

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y
MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DEL RÍO LA PAZ Y
SU EFECTO EN EL CULTIVO DE LECHUGA EN LA
LOCALIDAD DE HUAYHUASI**

Maria Sonia Laura Valdez

TUTOR (ES) : Dr. Abul Kalam Kurban _____

Dr. Vladimir Orzag Cespedes _____

ASESOR (ES) : Ing. Roberto Miranda Casas _____

Lic. Luis F. Caceres Choque _____

La Paz – Bolivia

2005

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y
MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DEL RÍO LA PAZ Y
SU EFECTO EN EL CULTIVO DE LECHUGA EN
LA LOCALIDAD DE HUAYHUASI**

TESIS DE GRADO

LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

POSTULANTE:

María Sonia Laura Valdez

TUTORES:

Ing. Ph. D. Abul Kalam Kurban

Ing. Ph. D. Vladimir Orzag Cespedes

ASESORES:

Ing. Roberto Miranda Casas

Lic. Luis Fernando Cáceres Choque

TRIBUNALES:

Lic. Edgar García Cardenas

Ing. Hugo Bosque Sanchez

Ing. Rafael Díaz Soto

V°B° _____

**Ing. Msc. Jorge Pascuali Cabrera
DECANO**



VISION

.....mi imaginación se fija en los siglos futuros, y observando desde allí, con admiración y pavor, la prosperidad, el esplendor, la vida que ha recibido esta vasta región, me siento arrebatado y me parece que ya la veo en el corazón del universo, extendiéndose sobre sus dilatadas costas, entre esos océanos que la naturaleza había separado y que nuestra Patria reúne con prolongados y anchurosos canales.

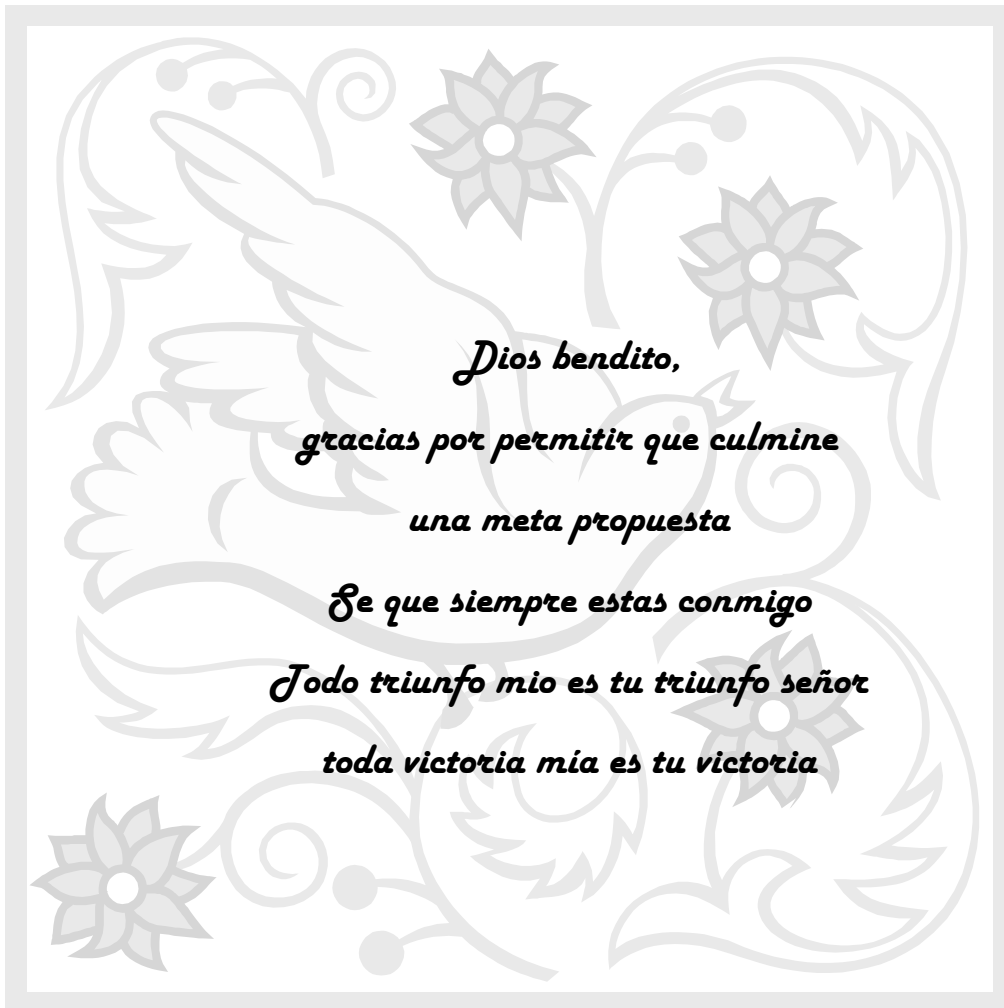
Ya la veo servir de sazo, de centro, de emporio a la familia humana; ya la veo enviando a todos los recintos de la tierra los tesoros que abrigan sus montañas de plata y de oro; ya la veo distribuyendo por sus divinas plantas la salud y la vida a los hombres dolientes del antiguo universo; ya la veo comunicando sus preciosos secretos a los sabios que ignoran cuán superior es la suma de las luces a la suma de las riquezas que se ha prodigado la naturaleza.

Ya la veo sentada sobre el Trono de la Libertad, empuñando el cetro de la Justicia, coronada por la Gloria, mostrar al mundo antiguo la majestad del mundo moderno...

(Simón Bolívar)

MISION

Trabajar para un gobierno que haga reinar la inocencia, la humanidad y la paz. Un gobierno que haga triunfar bajo el imperio de leyes inexorables la Igualdad y la Libertad.



*Dios bendito,
gracias por permitir que culmine
una meta propuesta*

*Se que siempre estas conmigo
Todo triunfo mio es tu triunfo señor
toda victoria mia es tu victoria*



Me celebro y mi canto,
y lo que es mío debe ser nuestro, /
pues cada átomo me pertenece tanto como os pertenece a vosotros.
(W. Whitman)

Rafael:



*Yo no nací sino para quereros
mi alma os ha cortado
a su medida
por hábito del alma misma
os quiero
cuanto tengo confieso
yo deberos
por vos nací por vos tengo la vida
por vos he de morir
(Federico García Lorca)*





DEDICATORIA

- ▣ *A la memoria de mi papí Tomás, sé que estas conmigo cuidandome en todo momento.*

- ▣ *A mi madrecita Máxima, no existe para ti enfermedad que no hayas superado, barrera que no hayas cruzado y caída de la que no te hayas levantado, por ese ejemplo de voluntad y por ser una luchadora silenciosa, te quiero mucho.*

- ▣ *A mis hermanos, Edgar, José Luis y Juan Carlos por su constante apoyo en las buenas y en las malas.*

- ▣ *A mis hermanas Virginia, Angélica, Susana (mi muy querida hermanita) y Nancy, por estar conmigo, compartir mis sueños, esperanzas y su constante e incondicional apoyo, no los he fallado.*

- ▣ *A mi cuñado Javier, siempre dispuesto a colaborar, muchas gracias.*

- ▣ *A mis sobrinos, Alejandro, Angela, Andres, Cecile, Camila, Gabriela, Nanito, Karen y Christopher los pequeños (aunque algunos jovenes) más lindos y adorados del mundo, quienes son mi inspiración en muchos momentos de mi vida.*

- ▣ *Para ellos con mucho amor, les dedico este logro en mi vida, a pesar de todos los pesares siempre estuvieron conmigo y los llevo en mi corazón y pensamiéto. LOS QUIERO.*

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Agradezco a todas las personas que de una u otra forma fueron parte de este trabajo de investigación, supieron valorar la intención, apostaron y aportaron al desarrollo del mismo:

- ◆ A las autoridades de la Facultad de Agronomía Ing. Msc. Jorge Pascualí Cabrera Decano, Ing Msc. Félix Rojas Ponce Vicedecano e Ing. Ph. D. René Chipana Rivera Director de Carrera, por su respaldo constante. Gracias
- ◆ Al Lic. Carlos Arze Landívar Director del C.P.T.S. y al Ing. Orlando Cossio Romero Responsables de Becas del C.P.T.S., por creer en este trabajo y ser firme con los plazos propuestos que me ayudaron a avanzar sin detenerme. Gracias.
- ◆ A la Ing. Frida Maldonado de Kalam (Directora I.D.R.-U.M.S.A.) por el entusiasmo, la constancia y principalmente por valorar este tema de investigación, haciendo posible que siga adelante y culmine exitosamente. Muchas Gracias.
- ◆ Al Ing. Jorge Chungara Castro (Responsable de Laboratorio CIN-VIACHA) por toda la colaboración prestada para que este trabajo tenga los mejores resultados. Las palabras sobran, pero queda mi eterna gratitud.
- ◆ Al Ing. Ph. D. Abul Kalam Kurban, (docente tutor). Este trabajo de investigación tiene el mérito de ser el resultado de una de las prácticas impartidas en la clase de Ecología, por lo que estoy muy agradecida a quién fue el impulsor del mismo y que sistemáticamente me permitió trabajar en este tema en los años de ayudantía. Mis palabras son pocas para agradecer su paciencia, disciplina y principalmente su amistad. Muchas gracias
- ◆ Al Ing. Ph. D. Vladimír Orsag Céspedes (docente tutor), por la amplia experiencia compartida y el apoyo necesario, las correcciones específicas y precisas. Muchas gracias.
- ◆ Al Ing. Roberto Miranda Casas (docente asesor), por los aportes necesarios e importantes, sus conocimientos sobre el tema fueron determinantes para mejorar el presente trabajo. Muchas gracias
- ◆ Lic. Luis Fernando Cáceres (asesor) por su paciencia, amistad y la amplitud en compartir sus conocimientos para que este trabajo tenga los mejores resultados.
- ◆ Lic. Edgar García Cárdenas, (docente tribunal), por todo el apoyo brindado, por los valiosos conocimientos impartidos, el entusiasmo que siempre manifestó por la presente investigación. Todos los aportes realizados mejoraron sustancialmente el trabajo. Muchas gracias

- ◆ *Ing. Rafael Díaz Soto (docente tribunal), por las contribuciones importantes realizadas, las recomendaciones efectuadas que permitieron enriquecer el presente tema de investigación. Muchas gracias*
- ◆ *Ing. Hugo Bosque Sanchez (docente tribunal), por su comprensión, colaboración y profesionalismo brindado a favor de mejorar el presente trabajo. Muchas gracias*
- ◆ *Al Lic. Ignacio Chirico por la amistad, apoyo constante para que este trabajo salga adelante.*
- ◆ *A Marcela Melgarejo del I.I.Q., un agradecimiento especial por toda la colaboración manifestada.*
- ◆ *Al Lic. Jorge Mostajo Peñaranda Docente de la Facultad de Agronomía por sus conocimientos brindados y su apoyo incondicional*
- ◆ *Al Ing. Msc. Freddy Navia Dávalos, por su valioso aporte y suministro de referencias geográficas SIG*
- ◆ *Al Ing. Wolfgang Ries y Sra, por amistad y colaboración en la culminación del presente trabajo.*
- ◆ *A todo el equipo técnico del CIN-VIACHA ; a Dn. Samuel, Rocio, Sandra, Raúl, Willy (técnicos químicos) y Rubén (Ing. Agrónomo), por la amistad y su profesionalidad.*
- ◆ *A los pobladores de la comunidad de Huayhuasi Municipio de Mecapaca por haberme permitido compartir sus actividades y disfrutar la estancia*
- ◆ *Al Sr. Emilio Cuevas y su familia, personas que me cobijaron e hicieron sentir como si estuviera en casa. Que Dios los bendiga*
- ◆ *Al Sr. Gady Cuevas y Sra. por compartir sus conocimientos, trabajar juntos y confiar en este trabajo. Gracias*
- ◆ *A las Sras. María del Carmen Murillo Secretaria de Dirección de Carrera y Dña Gabriela de Soussa la Facultad por el eficaz apoyo brindado en todo momento.*
- ◆ *A los compañeros de la Facultad de Agronomía, Josue Aliaga y Fabio Yahuasí por el apoyo dedicado.*





AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES



A las instituciones:

- U.M.S.A. Universidad Mayor de San Andrés, en la Facultad de Agronomía por haberme impartido los conocimientos durante mi formación profesional.*
- CPTS-GEARENA, Centro de Promoción de tecnologías Sostenibles, financiadores del trabajo de investigación.*
- IDR - UMSA, Instituto de Desarrollo Regional, financiadores del trabajo de campo.*
- CIN- VIACHA , Centro de Investigaciones Nucleares, Laboratorio de Química Ambiental, por la importante participación y colaboración brindada*
- IIQ, Instituto de Investigaciones Químicas de la UMSA, donde se realizaron los análisis microbiológicos.*
- A la comunidad de Huayhuasi, Municipio de Mecapa por permitirme trabajar en sus tierras y compartir experiencias con sus pobladores.*



IBTEN

CIN-VIACHA

INDICE

CAPITULO I

1	Introducción	1
1.1	Justificación	2
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo general	3
1.2.2	Objetivos específicos	3
1.3	Hipótesis	3

CAPITULO II

2	Revisión Bibliográfica	4
2.1	Recurso agua	4
2.2	Disponibilidad de agua para riego en Bolivia	4
2.2.1	Disponibilidad de aguas superficiales. Río La Paz	5
2.2.2	Características del agua del río La Paz. Contaminación	6
2.3	Calidad de aguas	8
2.4	Calidad del agua para riego	8
2.4.1	La concentración de sales solubles	8
2.4.2	Conductividad eléctrica (CE)	9
2.4.3	Salinidad efectiva (SE)	10
2.4.4	Salinidad potencial (SP)	10
2.4.5	La concentración de sustancias tóxicas. Iones específicos	11
2.4.6	La concentración de sodio (Na)	13
2.4.7	Relación de absorción de sodio (RAS)	13
2.5	Principales sales en suelos y aguas	14
2.5.1	Cloruros	14
2.5.2	Sulfatos	15
2.5.3	Carbonatos y bicarbonatos	15
2.5.4	Nitratos	15
2.5.5	Boratos	16
2.5.6	Fósforos	16
2.6	Contaminación del recurso agua	17
2.7	Aguas residuales	18
2.8	Características del agua residual	18
2.8.1	Características físicas	18

2.8.1.1	Sólidos totales	18
2.8.1.2	Temperatura	19
2.8.2	Características químicas	19
2.8.2.1	Materia orgánica	19
2.8.2.2	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	19
2.8.2.3	Demanda química de oxígeno (DQO)	19
2.8.2.4	Grasa y aceites	20
2.8.2.5	Agentes tensoactivos	20
2.8.2.6	Ácidos	20
2.8.2.7	Alcalinidad	20
2.8.2.8	Dureza	20
2.8.3	Características microbiológicas	21
2.8.3.1	Bacterias	21
2.9	Concentración de metales en aguas, suelos y plantas	23
2.9.1	Zinc	23
2.9.2	Cobre	23
2.9.3	Plomo	25
2.9.4	Manganeso	25
2.9.5	Cadmio	26
2.9.6	Molibdeno	27
2.9.7	Hierro	27
2.9.8	Cromo	28
2.9.9	Arsénico	28
2.10	Biodisponibilidad de los metales	29
2.10.1	Tolerancia a metales pesados no esenciales para las plantas	29
2.11	Normas de calidad de agua y suelo	30
2.12	Índice General de calidad del agua "ICA"	
2.12.1	Estimación del índice general de agua "ICA"	31
2.13	Producción de la lechuga de cabeza (o cabeza crespada) (iceberg lettuce)	
	(<i>lactuca sativa</i> var. capitata)	33
2.13.1	Requerimiento de agua. Riego	33
2.13.2	Suelo	34
2.13.3	Fertilización	34
2.13.4	Valor nutricional de la lechuga	34
2.13.5	Cosecha de la lechuga	35
2.13.5.1	Índice de cosecha	35

2.13.5.2	Índice de calidad para la cosecha	35
2.13.6	Normas de calidad e inocuidad de hortalizas	35
2.14	Gestión del riego	36
2.14.1	Usos y demanda de agua	37
2.14.2	Sistemas de riego	37
2.14.3	Eficiencia de los sistemas de riego	37
2.14.4	Clasificación de los tipos de riego	38

CAPITULO III

3	Localización	47
3.1	Ubicación política y geográfica	47
3.2	Características ecológicas	47
3.2.1	Temperaturas máximas, mínimas y medias. Precipitación pluvial	47
3.2.2	Vegetación	49
3.3	Fisiografía	49
3.3.1	Características geológicas	49
3.3.2	Características ecológicas	49
3.3.2.1	Suelos aluviales	50
3.3.2.2	Zonas y grados de erosión	50

CAPITULO IV

4	Métodos	51
4.1	Materiales	51
4.2	Ubicación de parcelas y puntos de muestreo	51
4.3	Parámetros evaluados	52
4.4	Métodos de muestreo	53
4.4.1	Agua de riego	53
4.4.2	Toma de muestra de Suelo	55
4.4.3	Muestras de hortalizas	55
4.5	Métodos analíticos	56
4.6	Análisis estadístico	57
4.7	Laboratorios involucrados en el presente trabajo	58

CAPITULO V

5	Resultados y discusiones	58
5.1	Organización política social de la comunidad	58
5.1.1	Sistemas de producción de hortalizas	50
5.1.2	Organización social funcional	58
5.1.3	Aspectos Economicos Productivos	59
5.1.4	Acceso y uso del suelo	59
5.1.5.1	Tecnología agrícola	59
5.1.5.2	Rotación de cultivos	59
5.1.5.3	Manejo de suelos y riego	59
5.2	Identificación del sistema de riego en el cultivo de lechuga	60
5.2.1	Secciones transversales de los canales de riego	61
5.2.2	Caudales	62
5.3	Caracterización de la calidad de agua con fines de riego	63
5.3.1	Contaminantes orgánicos en las aguas del rio la paz	70
5.3.2	Indicadores de la contaminación orgánica	71
5.3.3	Parámetros microbiológicos	73
5.3.4	Concentración de metales y arsénico en el agua de riego	76
5.3.5	Concentraciones de metales en agua del testigo	80
5.4	Estimacion del indice de calidad de agua (ICA)	81
5.4.1	Estimacion de coliformes fecales	81
5.4.2	Estimacion de pH	82
5.4.3	Estimacion de demanda bioquimica de oxigeno (DBO5)	82
5.4.4	Estimacion de nitratos	83
5.4.5	Estimacion de fosfatos	83
5.4.6	Estimacion de incremento de temperaturas	84
5.4.7	Estimacion de solidos disueltos totales	84
5.4.8	Calculo del indice de calidad (I.C.A.)	85
5.5	Características fisico-quimicas del suelo	85
5.6	Efecto del riego en la acumulación de las sales solubles en el suelo	88
5.7	Efecto del riego en la acumulación de metales y arsénico en los suelos	92
5.8	Efecto del riego en el cultivo de la lechuga (<i>lactuca sativa</i>)	96
5.8.1	Concentraciones de nutrimentos y metales en el cultivo	100
5.8.1.1	Fosforo	101

5.8.1.2	Potasio	102
5.8.1.3	Calcio	103
5.8.1.4	Cobre	105
5.8.2	Toxicidad por hierro y cromo	105
5.9	Determinación de la concentración microbiológica en la lechuga (<i>lactuca Sativa</i> var.Capitata)	107
5.10	Efecto del riego en el rendimiento del cultivo de lechuga	111
6	Conclusiones	
7	Recomendaciones	
8	Bibliografía	

INDICE DE CUADROS

		Pags.
Cuadro 1:	Clasificación de aguas para riego según su CE	18
Cuadro 2:	Clasificación de aguas para riego según su SE	18
Cuadro 3:	Clasificación de aguas para riego según su SP	19
Cuadro 4:	Calidad del agua de riego en relación con su contenido en boro	19
Cuadro 5:	Concentraciones máximas permisibles de oligoelementos	19
Cuadro 6:	Directrices para evaluar los problemas de toxicidad y otros efectos (FAO, 1987)	20
Cuadro 7:	Valores de RAS para clasificar agua de riego	21
Cuadro 8:	Clasificación del “ICA” propuesto por Brown	39
Cuadro 9:	Pesos relativos para cada parámetro del “ICA”	41
Cuadro 10:	Valores nutritivos de la lechuga	42
Cuadro 11:	Temperaturas ambiente (medias, máx., mín.) y precipitación (promedio) de un periodo de 5 años (1998-2001)	47
Cuadro 12:	Parámetros evaluados en campo y laboratorio	53
Cuadro 13:	Autodiagnóstico de los sistemas y tipos de riego comunidad Huayhuasi	60
Cuadro 14:	Caudales de los canales de riego.	61
Cuadro 15:	Características del agua de riego del Río La Paz. Localidad Huayhuasi	64
Cuadro 16:	Calidad de agua de riego para las aguas del “testigo”	68
Cuadro 17:	Concentración de metales y arsénico en aguas del río La Paz. Loc Huayhuasi	77
Cuadro 18:	Tabla de valores I.C.A de los puntos de muestreo en ambas Épocas	85
Cuadro 19:	Características físicas de los suelos de la localidad Huayhuasi y Tahuapalca	86
Cuadro 20:	Comparación de niveles críticos en los suelos	87
Cuadro 21:	Criterios de clasificación de suelos según el contenido de sales y sodio	91
Cuadro 22:	Análisis de varianza y prueba de “t” del contenido de macronutrientes, micronutrientes y metales del cultivo de lechuga	98
Cuadro 23:	Comparaciones de concentraciones de elementos del cultivo. Epoca de lluvia	99

Cuadro 24:	Comparaciones de concentraciones de elementos del cultivo. Epoca seca	99
Cuadro 25:	Comparaciones de concentraciones de elementos del cultivo. Testigo	100
Cuadro 26:	Concentración de coliformes totales, fecales y <i>escherichia coli</i>	108
Cuadro 27:	Rendimiento promedio de lechuga	112

INDICE DE GRÁFICOS

	Pag.
Gráfico 1: Sección transversal del canal principal	61
Gráfico 2: Sección transversal del canal que desemboca en la Parcela 1	62
Gráfico 3: Sección transversal del canal que desemboca en la Parcela 2	62
Gráfico 4: Comparación entre épocas de la concentración de aniones en el agua.	65
Gráfico 5: Concentración de fosfatos	66
Gráfico 6: Comportamiento del fosfato en los canales de riego	67
Gráfico 7: Comparación entre épocas de la concentración de cationes en el agua	67
Gráfico 8: Concentración de ST, SS, SD	69
Gráfico 9: Concentración de Detergentes y Grasas-Aceites	70
Gráfico 10: Concentración de DBO ₅ y DQO	72
Gráfico 11: Concentración de coliformes totales (Límite =1000 UFC/100 ml)	74
Gráfico 12: Concentración de coliformes fecales (Límite =1000 UFC/100 ml)	74
Gráfico 13: Presencia de <i>escherichia coli</i> en las aguas de riego	76
Gráfico 14: Niveles de Zinc en aguas de Río La Paz	78
Gráfico 15: Niveles de Cadmio en aguas de Río La Paz	78
Gráfico 16: Niveles de Cobre en aguas de Río La Paz	79
Gráfico 17: Niveles de Fierro en aguas de Río La Paz	79
Gráfico 18: Concentraciones de metales en agua testigo (Tahuapalca)	80
Gráfico 19: Cálculo del valor Sub ₁ para coliformes fecales	81
Gráfico 20: Cálculo del valor Sub _i para pH	82
Gráfico 21: Cálculo del valor Sub _i para DBO ₅	83
Gráfico 22: Cálculo del valor Sub _i para Nitratos	85
Gráfico 23: Cálculo del valor Sub _i para Fosfatos	85
Gráfico 24: Cálculo del valor Sub _i para la variación de temperaturas	86
Gráfico 25: Cálculo del valor Sub _i para los S. Disueltos	87
Gráfico 26: Concentración de cationes en el suelo	90
Gráfico 27: Categoría de suelos según su alcalinidad (PSI)	92
Gráfico 28: Concentración de fósforo en lechugas.	104
Gráfico 29: Concentración de potasio en lechugas.	105
Gráfico 30: Concentración de calcio en lechugas	106
Gráfico 31: Concentración de cobre en lechugas.	107
Gráfico 32: Concentraciones de hierro en la lechuga	107
Gráfico 33: Concentraciones de cromo en la lechuga	108

Gráfico 34:	Síntomas de intoxicación por hierro y cromo	108
Gráfico 35:	Lechugas del cultivo testigo y cultivo 1. Época seca.	109
Gráfico 36:	Comparación de la presencia de coliformes totales, fecales y <i>escherichia coli</i> en el cultivo y agua.	111
Gráfico 37:	Concentración de coliformes totales, fecales y <i>escherichia coli</i> en hojas externas e internas. Comparación entre épocas	112
Gráfico 38:	Rendimiento de lechuga por campaña en las parcelas y testigo	114
Gráfico 39:	Producción de lechuga por año en las parcelas y testigo	114

ANEXOS

CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos disponibles de las aguas dulces, disminuyen actualmente, a causa del crecimiento de la población y de la contaminación. El consumo per cápita de agua en el mundo, el año 1970 era de $12900 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ y en el 2000 es de $7100 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$

En la actualidad, cerca del 80% de las aguas que corresponden a los cuerpos receptores (ríos), son residuales y están dispuestas sin tratamiento, usadas para riego (agrícola), representando un problema sanitario significativo (por la presencia de bacterias, virus y parásitos), también se encuentran seriamente degradadas por el exceso de nutrientes, salinidad y sedimentos con metales que según su biodisponibilidad serán tóxicos para las plantas.

Existe unanimidad entre la comunidad científica respecto al carácter tóxico de las plantas cultivadas con estas aguas, pues los mismos podrían aquejar a los seres vivos, afectando a las cadenas alimenticias, provocando un efecto de bioacumulación entre los organismos de la cadena trófica.

Ello es debido a la alta permanencia de los metales pesados en el entorno, al no tener, la mayoría de éstos, una función biológica definida. Incorporándose a la cadena alimenticia a través de un factor de bioconcentración (cociente entre la concentración del metal contaminante en el organismo vivo y en el agua circundante)

Con relación a los estudios sobre las aguas del río La Paz (continuación del río Choqueyapu) se indica, que la calidad de aguas de estos ríos es similar a la que se observa en los afluentes a las plantas de tratamiento de aguas residuales; reportándose valores de DBO_5 en las zonas urbanizadas, de 100 a $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

También se registran datos de elementos metálicos que sobrepasan los Límites Máximos Aceptables establecidas en el Reglamento de la Ley de Medio Ambiente 1333 (R.L.M.A.¹ 1333), como el Arsénico ($77.7 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), Mn ($741.7 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) a la altura de Mecapaca, Chamón (2001).

¹ R.L.M.A 1333 abreviatura que se tendrá en todo el documento refiriéndose al Reglamento de la Ley de Medio Ambiente 1333

Quienes se ven directamente perjudicados son los pobladores que viven en las zonas aguas abajo. Los cultivos y las praderas de pastoreo son sometidos a riegos con aguas del Río La Paz a lo largo de todo el año y principalmente en época de estiaje.

Estas zonas utilizan el agua del Río, para el riego de sus parcelas agrícolas; la variación del caudal responde a la variación de las lluvias y los efluentes de las alcantarillas, entre diciembre y febrero se llega aproximadamente a 5000 litros por segundo y entre los meses de julio, agosto y septiembre (meses de estiaje) a 1000 litros por segundo (JICA,1993).

1.1 JUSTIFICACIÓN

Estudios que se realizaron sobre la incidencia del uso de sus aguas del río Choqueyapu en la agricultura (zona de Avircato-Río Abajo) reportaron contaminación **microbiológica** en las aguas, suelos y vegetales; la presencia de bacterias del tipo *coliformes* y *salmonella* y parásitos como la *entamoeba hystolitica*, *strongyloides stercolaris*, *áscaris lumbricoides*, *entamoeba coli*. (Iñiguez y García, 1982; INLASA, 1989, Coaguila, 1993 ; Suarez, 2004).

Al no existir información suficiente y reciente sobre el impacto físico-químico ocasionado por estas aguas residuales sobre el suelo agrícola y los vegetales cultivados, se considera necesario un estudio específico sobre este complejo que permita ayudar al agricultor a tener un manejo de sus recursos (suelo y agua) limitados por la contaminación.

Siendo que las zonas de Río Abajo tienen una actividad agrícola muy importante y el Río La Paz (continuación del río Choqueyapu) es la única fuente de agua de riego disponible

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas del Río La Paz y su efecto en el cultivo de lechuga en la localidad de Huayhuasi.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los Sistemas de riego utilizados de las aguas del Río La Paz.
- Evaluar la calidad del agua para riego y las características físicas, químicas, microbiológicas.
- Medir el impacto del riego sobre las características físicas, químicas de la capa arable.
- Determinar el efecto del riego sobre la acumulación de metales y contaminación microbiológica en el cultivo.

