona de la Maica
Central**

(2019: Tesis)

RODRIGUEZ REQUIZ, Raquel
**Diseño de un Sistema
domiciliario de Tratamiento
de Aguas Residuales por
medio de Humedales
Artificiales de flujo verticales
unidad PILOTO: Maica
Central**

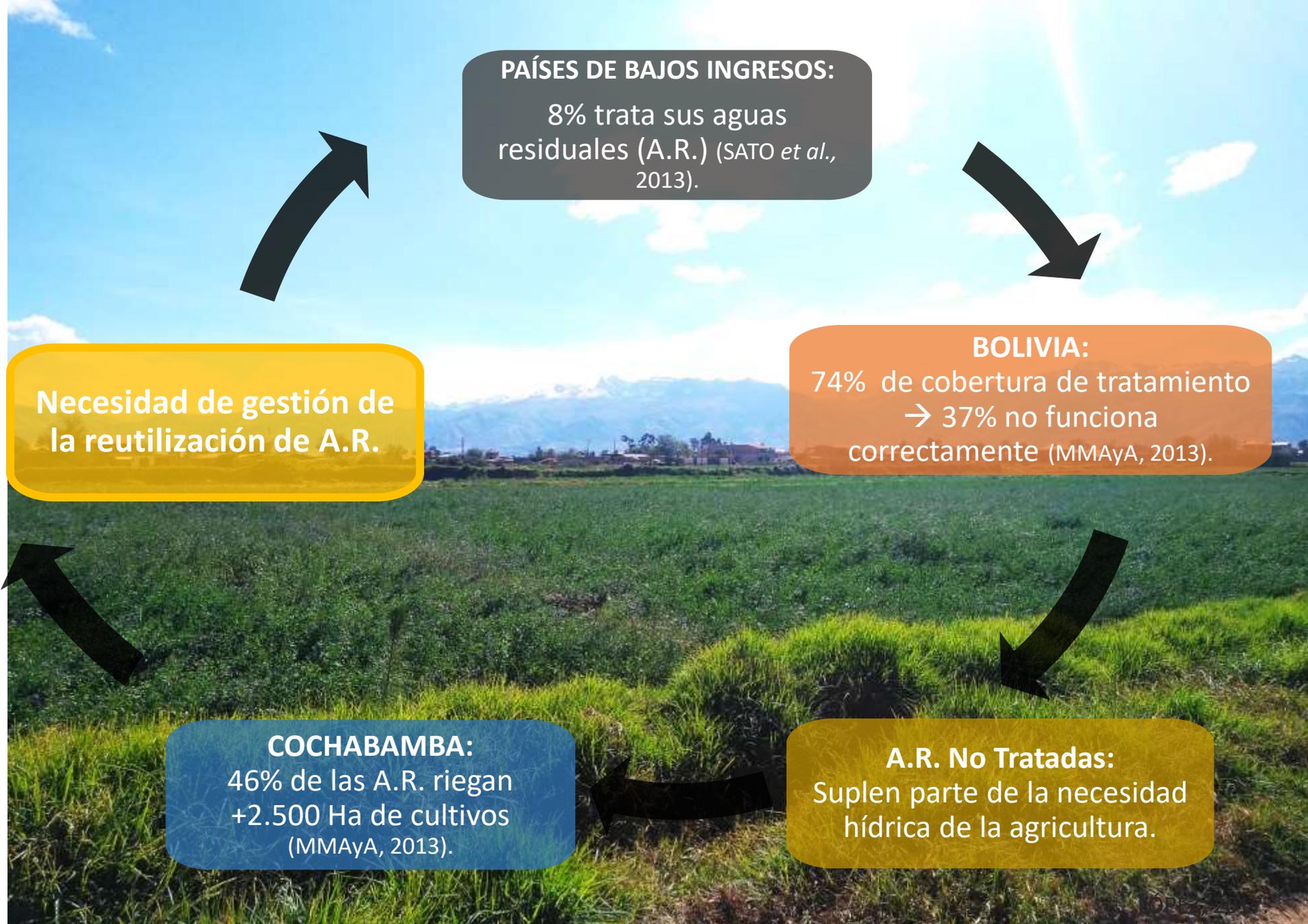
(2020: Proyecto)



Investigaciones desarrolladas

CATACORA FLORES, Quilla Libertad
Efectos de la calidad del agua residual reutilizada para el riego, sobre el suelo y un cultivo experimental de pasto forrajero, en la Maica Central, Cercado, Cochabamba.
(2019 : Tesis)

LA MAICA:
Importante zona agropecuaria de Cochabamba



COCHABAMBA:

46% de las A.R. riegan
+2.500 Ha de cultivos
(MMAyA, 2013).

A.R. No Tratadas:

Suplen parte de la necesidad hídrica de la agricultura.



Aguas residuales:

- **Procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, con o sin tratamiento.**
- **A.R. del Rio Rocha → Clase D (MMAyA, 2018)**



Reutilización de las A.R.

Nuevo uso de un recurso de gran valor global, aún más con tratamiento.
Protege el medio ambiente, abastece comunidades y actividades que sufren escasez.

Calidad del agua para riego

Indica la conveniencia o limitación del empleo del agua.

Determinado por:

- **Características del agua:** Cationes, aniones, elementos tóxicos, ETM's y patógenos
- **Tolerancia de los cultivos**
- **Propiedades de los suelos**
- **Condiciones de manejo de suelos y aguas**



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
BOLIVIANA
COCHABAMBA

Centro de Investigación en Ciencias
Exactas e Ingeniería

CICEI

Grupo de Investigación
ESTUDIOS AMBIENTALES

Investigaciones desarrolladas

CATACORA FLORES, Quilla Libertad

Efectos de la calidad del agua residual reutilizada para el riego, sobre el suelo y un cultivo experimental de pasto forrajero, en la Maica Central, Cercado, Cochabamba.

(2019 : Tesis)

AGRICULTURA:

Sindicato Agrario Maica Central: 400 fam. afiliadas
→ Sistema No. 1 de Riego (La Angostura)

Cultivos: Alfalfa, maíz, pasto forrajero

PRODUCCIÓN LECHERA:

Provee 32% de la leche de PIL



FERNANDEZ, 2013.



ROCHA, 2016.

Escasez de agua →
Desabastecimiento de La Angostura



AMURRIO, 2017



- ¿Transferencia de la contaminación del agua hacia la producción?
- ¿Efectos de la contaminación en los componentes medioambientales?



Determinar el efecto de la calidad de las aguas residuales reutilizadas para el riego, sobre el suelo y un cultivo experimental de pasto forrajero (*Lolium multiflorum*), en la Maica Central.