1.3 HIPÓTESIS

- La contaminación de la producción del cultivo de lechuga en la localidad de Huayhuasi no es causada por el uso de las aguas del Río La Paz
- La calidad del agua para riego no se ve influenciada directamente por sus características físicas, químicas ni microbiológicas.
- Las características físicas, químicas del suelo no se ven afectadas directamente por la aplicación del riego.
- La contaminación microbiológica, acumulación de metales en el cultivo y su efecto sobre su calidad están directamente relacionados con la aplicación del riego.

CAPITULO II

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 RECURSO AGUA.

La FAO (2003), indica que el agua es un recurso inapreciable y finito. Aunque cubre tres cuartas partes de la Tierra, sólo una pequeña proporción es agua dulce aprovechable.

Medrano (2001), coincide con muchos autores en señalar que, el campo de aplicación específico del recurso agua engloba todo aquello que trata de las **disponibilidades hidroagrícolas**, al igual que las otras actividades rurales consumidoras de agua (consumo humano y animal).

El Estado Boliviano establece las “Políticas Públicas de Riego” (PPR) que se inscriben en la Constitución Política del Estado, las leyes y normas sectoriales relacionadas al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, en su capítulo III (MACA-CAT-PRONAR,2005).

El Estado reconoce y declara que:

- El agua es un recurso natural, vital, agotable y vulnerable;
- Es un recurso fundamental para la vida y los ecosistemas;
- Sus usos cumplen funciones sociales, económicas y ambientales;
- Se privilegia y fomenta el uso social del agua sobre el uso comercial.

2.2 DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA RIEGO EN BOLIVIA

Es importante señalar que el potencial productivo de una zona depende de la combinación de ofertas de aguas superficial y subterránea y además de factores como el grado de escurrimiento e infiltración, las características de los suelos y de la temperatura ambiental promedio (*Unidad de Aguas y Suelos MACA y los Componente de Asistencia Técnica CAT PRONAR, 2005*)

2.2.1 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES. RÍO LA PAZ

Es claro que las aguas superficiales comprenden un complejo sistema de ríos, lagos, lagunas humedales y otros cuerpos de agua; asimismo, que los recursos hídricos

superficiales de una determinada región provienen de la precipitación pluvial caída en su cuenca de alimentación y de los manantiales o descarga subterránea.

Entre otros factores, debido a la irregular distribución de las precipitaciones pluviales y por el tamaño de las cuencas receptoras, la cuenca del Amazonas tiene la mayor disponibilidad de aguas superficiales y la cuenca del Altiplano la menor. De un modo preliminar, se estima que por la cuenca del Amazonas fluyen 180.000 millones de $\text{m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ por la cuenca del Plata 22.000 millones de $\text{m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ y por la cuenca Cerrada 1.650 millones de $\text{m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ (Montes de Oca 1997).

En 1985, GEOBOL elaboró el Mapa Hidrogeológico de Bolivia, el mismo que identificó cinco Provincias Hidrogeológicas que presentan diferencias fundamentales en la conformación litológica y estructural. Estas provincias son:

- Provincia Hidrogeológica de la Cuenca Endorreica del Altiplano Andino y de la Cordillera Occidental.
- Provincia Hidrogeológica de la Cordillera Andina, Vertiente Andina.
- Provincia Hidrogeológica de la Vertiente Amazonas.
- Provincia Hidrogeológica de la Cuenca Pantanal – Chaco Pampeano.
- Provincia Hidrogeológica del Escudo Proterozoico.

En Bolivia, la cuenca Amazónica, a la que corresponde el **río La Paz**, está constituida por cuatro grandes Ríos: Madre de Dios, Beni, Mamoré e Iténez, que confluyen para formar el Río Madeira (Brasil), según Montes de Oca (1997).

Villafuerte, 2003 mencionado por Suarez (2004), divide la cuenca del Amazonas en las siguientes subcuencas: Acre, Abuna Orthon, Madre de Dios, Beni, Mamoré Itenez e Izozog.

El río La Paz es la continuación del río Choqueyapu que atraviesa la ciudad de la Paz, pertenece al Subcuenca del Beni.

La cuenca del río Choqueyapu y La Paz es una depresión natural formada por erosiones pesadas, la diferencia altitudinal entre el límite norte (Mt. Charquini, 5500 msnm) y el límite sur (distrito Huayhuasi 2800 msnm) es de 2700 metros, el largo de este tramo es de aproximadamente 58 Km

El promedio mensual de caudal mas alto registrado, fue en el mes de enero (5000 L.sg⁻¹). Para el promedio de caudal mas bajo registrado correspondieron a los meses de julio y agosto (1000 L.sg⁻¹) PROYECTO BOL 8/OO7, 2005.

2.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DEL RÍO LA PAZ. CONTAMINACIÓN

El área urbana de la ciudad de La Paz se extiende a lo largo del canal principal de río Choqueyapu y de sus efluentes principales (Orkojahuirá, Irpavi y Achumani), contiene 170 vertederos con caídas de 1.0 a 4.5 metros, con descargas de 730 m³.mes⁻¹ o de 130 lts/día/persona considerando residuos humanos, aguas grises, uso comercial con una carga de DBO₅ de 35 gr/día/persona (JICA,1993).

Las poblaciones cercanas, las industrias, los centros hospitalarios vierten sus residuos a lo largo de este río, que se ha convertido en una alcantarilla abierta que lleva los residuos aguas abajo. Los estudios sobre las aguas del río Choqueyapu (JICA, 1993) y de los ríos Orkojahuirá, Irpavi, Achumani y Huañajahirá indican que la calidad de aguas de estos ríos es similar a la que se observa en los afluentes a las plantas de tratamiento de aguas residuales, mas que a las aguas de otros ríos (PROYECTO BOL 8/OO7, 2005)

Respecto a estudios de las aguas del río La Paz, existen pocos datos los mismos que reportan problemas ambientales en las zonas a lo largo del río y afectando a las propiedades agrícolas ubicadas aguas abajo.

El Instituto de Investigaciones Geológicas, ha realizado análisis de diferentes puntos del río que cruzan la zona, determinando grados elevados de contaminación de distintos tipos y orígenes, Chamón (2001).

Estudios hidroquímicos de aguas del río La Paz, a la altura de Mecapaca, son comparados con estudios hidroquímicos de las aguas de pozos y manantiales en sectores paralelos a la zona, estos análisis reportan valores para el Arsénico 45.9 µg.L⁻¹ en el río; 141 µg.L⁻¹ en pozos; 64.8 µg.L⁻¹ sobrepasan los Máximos aceptables por el R.L.M.A. 1333.

Para otros elementos como el Mg, se detectan puntos de contaminación fuera del río 371.1 mg.L⁻¹, 128,2 mg.L⁻¹, el R.L.M.A. 1333 indica un máximo aceptable de 100

mg.L⁻¹. En el caso del Manganeso el R.L.M.A. 1333 establece 1 mg.L⁻¹ y los puntos que sobrepasaron fueron en 1,9 mg.L⁻¹; 578.2 µg.L⁻¹; 541µg.L⁻¹; 815,2 µg.L⁻¹.

Otros elementos como el Sodio registraron para 215.2 mg.L⁻¹; 805.1 mg.L⁻¹; 395.5 mg.L⁻¹; 318.2 mg.L⁻¹ sobrepasando lo que el R.L.M.A. 1333 establece de 200 mg.L⁻¹. El Zinc es otro de los elementos cuyo valor sobrepasa el máximo permisible de 200 µg.L⁻¹ de 644.4 µg.L⁻¹ y 356.7 µg.L⁻¹.

Los sulfatos registraron valores de 2494 mg.L⁻¹; 592.5 mg.L⁻¹; 436.7 mg.L⁻¹ de igual manera sobrepasan lo establecido de 400 mg.L⁻¹. Similar resultado se obtuvo en caso de fosfatos para los distintos puntos con valores de 1850 µg.L⁻¹; 2800 µg.L⁻¹, el R.L.M.A. 1333 establece 500 µg.L⁻¹.

Respecto a la carga orgánica los análisis de DBO₅ para el sector de Lipari y Mecapaca en el mes de agosto fueron de 262 y 237 mg O₂.L⁻¹ respectivamente, comparando con los registrados por el JICA (1993) para el mismo punto de Lipari con un valor de 77 y 58 mg O₂.L⁻¹ para los meses de marzo y abril, Chamón (2001).

Los datos sobre la calidad de agua en los ríos por la presencia de aniones y cationes señalan que un 62 % son bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas; un 25 % clasifican como aguas sulfatadas y/o cloruradas y un 12.5 % clasifica como agua bicarbonatada sódica.

Estos mismos estudios, Chamón (2001), determinaron los siguientes tipos de agua para riego considerando los valores de SAR (Relación de Adsorción de Sodio) y la conductividad eléctrica (CE) para las aguas del río La Paz:

Tipo	Conductividad Eléctrica (µS/cm)
C ₂ S ₁	250 – 750
C ₃ S ₁	750 – 2250
C ₃ S ₂	750 – 2250
C ₄ S ₂	> 2250

2.3 CALIDAD DE AGUAS

La calidad de agua puede definirse como la composición físico-químico-biológico que la caracterizan y que determinan su utilidad, sea para uso doméstico,

agrícola e industrial. Un examen de la calidad del agua determina la presencia de organismos y compuestos químicos, orgánicos (Metcalf 1978, mencionado por Medrano 2001;Palacios 2000).

Por consiguiente el termino “calidad” debe considerarse en relación con el empleo o el ámbito de uso que se le dé al agua (American Water Works Association, 2003).

2.4 CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

La calidad del agua para riego depende no solo de su contenido en sales, sino también del tipo de sales (FAO, 1987)

Rodríguez (2001), Fuentes (1998), FAO (1987) indican que es importante mencionar algunas características que intervienen en la calidad del agua para riego:

2.4.1 LA CONCENTRACIÓN DE SALES SOLUBLES

Sales como *carbonatos*, *cloruros* y *sulfatos*, en altas concentraciones se tornan perjudiciales para el suelo y las plantas, sobre todo en suelos pesados con drenaje deficiente o déficit de lluvia. El exceso de carbonatos, cloruros y sulfatos de calcio, magnesio y sodio, reduce el valor nutricional y la productividad de los suelos, pudiendo afectar áreas dedicadas a la agricultura.

Los contenidos permisibles de sales en el agua de riego, son aproximadamente cinco veces menor que en el extracto de saturación del suelo.

2.4.2 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Pizarro (1978),mencionado por Medrano (2001), que no hay que confundir CE aceptable en un agua de riego con la CE que tolera un cultivo, la CE del agua de la solución del suelo (expresado normalmente por la CE corresponde al estado de saturación), que generalmente es mayor que del agua de riego.

La clasificación del agua de riego, según la conductividad eléctrica se puede hacer a través del Cuadro 3, como parámetro de clasificación

Cuadro 1: Clasificación de aguas para riego según su CE

Clasificación	CE 25° $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Concentración sal en g.L^{-1}
C.1. Baja salinidad	0 – 250	Menor 0.2
C.2. Salinidad media	250 – 750	0.2 – 0.5
C.3. Altamente salina	750 – 2250	0.5 – 1.5
C.4. Muy altamente salina	2250 – 5000	1.5 – 3

Fuente: Pizarro, mencionado por Medrano, 2001

2.4.3 SALINIDAD EFECTIVA (SE)

Pizarro (1978) mencionado por Medrano (2001), indica que es la estimación más real de peligro que representa las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte del agua del suelo, pues toma en cuenta la precipitación posterior de las sales menos solubles: Carbonato de calcio y magnesio, sulfato de calcio, por lo tanto, dejan de participar en la elevación de la presión osmótica de la solución del suelo.

$$\text{SE} = \text{Suma de Aniones} - [\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}]$$

$[\text{Ca}^{++}]$ = Concentración de calcio en meq.L^{-1}

$[\text{Mg}^{++}]$ = Concentración de Magnesio en meq.L^{-1}

Para clasificar de la salinidad efectiva del agua de riego se establece el siguiente cuadro:

Cuadro 2: Clasificación de aguas para riego según su SE

Clase	Salinidad efectiva en meq.L^{-1}
Buena	Menos de 3.0
Condicionada	3.0 - 15
No recomendable	Mayores de 15

Fuente: Pizarro, mencionado por Medrano, 2001

2.4.4 SALINIDAD POTENCIAL (SP)

Es un índice para estimar el peligro de estas últimas sales que quedan en solución a bajos niveles de humedad. Por la razón anterior SP es uno de los mejores estimadores del efecto de las sales sobre las plantas.

$$\text{SP} = [\text{Cl}^-] + 1/2[\text{SO}_4^{-2}]$$

Donde:

SP = Salinidad potencial

$[\text{Cl}^-]$ = Concentración de cloruros en meq.L^{-1}

$[\text{SO}_4^{-}]$ = Concentración de sulfatos en meq.L^{-1}

Cuadro 3: Clasificación de aguas para riego según su SP

Clase	Salinidad potencial en meq.L ⁻¹
Buena	Menos de 3.0
Condicionada	3,0 - 15
No recomendable	Mayores de 15

Fuente: Pizarro, mencionado por Medrano, 2001

2.4.5 LA CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS. IONES ESPECÍFICOS

Ciertos iones (Na, Cl y B), contenidos en el suelo a agua, se acumulan en los cultivos en concentraciones suficientemente altas para causar daños y reducir los rendimientos en los cultivos sensibles. FAO, 1987.

Cuadro 4: Calidad del agua de riego en relación con su contenido en boro

Clase respecto al boro	Cultivos sensibles	Cultivos semitolerantes	Cultivos tolerantes
	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹
1	< 0,33	< 0,67	> 1,00
2	0,33 a 0,67	0,67 a 1,33	1,00 a 2,00
3	0,67 a 1,00	1,33 a 2,00	2,00 a 3,00
4	1,00 a 1,25	2,00 a 2,50	3,00 a 3,75
5	> 1,25	> 2,50	> 3,75

Fuente: Cadahía (1997), <http://www.infoagro.com/buscador/buscador.ash>

Prácticamente todas las aguas contienen oligoelementos en pequeñas cantidades o concentraciones. Por lo general no se hacen análisis para su determinación, salvo en el caso de aguas residuales, que pueden causar problemas de toxicidad. Las concentraciones máximas permisibles son las siguientes:

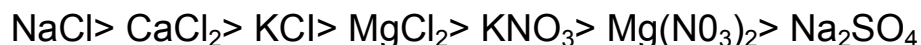
Cuadro 5: Concentraciones máximas permisibles de oligoelementos

Oligoelementos	Concentración (mg.L ⁻¹)
Arsénico	0.10
Cobre	0.20
Hierro	5
Manganeso	0.20
Molibdeno	0.01
Zinc	2

FAO, 1987

Fuentes (1998), mencionan que estos daños dependen de la concentración, volumen de agua absorbida y tolerancia del cultivo. Los efectos son más rápidos cuando aumenta la temperatura (clima cálido o estación calurosa)

El efecto tóxico de determinados iones puede condicionar la germinación. Los cloruros son más tóxicos para la germinación que los sulfatos indica Harris (1915), citado por Rocabado (2001), estableciendo el siguiente orden de toxicidad relativa de las sales solubles:



El ión de sodio se desplaza más lentamente que el ión cloro en el agua del suelo, por lo que aquel necesita un requerimiento mayor que éste. En el supuesto de que se necesite una gran cantidad de agua para controlar la toxicidad del sodio (con valores de RAS superiores a 9), con posibles efectos sobre el drenaje, sería más práctico aplicar enmiendas de calcio (Fuentes, 1998).

El ión de Boro se desplaza en el suelo mucho más lentamente que el ión cloruro en función de su carga, precisando un requerimiento de lixiviación tres veces superior.

La siguiente tabla, indica las directrices para evaluar los problemas de toxicidad, dadas por el Comité de Consultores de la Universidad de California (Fuentes, 1998)

Cuadro 6: Directrices para evaluar los problemas de toxicidad y otros efectos (FAO, 1987)

Toxicidad de iones específicos (En cultivos sensibles)	Unidad	Grado de restricción y de uso		
		Ninguna	Ligera o moderada	Severa
Sodio: Riego por superficie Riego por aspersión	RAS meq.L ⁻¹	< 3 < 3	3 - 9 > 3	> 9
Cloruro: Riego por superficie Riego por aspersión	meq.L ⁻¹ meq.L ⁻¹	< 4 < 3	4 - 10 > 3	>10
Boro	mg.L ⁻¹	< 0,7	0.7 - 3.0	>3.0
Otros efectos (En cultivos sensibles)				
Nitrógeno (nitrato)	mg.L ⁻¹	< 5	5 - 30	>30
Bicarbonato (en aspersión foliar)	meq.L ⁻¹	<1.5	1.5 - 8.5	>8.5
pH	Amplitud normal: de 6.5 – 8,4			

Fuente: FAO, 1987

2.4.6 LA CONCENTRACIÓN DE SODIO (NA)

Cuando las aguas de riego contienen cantidades considerables de sodio en solución, este se acumula paulatinamente en el suelo y como consecuencia, el suelo se defloclula y pierde su estructura. También se pierden la permeabilidad, el agua y el aire del suelo, favoreciendo la formación de costras, indican Medrano (2001), Rodríguez (2001)

2.4.7 RELACIÓN DE ABSORCIÓN DE SODIO (RAS)

Valora la proporción relativa de sodio con respecto al calcio y magnesio, Fuentes (1998). Si la proporción de sodio es alta, será mayor el peligro de sodificación y al contrario, si predomina el calcio y el magnesio, el peligro es menor.

El RAS en una solución del suelo, se relaciona con la absorción de sodio y en consecuencia esta relación puede usarse como “índice de sodio” o “del peligro de sodificación que tiene dicha agua”.

$$RAS = \frac{(Na)}{\sqrt{\frac{(Ca^{++}) + (Mg^{++})}{2}}}$$

Donde:

[Na⁺] = Concentración de sodio en meq/l

[Ca⁺⁺] = Concentración de calcio en meq/l

[Mg⁺⁺] = Concentración de Magnesio en meq/l

Su fácil capacidad de intercambio en el complejo y la selectividad de algunas arcillas provoca efectos nocivos en la parte física, química y biológica del suelo.

Cuadro 7: Valores de RAS para clasificar agua de riego

Clasificación	RAS	
	CE = 100 umhos.cm ⁻¹	CE = 750 umhos.cm ⁻¹
S.1. Bajo en sodio	0 – 10	0 - 6
S.2. Media en sodio	10 – 18	6 - 12
C.3. Alta en sodio	18 – 26	12 - 18
C.4. Muy alta en sodio	> 26	> 18

Fuente: Pizarro, mencionado por Medrano, 2001

La FAO (1987), en la última edición de “La calidad de agua en la agricultura” propone las siguientes directrices de la Universidad de California (EEUU), en función de la conductividad eléctrica y del RAS de agua de riego.

2.5 PRINCIPALES SALES EN SUELOS Y AGUAS

Se trata de cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de metales del grupo IA y IIA de la tabla periódica, según Porta *et.al.*,(1994), citado por Rocabado (2001)

2.5.1 CLORUROS

Los cloruros son sales muy solubles y con una toxicidad alta. Los cloruros son los responsables más frecuentes de la formación de suelos salinos, de las propiedades que presentan y del estrés sobre las plantas.

El cloruro magnésico se produce en suelos con una salinidad extremadamente alta, es una sal altamente tóxica, muy perjudicial para las plantas. Se puede formar si el suelo recibe aguas ricas en iones Cl^- y Na^+ .

Debido a que esta sal es muy higroscópica y puede absorber agua del aire cuando la atmósfera no está totalmente seca. El cloruro potásico es una sal con propiedades análogas al cloruro sódico.

2.5.2 SULFATOS

El sulfato sódico es un componente frecuente de suelos salinos, la solubilidad está influida por la temperatura, a bajas temperaturas se disuelve lentamente.

El sulfato magnésico es un constituyente frecuente, muy soluble, altamente tóxico.

El sulfato potásico no es responsable de salinizaciones en condiciones naturales, limitándose a crear problemas ahí donde se realice un mal uso de abonos, generalmente en invernaderos así lo indica Allison *et.al.*(1973), citado por Rocabado (2001)

2.5.3 CARBONATOS Y BICARBONATOS

La presencia de carbonato y bicarbonato sódico indican unas condiciones

físico-químicas especiales, ligadas a procesos de alcalinización del suelo.

Son característicos de suelos con pH superiores a 9 pudiendo llegar hasta 12. Esta fuerte alcalinidad crea un medio inadecuado para las plantas. El pH alto se debe a la hidrólisis del carbonato, en cambio el bicarbonato da lugar a condiciones menos alcalinas.

2.5.4 NITRATOS

Es absorbido por las raíces generalmente bajo las formas de NO_3^- y NH_4^+ . Su asimilación se diferencia en el hecho de que el ión nitrato se encuentra disuelto en la solución del suelo, mientras que gran parte del ión amonio está adsorbido sobre las superficies de las arcillas.

El contenido de nitrógeno en los suelos varía en un amplio espectro, pero valores normales para la capa arable son del 0,2 al 0,7%. Estos porcentajes tienden a disminuir acusadamente con la profundidad. El nitrógeno tiende a incrementarse al disminuir la temperatura de los suelos y al aumentar las precipitaciones atmosféricas.

Como resultado en el suelo podemos encontrar nitrógeno orgánico (proteínico, ácidos nucleicos, azúcares) e inorgánico (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- ...). Siendo, generalmente, el orgánico el más abundante (85 al 95% son valores normales).

Los nitratos NaNO_3 son raros en los suelos salinos, pero en agua de riego se encuentran habitualmente, pudiendo ser asimilado directamente por la planta

2.5.5 BORATOS

El boro es un micro nutriente cuyo intervalo de concentraciones entre los límites de carencia y toxicidad es muy reducido. La reacción del suelo más favorable para la movilización del boro en el suelo es cuando el valor de pH es de 5 a 7. La cantidad de boro móvil en el suelo disminuye mucho cuando el pH es más bajo de 5 y más alto de 7.5 (Dinchev, 1972), citado por Rocabado (2001)

Esta presente en los silicatos de boro, que además de boro, contiene, también distintas cantidades de Fe, Al, Mg, Ca, Si, Na y K.

Según Skok citado por Rocabado (2001), el boro en las plantas contribuye al desplazamiento de los carbohidratos, esta influencia es indirecta y esta relacionada con su acción sobre el crecimiento y la actividad de las células.

Es posible que también participe en la formación de pectina. En condiciones de ausencia de boro el polen no desarrolla y las flores no fecundan y caen. Un indicio de toxicidad de boro es la coloración amarilla de los extremos de las hojas.

2.5.6 FÓSFATOS

La absorción de fósforo ocurre como ión fosfato inorgánico monovalente (H_2PO_4^-) o divalente (HPO_4^{2-}). Gran parte del fosfato en la planta existe en forma orgánica pero es probable que se transporte principalmente en estado inorgánico. El fosfato se retiene firmemente en el complejo mineral del suelo en la misma forma que el potasio, y su absorción por las plantas tal vez sea obstaculizada por un exceso de calcio.

El P en el suelo se encuentra en forma de fosfatos orgánicos e inorgánicos. Los fosfatos orgánicos se hallan principalmente en el humus, encontrándose en diferentes compuestos, como las sales de fitina de calcio, magnesio, hierro y aluminio denominados fitatos.

La acumulación de cantidades relativamente superiores de P en la capa arable es explicada por la actividad de las raíces de las plantas, las cuales extraen compuestos fosfóricos hasta de las capas más profundas.

El rol del P en las plantas es importante, ya que al unirse tres moléculas de ácido fosfórico con adenina y ribosa se forma el ácido adenosin trifosfato (ATP) que es el principal suministrador de energía para la síntesis de proteínas, grasas y almidón en las plantas.

La deficiencia de fósforo se manifiesta con la pérdida de las hojas maduras, desarrollo de antocianinas en tallos y nervaduras foliares, en casos extremos, presencia de áreas necróticas en diversas partes de la planta (Bidwell, 1993)

2.6 CONTAMINACIÓN DEL RECURSO AGUA.

Según Kalam (2000) define la **contaminación de agua** como la alteración de la concentración normal de una o más sustancias en el sentido físico, químico o biológico, de tal modo que esta alteración no permita el normal desenvolvimiento de las actividades vitales del ser vivo, principalmente del hombre y los animales superiores.

También señala, que la contaminación afecta de manera visible la salud, supervivencia y las actividades diarias del hombre u otro organismo vivo. La contaminación las sustancias contaminantes por lo general se denominan como tóxicos o agentes tóxicos, los cuales pueden estar presentes en un medio de manera temporal o permanente.

2.7 AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales, también llamada aguas negras, son una mezcla compleja que contiene agua (por lo común más de 99%) mezclada con contaminantes orgánicos, tanto por suspensión como disueltos.

La concentración de estos contaminantes normalmente es muy pequeña, y se expresa en mg/L, esto es, miligramos de contaminantes por litro de la mezcla. Esta es una relación peso/volumen que se emplea para indicar concentraciones de componentes en agua, aguas residuales, desperdicios industriales y otras soluciones diluidas.

Puesto que la densidad relativa (DR) de estas soluciones diluidas es similar a la del agua, las concentraciones también se pueden considerar relaciones de peso/peso, como mg/kg o ppm (partes por millón). Sin embargo, cuando la DR de la mezcla no es 1.0 mg/L y ppm no son términos indistintos (Glyn, 2000).

2.8 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL

2.8.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Palacios(2000), Metcalf (1995) coinciden en señalar las características físicas del agua pueden agruparse en:

2.8.1.1 SÓLIDOS TOTALES

Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105°C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor.

Los sólidos sedimentables se define como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de un periodo de 60 minutos (Metcalf, 1991). Los sólidos disueltos están compuestos por partículas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución

2.8.1.2 TEMPERATURA

Es un parámetro muy importante dada su influencia tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles.

2.8.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

El agua no debe tener impurezas concentradas en cantidades peligrosas, ni ser excesivamente corrosiva, ni tener residuos de sustancias que se emplearon en su tratamiento. Las características más importantes son:

2.8.2.1 MATERIA ORGÁNICA

Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro (Glyn, 2000).

2.8.2.2 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO₅)

Parámetro de contaminación orgánica mas ampliamente empleado, aplicable tanto a las aguas residuales como a las superficiales, es la DBO a 5 días (DBO₅). La determinación de la misma, está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

2.8.2.3 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es una medida del equivalente en oxígeno del contenido de materia orgánica en una muestra que es oxidable utilizando un oxidante fuerte. Es diferente a la prueba de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), pues la DBO mide sólo la fracción orgánica oxidable biológicamente (Metcalf, 1995)

2.8.2.4 GRASA Y ACEITES

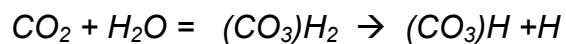
Las grasas animales y los aceites son el tercer componente, en importancia de los alimentos. El contenido de grasa se determina por extracción de la muestra con triclorotrifluoroetano, debido a que la grasa es soluble en el.

2.8.2.5 AGENTES TENSOACTIVOS

Los agentes tensoactivos están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua, y que son responsables de la aparición de espumas en la superficie de los cuerpos receptores, de los vertidos de agua residual.

2.8.2.6 ÁCIDOS

La acidez del agua se puede definir como su capacidad para neutralizar el radical oxidrilo. La acidez de las aguas naturales es generalmente debido a la presencia de anhídrido carbónico el cual tiende a combinarse con el agua dando origen al ión hidrogenión según la siguiente reacción:



2.8.2.7 ALCALINIDAD

La alcalinidad puede definirse como la presencia del oxidrilo y su capacidad para neutralizar la acidez. La presencia del oxidrilo en el agua se debe generalmente a la acción de las sales provenientes de ácidos débiles y bases fuertes, siendo los más comunes los carbonatos y bicarbonatos. La alcalinidad tiene su escasa influencia sanitaria a no ser por la presencia de floculos y el sabor. Se expresa en g/l de carbonatos presentes.

2.8.2.8 DUREZA

La dureza de las aguas se debe a la presencia de cualquier catión sean estos de calcio y magnesio, etc., pero generalmente solo se considera al calcio y magnesio, la presencia de estos cationes causan gran desperdicio e impiden la formación de jabones (emulsión). La dureza del carbonato se mide en g/l.

2.8.3 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

Rodríguez, (2001) indica que la presencia de bacterias, virus y otros microorganismos patógenos en las aguas residuales supone un problema importante para su uso agrícola.

La calidad bacteriológica de estas aguas se establece a partir del número de coliformes fecales y de la presencia de bacterias patógenas como la *Salmonella*, *Shigella* y *Cholera*. No hay un consenso sobre el número máximo de coliformes permisible para el agua de riego. La Organización Mundial de la Salud (F.A.O., 1987), establece la normativa para el agua de riego "*sin restricción*" (es decir, para cualquier tipo de cultivo) el agua no debe tener más de 100 coliformes fecales/100 ml. (Anexo: 1, 2, 3)

La contaminación fecal del agua produce dos hechos notables desde un punto de vista sanitario: a) la incorporación de un gran número de microorganismos pertenecientes a la flora fecal, y b) la incorporación de materias orgánicas fecales. El primero de ellos justifica el empleo de indicadores microbiológicos mientras que la incorporación de materias fecales deberá condicionar el tipo de indicadores químicos.

2.8.3.1 BACTERIAS

La contaminación fecal ha sido, y sigue siendo, el principal riesgo sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos procedentes de enfermos y portadores, y la transmisión hídrica a la población susceptible. Por ello el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante, y constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población.

Para la investigación del agua se requiere la búsqueda y aplicación de indicadores biológicos de contaminación fecal, aceptándose de forma universal que

deberían cumplir los siguientes criterios:

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas (su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal).
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe ser patógeno.

No existe ningún microorganismo que cumpla con todos estos requisitos de un indicador ideal, por lo que se toman los que más de estas características cumplen (OMS, 1989).

Los grupos de microorganismos más habituales en heces humanas son *Bacteroides fragilis*, coniformes totales y fecales, *Escherichia coli* y estreptococos fecales. Muchos de estos microorganismos no son exclusivos del intestino humano, sino que forman parte también de la flora intestinal de diversos animales de sangre caliente (OMS, 1989)

A la hora de elegir un microorganismo como indicador de contaminación fecal también hay que tener en cuenta la facilidad de su cultivo.

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44,5° C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coniformes presentes en heces están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de los animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal.

Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta es la característica que diferencia a coliformes totales y fecales. La capacidad de los coliformes fecales de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad.

2.9 CONCENTRACIÓN DE METALES EN AGUAS, SUELOS Y PLANTAS

2.9.1 ZINC

El zinc permanece estable en agua dulce y salada debido a la fina capa de óxido con que se recubre.

El contenido total de Zn en los suelos varía de 10 a 300 mg por 1 kilogramo de suelo. Se ha constatado que la capa superficial (superior) de los suelos tiene más zinc total y accesible que los horizontes inferiores. (Dinchev, 1972) citado por Rocabado (2001)

Dinchev (1972) indica que se observa deficiencia de Zn en el suelo en el intervalo del pH de 6 a 8, y disminuye al desviarse el pH en una u otra dirección de ese intervalo.

El Zn es el elemento presente en mayor magnitud de los minerales en forma de sulfuro (aproximadamente 60%) y, también, se presenta en una considerable proporción en las raíces formando silicatos de Fe y Mg.

El Zn participa en la respiración de las células vegetales y también en los demás procesos óxido-reductivos. La influencia del Zn también está relacionada con el metabolismo de los carbohidratos y proteínas en las plantas (Dinchev, 1972 mencionado por Rocabado, 2001).

Además, el zinc es un activador obligado de enzimas como las deshidrogenasas del ácido láctico, ácido glutámico, alcohol y pirimidin nucleótido. Su deficiencia también puede traducirse en un sustancial incremento de sustancias nitrogenadas solubles (Bidwell, 1993)

Los niveles tóxicos de Zn causan daños a las raíces y retardan el crecimiento

de las plantas(Dinchev,1972) citado por Rocabado (2001)

2.9.2 COBRE

El cobre es un elemento que precipita en agua salada, lo que explica el bajo contenido de cobre en este tipo de agua en comparación con agua dulce. El mayor contenido de cobre se halla en tuberías corroídas, lo cual modifica el color del agua y producir precipitados verdes.

El contenido medio de Cu en los suelos varia de 2 a 100 mg por 1 kilogramo de suelo, formando parte de minerales como bornita, cuprita, tenrita, malaquita, azufrita, etc, en sales neutrales insolubles como: sulfuros y en mayor extensión silicatos de Fe y Mg, fosfatos, hidróxidos. En estados cambiables, formando complejos metalo-orgánicos y particularmente de los minerales arcillosos (Dinchev, 1972) citado por Rocabado (2001).

El Cu es también móvil en ambientes ácidos y oxidantes, pero en menor proporción que el Zn. La interacción química del Cu con material orgánico del suelo es fuerte, y el Cu se precipita fácilmente como sulfuro, carbonato e hidróxido.

La solubilidad del Cu aumenta al aumentar la acidez del suelo, y disminuye en suelos poco ácidos, alcalinos y neutros.

El Cu como el Zn juegan roles metabólicos esenciales en las plantas y animales. En las plantas, la alta concentración de Cu agrava la deficiencia de molibdeno (antagonismo Cu-Mo).

Se constató que el Cu participa en los procesos oxidativos y reductivos que se producen en las plantas. Baja su influencia se mejora el metabolismo de carbohidratos y proteínas en las plantas y disminuye la actividad de las enzimas hidrolíticas. El Cu aumenta la intensidad de respiración (Dinchev, 1972) citado por Rocabado (2001).

El cobre desempeña funciones exclusivamente catalíticas en las plantas siendo parte de varias enzimas importantes como la polifenol oxidasa y el ácido ascórbico oxidasa. Esta presente en la plastocianina de los cloroplastos, un componente importante del sistema transportador de electrones de la fotosíntesis y puede estar

involucrado en la reducción de nitritos (Bidwell, 1993)

Los niveles tóxicos de Cu causan, por ejemplo, clorosis de Fe inducida y daños a las raíces de las plantas.

La toxicidad del Cu se observa generalmente cuando su contenido en el suelo pasa de 150 a 250 mg por 1 kilogramo de suelo, los síntomas son la demora de crecimiento y la gran disminución de la concentración de hierro (Dinchev, 1972) citado por Rocabado (2001).

2.9.3 PLOMO

El Pb esta considerado como un elemento muy inmóvil entre los metales pesados. La solubilidad del Pb (como el Cu) puede estar muy incrementada por los complejos orgánicos.

Durante el desgaste primario los minerales del Pb se oxidan a hidrolizan lentamente, y el Pb es fácilmente precipitado como carbonato incorporado en las arcillas, óxidos de Fe y Mn y en la materia orgánica.

La vida media de la contaminación del Pb en el suelo puede ser muy larga, hasta 6000 años. No existe ninguna evidencia de que el Pb sea esencial para la biota, pero sus efectos han demostrado ser sólo negativos.

El principal efecto nocivo del Pb para la planta es en la fotosíntesis, a causa de que reemplaza al Mg^{+2} de la clorofila, evitando que el pigmento pueda captar la luz. Afecta también la presión osmótica de las células, el potencial hídrico del Xilema y aumenta la transpiración por las hojas.

Todo esto redundando en una pérdida de agua. También induce la ocurrencia de c-mitosis. Además, tiene efecto clastogénico (Cabeza y Lagos, 2003). En las plantas las cantidades tóxicas de Pb causan daño en las hojas y raíces y en los humanos (especialmente los compuestos orgánicos) se ha demostrado que son acumulativas causando anemia y dolencias neurológicas.

2.9.4 MANGANESO

El Mn esta contenido en los suelos en forma de distintos óxidos e hidróxidos que se diferencian mucho por su solubilidad.

El Mn es un constituyente esencial del suelo para la nutrición de las plantas, además, controla la conducta de varias otros micronutrientes Dinchev, (1972) mencionado por Rocabado (2001).

Bidwell (1993), indica que es un metal activador algunas enzimas respiratorias y de reacciones del metabolismo del nitrógeno y la fotosíntesis. El papel más importante del manganeso en la fotosíntesis reside en la secuencia de reacciones mediante las cuales se derivan electrones del agua y se libera oxígeno.

El manganeso también puede tener un papel estructural en los cloroplastos, los que se tornan susceptibles a la luz en su ausencia y fundamentalmente y finalmente se desintegran bajo condiciones de disminución extrema de manganeso.

La deficiencia de Mn consiste en la formación de manchas necróticas sobre las hojas y necrosis de cotiledones de plantas de leguminosa (Bidwell, 1993)

2.9.5 CADMIO

El Cd es rápidamente absorbido por las plantas y no es fitotóxico. El Cd es muy tóxico al hombre y se acumula en el hígado y en los riñones. La OMS ha recomendado que no se ingiera por personas más de 400 – 500 mg de Cadmio por semana.

En su conducta geoquímica el Cd es similar al Zn, pero más incorporado en sulfuros y más móvil en los ambientes ácidos. Bajo condiciones fuertemente oxidantes el Cd es probable que precipite como CdO o CdCO₃ y puede ser acumulado en depósitos de fosfato y orgánicos.

La sustancia se puede absorber en el cuerpo por inhalación y por ingestión, provocando dolor abdominal, dolor de cabeza, náusea y vómito. Puede tener efectos sobre los riñones, dando lugar a proteinuria y disfunción renal; es probablemente carcinogénica para los seres humanos.

Se halla normalmente combinado con otros elementos, como oxígeno, cloro o azufre (sulfato y sulfito de cadmio). Como el resto de los compuestos que se encuentran en bajas proporciones, en cualquier ecosistema las reservas suelen ser muy bajas, y se ha demostrado que en estos casos, pequeñas variaciones pueden alterar el equilibrio de los ciclos biogeoquímicos de estos compuestos.

La mayoría del Cd esta disponible fácilmente para las plantas desde suelo.

2.9.6 MOLIBDENO

Se presenta en pequeñas cantidades, se absorbe de suelos de pH elevados, de ahí que tienda a existir en suelos ácidos, graníticos y arenosos.

El papel más importante del Mo en las plantas se reduce a participar en la regulación de su intercambio de nitrógeno, y más concretamente en los procesos de reducción de nitratos, los nitritos y la hidroxilamina y la fijación del nitrógeno; se deficiencia se traduce una disminución del contenido de nitrógeno orgánico, haciendo mas difícil la detección de la deficiencia de molibdeno.

Junto con el cobalto, el cobre y el manganeso, el molibdeno participa como molibdeno enzima en la elaboración de productos en el proceso de la fotosíntesis, los cuales son necesarios para la fijación biológica del N₂.

2.9.7 HIERRO

El hierro forma compuestos insolubles de varias clases en el suelo y la planta, que lo hacen inaprovechable o inútil. Los suelos alcalinos y calcáreos producen comúnmente plantas deficientes en hierro aunque este abunde en minerales de suelo, debido a la formación de óxidos o hidróxidos de hierros insolubles. Por tanto el exceso de otros minerales puede causar deficiencia de hierro por precipitación de éste en formas no adsorbibles y no asimilables (Bidwell, 1993).

El contenido total de Fe en el suelo varia de cantidades tan pequeñas como 200 mg por 1 kg de suelo hasta tan grandes como 10%.

Los compuestos y minerales con los que el hierro esta representado en el suelo, son muy diversos, pero pueden agruparse en la siguiente forma: silicatos

primarios, minerales arcillosos, (óxidos e hidróxidos de hierro) y sales simples del tipo fosfato de Fe.

Sin el Fe en las hojas no se forman la clorofila y se manifiesta clorosis. También entra en la composición de las enzimas respiratorias y regula la intensidad de la respiración de las plantas.

Como se emplean muchos los compuestos de Fe para el tratamiento del agua, se seleccionó un valor guía para el Fe de 0.3 mg.L^{-1} , como solución intermedia. Para riego, el límite máximo es de 5 mg.L^{-1} .

2.9.8 CROMO

Los diversos compuestos del cromo hexavalente representan la mayor amenaza, especialmente debido a sus efectos sobre la genética de los organismos vivos, indica Gomez (2004).

El periodo de latencia correspondiente oscila entre 10 y 27 años, Gomez (2004), también indica que las intoxicaciones agudas con compuestos de cromo VI se manifiestan en lesiones renales, mutaciones en el tracto gastrointestinal así como acumulaciones en el hígado, en el riñón, en la glándula tiroides y en la medula ósea. El índice de eliminación es muy lento.

En las plantas se conocen, entre otras, lesiones en el sistema radicular, las raíces no desarrollan bien y las hojas se mantienen angostas, tomando una coloración pardo rojiza con aparición de pequeñas manchas neuróticas.

En los sistemas acuáticos, la toxicidad de los compuestos solubles del cromo varía según la temperatura, pH y dureza del agua y según las especies de organismos que los pueblan. Los compuestos del cromo VI se disuelven con facilidad, pero en condiciones naturales y en presencia de materia orgánica oxidable se reducen rápidamente a compuestos cromo III, que es más estable y menos hidrosoluble.

El cromo VI, aun en concentraciones relativamente bajas, ya resulta tóxico, siendo el pH del suelo un factor fundamental. El uso de abonos fosfatados incrementa el ingreso de cromo al suelo (Gomez, 2004)

2.9.9 ARSENICO

El arsénico es un metaloide, también, se encuentra en el agua, en el suelo, en algunos vegetales, animales y organismos marinos.

Causas de intoxicación arsenical:

En países de América del Sur es frecuente la intoxicación crónica regional o endémica, producida por el agua de consumo, debido al arsénico proveniente de pozos artesanales, de la contaminación de ríos o lagunas por desechos industriales.

El arsénico inorgánico se absorbe en contacto con la piel. La absorción en el tracto digestivo y superficies mucosas depende de la solubilidad. Después de la absorción por cualquier superficie el arsénico se distribuye el 95 a 99% se localiza en los glóbulos rojos en combinación con la globina de la hemoglobina. Sale rápidamente de la sangre en 24 horas y se distribuye hacia el hígado, riñón, pulmones, paredes del tracto gastrointestinal y bazo. Después de dos semanas de continua administración se acumula en piel, pelo y huesos. También atraviesa la barrera placentaria.

En las rocas comunes el As está presente de 1 a 15 ppm, encontrándose en forma de minerales de sulfuro y como arseniatos.

La movilidad del As es limitada por la absorción fuerte, especialmente por el Fe hidratado y óxidos de Al. Por consiguiente, también los sedimentos arcillosos y los suelos de superficie están enriquecidos en As.

El anión arseniato, se comporta como los fosfatos. Varios tipos de bacterias promueven la oxidación y alquilación del As.

2.10 BIODISPONIBILIDAD DE LOS METALES

La toxicidad de los metales pesados es muy alta indica Vullo (2003); para que los metales pesados puedan ejercer su toxicidad sobre un ser vivo, éstos deben encontrarse disponibles para ser captados por éste, es decir que el metal debe estar biodisponible Su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos -SH (sulfhidrilos) de las proteínas, causando daños

irreversibles en los diferentes organismos.

El concepto de biodisponibilidad se encuentra íntimamente relacionado con las condiciones físicoquímicas del ambiente, que determinan la especiación y por lo tanto la concentración de metal libre y lábil.

2.10.1 TOLERANCIA A METALES PESADOS NO ESENCIALES PARA LAS PLANTAS

Vullo (2003) concluye que las plantas pueden evitar la toxicidad de los metales pesados evadiendo el stress al metal, tolerándolo, o ambos, siendo más común la exclusión del metal.

La tolerancia se basa en la detoxificación de metales ya ingresados a la célula a través de:

- Secuestro
- Compartimentalización
- Eflujo

Los mecanismos de tolerancia pueden variar de acuerdo al tipo de organismo del que se trate y de acuerdo al tipo de metal. En este sentido, existen varios grupos de genes que regulan los mecanismos por los que la planta se defiende de la acción de estos contaminantes.

Muchos de los genes que regulan estos procesos de tolerancia son homólogos a los encontrados en organismos tan dispares a las plantas como lo son las bacterias y las levaduras.

2.11 NORMAS DE CALIDAD DE AGUA Y SUELO

Las normas respecto al límite permisible de elementos contaminantes (metales pesados) en cuerpos de agua superficiales, son muy variables, y está en función a normas locales, es decir, cada país tiene una norma y puede no coincidir con las normas de otros. En este sentido, el artículo 80 de la ley N^o 1333 y el Decreto Supremo N^o 22965 del 27 de abril de 1992, publicada por el M.A.V. (Ministerio de Urbanismo y Vivienda), que autorizan al M.A.U. (Ministerio de Asuntos Urbanos) para establecer y hacer valer, por medios legales, los estándares para los cuerpos de agua y aguas

residuales (Anexo: 9)

Por su parte, la FAO (1989) y el U.S.D.A. tiene recomendaciones máximas de elementos en aguas de irrigación (Cuadro 9).

Las normas de calidad de elementos contaminantes para suelos varían de acuerdo al país donde se determinan dichas normas.

En el anexo 17 se muestran los valores mencionadas por la FAO (1989), Concentración Crítica de la Unión Europea (1986) y Chapman y Prat (1993), los que varían para algunos parámetros, pero sirven para realizar las comparaciones correspondientes.

2.12 ÍNDICE GENERAL DE CALIDAD DEL AGUA “ICA”

Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el “ICA”, define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos Índices son llamados de “Usos Específicos”.

El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creo y diseño un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: *INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)*.

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes, siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua, en tramos particulares de los ríos a través del tiempo.

Comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río, además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo.

Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

Para la determinación del “ICA” interviene 9 parámetros, los cuales son:

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)

- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅ en mg/ L)
- Nitratos (NO₃ en mg/L)
- Fosfatos (PO₄ en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en FAU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/ L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

2.12.1 ESTIMACION DEL INDICE GENERAL DE CALIDAD DE AGUA “ICA”

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio. Después del cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua según la siguiente tabla:

Cuadro 8: Clasificación del “ICA” propuesto por Brown

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente	Azul	91 a 100
Buena	Verde	71 a 90
Regular	Amarillo	51 a 70
Mala	Rojo	26 a 50
Pesima	Plomo	0 a 25

Fuente: Lobos, Jose. (2002)

Las aguas con “ICA” mayor que 90 son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Mala” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “Pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

Para determinar el valor del “ICA” en un punto deseado es necesario que se tengan las mediciones de los 9 parámetros implicados en el cálculo del Índice los cuales son:

Coliformes Fecales, pH, (DBO5), Nitratos, Fosfatos, Cambio de la Temperatura, Turbidez, Sólidos disueltos Totales, Oxígeno disuelto.

La evaluación numérica del “ICA”, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos se debe a Brown.

Para calcular el Índice de Brown se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices (ICAa) o una función ponderada multiplicativa (ICAm). Estas agregaciones se expresan matemáticamente como sigue:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (sub_i * w_i) \quad (1)$$

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (sub_i^{w_i}) \quad (2)$$

Donde:

w_i : Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub_i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Sub_i : Subíndice del parámetro i.

Otros autores (Landwehr y Denninger, 1976), demostraron que el cálculo de los “ICA” mediante técnicas multiplicativas es superior a las aritméticas, es decir, que son mucho más sensibles a la variación de los parámetros, reflejando con mayor precisión

un cambio de calidad. Es por esta razón que la técnica que se aplicará en este estudio es la multiplicativa.

Para determinar el valor del “ICA” es necesario sustituir los datos en la *ecuación* (2) obteniendo los Sub_i de distintas graficas como se muestra en el anexo 19, dicho valor se eleva por sus respectivos w_i del Cuadro 9 y se multiplican los 9 resultados obteniendo de esta manera el “ICA”.

Los pesos de los diversos parámetros son:

Cuadro 9: Pesos relativos para cada parámetro del “ICA”

i	Sub_i	w_i
1	Coliformes fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO ₅	0.10
4	Nitrato	0.10
5	Fosfato	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos totales	0.08
9	Oxígeno disuelto	0.17

2.13 PRODUCCION DE LA LECHUGA DE CABEZA (o cabeza crespada) (iceberg lettuce) (*Lactuca sativa* var. capitata)

La lechuga es una planta anual y autógama, perteneciente a la familia *Compositae* INFOAGRO (2002).

Hernández (2002), señala que la lechuga es un alimento importante por su alto contenido de carotenos, ácido ascórbico, minerales, vitaminas; su rendimiento se mide por los índices de cosecha y calidad.

2.13.1 REQUERIMIENTO DE AGUA. RIEGO

Típicamente 914.25 litros de agua por metro cuadrado por campaña, de cultivo de lechuga. La mayoría del agua es aplicada en los últimos 30 días antes de la cosecha (Universidad de California, 2002).

Hay que tener cuidado en no sobre-saturar las camas de plantación cuando se

cultiva lechuga temprano en la temporada ya que excesos de humedad pueden favorecer el desarrollo de la pudrición de cabezas.

2.13.2 SUELO

Los suelos recomendables son los ligeros, arenoso-limosos, con buen drenaje, situando el pH óptimo entre 6,7 y 7,4.

En los suelos humíferos, la lechuga vegeta bien, pero si son excesivamente ácidos será necesario encalar.

2.13.3 FERTILIZACIÓN

La lechuga es un cultivo anual exigente en abonado potásico; y al consumir más potasio va a absorber más magnesio. Los requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga en kilogramos / ha son:

N	P	K
300	300	150

El potasio es un elemento que la planta extrae en mayor proporción. Por otro lado se pueden realizar aplicaciones foliares con elementos menores como el molibdeno, sobretodo en las primeras fases de desarrollo por lo que se recomienda su aplicación vía foliar, tanto para prevenir como corregir.

2.13.4 VALOR NUTRITIVO DE LA LECHUGA

Cuadro 10: Valores nutritivos de la lechuga

Valor nutricional de la lechuga en 100 g de sustancia	
Carbohidratos (g)	20.1
Proteínas (g)	8.4
Grasas (g)	1.3
Calcio (g)	0.4
Fósforo (mg)	138.9
Vitamina C (mg)	125.7
Hierro (mg)	7.5
Niacina (mg)	1.3
Riboflavina (mg)	0.6
Tiamina (mg)	0.3
Vitamina A (U.I.)	1155
Calorías (cal)	18

Fuente: INFOAGRO, 2001

2.13.5 COSECHA DE LA LECHUGA

2.13.5.1 ÍNDICE DE COSECHA

La madurez esta basada en la compactación de la cabeza: una cabeza compacta es la que requiere de una fuerza manual moderada para ser comprimida, una cabeza muy suelta está inmadura y una muy firme o extremadamente dura es considerada sobremadura. Las cabezas inmaduras y maduras tienen mucho mejor sabor que las sobremaduras y también tienen menos problemas en postcosecha.

2.13.5.2 ÍNDICE DE CALIDAD PARA LA COSECHA

En general la calidad de las hortalizas se pueden considerar como “el conjunto de cualidades de un producto tal que ofrece al consumidor entera satisfacción por el precio que esta dispuesto a pagar”. La definición puede variar según se trate de los diferentes actores de la cadena como son productores, transportistas, procesadores y consumidores.

Desde el punto de vista del consumidor la lechuga de buena calidad debe presentar un color verde brillante, además las hojas deben ser crujientes y turgidas.

2.13.6 NORMAS DE CALIDAD E INOCUIDAD DE HORTALIZAS

Campos (2000), define el concepto de Inocuidad de Alimentos como “la garantía de no hacer daño, como una responsabilidad compartida que agregue valor tanto al productor como al consumidor, para que sea sostenible en el tiempo”

Otras definiciones mas técnicas indican que inocuidad es “ la aptitud que posee un alimento para el consumo humano sin causar enfermedad”, FAO (2002)

Indica Campos (2002), que detrás de estas definiciones esta la concepción de democratizar la inocuidad de alimentos, es decir, la posibilidad de acceder a productos inocuos no es un lujo de países desarrollados, debe ser una política de gobierno que busque beneficiar equitativamente a todos los actores de la cadena alimentaria al nivel de productos de exportación y de consumo local.

Para la evaluación de las concentraciones de los elementos presentes en la planta y la determinación del posible grado de contaminación con metales en la lechuga

se consideró las Concentraciones Acumulables, habituales en la hortaliza de lechuga citadas por Chavez (1991), para los macro y micronutrientes de plantas en general señaladas por Smith (1966) mencionados por Bidwell (1993), Chapman y Prat (1993), Hernandez (2002), mientras que para algunos metales se utilizó las concentraciones consideradas naturales mencionadas por Maz y Ascue (1993) y García (2002) . Estos datos se encuentran en el anexo 18.

En relación con la contaminación microbiológica se encuentran las concentraciones mencionadas por las organizaciones OIRSA (2000); FAO, CODEX ALIMENTARIUS mencionados por Hernandez (2002) y la OMS/OPS (2001) en Cuadro 13 de Anexos.

2.14 GESTIÓN DEL RIEGO

Las “Políticas Públicas de Riego” (PPR) se inscriben en la Constitución Política del Estado, las leyes y normas sectoriales relacionadas al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Así también asumen los lineamientos de la Estrategia Nacional de Desarrollo Agropecuario y Rural (ENDAR).

- a) Legislación e institucionalidad del riego;
- b) Gestión del riego
 - Planificación, inversión pública/privada e incentivos;
 - Construcción de infraestructura y tecnología de riego;
 - Operación y mantenimiento de sistemas de riego;
 - Capacitación, asistencia técnica e investigación;
- c) Uso sostenible del agua y protección del medio ambiente

Es decir, abarca todos los ámbitos que el sistema de gestión de riego compromete en su funcionamiento. Ello implica, en primer lugar, la existencia y vigencia de un marco legal e institucional que soporta la gestión del riego, la misma que en su ciclo contiene variables de planificación, promoción, inversiones en infraestructura y tecnología, operación y mantenimiento, y capacitación y asistencia técnica de sistemas de riego, componentes que operan bajo los marcos del uso sostenible del agua y el suelo, considerando, además medidas ambientalmente seguras.

2.14.1 USOS Y DEMANDA DE AGUA

Los principales usos de agua en Bolivia se sitúan en torno a las actividades de riego, uso doméstico, industrial, minero y petrolero.

2.14.2 SISTEMAS DE RIEGO

La agricultura bajo riego es la actividad que provoca el mayor consumo de agua en Bolivia. El riego es una actividad de alto consumo de agua, ya que representa más del 80% y se ubica muy por encima de usos urbanos que incluyen el uso industrial.

En Bolivia, se identificaron sistemas de riego familiares (<2 ha), micro (2-10 ha), pequeños (10-100 ha), medianos (100-500 ha) y grandes (>500 ha).

Los sistemas medianos y grandes representan el 8% del total y 57% del área regada. Estos últimos sistemas también presentan la relación más alta ha/usuario. En la comparación por departamento se observa que la relación ha/usuario es mayor en Santa Cruz (2,6) y Tarija (2,3), y menor en la Paz (0,7) y Potosí (0,5) El mayor número de sistemas de riego tiene como fuente al río; sin embargo, existen grandes diferencias entre departamentos.

2.14.3 EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

- **Económica**, orientada a minimizar los costos de poner los volúmenes necesarios de agua en los cultivos.

Dado que para muchos productores el riego les permite la producción para la subsistencia y el autoconsumo, es previsible que en algunos o muchos casos la producción con señales económicas claras no esté en el campo de sus prioridades y visiones, en cuyos casos el principio de eficiencia económica debe introducirse paulatinamente en acuerdo con los usuarios.

- **Técnica**, que permita entregar a los cultivos, la cantidad de agua necesaria y en el momento oportuno, para lograr un adecuado desarrollo con una mínima extracción de agua de la fuente. La eficiencia técnica incluye a todos los subsistemas: Captación, conducción, regulación, distribución, uso por parte de los usuarios.

2.14.4 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE RIEGO

Ledesma (1995), clasifica los tipos de riego en la provincia existen los siguientes métodos de riego:

- Riego por inundación no controlada
- Riego por surcos en camellones
- Riego por inundación con surcos guía
- Riego por inundación en tablonés

CAPITULO III

3 LOCALIZACIÓN

3.1 UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA

El área de estudio corresponde a la comunidad de Huayhuasi, sector de Río Abajo del departamento de La Paz, tercera sección Municipal de la Provincia Murillo, geográficamente la plaza principal de la comunidad esta ubicada a 14°0'41.63" de Latitud Sur y 68°0'27.24" de longitud oeste. Se encuentra a 34 km. de la ciudad. (Mapa 1).

3.2 CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS

La Localidad de Huayhuasi, corresponde a los valles secos Interandinos, también llamados mesotérmicos (Marconi, 1992).

3.2.1 TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y MEDIAS. PRECIPITACIÓN PLUVIAL.

Tomando en cuenta que las temperaturas no presentan variaciones significativas en los años, los siguientes datos presentados en la tabla son válidos a escala referencial.

Cuadro 11: Temperaturas ambiente (medias, máx., mín.) y precipitación (promedio) de un periodo de 5 años (1998-2001)

PROMEDIO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL
TEMPERATURA AMBIENTE	15.0	14,8	15.0	14,9	14,0	12,7	11.7	12,2	13.3	15.4	15.1	15.4	14,13
TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA	24.4	24.1	24.0	23,8	23.2	22,0	20.6	21,8	22.8	23,6	24.1	24,7	23,26
TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA	7.0	7.4	7.1	6.4	5,4	4.0	4,5	3.6	4.0	5.4	7.0	7.5	5.78
PRECIPITACIÓN	108.1	41,1	54,7	18,8	7,5	14.8	3.4	13,7	11.8	28,2	50,8	44,9	397.7

Fuente: Estación Metereológica de Calacoto. SENAMHI, 2001

De acuerdo con el cuadro, podemos observar que la temperatura media anual es de 13.5°C con un rango de variación entre 11.7 a 15.4°C. Las temperaturas máximas promedio fluctúan entre 20.6 y 24.7°C. Las temperaturas mínimas fluctúan entre 3.6 a 7.5°C

El cuadro 10, señala para la región de Mecapaca una precipitación promedio anual de 397.7 mm. Las precipitaciones promedios mensuales muestran que los meses con menor precipitación son mayo y julio, 7.5 y 3.4 mm respectivamente.