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
BOLIVIANA
COCHABAMBA

Investigaciones desarrolladas

Centro de Investigación en Ciencias
Exactas e Ingeniería
CICEI
Grupo de Investigación
ESTUDIOS AMBIENTALES

Establecimiento del cultivo
experimental

Implementación del
cultivo

Búsqueda de zona sin
intervención agrícola,
representativa

Labrado, siembra, riego,
instalación de semi-
invernadero

CATACORA FLORES, Quilla Libertad

Efectos de la calidad del agua residual reutilizada para el riego, sobre el suelo y un cultivo experimental de pasto forrajero, en la Maica Central, Cercado, Cochabamba.
(2019 : Tesis)

Dimensiones por parcela: 1.5x2 m
Área total: 30 m²





Fuentes de agua de riego más utilizadas

Angostura (94%) Rio Rocha (60%)

Frecuencia de llegada de agua de La Angostura

2 veces/año (56%) 3 veces/año (24%)

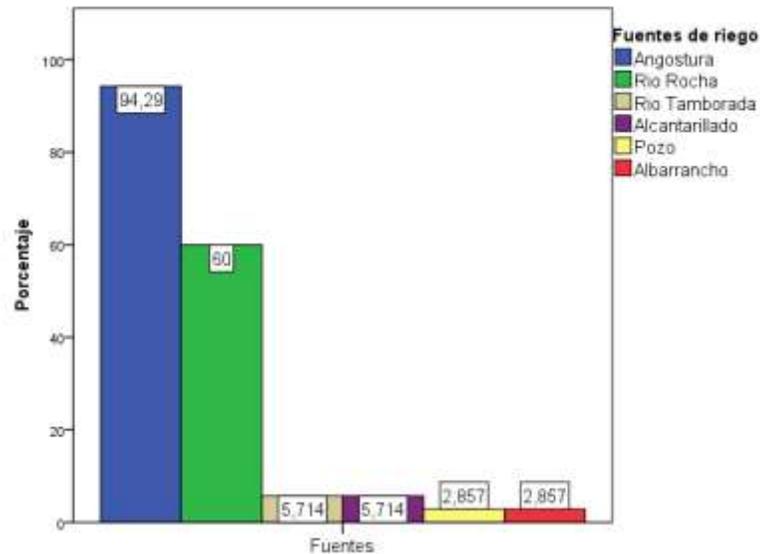
Frecuencia de riego

Cada mes (16%) Cada 2 meses (42%) Cada 4 meses (16%)

Bombeo del agua desde distintos puntos del Rio Rocha (antes y después de Albarrancho)

Dic-Ene 2019: Llegada en 4 ocasiones.

Depende del agua de La Angostura
Compensación con A.R
Pasto forrajero → Riego constante con A.R.



Elaboración propia, 2018



Elaboración propia, 2018



Percepción de la salinidad

50% observó salinidad en sus tierras

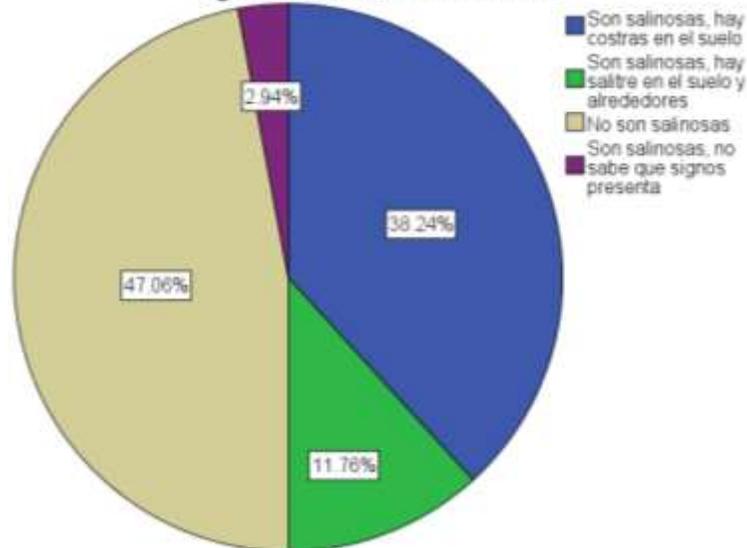
47% indica que sus tierras no son salinas

“El agua esta salinizando el suelo”

→ Observación de costras y salitre en la mayoría de los suelos

→ Salinidad es un problema natural en la zona

Signos de salinidad en las tierras



Cultivos principales de la zona

Alfalfa (49%)

Maíz (33%)

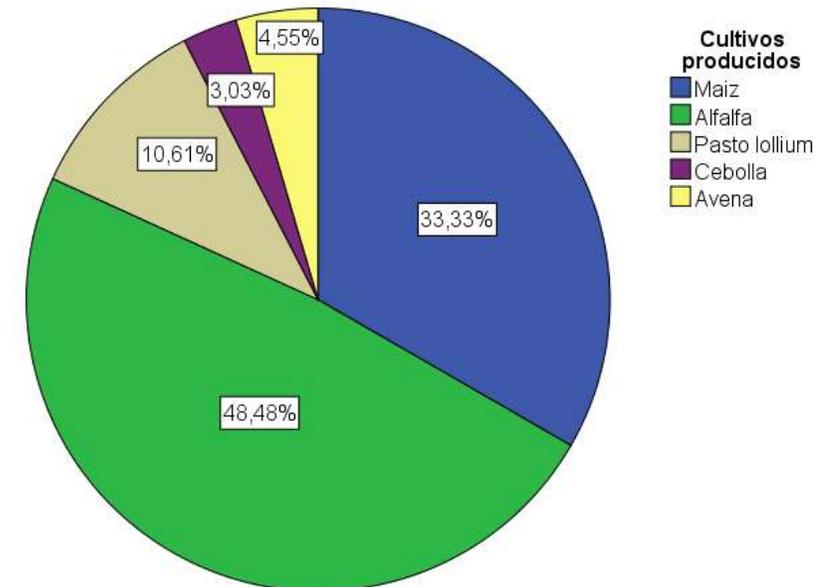
Pasto forrajero (10%)

Percepción de cambios en el rendimiento de cultivos

Menor crecimiento (56%)

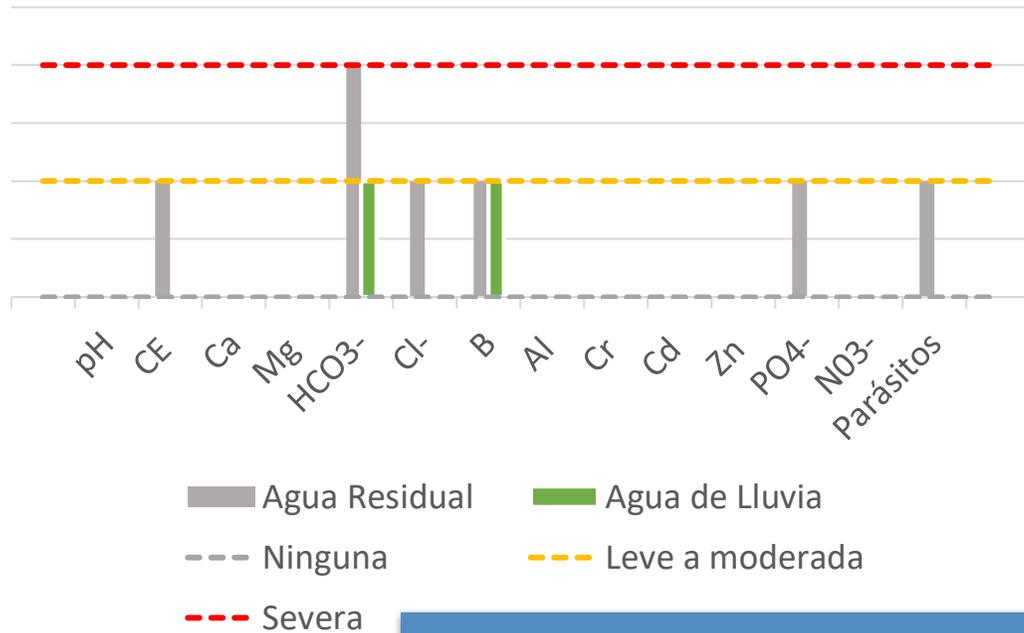
Menor producción (21%)

No hay cambios (18%)

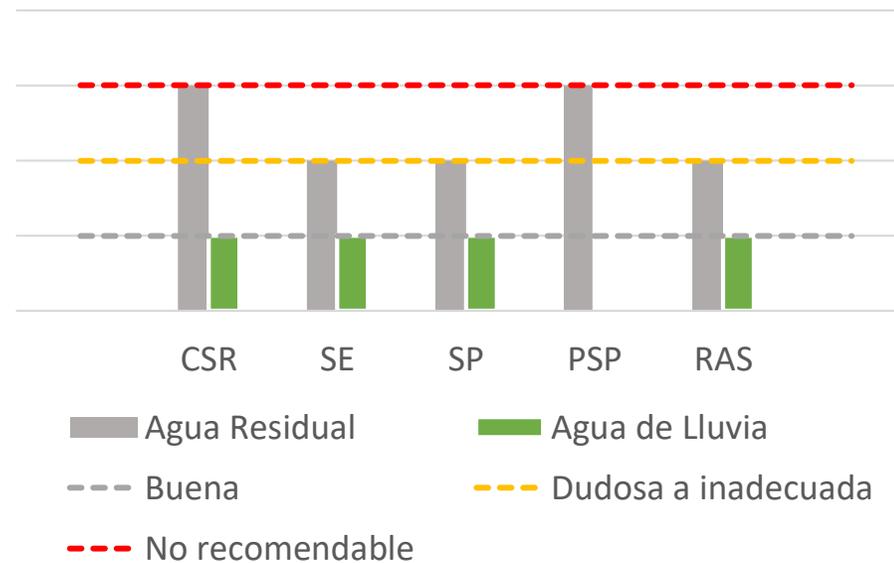




Nivel de restricción de uso de agua



Clase de agua para riego según salinidad



Siendo:

CE: Conductividad eléctrica
CSR: Carbonato de sodio residual
SE: Salinidad efectiva
SP: Salinidad potencial
PSP: % de sodio intercambiable
RAS: Relación adsorción sodio

Agua Residual no es apta para riego agrícola

CE + RAS → Agua altamente salina

SP, SE, HCO₃⁻ → Impermeabilidad y compactación del suelo

RAS → Solo para cultivos tolerantes a sales

Cl⁻ y B → Niveles tóxicos para cultivos sensibles

Parásitos: Riesgo de giardiasis, himenolepiasis.



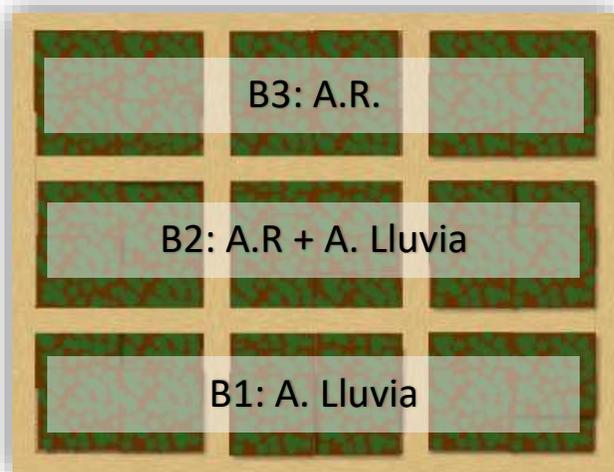
Efectos sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo

Suelo Original



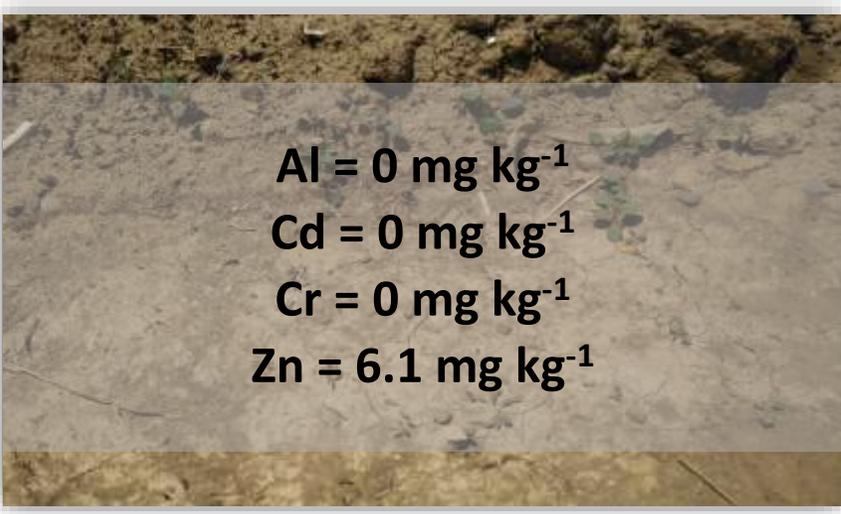
VS.

Suelo del cultivo



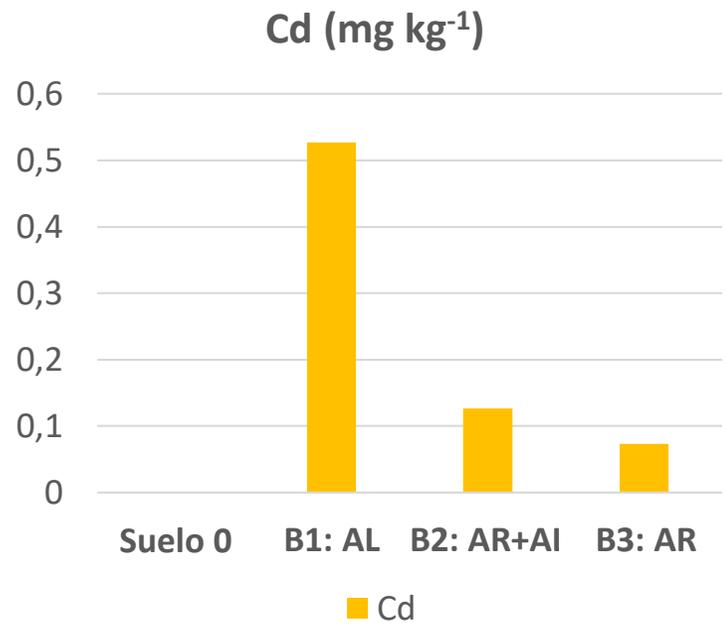
	B1: A.L.	B2: A.R.+ A.L.	B3: A.R.
pH, Textura, salinidad	Sin cambios, o muy leves		
MO	Disminución	Leve disminución	Compensación
Cationes	↑Ca ²⁺ , ↓ Na ⁺	↑Na ⁺ , desplaza otros cationes	↑Na ⁺ , desplaza otros cationes
⚠ Cl, Boro	↓↓ Cl ⁻ , n/h Boro	↓↓ Cl ⁻ , ↑↑ Boro	↓↓ Cl ⁻ , ↑↑ Boro
Nutrientes	↓↓P, ↓↓N	↓P, ↑N	↑↑P, ↑↑N