Es una zona árida, con alta deficiencia de agua durante la mayor parte del año, no muy apta para cultivos, sin embargo, las aguas del Río La Paz son muy bien aprovechadas para riego de cultivos en esa época seca del año.

3.2.2 VEGETACIÓN

Considerando los ecotonos se presentan formaciones intermedias de arbustos y gramíneas, cactáceas (*Trichocereus spp*, *Eriocereus spp*, *Cleistrocactus spp*). El matorral espinoso de *Prosopis* , el soto (*Sinopsis haenkeana*). En las terrazas aluviales son comunes *Shinus molle*, *Salix humboltiana* y pastos como *penicetum clandenstinum*

3.3 FISIOGRAFÍA

De acuerdo con la clasificación realizada por PRONALDES (1996) citado en el PDM (2005), la sección pertenece a la Provincia Fisiográfica de la Cordillera Oriental, caracterizada por ser una región árida a seca, conformada por un paisaje accidentado; presenta un alto índice de degradación de suelos y de escasa cobertura vegetal, constituidas por ambientes frágiles, debido a la pendiente y litología deleznable.

3.3.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

En la zona de estudio (Huayhuasi) la estratigrafía esta representada por afloramientos de rocas paleozoicas (rocas sedimentarias de ambientes marinos) en los bordes del valle estudiado y en los lechos del río La Paz sólo están presentes los sedimentos cuaternarios de origen fluvial y de remoción de masas (Foto 1)

La Unidad de Formación geológica corresponde a la **Llanura aluvial** cuya litología presenta cantos, gravas, arenas, limos y arcillas (Chamón, 2001)

3.3.2 CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS.

Como consecuencia de la formación geológica de la zona los suelos corresponde a los suelos aluviales.

3.3.2.1 SUELOS ALUVIALES

Estos fueron depositados por el río La Paz y sus tributarios, se encuentran compuestos por material grueso y fino (cantos, rodados, cascajo, arenas, arcillas) sobre los que han formado una capa húmica, siendo importantes par el desarrollo de actividad agrícola (Chamón,2001).

Chilón (1995), describe a los suelos de la zona como suelos con textura franco limosa, consistencia húmeda friable, reacción de pH ligeramente alcalino (7.7) sin carbonatos, raíces finas y medias con bajo contenido de materia orgánica y moderada permeabilidad.

3.3.2.2 ZONAS Y GRADOS DE EROSIÓN

En la región de Río Abajo, se encuentra suelos que según su capacidad de uso corresponden a las clases II, IV, V, VI y en algunas áreas, suelos del tipo Vil, es decir que existen suelos que van desde los que son aptos para el cultivo con algunas limitaciones hasta los que presentan serios problemas de degradación para su uso, siendo recomendable para la forestación.

CAPTULO IV

4 MÉTODOS

Este estudio se realizó en la localidad de Huayhuasi zona de Río Abajo, las tomas de muestra se realizaron durante los meses de marzo (época de lluvia) y agosto (época seca) del presente año (2005) en agua de riego, suelos y hortalizas.

4.1 MATERIALES

De Campo

- Equipo de muestreo de aguas, suelo y vegetales.
- Conductivimetro portátil Cole Parmer pH/CON10 Series
- Barreno y cilindros para muestras no alteradas
- Recipientes plásticos
- Cámara fotográfica digital
- GPS navegador(Sistema de Posicionamiento Global)

De Laboratorio

- Equipos de análisis químico, físico, microbiológico y metales pesados.

De Gabinete

- Mapas cartográficos. Escala 1:50000
- Imagen satelital Landsat de pancromática tres bandas
- Computadora
- Software Windows Milenium, Office 2000, SPSS 11.5, Arc View GIS 8.2, Geolcal 4.2
- Calculadora
- Material de escritorio

4.2 UBICACIÓN DE PARCELAS Y PUNTOS DE MUESTREO

Para la ubicación de las parcelas de estudio y puntos de muestreo se basaron en los siguientes criterios básicos (Mapa 1, 2 y 3).

RIEGO DE LAS PARCELAS

- Parcelas, con diferentes años de riego con las aguas del Río La Paz (P1⇒10 años de riego; P20⇒ > 20 años)

- Parcela 1 y parcela 2, **distantes** respecto del punto intersección Río y canal principal (Río-P1→250 mts; Río-P2→840 mts).
- Parcela denominada “**testigo**”, con agua de riego distinta al Río La Paz.
- Caudal aproximado y similar para uniformar el uso y manejo del agua a evaluar.

SUELO

- Parcelas con características similares en sus propiedades físico-químicas, evaluadas a través de un barrenado, para la uniformizar las parcelas.
- Parcela denominada “**testigo**” con características edafológicas similares a las demas parcelas, que nunca utilizaron las aguas del Río La Paz.

CULTIVO

- Parcelas cultivadas con **lechuga** (*Lactuca sativa* var. Capitata) arrepolladas del tipo Salinas. Puntos de muestreo parcela P1 y parcela P2)
- Parcela denominada “**testigo**” con el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* var. Capitata) arrepolladas del tipo Salinas, que no utilizó las aguas del río La Paz, para su producción.

Bajo estos criterios se seleccionaron inicialmente cuatro parcelas, 1 parcela testigo (aguas de riego de otra fuente: T=0 años de riego), 3 parcelas con diferentes años de riego, pero por susceptibilidades en la difusión de los resultados (presencia de cólera en verduras) de los propietarios, solo se trabaja con 2 parcelas, **parcela 1** con menos de 10 años de riego y distante respecto del punto intersección Río y canal principal 250 mts; **parcela 2** con mas de 20 años de riego y distante 840 mts. También del punto de muestreo del río.

4.3 PARÁMETROS EVALUADOS

Los criterios de selección de los parámetros evaluados fueron elegidos para cada factor de estudio:

Cuadro 12: Parámetros evaluados en campo y laboratorio.

FACTOR DE ESTUDIO	PARAMETROS			
	FÍSICOS	QUIMICOS	BIOLÓGICOS	HIDROLÓGICOS
<p style="text-align: center;">AGUA</p> <p>Los parámetros seleccionados estuvieron definidos por la Reglamentación de Ley de Medio Ambiente 1333 (Anexo A: Cuadro 1-A), y para aguas de irrigación los parámetros determinados son por la FAO (1989) y el U.S.D.A.</p> <p>Los parámetros microbiológicos en agua fueron considerados a partir de los trabajos de Iñiguez y García (1992), cumpliendo con lo establecido por la O.M.S.</p>	<p>Sólidos totales, Sólidos disueltos, Sólidos totales Temperatura (*)</p>	<p><u>INORGÁNICOS:</u> pH(*), Conductividad eléctrica (CE*), cloruros (Cl⁻), sulfatos (SO₄⁻), carbonatos (HCO₃⁻), bicarbonatos (CO₃⁻), fosfatos (PO₄⁻), nitrato (NO₃⁻), Cr^{total}, Na⁺, K⁺, Mg⁺², Ca⁺², B, Fe, Zn⁺², Mn⁺², Mo, Cu, As, Cd, Pb, Al, NH₃</p> <p><u>ORGÁNICOS</u> Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Aceites y grasas, detergentes</p>	<p>Coliformes totales, Escherichia Coli Samonella sp. y Shygella sp.</p>	<p>Caudales (en campo)</p>
<p style="text-align: center;">SUELO</p> <p>Los parámetros definidos para suelos son los que señala la FAO (1997) y para metales en suelos los que indica Chapman y Prat (1993)</p>	<p>-Textura -Descripción de horizontes (*)</p>	<p>pH,CE,CIC (Cationes de cambio Na⁺, K⁺, Mg⁺², Ca⁺²), acidez de cambio (Al⁺³ + H), materia orgánica, carbonatos libres, nitrógeno total, P disponible. B soluble, Mn, Fe, Zn, Cu, As, Cd, Pb, Cr^{total}.</p>		
<p style="text-align: center;">CULTIVO</p> <p>Los parámetros químicos determinados son los establecidos por criterios de esencialidad de elementos químicos demostrados por Arnon y Stout (1939) citados por Hernandez (2002) y Smith (1966) mencionado por Bidwell (1992), y para analizar la presencia de metales los criterios de Chapman y Prat (1993) Maz y Ascue (1993) mencionados por García (2002). Los parámetros microbiológicos fueron correlacionados con los analizados en el agua según Iñiguez y García (1992).</p>	<p>Contenido de agua</p>	<p>Macronutrientes (carbono orgánico; N, P, K total Ca⁺² Mg⁺², S) ; micronutrientes (Cu, B, Fe, Mn, Mo, Zn, Al) otros elementos (As, Pb, Cr, Cd)</p>	<p>Coliformes totales, Escherichia Coli Samonella sp Shygella</p>	

(*) Parámetros determinados en campo

4.4 METODOS DE MUESTREO

4.4.1 AGUAS DE RIEGO

La toma de las muestras de agua, en todos los casos, se efectuó en forma "manual"; directamente en los frascos plásticos de polietileno de 2 litros sumergiendo la botella hasta una profundidad media del caudal, para el análisis de metales y ¼ litro para el análisis microbiológico, recepcionando el agua en el frasco con la mitad de la boca sumergida y la otra mitad en la superficie, dejando un espacio vacío antes de cerrar el mismo. (Anexo 1).

El presente trabajo consideró para cada época los muestreos puntuales y compuestos en el tiempo según los parámetros evaluados.

Muestreos puntuales. Los parámetros de pH, temperatura (T°), Conductividad eléctrica (CE), se midieron *in situ* en los puntos de muestreo del Río, canales de riego que desembocaban en las parcelas 1 y 2, utilizando el equipo conductivímetro portátil Cole Parmer pH/CON10 Series.

Las muestras para determinación de aceites-grasas y detergentes son también puntuales, sin ninguna preservación

También se toman muestras puntuales para el análisis microbiológico, colocados en frascos esterilizados (proporcionados por el laboratorio I.I.Q.), según método de la Agencia para la Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA, 1992) así como los "Métodos Estándar" (APHA, 1992). Anexo 2.

Asimismo se calculó el caudal midiendo las secciones transversales de los canales de riego con flexómetro, regla graduada, para el cálculo de área y la velocidad por el método del flotador (el material utilizado fue corcho, hilo sintético, cronómetro, regla, flexómetro).

Muestreos compuestos, los restantes parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), cloruros (Cl^-), sulfatos ($SO_4^{=}$), carbonatos($CO_3^{=}$), bicarbonatos (HCO_3^-), fosfatos (PO_4^-), nitrato (NO_3^-), Cr^{total} , Sólidos totales, S. Disueltos y S. Suspendidos (sin preservación); Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , B, Fe, Zn^{+2} , Mn^{+2} Mo, Cu, As, Cd, Pb, Al (preservados con HNO_3^- 0,5 molar); Demanda Química de Oxígeno (DQO) preservado con H_2SO_4 .

Todas las muestras se tomaron cada media hora durante la última frecuencia de riego (un día antes de la cosecha). Esta frecuencia fue de 4 horas; a un volumen de 2 litros en la época de lluvia y cada 3 horas durante la frecuencia de riego de 9 horas (una noche antes de la cosecha) a un volumen de 3 litros en la época seca.

Estas muestras se encuentran con el preservante respectivo y conservados a una temperatura de 4 °C, llevándose a laboratorio inmediatamente para su análisis según las metodologías establecidas por la EPA (1992), APHA (1992). Anexo 4.

Para su interpretación y clasificación del agua se utilizaron los sistemas:

- U.S.D.A. clasificación de agua para riego
- F.A.O. (1987) clasificación de agua para riego
- Organización Mundial de la Salud (F.A.O., 1989)
- Reglamento de la Ley de Medio Ambiente de Bolivia. Anexo A (1995).
Estándares de calidad de agua para cuerpos de agua ecológicos.

4.4.2 TOMA DE MUESTRAS DE SUELO

Se realizaron muestreos, según métodos descritos por la F.A.O. (1989), en cada parcela considerando los dos eventos (épocas de lluvia y seca) para el muestreo y análisis de sus características físicas, químicas, presencia de metales y arsénico.

Se tomaron muestras compuestas en zigzag para la capa arable (< 25 cm de profundidad) de la parcela y para el subsuelo (>25 cm de profundidad); el muestreo se realizó con un barreno, las muestras pesadas (1 kilo) son colocadas en bolsas plásticas con las etiquetas correspondientes, posteriormente secadas en horno a 105 °C según Chapman y Prat (1993), Charlon (1977), Agemian et Chan (1976), Arnoux et Coll (1980), Loring (1976) mencionados por García (2002).

También se evaluó la presencia de metales y arsénico en los sedimentos (límite entre la orilla del río y el canal principal de distribución del agua de riego).

El sistema de clasificación de suelos usada fue por el grado de salinidad y sodicidad del U.S.D.A.(1989), F.A.O. (1987), también por los niveles críticos de N, P, K y contenido de materia orgánica, citados por Chilon (1993). Anexo 17

4.4.3 MUESTRAS DE HORTALIZAS

Los eventos de muestreo también fueron dos (épocas de lluvia y seca), el número de muestra fue de 40 unidades de lechuga por parcela elegidas al azar al momento de la cosecha debido a que la lechuga es llevada al mercado para el consumo casi inmediato.

Las mediciones *in situ* fueron: densidad de plantación; se midieron la distancia entre surcos, entre plantas y el número de plantas por unidad de área (m²). También se pesaron cada unidad de cabeza y se procedió al embolsado en plásticos esterilizados, conservando a 4 °C (normas de la F.A.O y O.M.S.,1989) llevando inmediatamente al laboratorio respectivo.

Para los análisis de elementos minerales y metales se procedió a hacer un muestreo de las hojas comestibles de cada cabeza de lechuga, es decir, las del medio y las hojas internas; siguiendo los criterios de selección mencionados por Hernandez (2002), Bidwell (1993), Chapman y Prat (1993), Kastenmayer (1990). Anexo 18.

Así mismo, se midió las proporciones de humedad y de materia seca en los órganos sometidos al análisis (hojas), por el método gravimétrico con el secador Ohaus MB 301.

Se halló la muestra seca colocando el tejido vegetal en la estufa a 75° C, en el Horno Heravens, controlando el tiempo.

El residuo que queda después que se seca el tejido vegetal, está constituido por compuestos orgánicos, elementos minerales y sus óxidos, que serán sometidos a molienda, posteriormente se guardó en sobres de papel colocados en ambiente seco y frío. Para las determinaciones analíticas se toma el peso necesario de la muestra preparada y se guarda el resto

En cambio para el análisis microbiológicos se hicieron muestreos de cabezas de lechuga, quitando las hojas muy externas y colocando en bolsas de polietileno esterilizadas, estas bolsas fueron inmediatamente depositadas en recipiente refrigerado a 4°C luego llevados a laboratorio para su análisis correspondiente siguiendo criterios citados por Iñiguez y García (1982) y la O.M.S. (1989).

4.5 MÉTODOS ANALÍTICOS

Los métodos analíticos utilizados en laboratorio tienen referencia correspondiente, según organismos internacionales y métodos estandarizados que consideran tratamientos de muestras de aguas, suelos y vegetal para determinar la presencia de los parámetros establecidos según la A.P.H.A. (American Public Health Association), E.P.A. (U. S. Environmental Protection Agency), A.W.W.A. (American

Water Works Association), W.E.F. (Water Environment Federation) y la A.O.A.C. (Official Methods of Analysis). Según se presenta en anexos 4 al 8.

4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la evaluación de las concentraciones de parámetros microbiológicos y metales mas arsénico en el agua, suelo y vegetales, considerando tres repeticiones por parámetro, por el elevado costo de los mismos, se vio por conveniente realizar el análisis de varianza entre parcelas y el testigo (a); siendo que para la comparación entre épocas se utilizó la prueba de “t” (student) para observaciones pareadas (b), de acuerdo a los siguientes modelos:

$$a) \quad Y = \mu + P + \varepsilon$$

Donde:

Y = cualquier observación

μ = media poblacional

P = Efecto de la parcela

ε = Error muestral

$$b) \quad T = \frac{(X - Y) - \mu_{x-y}}{S_{x-y}}$$

Donde:

X = época de lluvia

y = época seca

σ = Desvíos típicos poblacionales

n1= Numero de muestras de población 1

n2= Numero de muestras de población 2

Con estas pruebas de comparación se determinó las diferencias de concentraciones de los parámetros analizados entre parcelas y épocas con el testigo, encontrando de esta manera el efecto del riego con las aguas del río La Paz en suelos y vegetales.

4.7 LABORATORIOS INVOLUCRADOS EN EL PRESENTE TRABAJO

Los análisis se realizaron en los Laboratorios de Química Ambiental (CIN-VIACHA) y el Instituto de Investigaciones Químicas (I.I.Q.) de la Facultad de Ciencias Puras de la U.M.S.A., según los “Métodos estándar” (APHA, 1992), EPA (1992), O.M.S. (1989).

También se siguieron procedimientos analíticos establecidos por Bidwell (1993), Hernandez (2002) en el tratamiento de muestras para para la determinación de los parámetros establecidos según Chapman y Prat (1993).

CAPITULO V

5 RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 ORGANIZACIÓN POLÍTICA SOCIAL DE LA COMUNIDAD

La comunidad de Huayhuasi se encuentra organizada en un Sindicato Agrario, cuya estructura orgánica es conformada anualmente. Anexo 20

Este Sindicatos Agrario, es una Organización tradicional en la comunidad, tiene carácter integral, pues el ámbito de sus funciones se extiende desde el tratamiento de los problemas político organizativos, educativos, salud e incluso sanciones morales, hasta el económico.

El tiempo de duración de las funciones de las autoridades sindicales y de las subcentrales dura un año, y el de las autoridades seccionales dos años.

La designación de los dirigentes es por turno o rotación, donde la mayoría de los cargos es ocupada por varones.

5.1.1 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS

El cultivo de hortalizas corresponde a la practica de **Agricultura Intensiva** debido a su ubicación en las riberas del río La Paz, pues poseen riego permanente durante todo el año. La producción es de dos o más campañas por año, dependiendo de la hortaliza.

5.1.2 ORGANIZACIÓN SOCIAL FUNCIONAL

Las organizaciones funcionales se agrupan de acuerdo a intereses comunes, uno de ellos representa el agua potable.

La organización dedicada a ofrecer este servicio esta reflejada en la conformación de la Cooperativa de Agua LIHUAYTAIPI, cuyos principales socios son las comunidades Lipari, Huajchilla, Taypichullo, y sus principales usuarios son Carreras, Mecapaca, Avircato, Palomar, Huayhuasi y Yupampa.

5.1.3 ASPECTOS ECONÓMICOS PRODUCTIVOS

La principal actividad económica de la comunidad de Huayhuasi es la Agrícola, producción de cultivos tradicionales como hortalizas, flores, tubérculos, cereales y frutas.

5.1.4 ACCESO Y USO DEL SUELO

La comunidad tiene acceso a la tierra desde la Reforma Agraria, mediante la transferencia o compra de tierras. Actualmente la tenencia de tierra tiene características comunales e individuales.

El tamaño de tierras cultivables es según plano de la comunidad, aproximadamente de 49.14 has, las mismas se encuentran bajo riego. Existe un promedio de 0, 6 has de tierra por familia que son bajo riego

5.1.4.1 TECNOLOGÍA AGRÍCOLA

Los agricultores de la comunidad, combinan la utilización de tecnología tradicional y moderna, es decir, emplean equipo, maquinaria e insumos agrícolas.

5.1.4.2 ROTACIÓN DE CULTIVOS

La rotación de cultivos es variable y condicionada a las necesidades y el tiempo que el agricultor le pueda dedicar al cultivo.

Las rotaciones mas comunes son las siguientes:

Lechuga – beterraga – maíz

Acelga – lechuga – perejil

Flores – perejil - lechuga

5.1.4.3 MANEJO DE SUELOS Y RIEGO

El manejo de suelos y los sistemas de riego utilizados varían según el tipo de cultivo a implantarse. Generalmente se asocia a las prácticas de riego a aplicarse.

Entre las características más importantes del manejo de suelo y riego se menciona los siguientes:

- El lameado de suelos con aguas del río para aprovechar la deposición de sedimentos y mejorar la fertilidad.
- Construcción de terrazas, manteniendo una pendiente del 2%.
- Construcción de cortinas rompevientos en los bordes de las parcelas con árboles como el álamo, sauce, eucaliptos y especies nativas como la caña hueca, carrizos
- Construcción de canales de riego de distribución principal, secundarios y distribución parcelaria.

5.2 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO EN EL CULTIVO DE LECHUGA

Considerando la ubicación de la Comunidad de Huayhuasi, y la disponibilidad de agua durante todo el año, se tiene un manejo de este recurso, organizado en los siguientes sistemas de riego y tipos de riego:

Cuadro 13: Autodiagnóstico de los sistemas y tipos de riego comunidad Huayhuasi

SISTEMA	CARACTERÍSTICAS	OBSERVADO
SISTEMA RIEGO COMUNAL	Son tres canales principales que distribuyen la aguas de riego a toda la comunidad de Huayhuasi: <ul style="list-style-type: none"> - Alay Larka - Taypi Larka - Manka Larka Dos de ellos tienen su nacimiento en la comunidad de Palomar. El agua en estos canales es constante a lo largo de todo el año, el caudal varía según las necesidades	Construcción y mantenimiento de los canales de distribución principal y secundarios a cargo de toda la comunidad El mantenimiento es anual (21,22,23 de junio). Es todo un acontecimiento que permite una interrelación social tradicional importante en la comunidad
SISTEMA DE RIEGO INDIVIDUAL	Construcción de canales de distribución parcelaria, manejo de caudales según el estado fisiológico del cultivo, la época y la práctica agrícola (aporque, deshierbe, cosecha)	La construcción está a cargo de cada agricultor, al igual que su mantenimiento
TIPOS DE RIEGO: <ul style="list-style-type: none"> • RIEGO POR SURCOS • RIEGO POR INUNDACIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> • El agua ingresa a la parcela por una entrada principal y se distribuye a través de los surcos, el caudal es controlado por pequeñas piedras colocadas para desviar su curso a lo largo de los canales secundarios, siguen el sentido de la pendiente • El agua se distribuye sin control a lo largo y ancho de la parcela 	<ul style="list-style-type: none"> • Para la producción de la lechuga el riego es por surcos, en todas las prácticas agrícolas a lo largo del desarrollo fisiológico • Se da por la falta de mano de obra, generalmente en época de cosecha final, es decir, cuando se cosechan las últimas lechugas.

Los sistemas de riego identificados son dos: el comunal y el individual; el sistema de riego comunal está en función al mantenimiento físico de los canales de

distribución principal del agua del Río La Paz, es de orden obligatorio para los agricultores y se lo realiza una vez al año

En cambio el sistema individual depende del cultivo a regar, los canales de distribución son secundarios y captados del canal principal, no tienen turnos en el uso del agua de riego ni obligaciones en el mantenimiento de la obra física.

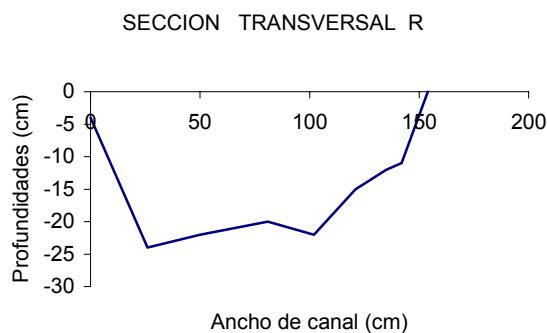
No se ha observado ningún conflicto entre agricultores, siendo que el uso de los canales secundarios es cuestión de comunicación y acuerdos mutuos.

5.2.1 SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS CANALES DE RIEGO

Las correspondientes secciones transversales de cada punto, tienen diferentes áreas, por consiguiente, características de ancho de canal y profundidades heterogéneas.

El ancho del canal que corresponde a la intersección de la toma del Río, es de 1.50 metros y una profundidad máxima de 0.25 metros significando un área de sección transversal de 0.238 metros cuadrados (Gráfico 1). Este canal tiene un mantenimiento anual con la correspondiente limpieza en la que participa toda la comunidad.

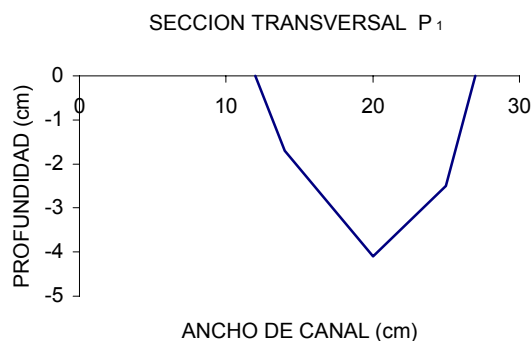
Gráfico 1: Sección transversal del canal principal



Las secciones transversales de los canales de distribución de agua de cada parcela son: 0.32 metros de ancho y 0.07 metros de profundidad máxima para la parcela 1; 0.16 metros de ancho por 0.025 metros de profundidad máxima para la

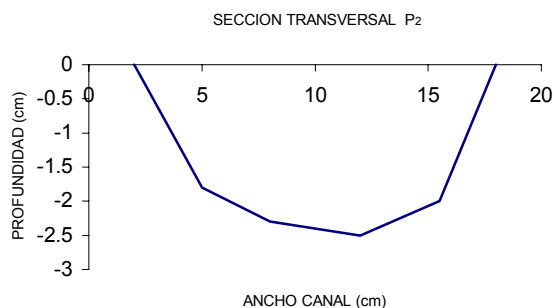
parcela 2, constituyendo un área transversal de 0.010 y 0.0027 metros cuadrados para ambas parcelas respectivamente. (Gráfico 2)

Gráfico 2: Sección transversal del canal que desemboca en la Parcela 1



Estos canales son construidos de acuerdo al caudal requerido que esta en función del cultivo y del área a regar. (Gráfico 3)

Gráfico 3: Sección transversal del canal que desemboca en la Parcela 2



5.2.2 CAUDALES

Según se puede apreciar en el cuadro 16, los caudales tanto de la época de lluvia como de la época seca fluctúan entre los 65.6 y 75.8 L.seg⁻¹, considerando que todo el año se mantiene casi constante por la actividad intensiva en la producción agrícola.

Además, este caudal se distribuye en todas las parcelas, sin considerar turnos, siendo utilizado por los agricultores según la necesidad de riego de sus cultivos, la etapa fisiológica y la práctica agrícola que tenga.

Cuadro 14: Caudales de los canales de riego.

Puntos de Muestreo	Caudal (L.seg ⁻¹)	
	Época de lluvia	Época seca
Canal principal	65.6	75.8
Canal secundario (parcela 1)	0.89	0.68
Canal secundario (parcela 2)	0.56	0.62

En cambio en los canales secundarios, se tiene un caudal calculado entre los 2.3 y 2.5 L.seg⁻¹ para las horas y frecuencias de riego, que se utiliza para la producción exclusivamente de la lechuga con un volumen total de 745 L.m⁻² en época de lluvia y 907.2 L.m⁻² en época seca. La diferencia entre épocas es la frecuencia de riego y el volumen total de agua aplicada, pero el caudal es el mismo en ambas épocas.

5.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA CON FINES DE RIEGO

Las aguas del Río La Paz, analizadas desde el punto de vista de ser usada para riego, es un único recurso disponible para ser aprovechado en la zona que esta completamente dedicada a la actividad agrícola.

Cabe remarcar que la calidad de agua de riego varia de acuerdo a la época, según la presencia de sales disueltas, contenido de sólidos totales y materia orgánica en descomposición, como consecuencia se tuvo la variación significativa de las propiedades químicas, físicas y también microbiológicas (PROYECTO BOL 8/007, 2005; Chamón, 2001; JICA, 1993). Anexos 35 y 36.

Tras los análisis de laboratorio (anexo 21) y las evaluaciones correspondientes se encontraron que la calidad de agua para riego del Río La Paz, tiene las características mencionadas en el Cuadro 15.

Las características encontradas en las aguas del Río La Paz, diferenciando las dos épocas (época de lluvia y seca), presenta poca variabilidad según la clasificación del USDA (1973), pues los Índices tanto de salinidad como de sodicidad son los mismos (**C3S1**), determinando una calidad de agua con **Alto peligro de salinidad y Bajo peligro de sodicidad**.

Cuadro 15: Características del agua de riego del Río La Paz. Localidad Huayhuasi

PUNTO	CLASIFICACIÓN USDA, 1973		CLASIFICACIÓN FAO, 1987						
	SALINIDAD	SODIO(SAR)	SALINIDAD	PERMEABILIDAD	TOXICIDAD IÓNICA ESPECIFICA				
SODIO(SAR)					CLORURO	BORO	NITRATO	BICARBONATO	
ÉPOCA DE LLUVIA									
Río	C3	S1	L	N	N	N	L	N	L
P1(10 años)	C3	S1	L	N	N	N	L	N	L
P2(20 años)	C3	S1	L	N	N	N	N	N	L
ÉPOCA SECA									
Río	C3	S1	L	N	N	N	N	L	L
P1(10 años)	C3	S1	L	N	N	N	N	L	L
P2(20 años)	C3	S1	L	N	N	N	N	L	L
TESTIGO	C2	S1	N	L	N	N	N	N	L
CLASIFICACIÓN U.S.D.A. C1 BAJO PELIGRO DE SALINIDAD C2 MEDIO PELIGRO DE SALINIDAD C3 ALTO PELIGRO DE SALINIDAD C4 MUY ALTO PELIGRO DE SALINIDAD					CLASIFICACIÓN F.A.O. N NINGUNA L LIGERO A MODERADO S SEVERA				

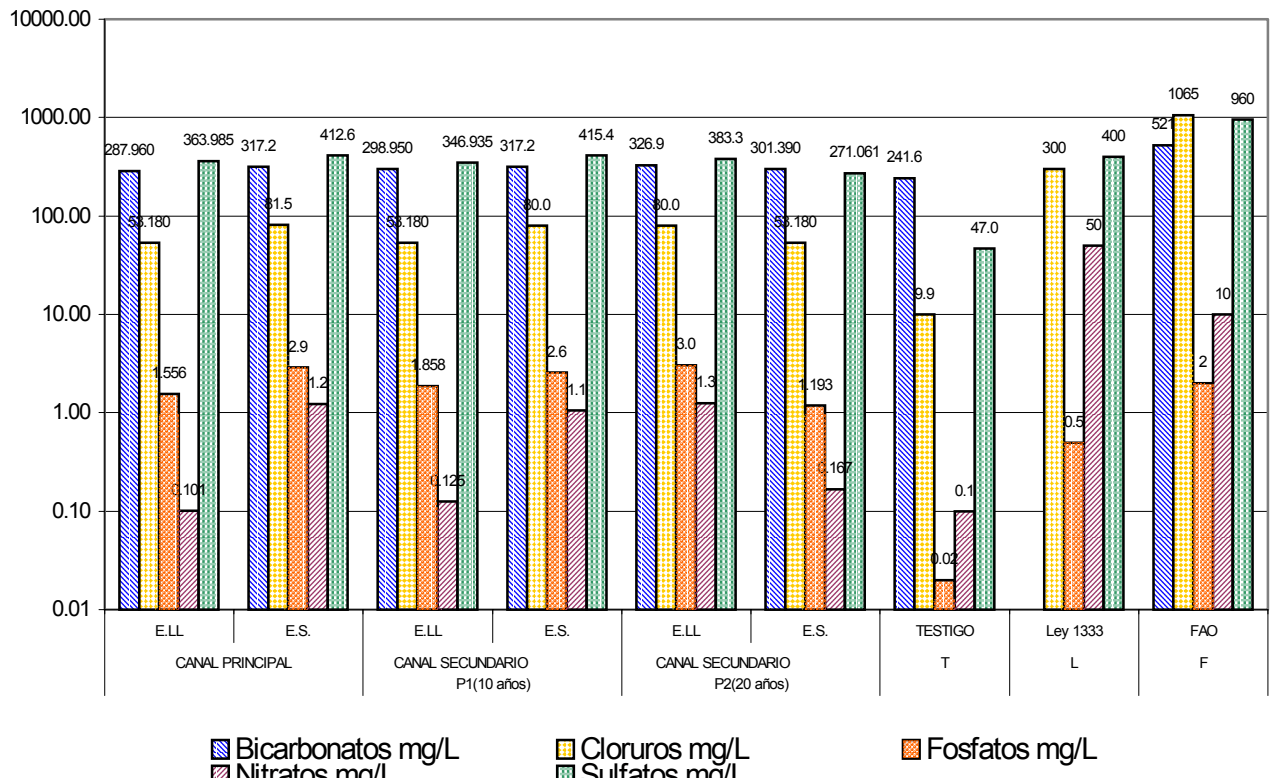
Resultados que son similares a los encontrados por Chamón (2001), en una sola campaña de muestreo (Anexo 36)

En cambio la FAO (1987), discrimina mas rigurosamente a las posibles toxicidades iónicas y encuentra diferencias entre épocas; para la primera época, clasifica la calidad del agua con **restricciones ligeras a moderadas** para los iones Boro (canal principal y canales secundario-P1) y nitrato (canal principal-Río y canal secundario-P2). Es importante considerar el agua que ingresa por el canal principal (Río) a las parcelas ya que tendría **ligeras restricciones** para su uso como agua de riego.

Respecto a la salinidad y el anión bicarbonato, se clasifica esta agua con **ligeras restricciones** en su uso para riego, para ambas épocas, debiendo tener cuidado en la aplicación por los posibles riesgos de alcalinización del suelo y pudiendo afectar al potencial osmótico en la planta (Gráfico 4)

De acuerdo con esta clasificación, el riesgo en suelos regados con esta agua presenta peligros de salinización no así el riesgo de alcalinidad por sodio, considerando, además, el tipo de suelo franco arcilloso (FY) y el alto contenido de materia orgánica estos riesgos disminuyen

Gráfico 4: Comparación entre épocas de la concentración de aniones en el agua.



Para los contenidos de cloruros la F.A.O. (1987), como se observa en la Gráfico 5, clasifica la calidad del agua, **sin ninguna restricción** en su uso para riego en ambas épocas, sin sobrepasar los límites permisibles del R.L.M.A. 1333 siendo que estos valores no tendrán incidencia sobre el suelo y por consiguiente, en las plantas. Similar resultado encuentra Chamón (2001), a la altura de Mecapaca.

Considerando la clasificación de aguas propuestas por Pizarro (1978) mencionado por Medrano (2001) encuentra que la **salinidad efectiva** de los canales principal (Río) y secundarios (parcelas 1 y 2) debido al contenido total de sales (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) de calcio y magnesio son de **uso condicionado** para ser usada como agua de riego, en ambas épocas.

Las sales son solubles en el agua como el bicarbonato y poco solubles como el carbonato, al pasar a formar parte del agua del suelo precipitan y por lo tanto dejan de ser parte de la presión osmótica de la solución del suelo. En cambio el bicarbonato subirá por capilaridad a la superficie del suelo.

Continuando con la clasificación de Pizarro (1978) se encontró que la **salinidad potencial** (contenido de sales de cloruros y sulfatos) es de uso **condicionado** para todas las aguas de los canales de riego para las dos épocas. Los cloruros como ya indicamos párrafos arriba, se encuentran en bajas concentraciones, pero los sulfatos, generalmente de magnesio debido a su alto grado de solubilidad se convierte en un posible riesgo de salinización para los suelos regados con esta agua principalmente en época seca.

Así para esa época, se registran valores de $\text{SO}_4^{=}$ (canales principal y secundario de la parcela 1) que sobrepasan los límites establecidos por la R.L.M.A. 1333, pero no a los límites de la F.A.O. (1987) como se puede observar en la Gráfico 4 y anexo 21.

Otro anión presente en el agua en cantidades importantes es el fosfato (PO_3^-), su aporte como nutriente en el agua de riego que una vez depositado en el suelo es considerado como un fertilizante, juntamente con el nitrato y potasio (Gráfico 5 y 6)

Gráfico 5: Concentración de fosfatos

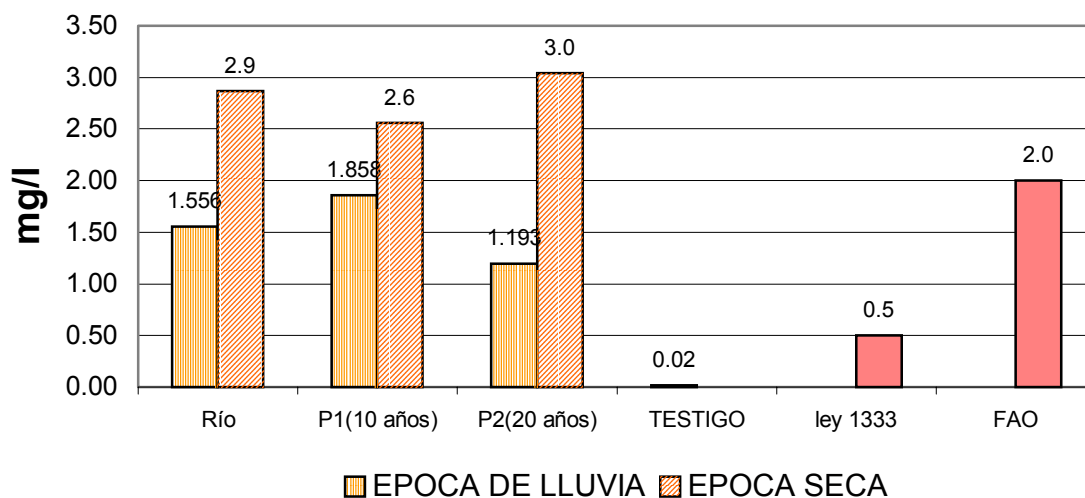
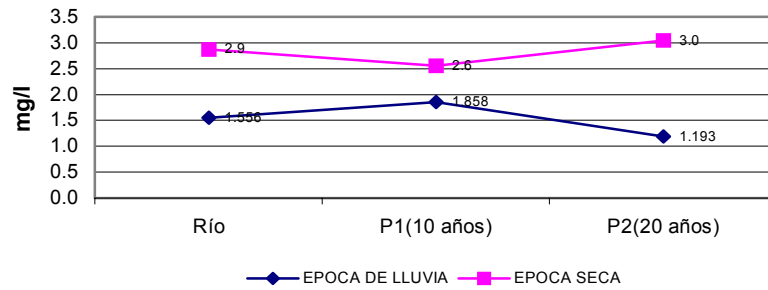


Gráfico 6: Comportamiento del fosfato en los canales de riego

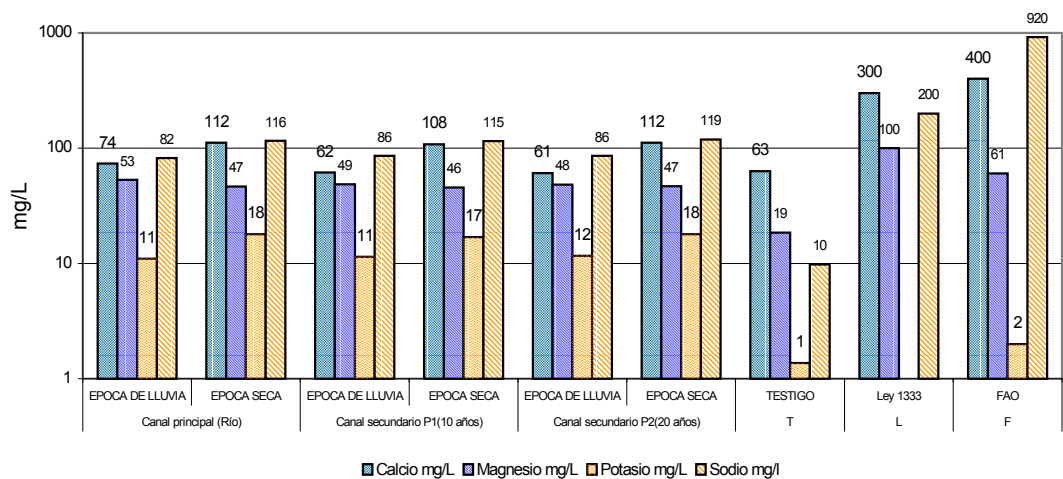


Las concentraciones de este anión en todos los canales que distribuyen las aguas del riego sobrepasan los límites del R.L.M.A. 1333 en ambas épocas, en cambio los valores que sobrepasan para los máximos permisibles de la F.A.O. (1987) son los que se registran en la segunda época para los canales del río y la parcela 1.

Chamón (2001) reporta valores de 1.1 mg/l de fosfato a la altura de Mecapaca, además, indica que su alta concentración pueda deberse a la descomposición de materia orgánica fermentable, el lavado de suelos de cultivos y por el alto contenido de excretas, estos fosfatos se fijan fácilmente al suelo inmovilizando la disponibilidad de metales traza, García (2002)

Referente a los cationes solubles, la concentración de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} están por debajo de los parámetros establecidos por el R.L.M.A. (1333) y la FAO (1987), en cambio el K^{+} se halla en exceso al comparar con las normas de la FAO (1987)

Gráfico 7: Comparación entre épocas de la concentración de cationes en el agua



El potasio es un elemento que se encuentra en grandes cantidades, la mayor parte de sus sales son muy solubles. Es un elemento muy adsorbido por los minerales arcillosos (fundamentalmente las micas) indica García (2002), siendo esta una de las causas de su alta concentración, así también lo señala Chamón (2001) que registra un valor de 10 mg.L⁻¹ en las aguas del río La Paz a la altura de Mecapaca

Respecto al testigo, las concentraciones de los parámetros (anexo 21) analizados de las aguas se encuentran dentro los límites establecidos por el R.L.M.A 1333 y F.A.O. (1987), y para muchos elementos como Ca⁺⁺, Na⁺, K⁺, Mg⁺⁺, Cl⁻, SO₄⁼, HCO₃⁻, están por debajo de los valores encontrados para las aguas de los canales de la localidad Huayhuasi.

En el siguiente cuadro se tiene la clasificación de la calidad de agua según Pizarro (1978) mencionado por Medrano (2001), estos índices reflejan que tienen una salinidad media, debido principalmente al contenido de bicarbonato que es característico de los suelos de la cuenca.

Cuadro 16: Calidad de agua de riego para las aguas del “testigo”

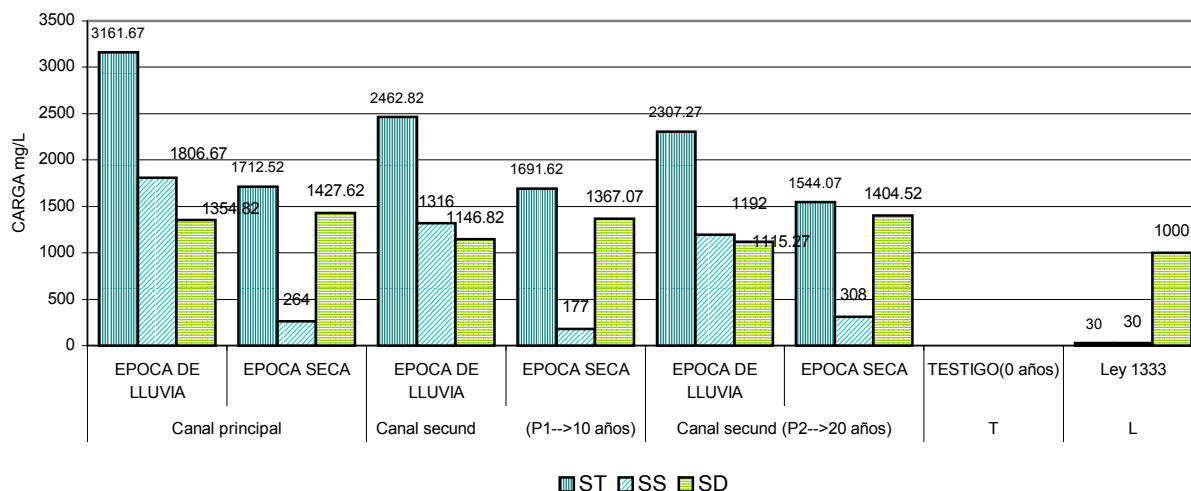
Parámetro	Unidad	Magnitud	Observación
CE	mS/cm	0,517	Media salinidad (0.5 g sal/L) C2
Salinidad efectiva	meq/L	0,53	Recomendable para riego
Salinidad potencial	meq/L	0,77	Buena
RAS	-	0,28	S1 Bajo en sodio sin restricción
Cloruros	meq/L	0,28	Sin restricción
pH	-	7,38	Ligeramente básico

Según las tablas determinadas por Pizarro (1978) mencionado por Medrano (2001), el agua testigo cumple casi en su totalidad el requerimiento de agua para ser usada en riego, sin ningún problema principalmente de salinidad por la baja conductividad eléctrica y sin problemas de alcalinidad

Los datos obtenidos, de las aguas del río La Paz en el canal principal y los canales secundarios tienen concentraciones elevadas de **sólidos totales** (ST: entre 3161 a 2307 mg.L⁻¹ para la época de lluvia; ST: entre 1712 a 1544 mg.L⁻¹ para la época seca) encontrándose muy por encima de los límites establecidos por el reglamento RLMA 1333 para calidad de aguas de la clase B (30 mg.L⁻¹), considerada agua para riego de hortalizas (Gráfico 8).

Con relación al **testigo** los valores obtenidos indican concentraciones bajas para este parámetro (3.51mg.L^{-1}) encontrándose por debajo del valor establecido por el reglamento RLMA 1333 para aguas de clase B (30 mg.L^{-1}) y las concentraciones de las aguas de los canales principales y secundarios.

Gráfico 8: Concentración de ST, SS, SD



Estos resultados concuerdan con los resultados encontrados por Chamón (2001), en la que indica que las muestras de agua del río La Paz, contienen elevadas cantidades de sedimentos (2899 mg.L^{-1}) y están por encima de los límites aceptables para las aguas de la clase B (30 mg.L^{-1}) debiéndose principalmente a que este río se encuentra labrando su curso en sedimentos cuyas características litológicas son de grano fino (arcillas y limos).

También estos sólidos totales, agrupan a partículas orgánicas e inorgánicas que van desde carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, etc. Utilizando este aporte por el agua para realizar una práctica, en la comunidad de Huayhuasi, conocida como el **lameado**, que es una forma de ganar suelo agrícola, dejando inundar la superficie de la parcela con caudales bajos (promedio de 1.5 L.sg^{-1}) y dejando crecer vegetación que retenga esta carga de Sólidos. Esta práctica también es mencionada en el P.D.M. (2005) del Municipio de Mecapaca.

Esto significa que la cantidad de carga que se aporta al suelo de las parcelas en la época de lluvia es de un promedio $2.23\text{ Kg. por metro cuadrado}$ y en la época seca de $1.37\text{ kg por metro cuadrado}$ aproximadamente.

No se puede indicar que existen diferencias entre épocas debido a la dinámica de las aguas, ya que el transporte de sedimentos es la misma en ambas épocas solo varía el volumen de dilución.

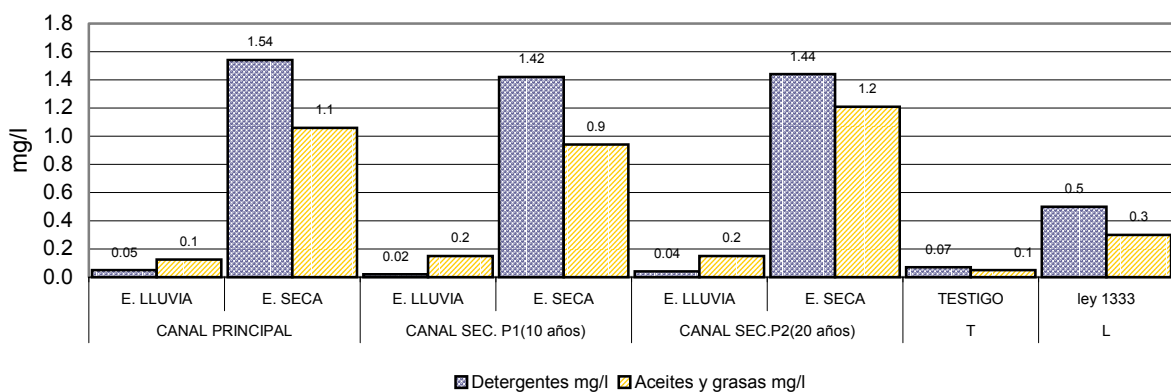
5.3.1 CONTAMINANTES ORGÁNICOS EN LAS AGUAS DEL RIO LA PAZ

La importancia del control de parámetros que indican la actividad orgánica del agua radica en que a partir de ello se pueden determinar aspectos que favorecen la actividad microbiana señala Metcalf (1993). Estos compuestos orgánicos están formados por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, en algunos casos nitrógeno; también pueden estar presentes otros elementos como el azufre, fósforo o hierro.

Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en agua residual son las proteínas, hidratos de carbono, detergentes, grasas y aceites (Metcalf, 1993).

Para el presente estudio consideramos las evaluaciones de los detergentes y aceites-grasas en las aguas, debido a la abundante espuma observada en las arquetas de los canales de riego y en caso de los grasas-aceites por el impacto que estos puedan ocasionar a la estructura del suelo (Chamón, 2001)

Gráfico 9: Concentración de Detergentes y Grasas-Aceites



Se ha encontrado que las concentraciones de estos parámetros en todos los canales de riego, en la época de lluvia, están por debajo de los límites establecidos por la R.L.M.A. 1333, en cambio en la época seca estos valores se incrementan para

ambos parámetros, esto se explica por que en esta época la dilución disminuye y aumenta la concentración (Gráfico 9)

El R.L.M.A. 1333 establece el análisis de los detergentes que son orgánicos o biodegradables (sulfuros de alquilo). En cambio en el río y los canales de riego se puede observar abundante espuma, esto se debe a los detergentes surfactantes, tensoactivos, blanqueadores, complejantes que constituyen agregados moleculares de grasas e hidrocarburos que se mantienen largo tiempo en suspensión, al romperse la tensión superficial llega a formar la espuma, alterando el aspecto del agua.

Tanto los detergentes como las grasas-aceites impactan sobre los suelos que pueda tener estos compuestos orgánicos, principalmente en la estructura, considerando su estabilidad molecular y su baja descomposición bacteriana, llegarán a ocupar los macroporos y según su carga tendrá una propagación generalmente horizontal. Estos elementos en la solución llegan a formar sales alcalinas de calcio, magnesio y en el caso de detergentes forma sulfuros, interfiriendo en la actividad microbiana, del suelo acumulándose y formando material flotante desagradable.

El testigo presenta concentraciones tanto de Aceite, grasas y detergentes muy por debajo de los límites establecidos por el R.L.M.A. 1333.

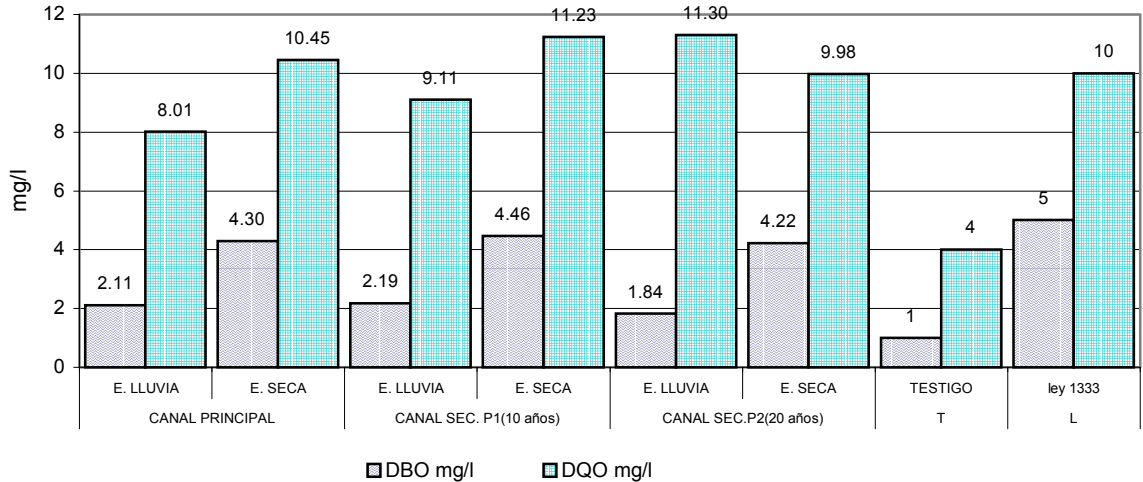
5.3.2 INDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN ORGANICA

Los parámetros mas ampliamente empleados para la determinación de la contaminación orgánica son el DBO₅ y DQO, señalan Glyn (2000), Metcalf (1993).

Estos indicadores de contaminación orgánica registran que las aguas del canal principal y canales secundarios concentraciones para DBO₅ (entre 2 y 4,46 mg.L⁻¹) que para época de lluvia sobrepasa los límites establecidos por la R.L.M.A. 1333, en cambio el DQO los valores incrementan a medida que atraviesan las parcelas agrícolas en la época de lluvia, el valor en el río (8,01 mg.L⁻¹) es inferior al valor de la parcela 2 (11,3 mg.L⁻¹), pero en la época seca estos valores incrementan en todos los puntos, sobrepasando los límites establecidos del reglamento R.L.M.A. 1333

Estos incrementos nuevamente se analizan por la existencia de un fenómeno de mayor concentración de sustancias químicas reductoras en menor dilución (Gráfico: 10)

Gráfico 10: Concentración de DBO₅ y DQO



La velocidad de reacción de la DBO₅ y DQO dependen del tipo de residuos presentes y de la temperatura; en el caso de la DBO₅ estos varían directamente con la cantidad de materia orgánica presente siendo una reacción de primer orden, es por lo mismo que se observa que estos valores al interior de la localidad se comportan reduciendo sus concentraciones en ambas épocas.

En el caso del DQO los valores se incrementan en el interior de la localidad, debido a que se incrementan los compuestos orgánicos a oxidarse por los lixiviados de fertilizantes orgánicos que el agua recoge a su paso por los canales hasta llegar a las parcelas respectivas.

Diferentes valores son reportados por los distintos trabajos de monitoreo en este río, el PROYECTO BOL 8/007 (2005) en su último informe (inédito) indica concentraciones de DBO₅ y DQO de 65 y 172 mg.L⁻¹ en su primera campaña de la segunda fase (abril de 2005) a la altura de la población de Valencia, se observa que estos valores disminuyen respecto a los encontrados río arriba (Puente Aranjuez, 145 y 362 mg.L⁻¹ para el DBO₅ y DQO respectivamente). Estos datos coinciden con los encontrados por el JICA (1993), que a la altura del puente Lipari reporta valores de DBO₅ 77 y 58 mg.L⁻¹ para los meses de marzo y abril de 1992, también se considera

los caudales del río (600 L.sg^{-1} aproximadamente) en la época de lluvia y en la época seca el caudal del río disminuye 230 L.sg^{-1} (JICA,1993).

En cambio Chamón (2001) obtiene valores de DBO_5 de 237 mg.L^{-1} para el mes de agosto a la altura de Mecapaca.

Con estas consideraciones generales se pueden indicar que el río La Paz clasifica como **agua residual** pero tiene un proceso denominado de **Autopurificación**, relacionando los cambios de pendientes que permiten una mayor oxigenación del agua, razón por la cual se obtiene, aguas abajo localidad de Huayhuasi, concentraciones de DBO_5 y DQO mucho menores que en puntos anteriormente mencionados.

Respecto al testigo se tiene reportes de valores no significativos que no llegan a sobrepasar los límites establecidos por el R.L.M.A. 1333

5.3.3 PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS

La presencia de bacterias y otros microorganismos patógenos en las aguas residuales supone un problema importante para su uso agrícola.

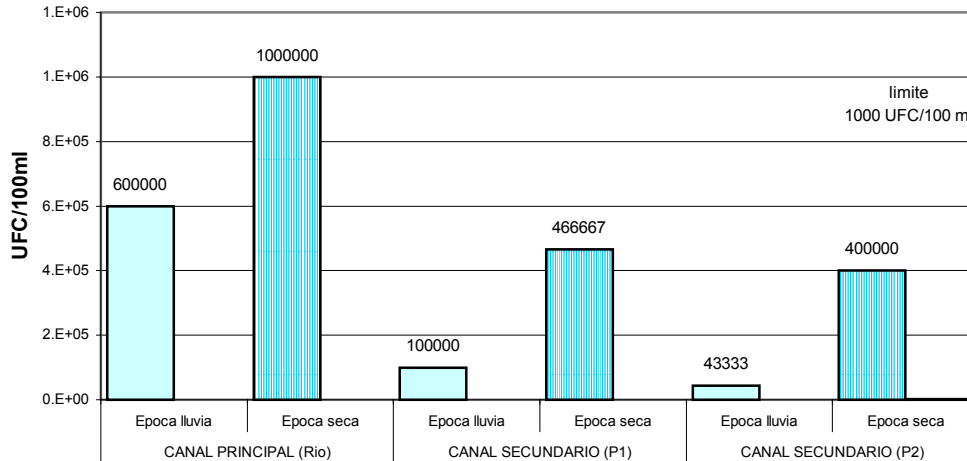
La calidad bacteriológica de estas aguas se establece a partir del número de coliformes fecales y de la presencia de bacterias patógenas como la *Salmonella*, *Shigella* y *E. coli*. como indicadores del grado de contaminación (O.M.S. 1996).