Concentraciones en Suelo original

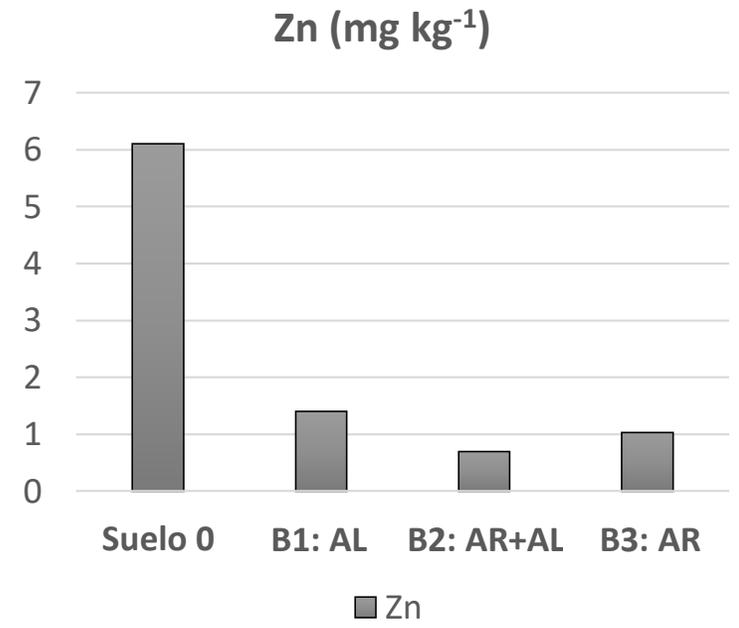


Acumulación de ETM's en el suelo

Concentraciones en Suelo de bloques del cultivo



Cd ⚠
H: + biomasa en B2 y B3
↓
+ transferencia y bioacumulación

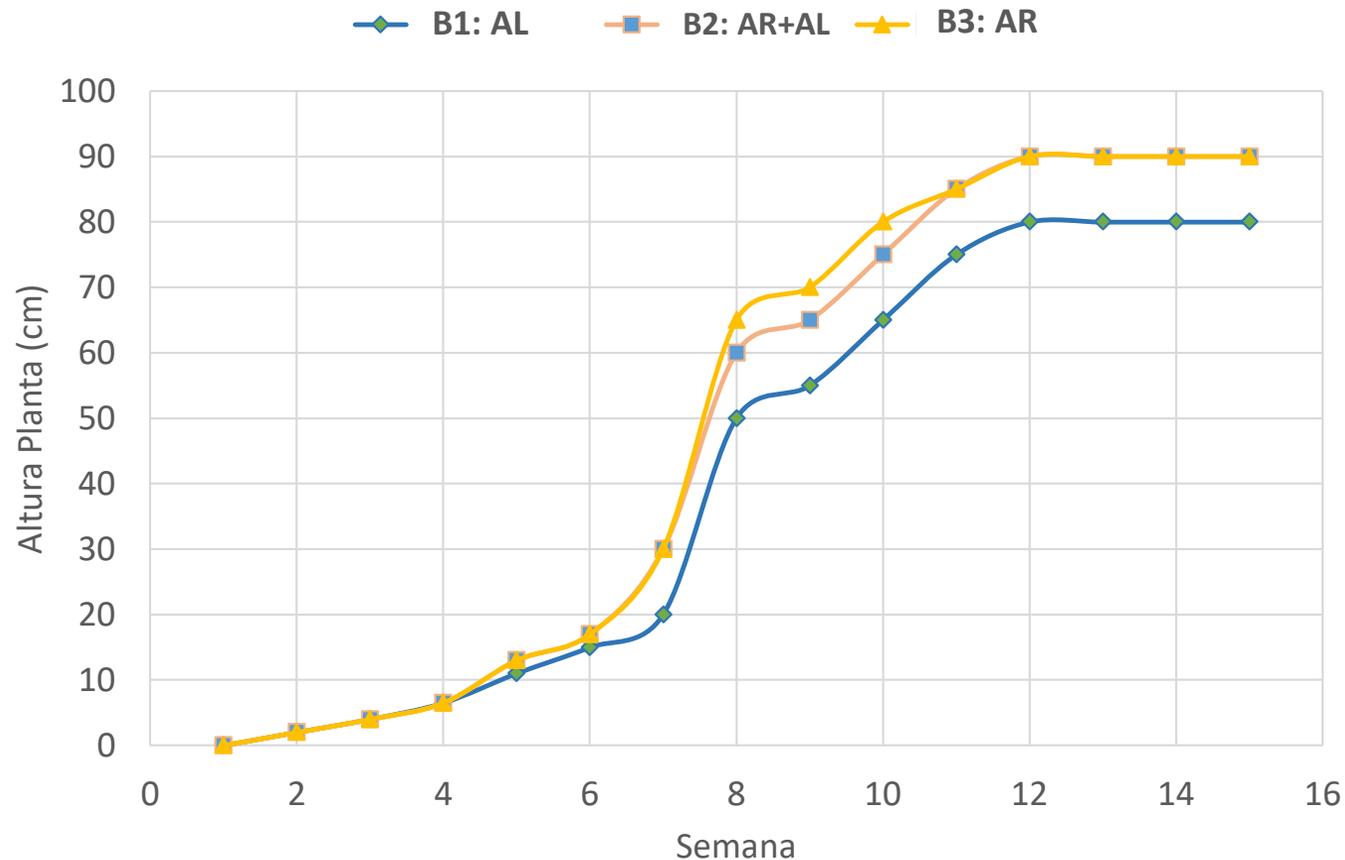


Zn ⚠
Transferencia a la planta
Favorecida por pH y MO del agua

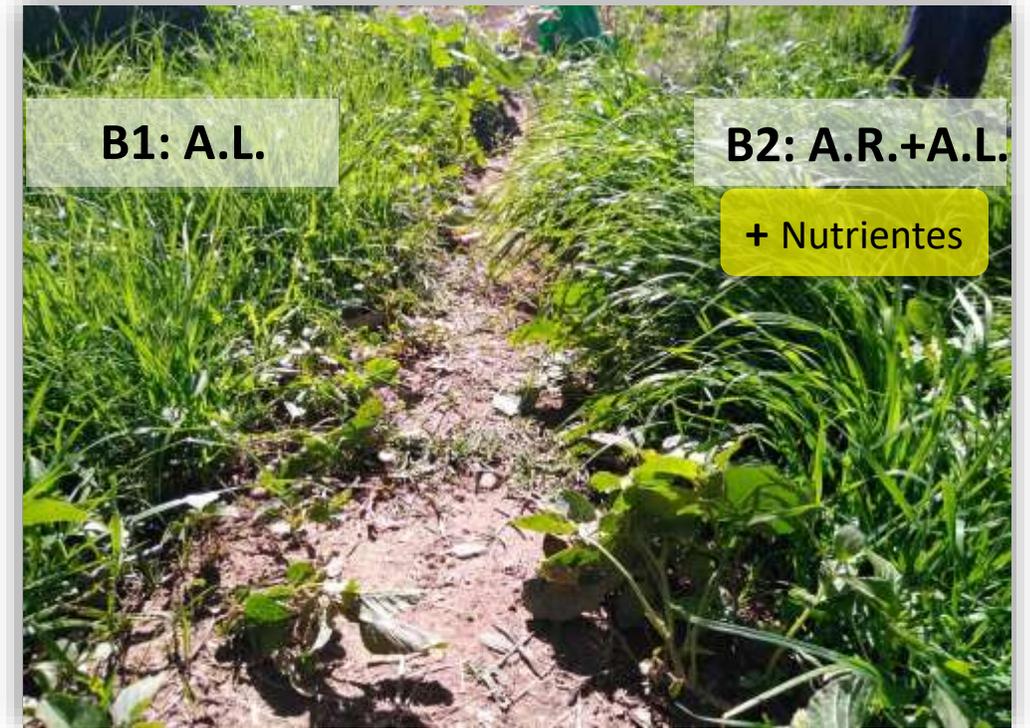


Efecto sobre el crecimiento de la planta

Crecimiento de la planta



Mitad de ciclo del cultivo



Elaboración propia, 2019.



Elementos tóxicos en el pasto

Sodio



- Encima del límite permisible

Cloruros

- H: Transferencia agua → planta

Boro

- H: Planta tolerante

Necrosis, defoliación