No hay un consenso sobre el número máximo de coliformes permisible para el agua de riego. Por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud, establece que para el riego "*sin restricción*" (es decir, para cualquier tipo de cultivo) el agua no debe tener más de 100 coliformes fecales/100 ml (Pescod, 1992), pero la misma institución también indica en otros reportes que para regar hortalizas de consumo crudos con aguas residuales tratadas, la concentración de coliformes fecales podrá ser menor o igual a 1000 UFC/100 ml de agua, durante el periodo de riego, similar valor que asume el R.L.M.A 1333 se establece entre 1000 – 200 coliformes fecales en el 80% de muestras para aguas a ser utilizadas en riego de hortalizas (clase B). Anexos 10,11 y12

En el presente trabajo se tuvo que para todas las aguas de los canales, las muestras analizadas reportaron elevadas cantidades de coliformes totales y fecales,

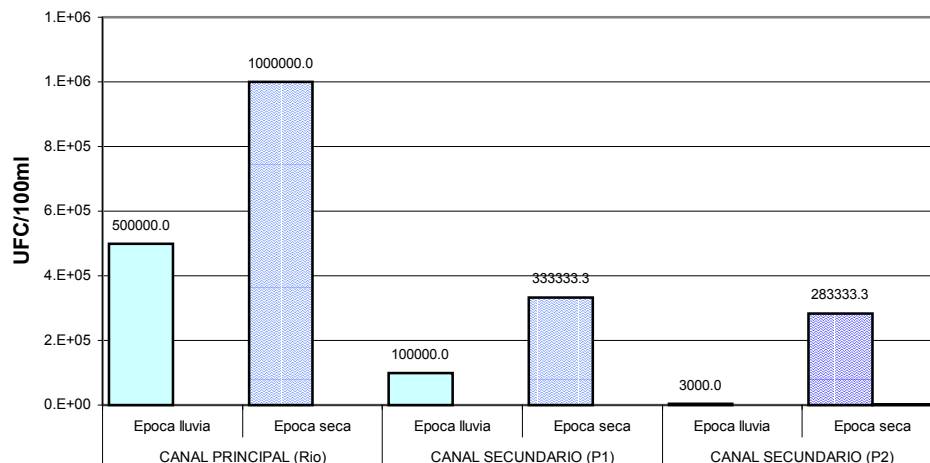
que sobrepasaron las normas establecidas por estas instituciones, confirmando su **calidad de agua residual**.

Gráfico 11: Concentración de coliformes totales (Límite =1000 UFC/100 ml)



Cabe mencionar que la presencia de estas bacterias descienden con el recorrido, esta tendencia se repite para ambas épocas, pero en todos los casos sobrepasan los valores máximos permitidos por la R.L.M.A 1333. Gráfico 11 y 12.

Gráfico 12: Concentración de coliformes fecales (Límite =1000 UFC/100 ml)



Debido a que estas bacterias tienen las características de ser aerobias y anaerobias, tener la capacidad de reproducirse dentro de un intervalo de temperatura

amplio que van desde los 10°C hasta temperaturas próximas de 46°C, se explica las elevadas concentraciones persistentes en la Localidad de Huayhuasi.

Pero estas concentraciones están muy por debajo de los registrados por el PROYECTO BOL 8/007 (2005) para los mismos parámetros (coliformes totales y fecales en el mes de abril de 2005 a la altura de Valencia), estos valores son de 4×10^7 y 5.1×10^6 respectivamente comparado para los que se registraron por el presente trabajo para aguas del río de 6×10^5 , 5×10^5 para la época de lluvia (abril) y valores de 1×10^6 , 1×10^6 en la época seca (agosto) para ambos indicadores

Como se puede analizar los valores encontrados en Huayhuasi están muy por debajo de los encontrados a la altura de Valencia, corroborando nuevamente que existe un proceso de oxigenación.

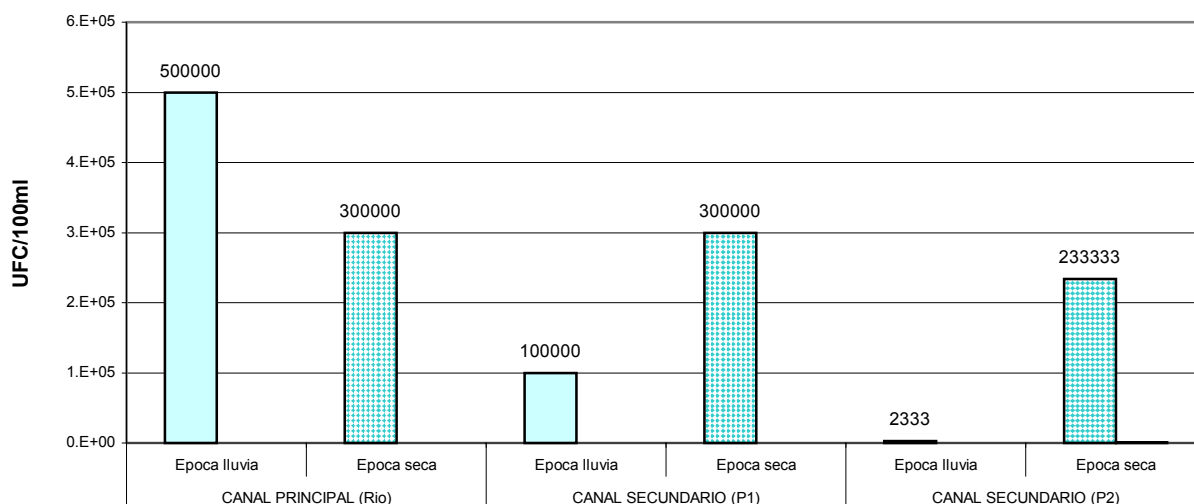
En aguas residuales los coliformes totales actúan como una alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Su presencia es una alerta en el control de calidad del agua.

En cambio los coliformes fecales un subgrupo de los coliformes totales son más específicos, capaces de fermentar la lactosa a 44,5° C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de los animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal (Metcalf, 1993).

Entre los grupos de coliformes fecales más habituales en heces esta la *Escherichia coli*. Muchos de estos microorganismos no son exclusivos del intestino humano, sino que también forman parte de la flora intestinal de diversos animales de sangre caliente (Frazier, 1993).

El comportamiento de esta bacteria, es diferente a las anteriores, se observa en el gráfico 13, que en la época de lluvia las concentraciones de *Escherichia coli* en el agua de los puntos muestreados es mayor que en la época seca, esto se puede deber al incremento del pH en la solución, considerando que son termosensibles y susceptibles a estos cambios.

Gráfico 13: Presencia de *escherichia coli* en las aguas de riego.



El descenso en su concentración de un punto a otro también es evidente, concluyendo nuevamente que se debe al aumento de pH que tiene el agua al realizar dicho recorrido de un punto a otro.

También se realizaron evaluaciones de Salmonella y Shigella en general y no de serotipos específicos, habiéndose reportado ausencia para esta bacteria en todos los punto de muestreo.

5.3.4 CONCENTRACION DE METALES Y ARSENICO EN EL AGUA DE RIEGO

Considerando la importancia que juegan los metales sobre la salud humana, los animales, los cultivos y el impacto en el medio ambiente, y tomando en cuenta que el río es colector de los desechos industriales, manufacturas, actividades hospitalarias se ha visto por conveniente hacer las evaluaciones de calidad de las mismas.

Los distintos trabajos PROYECTO BOL 8/007 (2005), Chamón (2001), JICA (1993), reportan datos sobre algunos metales y contenido de arsénico presentes en las aguas del río La Paz, lo que nos permitió manejar criterios de selección de dichos parámetros para ser considerados en el estudio, eliminando la posibilidad de otros elementos que en estudios anteriores no llegaron a sobrepasar los límites establecidos por las normas del R.L.M.A. 1333, que son los que rigen en nuestro país (anexo 22).

Evaluando la concentración de metales y arsénico en las aguas de riego de la Localidad Huayhuasi en los canales principal y secundarios (P1, P2), podemos observar de acuerdo al cuadro siguiente que el Cd, Pb, Mn, Zn se encuentran sobre los límites propuestos por la R.L.M.A. 1333 sólo en la época de lluvia o seca, mientras que para ambas épocas (abril y agosto) los metales Cu, Fe se encuentran sobre los límites propuestos por la R.L.M.A. 1333 en ambas épocas.

Por otro lado el Arsénico y el Cromo están dentro los límites establecidos por la R.L.M.A. 1333, siendo que en reportes de Chamón (2001) para el arsénico registra concentraciones elevadas en pozos, manantiales y partes del río La Paz a la altura de Valencia.

En cambio los reportes del PROYECTO BOL 8/007 (2005), para Cromo total y hexavalente indican que las concentraciones de estos elementos varían a lo largo del río Choqueyapu alcanzando valores de 0.15 y 0.001 mg.L⁻¹ en el mismo orden, pero es el cromo total es el que se encuentra por encima del R.L.M.A. 1333

Cuadro 17: Concentración de metales y arsénico en aguas del río La Paz. Loc Huayhuasi

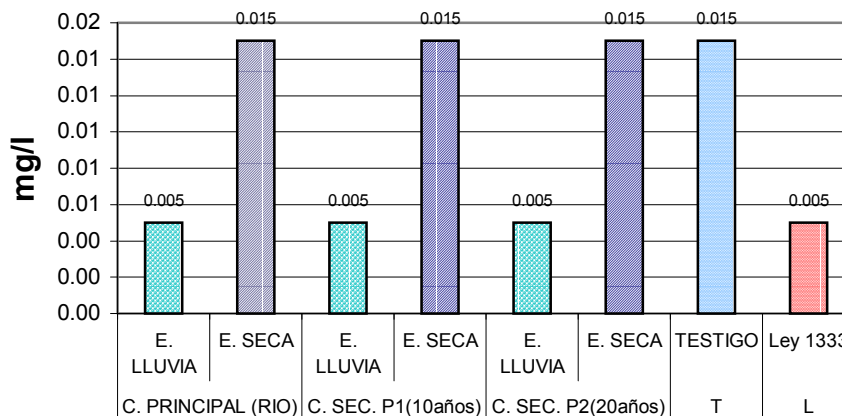
METALES		C. PRINCIPAL (RIO)		C. SEC. P1(10 años)		C. SEC. P2(20 años)		TESTIGO	Ley 1333
		E. LLUVIA	E. SECA	E. LLUVIA	E. SECA	E. LLUVIA	E. SECA		
Arsénico	ug/l	<1,76	12.500	23.170	10.130	25.600	11.400	0.500	50
Cadmio	mg/l	<0.005	<0.015	<0.005	<0.015	<0.005	<0.015	<0.015	0.005
Cobre	mg/l	0.071	1.81	0.045	1.49	0.057	1.75	0.03	0.05
Cromo	mg/l	0.026	<0.033	0.010	<0.033	0.018	<0.033	<0.033	0.05
Plomo	mg/l	<0.072	0.026	<0.072	0.021	<0.072	0.027	0.017	0.05
Manganeso	mg/l	0.260	1.780	0.201	1.480	0.261	1.460	0.020	0.5
Zinc	mg/l	0.262	8.715	0.207	6.503	0.294	8.096	0.050	0.2
Hierro	mg/l	37.033	18.54	30.266	3.71	35.603	5.14	0.16	0.3

Para el Cd, Mn y Zn incrementan sus concentraciones en la época seca sobrepasando los límites establecidos por el R.L.M.A. 1333.

Según el PROYECTO BOL 8/007 (2003-2005) que realiza un monitoreo de las aguas del Choqueyapu, reporta que los incrementos de los elementos Cd y Zn son a la altura de a Florida, los valores de Cd están entre 0.09 y 0.05 mg.L⁻¹, en cambio el Zn el

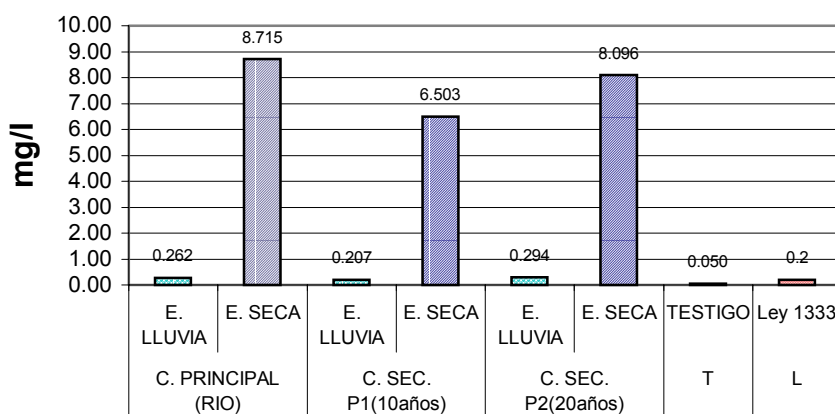
año 2003 registra un valor de 25.9 mg.L^{-1} , comparados con los obtenidos en el presente trabajo (<0.015 para el Cd y un promedio de 8 mg/l para el Zn) podríamos indicar que existe una disminución de la concentración de estos elementos, aún así superan los límites establecidos por el R.L.M.A. 1333 (Gráfico 14).

Gráfico 14: Niveles de Zinc en aguas de Río La Paz



El Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo por la forma catiónica en la que se encuentra, en ph ácidos aumentan la absorción de Cadmio por las plantas. Las lombrices y otros animales esenciales para el suelo son extremadamente sensibles al envenenamiento por Cadmio amenazando a todo el ecosistema del suelo. Gráfico 15.

Gráfico 15: Niveles de Cadmio en aguas de Río La Paz

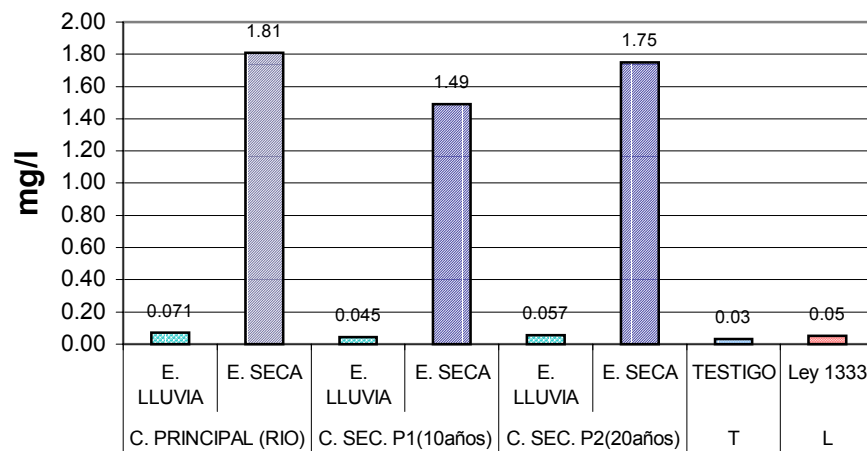


Se deberá tener en cuenta el riesgo que se tiene con las altas concentraciones del cadmio si este llega a acumularse en el suelo y pasar a la cadena alimenticia, es un elemento que se deberá considerar para monitorearlo periódicamente.

Respecto al Mn, este elemento incrementa su concentración, estando muy por encima de los límites dispuestos por el R.L.M.A. 1333. Similares datos de altas concentraciones encuentra Chamón (2001) a la altura de Mecapaca, debiéndose estas cantidades elevadas a las características del suelo de la zona por la alta solubilidad de este elemento.

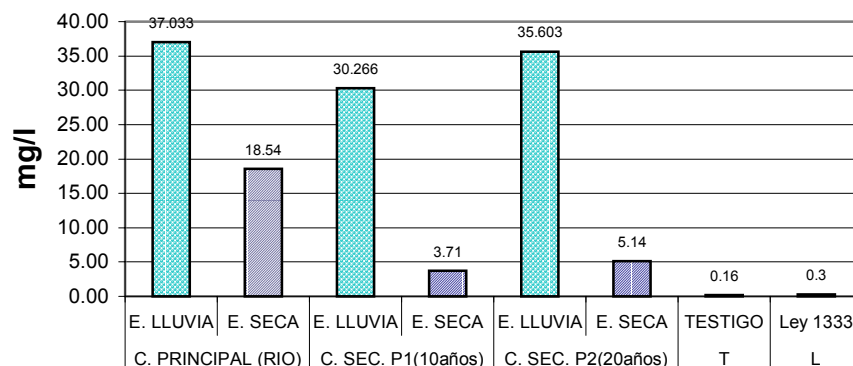
Para los elementos **cobre** y **hierro**, estos se encuentran en altas concentraciones en las aguas del canal principal y secundarios de las parcelas 1 y 2 en ambas épocas. Gráfico 16 y 17.

Gráfico 16: Niveles de Cobre en aguas de Río La Paz



Comparando con los reportes del PROYECTO BOL 8/007 (2005), Chamón (2001), se tiene que estos elemento son arrastrados desde los inicios del río Choqueyapu y que cuando llegan a las alturas de la localidad de Huayhuasi la concentración disminuye pero sin dejar de sobrepasar los límites establecidos por el R.L.M.A. 1333

Gráfico 17: Niveles de Hierro en aguas de Río La Paz



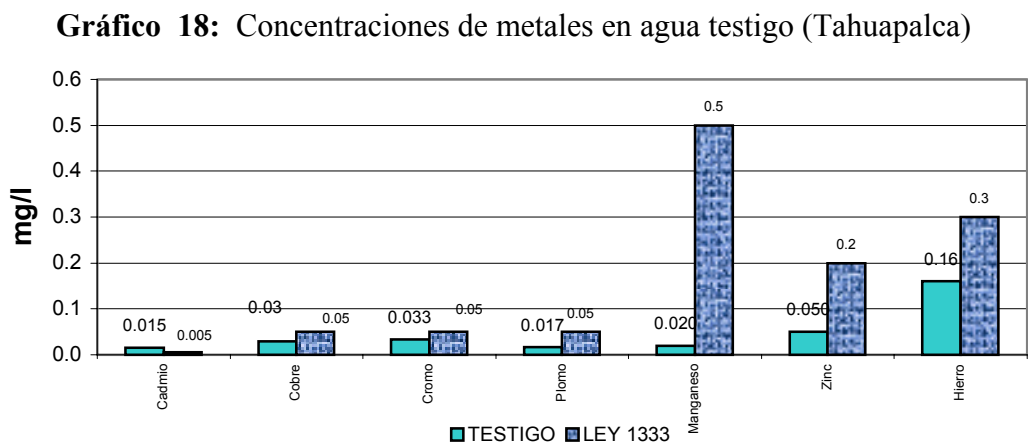
El cobre se incrementa en la época seca aproximadamente en 3000 % mas con relación a la época de lluvia, mientras que la cantidad de hierro disminuye en la época seca, el cobre puede encontrarse en el agua potable, procedente de las cañerías de ese metal o de aditivos empleados para evitar la proliferación de algas, también tiene altas concentraciones los agroquímicos cuprosos.

Para el plomo, en la época de lluvia, el laboratorio reporta una concentración en el agua del rio La Paz menor a 0.072 mg.L^{-1} , para los tres puntos de muestreo con la técnica de Absorción atómica en llama, valor que se encuentra sobre los límites de la Ley, en cambio en la segunda época se emplea el método de absorción atómica en horno de grafito y se tiene valores registrados de 0.025 mg.L^{-1} promedio, sin que esto represente que la concentración de plomo haya incrementado o disminuido de una época a otra. Estos últimos valores se encuentran por debajo de los permitidos por el R.L.M.A 1333.

Tanto el PROYECTO BOL 8/007 (2005) y Chamón (2001) señalan valores para este elemento de 0.042 y 0.001 mg.L^{-1} en ninguno de los casos los límites establecidos por el R.L.M.A 1333.

5.3.5 CONCENTRACIONES DE METALES EN AGUA DEL TESTIGO

El análisis respectivo al agua “testigo”, registra solo para el Cadmio como el elemento que sobrepasa los límites establecidos por el R.L.M.A. 1333, para metales (Gráfico 18). Para los demás elementos, se tienen concentraciones bajas respecto a las encontradas en el agua del Río La Paz, en la localidad de Huayhuasi.



Con estos datos podemos asumir que definitivamente las aguas de río La Paz son contaminadas con metales y arsénico y que las fuentes principales de contaminación son las actividades industriales, manufacturas, curtiembres, hospitalarias, etc, desechándose que muchos de estos metales puedan ser aportados por las características intrínsecas de la zona

5.4 ESTIMACIÓN DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA (I.C.A.)

La calidad del agua del Río La Paz en los canales de riego y distribución en ambas épocas fue calculada empleando sólo siete de los nueve parámetros de calidad de agua.

El valor del I.C.A. fue calculado por la función ponderada multiplicativa en una escala numérica simple y se utiliza para valorar la amenaza que representa el agua al contacto humano y la aptitud del agua al desarrollo de vida acuática.

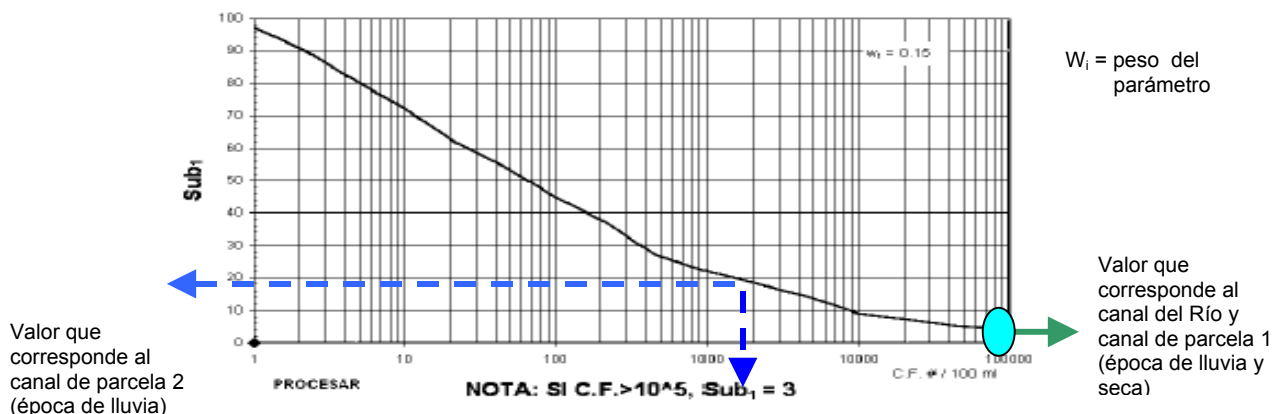
Este índice consideró los siguientes parámetros: coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, nitrógeno de nitratos, fósforo de fosfatos, incremento de la temperatura y sólidos disueltos totales.

5.4.1 ESTIMACIÓN DE COLIFORMES FECALES

Considerando el valor de coliformes fecales en la época de lluvia de 5×10^5 (UFC/100ml) y de 1×10^6 (UFC/100ml) en la época seca el valor que se halla está en función de la interpolación correspondiente: Siendo los Coliformes fecales mayores a 100,000 Bact/100 mL el (Sub1) es igual a 3 para el canal principal (Río).

Gráfico 19: Cálculo del valor Sub_1 para coliformes fecales

COLIFORMES FECALES

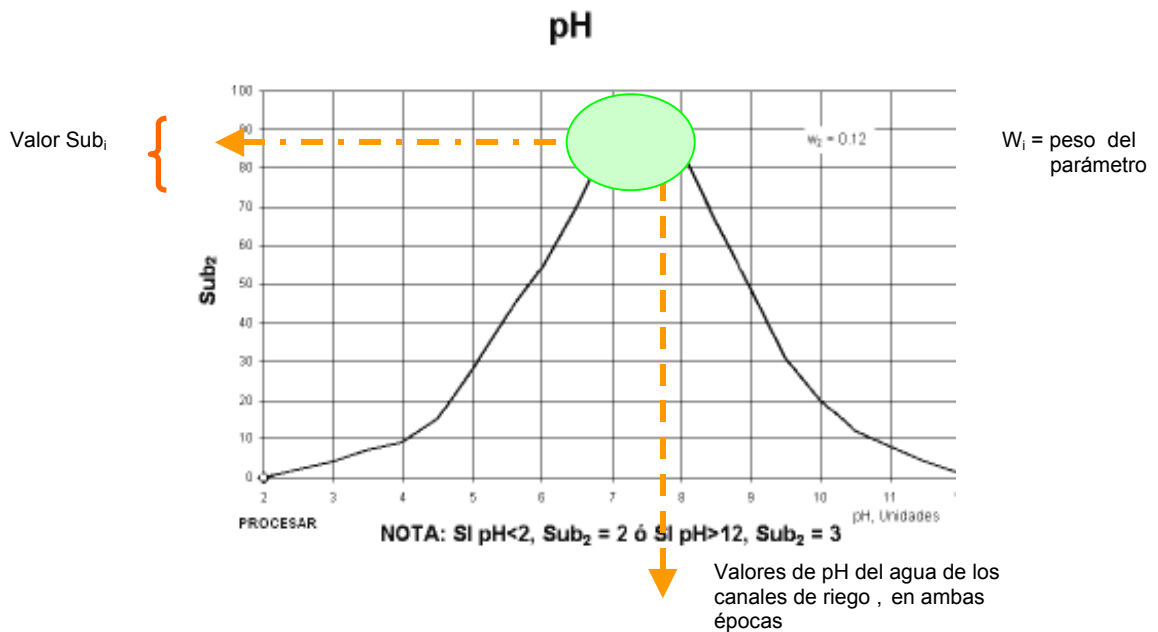


Similares valores se encuentran para los canales secundarios 1 y 2 en ambas épocas a excepción del canal 2 cuyo valor Sub_i es de 18 en la época de lluvia, como se muestra en el gráfico 19.

5.4.2 ESTIMACIÓN DE pH

El valor de pH varía en los puntos de muestreo alrededor de los 7,6 y 8,02 en ambas épocas, por lo que los valores para la ponderación según el gráfico corresponden a los Sub_i entre 80 y 90

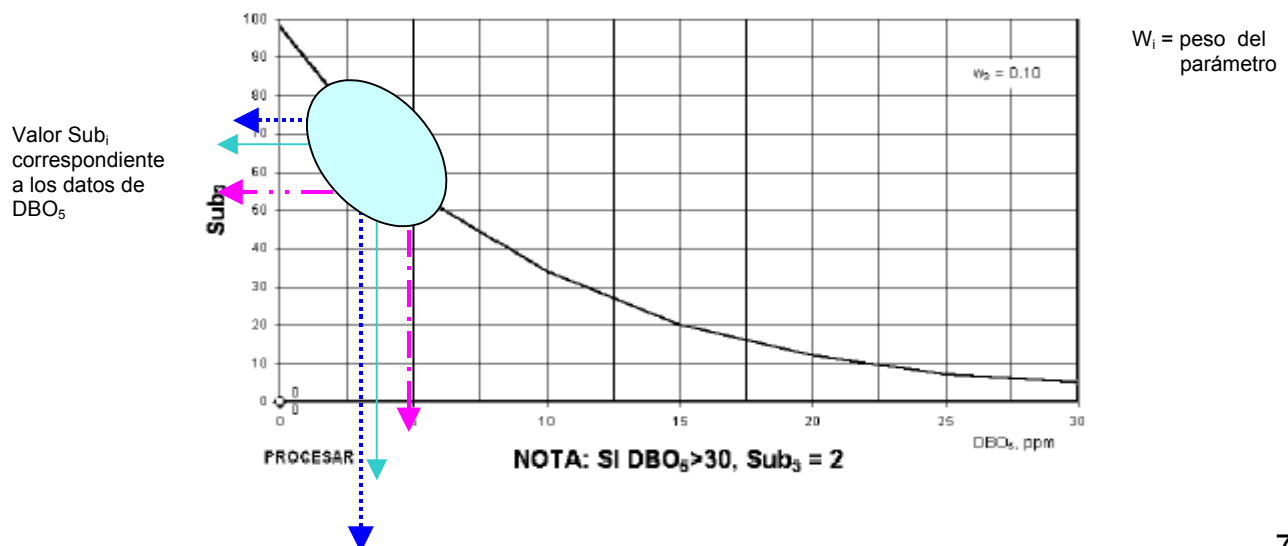
Gráfico 20: Cálculo del valor Sub_i para pH



5.4.3 ESTIMACION DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO₅)

Los valores de DBO₅ en ambas épocas varían de acuerdo al punto de muestreo

Gráfico 21: Cálculo del valor Sub_i para DBO₅

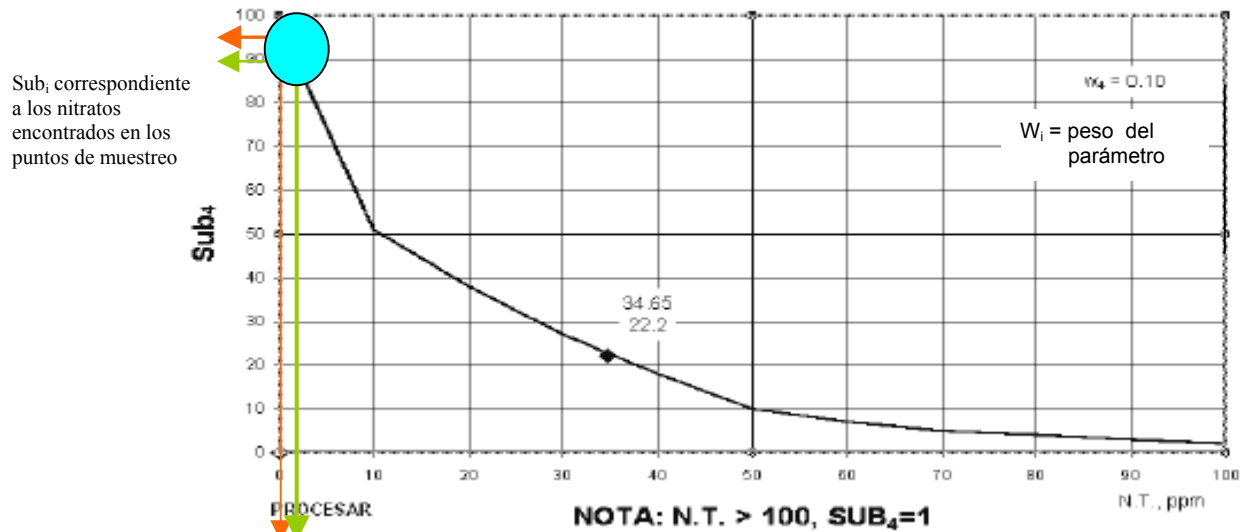


Siendo estos valores de 2 mg.L^{-1} como promedio para la época de lluvia y de 4 mg.L^{-1} para la época seca. En cambio el testigo no llega ni a 1 mg.L^{-1} .

5.4.4 ESTIMACION DE NITRATOS

En el caso de los nitratos las concentraciones estan alrededor de los 0,1 y 1,3 mg.L^{-1} . Los valores Sub_i estan entre 92 y 96 valores de ponderación.

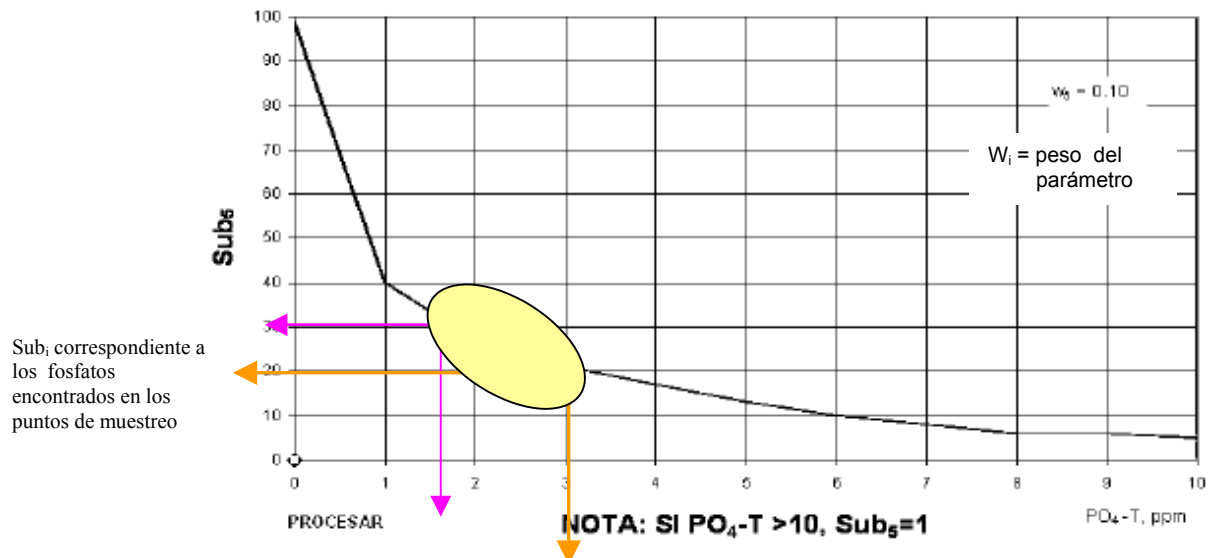
Grafico 22: Cálculo del valor Sub_i para Nitratos



5.4.5 ESTIMACION DE FÓSFORO DE FOSFATOS

La concentración de fosfatos varía entre los 1,8 a 3 mg.L^{-1} en ambas épocas en todos los puntos de muestreo. Los Sub_i estan entre 20 y 30 valores de ponderación.

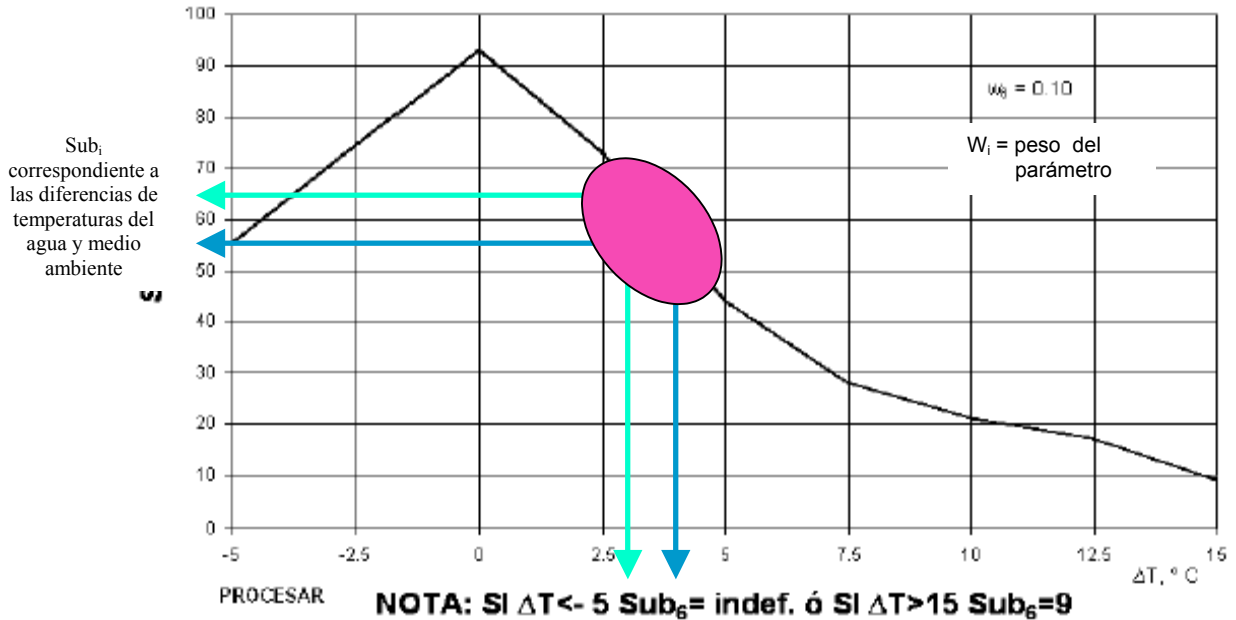
Grafico 23: Cálculo del valor Sub_i para Fosfatos



5.4.6 ESTIMACION DEL INCREMENTO DE TEMPERATURAS

La diferencia de temperaturas del agua y la temperatura ambiente está entre los 3 y 4 °C. Los Sub_i entre los 50 y 60 valores de ponderación.

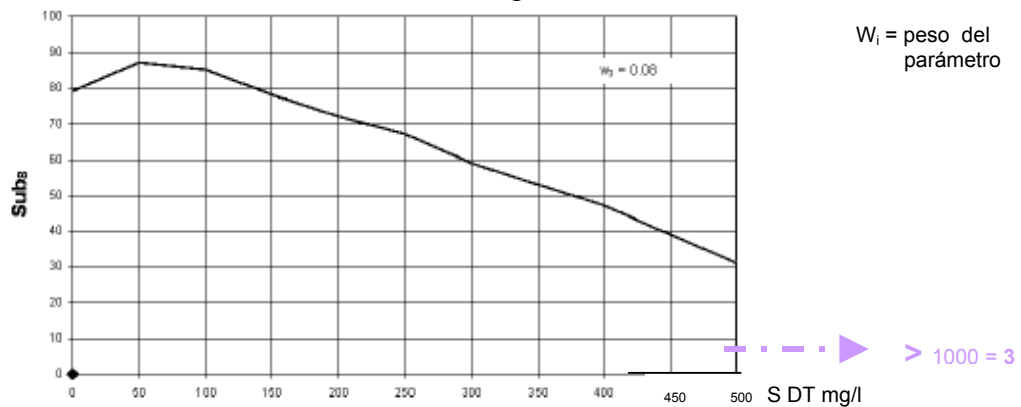
Grafico 24: Cálculo del valor Sub_i para la variación de temperaturas



5.4.7 ESTIMACION DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

La concentración de Sólidos Disueltos totales superan los 1000 mg.L⁻¹ para ambas épocas, encontrándose un valor ponderado de 3.

Gráfico 25: Cálculo del valor Sub_i para los S. Disueltos



5.4.8 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD (I.C.A.)

Los datos ponderados de las estimaciones se incorporan en una tabla para obtener el valor del I.C.A. de cada punto muestreado. Tras el cálculo de la productoria se obtiene un índice que corresponde a la categoría “*Pésima*”.¹

Las aguas de esta categoría “*Pésima*” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella. Anexo 19.

Cuadro 18: Tabla de valores I.C.A de los puntos de muestreo en ambas Épocas

PUNTOS DE MUESTREO	VALOR DEL I.C.A	
	EPOCA DE LLUVIA	EPOCA SECA
Canal principal (Río)	23.601	23.422
Canal secundario (parcela 1)	24.048	23.597
Canal secundario (parcela 2)	24.668	23.217

Nota: El color plomo corresponde a la categoría pésima

5.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO

El área de estudio que corresponde la cuenca del río La Paz, consideró tres zonas de trabajo donde estuvieron ubicadas las parcelas; dos parcelas con diferentes años de riego, en la localidad de Huayhuasi quienes utilizan agua de riego del río La Paz y la parcela testigo (0 años de riego con aguas del Río La Paz) ubicada 10 km aguas abajo (cercanías de Tahuapalca) que utilizan aguas provenientes del nevado del Illimani.

El área de estudio a la que pertenece la localidad de Huayhuasi y Tahuapalca corresponden a una zona geológica de sedimentos de origen fluvial y remoción de masas. En tanto que fisiográficamente pertenecen a la llanura aluvial de clastos gravas arenas, limos y arcillas, la pendiente varía de 1 a 3 %, textura superficial franco arcillosa en todas las parcelas son suelos con drenaje moderado (cuadro 19)

¹ Debido a que este trabajo de investigación no cuenta con datos de Oxígeno disuelto (OD) y turbidez se recurrió a los valores de OD y turbidez de los resultados encontrados en el PROYECTO BOL 8/007 a la altura de Mecapaca (2005), manteniendo los 9 parámetros requeridos para su cálculo

Cuadro 19: Características físicas de los suelos de la localidad Huayhuasi y Tahuapalca

MUESTRA	Pendiente %	topografía	Prof. Efectiva	Drenaje superficial		
Parcela 1 10 años	3	casi plano	57	moderado		
Parcela 2 >20años	2,5	casi plano	45	moderado		
Tahuapalca	4	casi plano	43	imperfecto		
MUESTRA	Textura	Densidad aparente (gr/cc)		Estructura	Consistencia en húmedo	Limite de horizonte
		E.LLUVIA	E. SECA			
Parcela 1 10 años	Franco arcilloso	1,25	1.3	bloques subangulares	Friable	gradual
Parcela 2 >20años	Franco arcilloso	1.3	1.4	bloques subangulares	Friable	gradual
Tahuapalca	Franco arcilloso	1.3	1.3	angulares	Lig. friable	claro

En relación con las propiedades químicas, en la zona de estudio, se tienen suelos con pH que van desde el neutro a ligeramente alcalino, presentan carbonatos libres, conductividad eléctrica de bajas a medias, sin problemas de sales. Presentan una Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) media a alta, Total de Bases Intercambiables alto y Saturación de bases (SB) del 99 % en casi todos los suelos

La clase textural superficial determinada para la **parcela 1 (10 años)** en ambas épocas es franco arcilloso, densidad aparente ($1.25 - 1.3 \text{ gr.cc}^{-1}$), son suelos que presentan carbonatos libres, el pH ligeramente básico a neutro ($7.39 - 6.96$), y conductividad eléctrica ($0.574 - 1.176 \text{ mS.cm}^{-1}$) con ligeros problemas de sales. Presentan una Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) media a alto, Total de Bases Intercambiables alto y Saturación de bases (SB) del 99,8 % (Cuadro 20).

La materia orgánica es alta en la primera época (7.45 %), disminuyendo en la época seca (0.66%); similar tendencia se observa en el porcentaje de Nitrógeno (0.47 a 0.05 %), mientras que el fósforo (nivel crítico alto) y el potasio (nivel crítico bajo) mantienen constantes sus concentraciones en ambas épocas a pesar del aporte de potasio que hace el agua de riego del río La Paz.

La **parcela 2 (>20 años)** para ambas épocas presenta una clase textural franco arcillosos, carbonatos libres, densidad aparente ($1.3 \text{ y } 1.4 \text{ gr.cc}^{-1}$), el pH varía de

ligeramente básico a neutro (7.33 – 6.95) y conductividad eléctrica (0.685–1.614 mS.cm⁻¹ sin problemas de sales en la época de lluvia, para la época seca estos problemas son fuertes.

Presentan una Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) media, Total de Bases Intercambiables alto y Saturación de bases (SB) del 99,82 %. La materia orgánica en esta parcela también es alta. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se mantiene en un nivel medio, Total de Bases Intercambiables alto y Saturación de bases (SB) del 99 %, alto.

Cuadro 20: Comparación de niveles críticos en los suelos
MATERIA ORGÁNICA

PUNTO	MATERIA ORGANICA (%)		NIVEL CRITICO	
	EPOCA DE LLUVIA	EPOCA SECA	EPOCA DE LLUVIA	EPOCA SECA
Parcela 1 10 años	7.45	0.66	ALTO	BAJO
Parcela 2 >20 años	6.33	0.65	ALTO	BAJO
TESTIGO	----	1.59		BAJO

NITRÓGENO

PUNTO	N TOTAL (%)		NIVEL CRITICO	
	EPOCA DE LLUVIA	EPOCA SECA	EPOCA DE LLUVIA	EPOCA SECA
Parcela 1 10 años	0.47	0.05	ALTO	BAJO
Parcela 2 >20 años	0.36	0.05	ALTO	BAJO
TESTIGO	----	0.08		BAJO

FOSFORO

PUNTO	P asimilable ppm		NIVEL CRITICO	
	EPOCA DE LLUVIA	EPOCA SECA	EPOCA DE LLUVIA	EPOCA SECA
Parcela 1 10 años	27.84	38.75	ALTO	ALTO
Parcela 2 >20 años	27.34	23.13	ALTO	ALTO
TESTIGO	----	50.16		ALTO

POTASIO

PUNTO	POTASIO		NIVEL CRITICO	
	EPOCA DE LLUVIA	EPOCA SECA	EPOCA DE LLUVIA	EPOCA SECA
Parcela 1 10 años	70.38	58.65	BAJO	BAJO
Parcela 2 >20 años	58.65	66.47	BAJO	BAJO
TESTIGO	----	324.53		ALTO

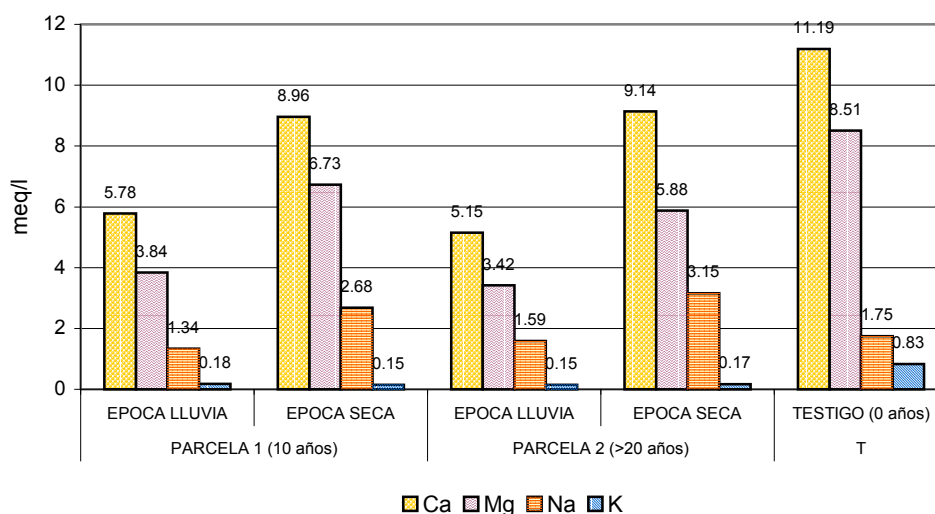
La materia orgánica es alta en la primera época (6.33 %), pero disminuye en la época seca (0.65%), similar tendencia se observa en el porcentaje de Nitrógeno (0.36 a 0.05 %), mientras que el fósforo (nivel crítico alto) y el potasio (nivel crítico bajo) mantienen constantes sus concentraciones en ambas épocas al igual que en la anterior parcela (Cuadro 20)

5.6 EFECTO DEL RIEGO EN LA ACUMULACIÓN DE LAS SALES SOLUBLES EN EL SUELO

Estudios realizados por Chilón (1995), señalan que la zona de Río Abajo en las localidades de Palomar y Millocato los suelos son normales a ligeramente salinos, sin riesgos de alcalinidad.

La concentración de sales confiere al suelo unas propiedades muy particulares con efectos muy nocivos para los cultivos. Se distinguen dos situaciones, según el catión predominante en el complejo de cambio sea el Na^+ o el Ca^{++} indica García (2002)

Gráfico 26: Concentración de cationes en el suelo



En las parcelas seleccionadas se evaluaron el pH, Conductividad eléctrica, contenido de cationes solubles en el suelo, contenido de sodio (PSI y RAS); comparandose las parcelas regadas con aguas del Río La Paz con la parcela testigo (0 años de riego con aguas del mismo río) determinando de esta manera el impacto del riego sobre la salinidad y sodicidad del suelo.

La salinidad de los suelos de las parcelas cultivables de la localidad de Huayhuasi presenta suelos normales en los horizontes superficiales y salinos en los horizontes inferiores en ambas épocas comparados con el testigo que presenta suelos normales en todos sus horizontes, la conductividad eléctrica son menores a 2 dS.m^{-1} , el

porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es menor al 15% a excepción de la parcela 2 (>20 años) en la época de lluvia y parcela 1(10 años) en la época seca.

Respecto al impacto del riego sobre los suelos podemos indicar que el pH no presenta diferencias entre épocas ni respecto al testigo, en cambio la conductividad eléctrica en los horizontes superficiales (profundidad de 30 cm) y del subsuelo (>30 cm de profundidad) se modifica para la época seca en ambas parcelas, incrementándose en ambos casos; para el testigo se observa que la CE del horizonte superficial (35 cm) es mayor al subsuelo (>35 cm).

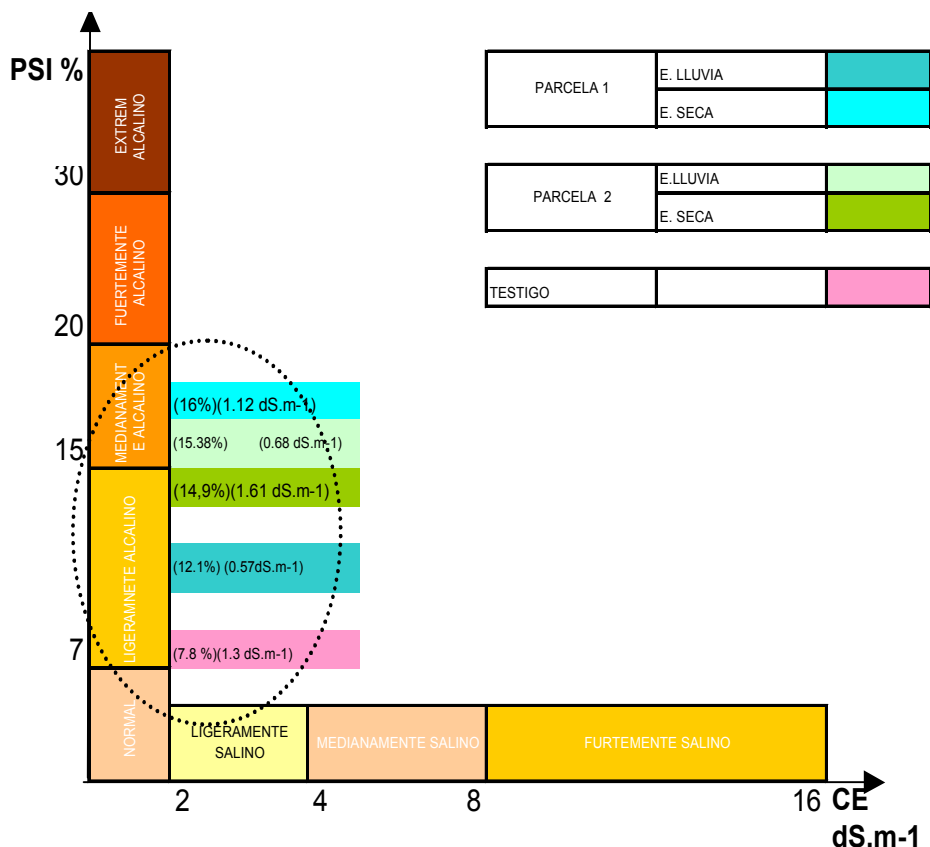
El incremento de la conductividad eléctrica se debe a que existe un aporte por el agua de riego de sales como los Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$ y HCO_3^- de Na^+ , Ca^{+2} y K^+ , que son los que se incrementan en mayor cantidad depositándose en los suelos, lo que no se observa en el testigo que debe su valor de CE elevado a la alta concentración de bicarbonatos en su agua también calcio y magnesio en suelos.

En los suelos de la zona de estudio (Huayhuasi) cuya napa freática se encuentra entre los 1.50 y 2 metros de profundidad se da un proceso de acumulación leve de sales por efecto de las aguas de riego, pero los factores como el laboreo constante del suelo promueven una remoción de estas sales incluidas las que son propias del suelo de la zona como los bicarbonatos, sulfatos de calcio y magnesio.

Así mismo la época seca la concentración de cationes (Ca, Mg, Na y K) se incrementan en la capa arable efecto del riego, mientras que en el testigo se presenta valores superiores al de las parcelas 1 y 2, considerando que son propias del suelo de la zona.

El incremento del sodio repercute en el RAS y PSI, que también incrementan en la época seca, haciendo que estos suelos se vuelvan ligeramente alcalinos, en cambio en la parcela testigo se tiene la concentración de sodio baja clasificando este suelo como normal (Gráfico 27).

Gráfico 27: Categoría de suelos según su alcalinidad (PSI)



Los suelos de esta zona son franco arcillosos, presentan lavados de sales en la época de lluvia. En la época seca después de los 25 cm la acumulación es previsible, por la evapotranspiración que afecta principalmente a la capa arable. Cuadro 21

Con estos resultados obtenidos y comparando con el testigo, se puede indicar que existe una leve acumulación de sales; debido a que estos suelos tienen contenido de arcillas (cargas negativas) estos pueden ser retenidos por el complejo de cambio y reemplazar a los cationes bivalentes (Ca^{+2} y Mg^{+2}) a causa del riego, pero las mismas son constantemente removidas al igual que el sodio.

Considerando que el aumento de sodio puede afectar a la estructura del suelo y al cultivo, estos incrementos son controlados por las prácticas del constante laboreo y los riegos de inundación para recuperar suelo (lameado)¹, esto hace que se incorpore materia orgánica y otros elementos que equilibren las concentraciones de sales provocando un lavado de las mismas.

Cuadro 21: Criterios de clasificacion de suelos según el contenido de sales y sodio

PH

	EPOCA DE LLUVIA		EPOCA SECA	
	pH	NIVEL CRITICO	pH	NIVEL CRITICO
P1 10 años	7,39	ligeramente alcalino	7,66	NEUTRO
P2 >20 años	7,33	Neutro	7,64	NEUTRO
TESTIGO	--	-----	8,05	moderadamente alcalino

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

	EPOCA DE LLUVIA		EPOCA SECA	
	CE mS/cm	NIVEL CRITICO	CE mS/cm	NIVEL CRITICO
P1 10 años	0,574	MEDIO	1,176	FUERTE
P2 >20 años	0,685	MEDIO	1,614	FUERTE
TESTIGO	----	-----	1,271	FUERTE

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

	EPOCA DE LLUVIA		EPOCA SECA	
	CIC meq/100 gr S	NIVEL CRITICO	CIC meq/100 gr S	NIVEL CRITICO
P1 10 años	11,16	MEDIO	19,03	MEDIO
P2 >20 años	10,34	MEDIO	17,89	MEDIO
TESTIGO	-----	-----	23,33	MUY ALTO

SATURACION DE BASES

	EPOCA DE LLUVIA		EPOCA SECA	
	SAT BAS %	NIVEL CRITICO	SAT BAS %	NIVEL CRITICO
P1 10 años	99,82	ALTO	99,8	ALTO
P2 >20 años	99,71	ALTO	99,9	ALTO
TESTIGO	-----	-----	99,7	ALTO

SATURACION DE ALUMINIO

	EPOCA DE LLUVIA		EPOCA SECA	
	SAT AL meq/100 gr S	NIVEL CRITICO	SAT AL meq/100 gr S	NIVEL CRITICO
P1 10 años	0,18	BAJO	0,04	BAJO
P2 >20 años	0,29	BAJO	0,02	BAJO
TESTIGO	-----	-----	0,06	BAJO

PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE

	EPOCA DE LLUVIA		EPOCA SECA	
	PSI	NIVEL CRITICO	PSI	NIVEL CRITICO
P1 10 años	12,01	ligeramente alcalino	16,55	medianamente A
P2 >20 años	15,38	medianamente A	14,98	ligeramente alcalino
TESTIGO	-----	-----	7,85	normal

Existen otro factor evaluado que es el de la distancia que existe entre el canal principal que distribuye las aguas del río La Paz y las parcelas: canal principal (Río-P1→250 mts; canal secundario Río-P2→840 mts), se observa que la distancia no incluye significativamente en la acumulación de sales, el valor de pH, la CE, notándose que los mayores valores corresponden a la parcela 1, es decir, que los suelos ubicadas mas cerca del río sirven como filtro, pero estas diferencias no son muy significativas.

5.7 EFECTO DEL RIEGO EN LA ACUMULACION DE METALES Y ARSÉNICO EN LOS SUELOS

Con los resultados obtenidos, de la concentración de metales en las Capa Arables y Subsuelo de las **parcelas 1 y 2**, correspondientes a la Localidad de Huayhuasi y el **testigo** proveniente de Tahuapalca, se procedió a la comparación con los parámetros propuestos por la FAO (1987), Concentración Critica de la Unión Europea (1986) y Chapman y Prat (1989). Anexo 17.

También se consideró el análisis de sedimentos depositados, al ingreso de las aguas del río, es decir, en los canales de riego. Este estudio se realizó para las dos épocas. Se puede evidenciar en el cuadro 24, que el Cu, se encuentran en concentraciones mayores que los propuestos por la FAO (1987), Concentración Critica de la Unión Europea (1986) y Chapman y Prat (1989). En cambio el Cd se encuentra por debajo de los rangos establecidos por los mismos autores.

En los suelos de las parcelas de la localidad de Huayhuasi, se puede evidenciar que el As, B, Mn, Pb se encuentran en concentraciones similares con e testigo en la época seca, en cambio el Cu, Cr, Fe, Zn muestran concentraciones que varían según la época lo que demuestran el impacto del riego sobre la acumulación y remoción de estos elementos. Se corroboran por las diferencias significativas que existen entre las concentraciones de los elementos de las parcelas y el testigo en la época de lluvia

Ademas las concentraciones de metales y el arsénico encontrados en el subsuelo respecto a la capa arable son ligeramente superiores para el Cr, Mn, Pb, Zn en la época seca en cambio para el As, Cu, Fe tienen concentraciones menores que en la capa arable en la misma época.

En la época de lluvia se registra que la concentración de estos metales y arsénico en el subsuelo son menores que las concentraciones encontradas en la capa arable, se explica esta situación como ya indicamos al constante laboreo agrícola al que se encuentra sometido estos suelos. Se utiliza maquinaria (arado de disco) que hace una remoción del suelo aproximadamente hasta una profundidad de 50 cm, considerando que la mayoría de los cultivos sembrados requieren de una profundidad máxima de 25 cm.

La textura que presenta el subsuelo de estas parcelas es franco arcilloso que permiten de alguna manera la movilidad de los elementos y la fijación de algunos metales así como de sulfatos y bicarbonatos.

En contraposición a los que sucede en el subsuelo de la parcela testigo que para todas las concentraciones de los elementos se encuentran por encima de los registrados para la capa arable, en este caso existe menos laboreo y el aporte del agua de riego para estos metales es mínimo como pudimos evaluar anteriormente, además de la textura arcillosa que fija con mayor fuerza a los metales.

El Cobre es el único elemento que supera los límites o concentraciones críticas propuestas por la FAO (1987), Concentración Crítica de la Unión Europea (1986) y Chapman y Prat (1989) al haberse incrementado su concentración en la época seca.

Para el Cobre, el ANVA encuentra entre épocas, diferencias altamente significativas (anexos 25) siendo que en la época de lluvia es la que presenta valores más bajos para todos los puntos; en la época seca se produce un incremento de las concentraciones.