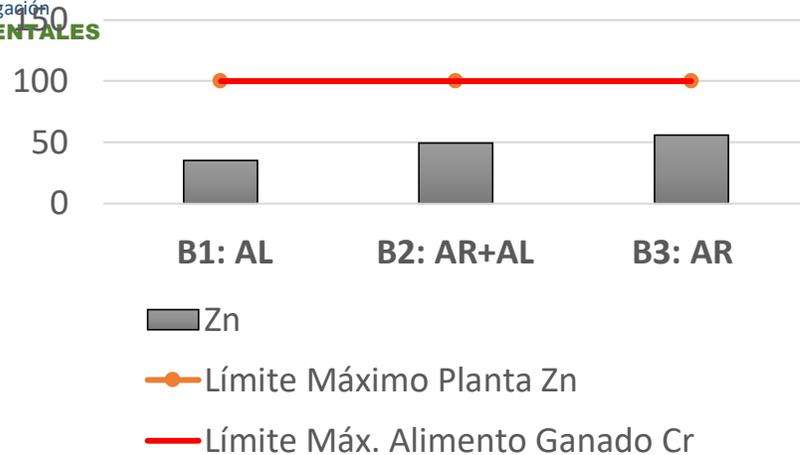
+ Riesgo en época seca



Elaboración propia, 2019



Zinc (mg kg⁻¹)



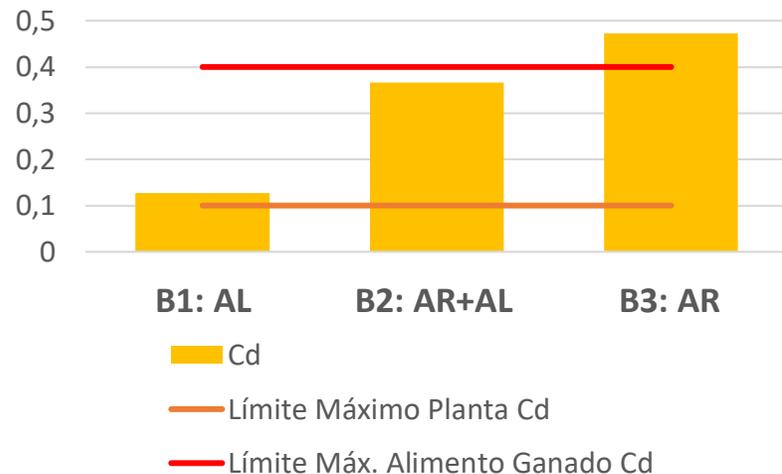
y Al, Cr



Corto plazo

- Leve acumulación
- No superan límites permisibles
- Sin efecto

⚠ Cadmio (mg kg⁻¹)



Corto plazo

- Transferencia favorecida por nivel de fosfatos del suelo
- Supera límites permisibles → Inhibición de asimilación de nutrientes y procesos fotosintéticos
Riesgo para el ganado
- + Riesgo durante época seca

Bioacumulación de ETM's en el pasto



Pasto forrajero

Biocumulador de Cd

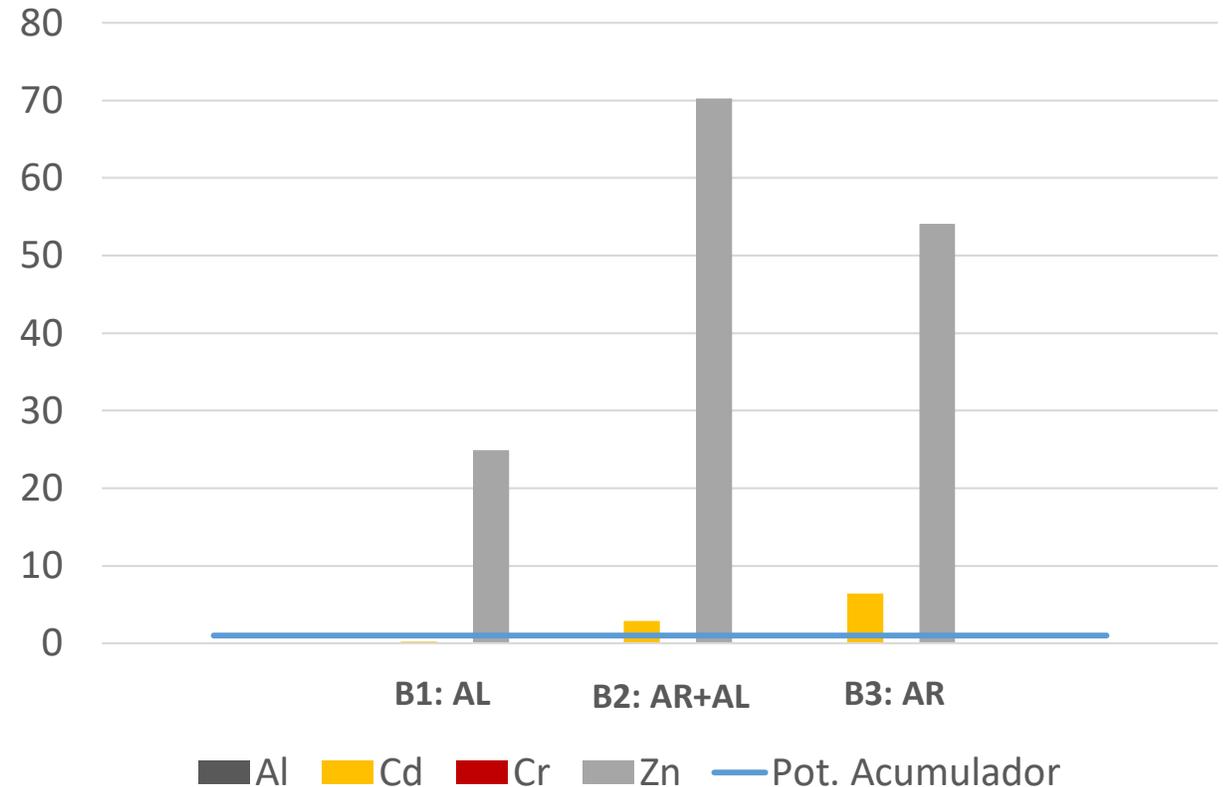
- Potenciado por los fosfatos y cloruros
- Alto riesgo tóxico
- Riesgo para los animales que lo consumen



Biocumulador de Zn

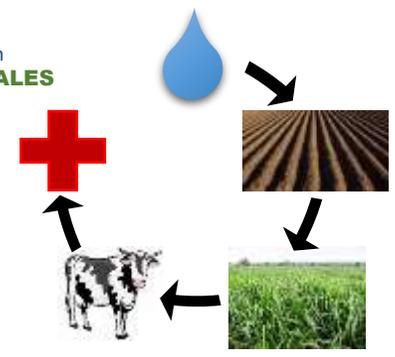
- Potenciado por el pH del medio
- No hay riesgo para la planta ni ganado

Potencial acumulador del pasto forrajero



Bioacumulación de ETM's en el pasto

Centro de Investigación en Ciencias
Exactas e Ingeniería
CICEI
Grupo de Investigación
ESTUDIOS AMBIENTALES



A.R. reutilizada en La Maica
"no es apta para el riego":
Salinidad, elementos tóxicos,
ETM's, pesticidas, patógenos...



Elaboración propia, 2018

Suelo:

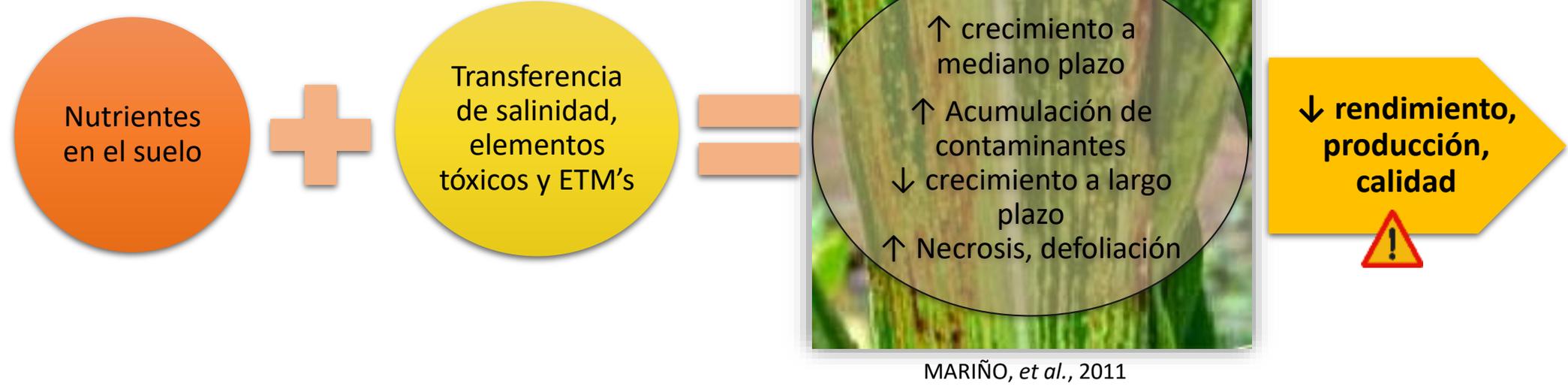


Elaboración propia, 2018

Perdida de valor agrícola
=
Cambio del uso de suelo

Efecto de la reutilización de A.R. en La Maica

Cultivo:



Ganado:

- Consumo de forraje contaminado
- Salud afectada
- Productos afectados ???



Salud pública:

- Consumo de productos → Intoxicaciones ????
- Contacto con parásitos del A.R. → Parasitosis ?????



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
BOLIVIANA
COCHABAMBA

Investigaciones desarrolladas

Centro de Investigación en Ciencias
Exactas e Ingeniería

CICEI

Grupo de Investigación

ESTUDIOS AMBIENTALES

**RÍOS GUZMÁN,
Damaris**

**Evaluación del riesgo
toxicológico para el
ganado lechero por
consumo de agua de
pozo contaminada en
la zona de la Maica
Central
(2019: Tesis)**





“Riesgo para el ganado por
ingesta de agua contaminada”
DUBNY (2017)



Dosis de exposición
diaria promedio de
ingesta de agua (ADD)

Dosis de referencia oral
(DRO)

Riesgo
crónico (RC)



Investigaciones desarrolladas

RÍOS GUZMÁN, Damaris
Evaluación del riesgo toxicológico para el ganado lechero por consumo de agua de pozo contaminada en la zona de la Maica Central
(2019: Tesis)

Determinación del peso del ganado

Pesado del ganado de la gente encuestada con cinta pesadora

Vacas adultas
(mayores a 8 meses)

Terneras (menores a 8 meses)



Muestreo de tanques de agua

Determinación de puntos de muestreo a partir de información recabada en línea base

Muestreo en cada tanque en época lluviosa (6 muestras)





Investigaciones desarrolladas

RODRIGUEZ REQUIZ, Raquel

Diseño de un Sistema domiciliario de Tratamiento de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales de flujo vertical unidad PILOTO: Maica Central (2020: Proyecto)

Establecimiento de línea base

Encuestas

Encuesta para la zona de la Maica Central

Coordenadas:

1. ¿Qué tanque de agua le abastece?
2. ¿Sabe cuál es la profundidad del pozo que alimenta su tanque?
3. ¿Usa algún producto en su agua? En caso de ser así, ¿para qué actividades lo utiliza?
4. ¿Tiene cultivos? ¿Está en su casa? En caso de no estarlo, ¿puede señalarlos en el mapa parlante?
5. ¿Qué métodos utiliza para proteger sus cultivos de las plagas?

Cultivo	Agroquímico	Vol. Agua (Litros)	Costo Agua (precio por litro)	Superficie (m ²)	Mano de Obra (horas trabajadas por el productor)

Fuente: Propia

Realizadas a todos los interesados en participar
Usos del agua
Socios de tanques de agua
Uso de agroquímicos

Mapas parlantes



Durante reunión mensual de socios de tanques
Identificación de la ubicación de los tanques por varios grupos
Comparación de resultados de cada grupo

Corroboración en campo

Se visitaron los puntos indicados y se verificaron las ubicaciones de los tanques



Análisis de parámetros fisicoquímicos



- Laboratorio de la UCB

Parámetro	Método o protocolo
Conductividad	Standard Methods 2510
Alcalinidad	Standard Methods 2320
Dureza	Standard Methods 2340
Sulfatos	Standard Methods 4500-SO ₄
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl ⁻
STD	Standard Methods 2540

Análisis de pesticidas y metales



Parámetro	Método o protocolo
Pesticidas	W6336 GC-MS
Alumino	ASTM D 857-02
Cadmio	ASTM-3557-12 A
Cromo	ASTM D 1687-02B
Hierro	ASTM D 1068-05A
Sodio	ASTM D 3561-02
Zinc	ASTM-1691-12 A



Calidad del agua de pozo

Índice de calidad de agua

$$\sum_{j=1}^n w_j q_i$$

w_j = Peso del índice
 q_i = Calificación de calidad

Calificación en función a valores límite/niveles guía establecidos en:

Bolivia
Argentina
Canadá

Composición del agua de pozo

Especiación química



Especies químicas formadas a partir de la composición del agua

Evaluación de la exposición

Cálculo de tasa de ingesta en función a:

- Cantidad de alimento ingerido
- kg de leche producida
- Edad
- Temperatura ambiental

Cálculo de concentraciones de contaminantes obtenidas

$$ADD = \frac{IR \times C}{Bw}$$

Distribución normal aplicada a los pesos obtenidos

Caracterización del riesgo

Método determinístico:

- Valor promedio de las dosis de exposición de cada especie

Método probabilístico:

- Varios valores de dosis de exposición de cada especie

Extrapolación interespecífica para determinar DRO

$$RC = \frac{ADD}{DRO}$$

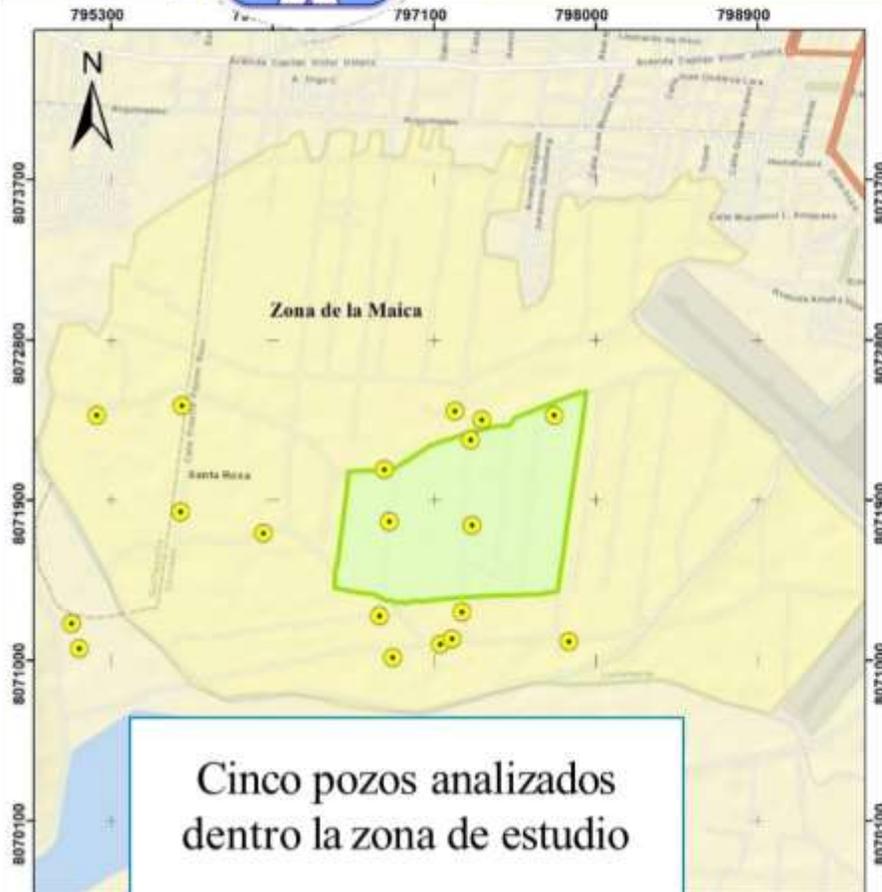


$$\sum Ra: R1+R2+R3+..... Rn$$

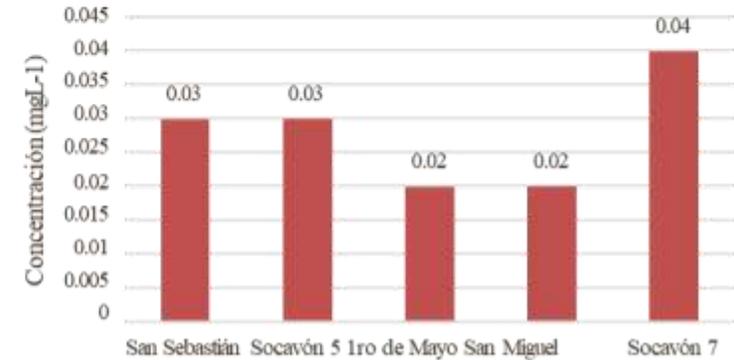


Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental
(2007): Presencia de cromo y pesticidas en
aguas subterráneas

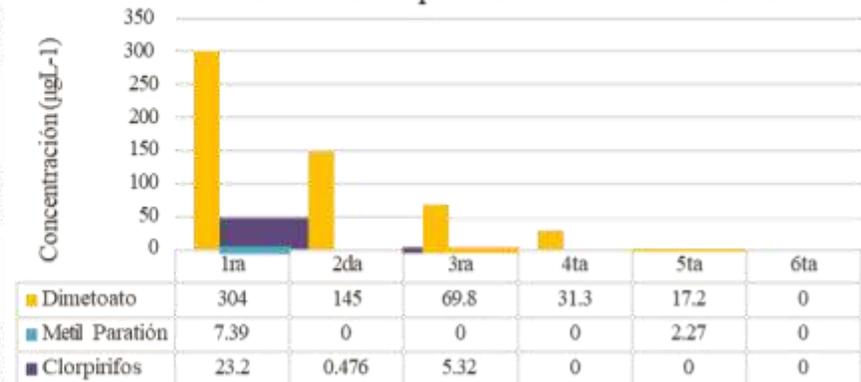
Aplicación de
la evaluación
de riesgos para
la salud con
datos de otro
estudio



Cromo



Concentración de pesticidas en el nivel freático

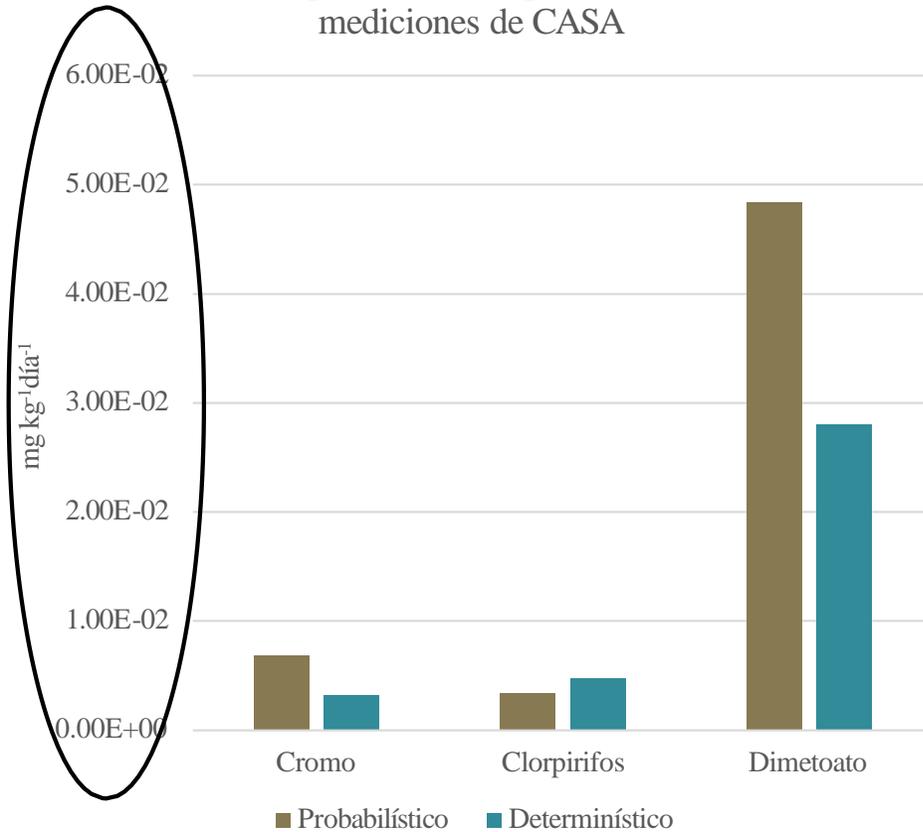




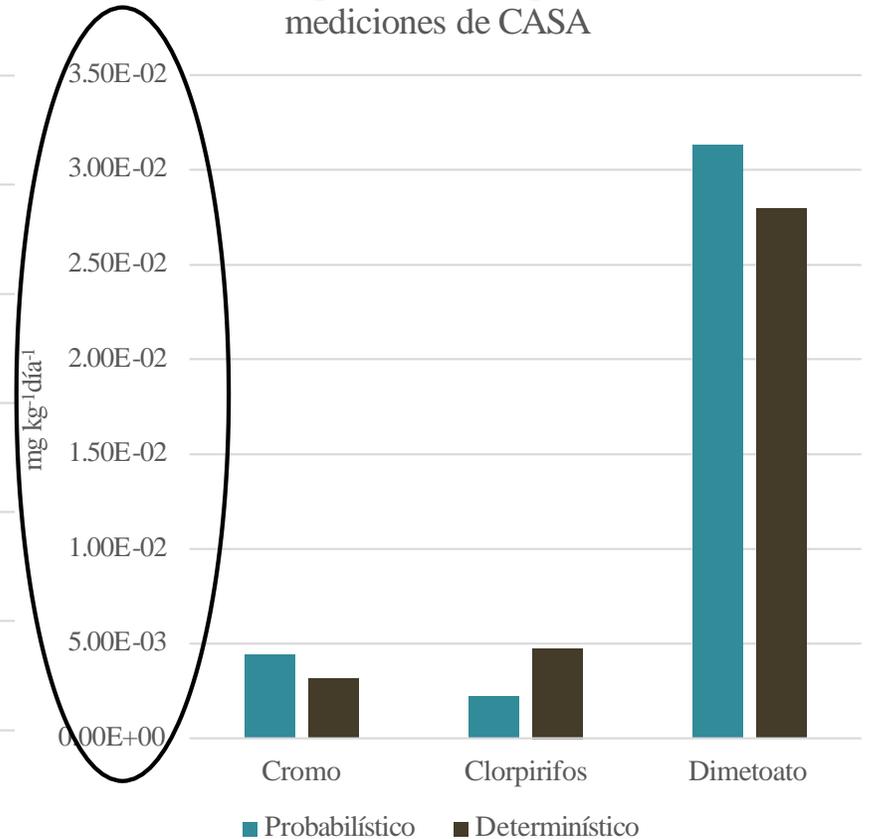
Cálculo de dosis de exposición diaria (ADD)

- Exposición alarmante de cromo, clorpirifos y dimetoato
- Preocupación por la exposición prolongada a algunos contaminantes

Dosis de exposición diaria para vacas adultas - mediciones de CASA



Dosis de exposición diaria para terneras - mediciones de CASA





- Más de la mitad de la población encuestada utiliza el agua de pozo para el ganado, el resto que no cuenta con ganado la utiliza para riego o para uso personal. Se identificaron 6 pozos en funcionamiento en la zona y los estudios revisados afirmaron que se encuentra la presencia de metales y pesticidas organofosforados en fuentes de agua de la zona.
- Se determinaron similitudes en cuanto a la presencia mayoritaria de sales para los pozos 14 de Septiembre, Socavón 5 y San Miguel, también en cuanto a la composición, los pozos San Miguel, 1ro de Mayo, San Sebastián y Socavón 7 resultaron tener coincidencias. La calidad del agua fue variando de acuerdo a los niveles guía utilizados (Bolivia, Argentina y Canadá).
- Las dosis de exposición más altas se encontraron para las sales de sodio correspondientes al primer grupo de pozos (14 de Septiembre, Socavón 5 y San Miguel) tanto para vacas adultas como para terneras. También se obtuvo una dosis de exposición alta para el dimetoato.
- El riesgo por presencia de sales resultó ser poco significativo para terneras y vacas adultas pero no se debe despreciar las contribuciones del fluoruro. El riesgo por metales y pesticidas resultó ser significativo para ambos grupos.
- La metodología utilizada fue validada a través del uso de un modelo probabilístico y otro determinístico para estimar el riesgo para el ganado. Además la especiación de las sales en el agua permitió realizar una evaluación mucho más completa y realista. La aplicación esta metodología se consideró como una herramienta alternativa para la gestión de la calidad del agua

**CATACORA FLORES, Quilla
Libertad**
Efectos de la calidad del
agua residual reutilizada
para el riego, sobre el suelo
y un cultivo experimental de
pasto forrajero, en la Maica
Central, Cercado,
Cochabamba.
(2019 : Tesis)

RÍOS GUZMÁN, Damaris
Evaluación del riesgo
toxicológico para el ganado
lechero por consumo de
agua de pozo contaminada
en la zona de la Maica
Central
(2019: Tesis)

RODRIGUEZ REQUIZ, Raquel
Diseño de un Sistema
domiciliario de Tratamiento
de Aguas Residuales por
medio de Humedales
Artificiales de flujo verticales
unidad PILOTO: Maica
Central
(2020: Proyecto)

Investigaciones desarrolladas

En desarrollo: Efectos de los contaminantes del Rio Rocha sobre la soberanía
alimenticia y la salud pública (UHasselt; MHN Alcide d'Orbigny)