Este incremento se puede deber a varios factores, como ser, los aportes de este elemento por el agua, que también registra valores altos para la época seca, pero sobre todo la disponibilidad que este elemento tuvo al disminuir del contenido de la materia orgánica encontrada en los suelos de las parcelas en la época de lluvia, siendo que este elemento en su estado intercambiable está firmemente adsorbido especialmente por la materia orgánica del suelo, lo que explica su baja disponibilidad en la época de lluvia.

El ión Cu^{+2} en una gran proporción es fijado por el humus, en una forma más estable que por la forma ordinaria intercambiable adsorbida. Se ha demostrado experimentalmente que el Cu es adsorbido más firmemente por los suelos orgánicos, que por los suelos minerales (Hernandez, 2002).

Comparando con el testigo, las concentraciones de cobre en el suelo son similares al de las concentraciones encontradas en las parcelas 1 y 2, poniendo de manifiesto que las altas concentraciones de este elemento se debería a los que se encuentran en la zona en forma de carbonatos, sulfatos.

En suelos inundados, el cobre se presenta también como CuS o posiblemente como Cu_2S que al exponerse al aire se oxidan a sulfato. En los suelos se han hallado así mismo, carbonatos y fosfatos que bien podrían ser de cobre.

También el Cu es añadido en cantidades considerables al suelo asperjado como plaguicidas. Esto también puede explicar la alta concentración de este elemento en la capa arable del testigo y su posterior precipitación al subsuelo.

Otro elemento que tiene concentraciones que varían significativamente entre épocas es el hierro y el zinc, sin que esto signifique que sobrepasen los límites establecidos por la FAO (1987), Concentración Crítica de la Unión Europea (1986) y Chapman y Prat (1989).

El hierro representa un importante papel en la retención de los metales pesados. Tienen una alta capacidad de fijar a los metales pesados e inmovilizarlos. Además, estos compuestos se presentan finamente diseminados en la masa del suelo por lo que son muy activos. Los suelos con altos contenidos de Fe y Mn tienen una gran capacidad de adsorber metales divalentes, especialmente Cu, Pb y en menor extensión Zn, Co, Cr, Mo y Ni. (García, 2002)

Considerando los pH de las parcelas 1 y 2 (7.39; 7.33 para la época de lluvia; 6.96; 6.95 época seca) se encuentra en forma de hidróxidos de hierro III, de composición más estables.

En la parcela testigo, se encontro contenidos de hierro en la capa arable de 6319.13 y 6524.13 ppm en el subsuelo, también dentro los rangos mencionados por Chapman y Prat (1993).

Para el Zn se observa que el incremento de la concentración en el suelo en la época seca está relacionada con el incremento del aporte del Zinc en el agua. El analisis de varianza tambien muestra diferencias entre épocas.

En los suelos la movilidad del cromo puede evaluarse si se consideraran la capacidad de absorción y reducción de los suelos y de los sedimentos. Para las parcelas 1 y 2, se tienen pH que van de neutro a ligeramente básico, con textura franco arcillosa, que le dan movilidad muy baja en suelo.

También se evaluó los sedimentos que se encontraban depositados en los costados del canal principal entre la toma de agua y el río, encontrandose que el cobre, cromo y el hierro se encuentran en concentraciones mayores a las registradas en los suelos de las parcelas, para los demás elementos As, B, Cd, Mn, Pb, Zinc se observa que las concentraciones registradas se encuentran entre los valores de los suelos de las parcelas 1 y 2, esto significaria que, realizando un análisis del sedimento de la zona podríamos inferir en la presencia o no de metales y la concentración aproximada que pueda estar ingreseando a la zona por efecto del agua de rio.

Tal como los resultados muestran que algunos metales como el cromo, cobre, manganeso y zinc se incrementan en la época seca, sin influir los años de riego ni la distancia, por lo tanto para evaluar los impactos que puedan tener en los cultivos se deberá considerar:

- Que la mayoría de los contenidos de metales y arsénico aportados por el agua a los suelos puede variar las concentraciones en el suelo. Por lo que es necesario hacer un control de metales principalmente de boro, cobre, cromo, hierro y zinc, debido a que el incremento en las concentraciones en el agua sugiere un incremento en las concentraciones en el suelo.
- La disponibilidad de estos elementos esta muy relacionada a las características del suelo como el contenido alto o bajo de arcilla, materia orgánica, presencia de

bicarbonatos, sulfatos y pH, será mayor o menor la disponibilidad para las palntas.

5.8 EFECTO DEL RIEGO EN EL CULTIVO DE LA LECHUGA (*Lactuca sativa*)

Señalan Bosque (2004), Hernandez (2002), Bidwell (1993), que el estudio de la nutrición mineral de las plantas amerita conocer su composición química, cuyo objetivo se puede alcanzar utilizando los métodos siguientes: El análisis elemental, que determina la naturaleza y las proporciones en que se encuentran los elementos minerales en los tejidos vegetales y el análisis inmediato, que trata de reconocer la naturaleza de los compuestos orgánicos que existen en las diversas partes de la planta.

Las plantas utilizan en su nutrición pequeñas cantidades de ciertos elementos, denominados micronutrientes indica Cabezas y Lagos (2005), puedan ser aportados por el agua de riego mas que el suelo donde se desarrollan fisiológicamente.

La presencia de sustancias químicas nocivas como el Cromo, el Arsénico, el Cadmio a altos niveles fué asociada con respuestas tóxicas agudas y con enfermedades crónicas para los seres humanos (FAO - CODEX ALIMENTARIO, 2002).

Chapman y Prat (1993) señala que los elementos traza o metales son requeridos solamente en cantidades muy pequeñas (0,01-0,5 ppm), asi mismo es dificil hacer una evaluación de los límites tolerables para la planta.

Bidwell (1993), Indica que determinar la composición mineral precisa de las plantas es de gran interes cuando se las considera como fuente de alimento, pues la ausencia o sobreabundancia de ciertos elementos pueden afectar su valor alimenticio.

Existe una gran variabilidad entre las diferentes especies sobre la capacidad de extraer y acumular metales explica Chapman y Prat (1993).

Los resultados obtenidos de la concentración de los distintos parámetros o elementos evaluados (cuadros 22) en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* var. Capitata) fueron sometidos al correspondiente análisis de varianza entre parcelas

contra el testigo; realizandose también una comparación de prueba de “t” para contrastar los parámetros entre épocas (anexos 24).

Para los cultivos 1, 2 y testigo los resultados indican que para la **época de lluvia**, la concentración de cada uno de los parámetros, expresadas en peso del elemento por Materia Seca de lechuga (porcentaje, mg.kg^{-1} , ppm), estadísticamente presentan **diferencias significativas** (*) para los elementos Calcio, Azufre, Cobre, Hierro y Zinc; y **no significativas** para concentraciones de Carbono orgánico, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio, Manganeso, As y los metales Cadmio, Cromo, Plomo.

En la **época seca**, los resultados nos indican que existen **diferencias significativas** solo para los elementos Manganeso y Zinc, mientras que la concentración de los demás elementos tuvieron diferencias **no significativas** .

También se realizaron comparaciones **entre épocas** y se encontraron **diferencias significativas** para los elementos **Calcio, Magnesio, Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc y Cromo**.

Se puede observar que las diferencias significativas encontradas nos dan un parámetro de interpretación para la composición química del cultivo de lechuga, puesto que el cultivo testigo es producido con el riego de aguas que no presentaron concentraciones de elementos que sobrepasaron los límites permisibles del R.L.M.A 1333, la F.A.O y el U.S.D.A. habiendo clasificado como aguas normales.

En cambio los cultivos 1 y 2 fueron producidos con aguas del río La Paz que como ya se vió anteriormente clasificaron como aguas residuales, también se observa que las diferencias entre cultivos producidos con las mismas aguas solo difieren entre épocas, como se puede analizar en el cuadro 22.

Cuadro 22: Análisis de varianza y prueba de “t” del contenido de macronutrientes, micronutrientes y metales del cultivo de lechuga

MACRONUTRIENTES

PARAMETRO	UNID.	EPOCA DE LLUVIA			DIF. SIG.	EPOCA SECA			DIF. SIG.	DIF. SIG.
		P1	P2	T	ENTRE PARCELAS	P1	P2	T	ENTRE PARCELAS	ENTRE EPOCAS
C.Orgánico	%	29.12	33.95	38.11	NS	36.33	36.07	38.11	NS	NS
Nitrógeno	%	2.10	2.44	3.64	NS	3.60	3.38	3.64	NS	NS
Fósforo	%	0.41	0.45	0.40	NS	0.35	0.44	0.40	NS	NS
Potasio	%	3.03	3.63	2.20	NS	2.13	2.07	2.20	NS	*
Calcio	%	0.30	0.31	0.21	*	0.23	0.22	0.21	NS	*
Magnesio	%	0.20	0.21	0.17	NS	0.15	0.17	0.17	NS	*
Azufre	%	0.26	0.29	0.22	NS	0.25	0.26	0.22	NS	NS

MICRONUTRIENTES

Boro	mg/Kg	0.49	0.50	10.32	*	9.85	8.71	10.32	NS	*
Cobre	mg/Kg	12.83	14.55	17.10	*	28.60	21.93	17.10	NS	*
Hierro	mg/Kg	30528.87	29537.44	301.59	*	262.03	249.44	301.59	NS	*
Manganeso	mg/Kg	35.27	36.08	32.07	NS	22.30	27.81	32.07	*	*
Zinc	mg/Kg	94.33	102.44	57.71	*	79.03	74.28	57.71	*	*

METALES

Arsenico	mg/Kg	<0.2	<0.2		NS					NS
Cadmio	mg/Kg	0.78	0.78		NS	2.344	2.344	2.344	NS	NS
Cromo	mg/Kg	13.64	16.34	5.49	NS	5.49	5.49	5.49	NS	*
Plomo	mg/Kg	1.01	1.01	0.28	NS	0.28	0.28	0.28	NS	NS

Para la evaluación de las concentraciones de los elementos presentes en la planta y la determinación del posible grado de contaminación con metales en la lechuga se consideró las Concentraciones Acumulables, habituales en la hortaliza de lechuga citadas por Chavez (1991), para los macro y micronutrientes de plantas en general señaladas por Smith (1966) mencionados por Bidwell (1993), Chapman y Prat (1973), Hernandez (2002), mientras que para algunos metales se utilizó las concentraciones consideradas naturales mencionadas por Maz y Ascue (1993), García (2002) . (Cuadros 23, 24 y 25).

Las inferencias se realizan estableciendo la relacion **D**=Deficiencia; **N**=Normal; **E**= Excesivo, que corresponden a las comparaciones de las concentraciones halladas de nutrimentos y metales en la lechuga (mg.kg⁻¹ de materia seca).

Cuadro 23: Comparaciones de concentraciones de elementos del cultivo. Epoca de lluvia

MACRONUTRIENTES

PARAMETRO	UNID.	EPOCA DE LLUVIA		Chavez 1991	P1 10 años	P2 >20 años	(Bidwell, 1993)	P1 10 años	P2 >20 años	Chapman y Pratt, 1989	P1 10 años	P2 >20 años	Hernandez 2002	P1 10 años	P2 >20 años	Maz y Ascue, 1993	P1 10 años	P2 >20 años
		P1 (10 años)	P2 (>20 años)															
Nitrógeno	%	2.10	2.44				2,5-2,7	N	N	0,2-4	N	N	1-3,5	N	N			
Fósforo	%	0.41	0.45	0.139	E	E	0,12-0,16	E	E	0,03-0,3	E	E	0,05-1	N	N			
Potasio	%	3.03	3.63	0.264	E	E	1,2-1,7	E	E	0,05-2,5	E	E	0,3-6	N	N			
Calcio	%	0.30	0.31	0.4	D	D	3 - 4,5	N	N	0,1-10	N	N	0,1-7	N	N			
Magnesio	%	0.20	0.21				0,3 - 0,49	N	N	0,05-1	N	N	0,05-0,7	N	N			
Azufre	%						0,2 - 0,39	N	N	0,1-1	N	N	0,05-1,5	N	N			

MICRONUTRIENTES

Boro	ppm	0.49	0.50				36-100	D	D	10-100	D	D	2-75	D	D			
Cobre	ppm	12.83	14.55				5-12	E	E	1-25	N	N	2-75	N	N	5-15	N	N
Hierro	ppm	30528.87	29537.44				50 - 120	E	E	20-1000	E	E	10-1500	E	E	70-700	E	E
Manganeso	ppm	35.27	36.08				25-49	N	N	5-1000	N	N	5-1500	N	N	20-700	N	N
Zinc	ppm	94.33	102.44				25-49	E	E	5-75	E	E	3-150	N	N	20-400	N	N

METALES

Arsenico	ppm	0.2	0.2							1-10	D	D				0,2-7	N	N
Cadmio	ppm	0.78	0.78													0,1-2,4	N	N
Cromo	ppm	13.64	16.34													0,03-10	E	E
Plomo	ppm	1.01	1.01													1-13	N	N

Cuadro 24: Comparaciones de concentraciones de elementos del cultivo. Epoca seca

MACRONUTRIENTES

PARAMETRO	UNID.	EPOCA SECA		Chavez 1991	P1 10 años	P2 >20 años	(Bidwell, 1993)	P1 10 años	P2 >20 años	Chapman y Pratt, 1989	P1 10 años	P2 >20 años	Hernandez 2002	P1 10 años	P2 >20 años	Maz y Ascue, 1993	P1 10 años	P2 >20 años
		P1	P2															
Nitrógeno	%	3.60	3.38				2,5-2,7	E	E	0,2-4	N	N	1-3,5	E	E			
Fósforo	%	0.35	0.44	0.139	E	E	0,12-0,16	E	E	0,03-0,3	E	E	0,05-1	E	E			
Potasio	%	2.13	2.07	0.264	E	E	1,2-1,7	N	N	0,05-2,5	N	N	0,3-6	N	N			
Calcio	%	0.23	0.22	0.4	D	D	3 - 4,5	D	D	0,1-10	N	N	0,1-7	N	N			
Magnesio	%	0.15	0.17				0,3 - 0,49	D	D	0,05-1	D	D	0,05-0,7	N	N			
Azufre	%	0.26	0.29				0,2 - 0,39			0,1-1			0,05-1,5					

MICRONUTRIENTES

Boro	ppm						36-100	D	D	10-100	N	N	2-75					
Cobre	ppm	28.60	21.93				5-12	E	E	1-25	N	N	2-75	N	N	5-15	E	E
Hierro	ppm	262.03	249.44				50 - 120	E	E	20-1000	N	N	10-1500	N	N	70-700	N	N
Manganeso	ppm	22.30	27.81				25-49	N	N	5-1000	N	N	5-1500	N	N	20-700	N	N
Zinc	ppm	79.03	74.28				25-49	E	E	5-75	E	N	3-150	N	N	20-400	N	N

METALES

Arsenico	ppm	<0.2	<0.2							1-10						0,2-7		
Cadmio	ppm	2.344	2.344													0,1-2,4	N	N
Cromo	ppm	5.49	5.49													0,03-10	N	N
Plomo	ppm	0.28	0.28													1-13	D	D

D = Deficiencia

N = normal

E = excesivo

Cuadro 25: Comparaciones de concentraciones de elementos del cultivo.
Testigo

MACRONUTRIENTES

PARAMETRO	UNID.	Testigo	Chavez 1991	0 años	(Bidwell, 1993)	0 años	Chapman y Pratt, 1989	0 años	Hernandez 2002	0 años	Maz y Ascue, 1993	0 años
Nitrógeno	%	3.64			2,5-2,7	D	0,2-4	N	1-3,5	E		
Fósforo	%	0.40	0.139	E	0,12-0,16	E	0,03-0,3	E	0,05-1	N		
Potasio	%	2.20	0.264	N	1,2-1,7	E	0,05-2,5	N	0,3-6	N		
Calcio	%	0.21	0.4	D	3 - 4,5	D	0,1-10	N	0,1-7	N		
Magnesio	%	0.17			0,3 - 0,49	D	0,05-1	N	0,05-0,7	N		
Azufre	%				0,2 - 0,39		0,1-1		0,05-1,5			
MICRONUTRIENTES												
Boro	ppm				36-100		10-100		2-75			
Cobre	ppm	17.10			5-12	E	1-25	N	2-75	N	5-15	N
Hierro	ppm	301.59	75	E	50 - 120	E	20-1000	N	10-1500	N	70-700	N
Manganeso	ppm	32.07			25-49	N	5-1000	N	5-1500	N	20-700	N
Zinc	ppm	57.71			25-49	E	5-75	N	3-150	N	20-400	N
METALES												
Arsenico	ppm						1-10				0,2-7	
Cadmio	ppm	2.344									0,1-2,4	N
Cromo	ppm	5.49									0,01-10	N
Plomo	ppm	0.28									1-13	D

Estas comparaciones son los valores que presentan en tablas de los autores antes mencionados. Cabe mencionar que los valores que presenta Bidwell, considera un estudio para hojas de cítricos sobre la base de materia seca; los demás autores se refieren a valores encontrados en el área foliar de las plantas sin especificar a cual especie se refieren.

Estas tablas de inferencias nos permite, también hacer las comparaciones correspondientes para el “**testigo**”, estableciendo de alguna manera las concentraciones habituales en la lechuga.

5.8.1 CONCENTRACIONES DE NUTRIMENTOS Y METALES EN EL CULTIVO

Los resultados obtenidos, sometidos al análisis de inferencias correspondientes para la **época de lluvia**, indican concentraciones excesivas para fósforo, potasio, hierro, cromo y concentraciones deficientes para Calcio y Boro.

En la **época seca** los elementos que se encuentran en exceso son fósforo, cobre, hierro y zinc, mientras que los que se encuentran en deficiencia son Calcio, Magnesio y Plomo.

Comparaciones las concentraciones de los elementos **entre** cultivos y el testigo se concluyen que solo existen **diferencias significativas** para las concentraciones de hierro, y comparando **entre épocas** el resultado es el mismo.

Cabe recalcar que las concentraciones de elementos que sobrepasan los rangos permisibles, en el cultivo están relacionadas directamente a los altos valores encontrados de los mismos, con el aporte por las aguas del río La Paz y su aplicación en el riego al igual que sus deficiencias se deberían al antagonismo provocado por el complejo iónico en el suelo mencionado anteriormente.

5.8.1.1 FÓSFORO

El fósforo es después del nitrógeno, el segundo elemento en importancia para el crecimiento de las plantas.

Los resultados registrados para este elemento presentan concentraciones de 0.41 y 0.45 % de fósforo en los cultivos 1 y 2 frente a los 0.4 % hallado en el testigo, siendo que para las concentraciones habituales presentadas por Hernandez (2002), Bidwell (1993), Chapman y Prat (1993) se encuentra en cantidades superiores.

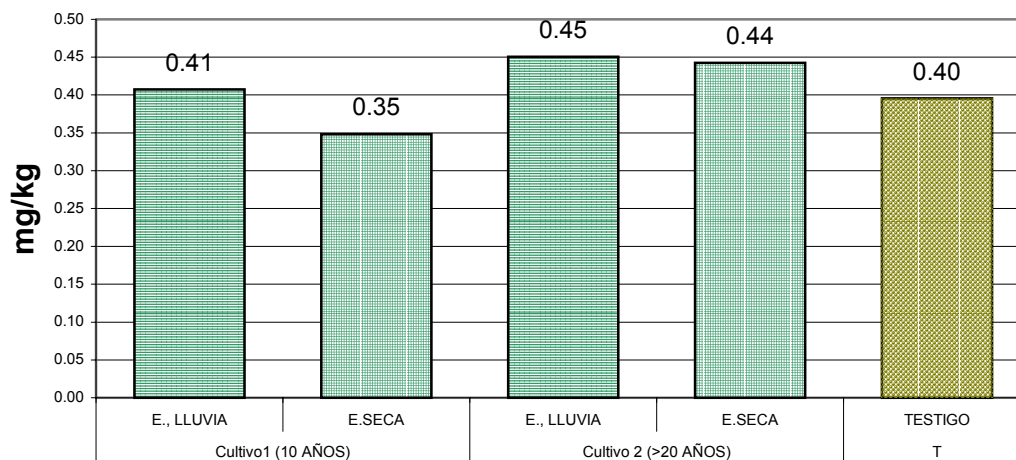
Este elemento no es tóxico para la planta, sin embargo su exceso produce una maduración fisiológica más rápida, es absorbido por la planta en forma de anión fosfato diácido (H_2PO_4^-) favorecido por el pH menor o igual a 7, que se presenta en la época de lluvia. También puede ser absorbido en forma de fosfato ácido ($\text{HPO}_4^{=}$) en la época seca cuando el pH del suelo es mayor a 7

Los resultados encontrados demuestran que las concentraciones de fósforo (gráfico 28) en la lechuga son casi similares entre cultivos y el testigo, pero se manifiesta una leve disminución entre épocas.

Las plantas que tiene abundante fósforo maduran con más rapidez coinciden enseñalar Hernandez (2002) y Bidwell (1993). El fosfato se redistribuye fácilmente en muchas plantas y se mueve de las hojas viejas hacia las jóvenes en las que se almacena; esto puede explicar la cosecha temprana de lechuga de la variedad **capitata**

en la localidad (cosecha a los tres meses, mas del 50 % de lechugas estan listas para el mercado)

Gráfico 28: Concentracion de fósforo en lechugas.



El fósforo es el elemento más limitante en los suelos, pero en los suelos de las parcelas 1 y 2 se encontraron en altas cantidades aportadas como nutrientes por el agua, como un claro efecto del uso del agua del río La Paz.

5.8.1.2 POTASIO

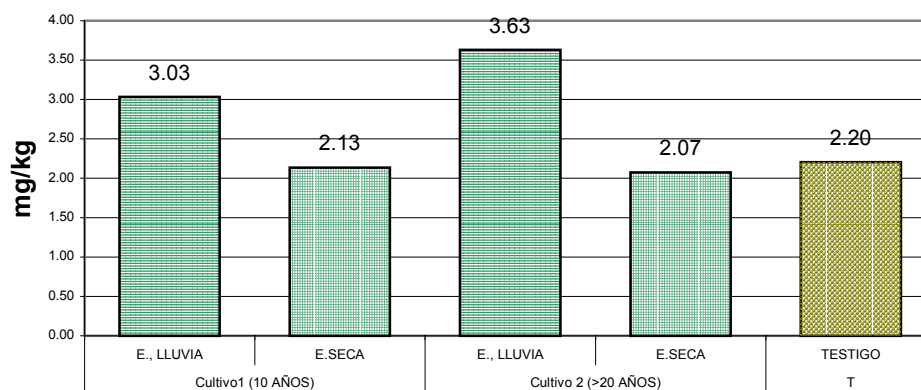
Respecto al potasio podemos indicar que las concentraciones para los cultivos 1 y 2 se encuentran en exceso según las tablas de inferencias y también respecto al testigo.

La que sigue el Potasio es de aumentar de concentración en la parcela 2, para la época de lluvia, mientras que en la época seca disminuye dicha concentración, para ambas parcelas, esta disminución puede estar asociada al incremento de las sales de sulfato a las que puede estar ligado el potasio, en este caso la forma del potasio es bivalente siendo la forma menos absorbible (Bosque, 2004)

Coinciden en señalar Hernandez (2002), Bidwell (1993) que el potasio es el catión que prevalece en la planta y esta implicado en el mantenimiento del balance iónico en la célula, elevando su turgencia de las células guardianes de los estomas; la división celular del tejido meristemático y las células : transporte en el floema , movimientos foliares (nastias) de los pulvínulos y crecimiento celular. De tal manera

que, las necesidades nutricionales de K^+ se centran en cuatro roles bioquímicos y fisiológicos a saber: activación enzimática, procesos de transporte a través de membranas, neutralización aniónica y potencial osmótico.

Gráfico 29: Concentración de potasio en lechugas.



El potasio es un elemento que la planta de lechuga extrae en mayor proporción, al consumir más potasio va a absorber más magnesio (INFOAGRO, 2002), pero el exceso provoca disminución del mismo Mg (Boynton y Burret, 1944) y clorosis por falta de Fe (Walsh y Clarke, 1942) ambos autores mencionados por Rocabado (2001).

Lo anterior se evidencia, pues el contenido de Mg ($mg \cdot kg^{-1}$), se encuentra por debajo de los límites mencionados por Bidwell (1993), Chapman y Prat (1989); pero no ocurre lo mismo en el caso de Fe que se encuentra en altas concentraciones en el cultivo.

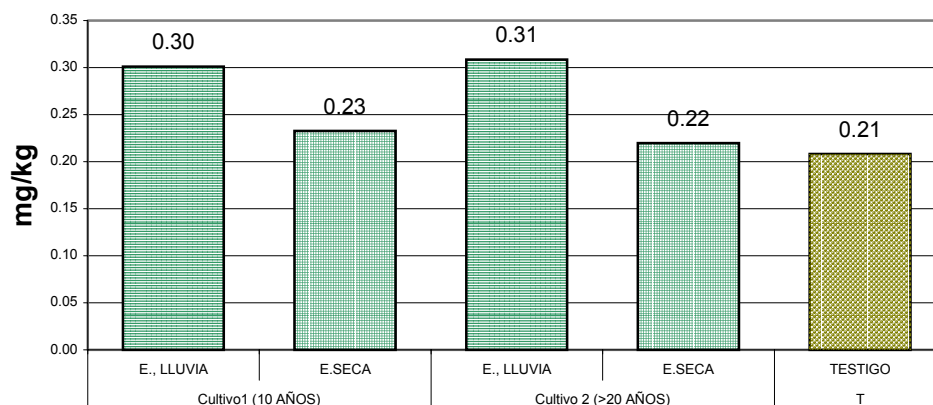
Tampoco se observa que el cultivo de lechuga en ninguna de las épocas muestra síntomas de exceso de potasio, ya que concentraciones abundantes de potasio son necesarias para neutralizar los aniones solubles y macromoleculares del citoplasma, que tiene pocos cationes orgánicos. De esta manera el potasio contribuye bastante con el potencial osmótico como se indicó anteriormente.

5.8.1.3 CALCIO

Según las inferencias realizadas para este elemento se encuentra deficiencia (época seca) respecto a los valores normales mencionados por Chavez (1991), Bidwell (1993), la concentración de este elemento disminuye entre los cultivos 1 y 2, también

entre épocas. El cultivo testigo registro concentraciones similares al de las parcelas en la época seca.

Gráfico 30: Concentración de calcio en lechugas



Se indica (Hernandez, 2002) que la deficiencia de calcio se debe a que este elemento no-se encuentra disponibles por estar en suelos ácidos, no es el caso de los suelos donde se desarrollan los cultivos de lechuga ya que el pH oscila entre 7 –7.7 en la época seca y 7.6 en la época de lluvia.

Esto nos permite afirmar que el requerimiento de calcio para la lechuga pueda estar en estos rangos de 0.2 –0.3 % ya que el cultivo testigo presenta similares valores, no pudiendose observar ningún síntoma de deficiencia en el cultivo de lechuga principalmente por falta de este elemento.

Habrà que recalcar una que la fracción principal de este Ca^{+2} está en las paredes celulares o en las vacuolas y organelos como sales de ácidos orgánicos, fosfato o fitato y puede ser especialmente alta en plantas sintetizadoras de oxalato. El oxalato de calcio, es un producto insoluble que se deposita en la vacuola, esto constituye quizás una función antitóxica (Hernandez, 2002).

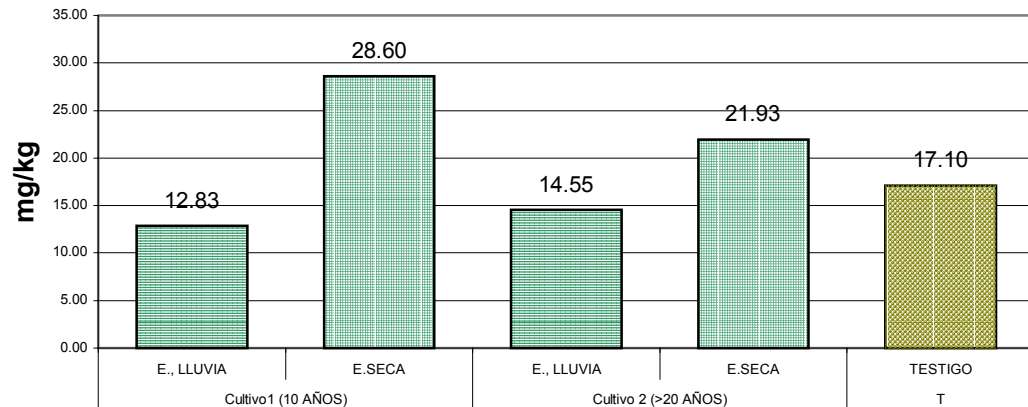
Al igual que el anterior elemento, la concentración del magnesio es mayor en la época de lluvia y disminuye en la época seca, los valores de esta época se encuentran similares al del Testigo.

Teniendo las mismas conclusiones que para el calcio ademas que este descenso de concentración en la época seca pueden estar influido por el exceso de potasio como ya se explicó anteriormente.

5.8.1.4 COBRE

Este elemento, se presenta en exceso solo para los valores que tiene Bidwell, no así para los valores de los demás autores. Existe un incremento de la concentración en la época seca para ambas parcelas.

Gráfico 31: Concentración de cobre en lechugas.

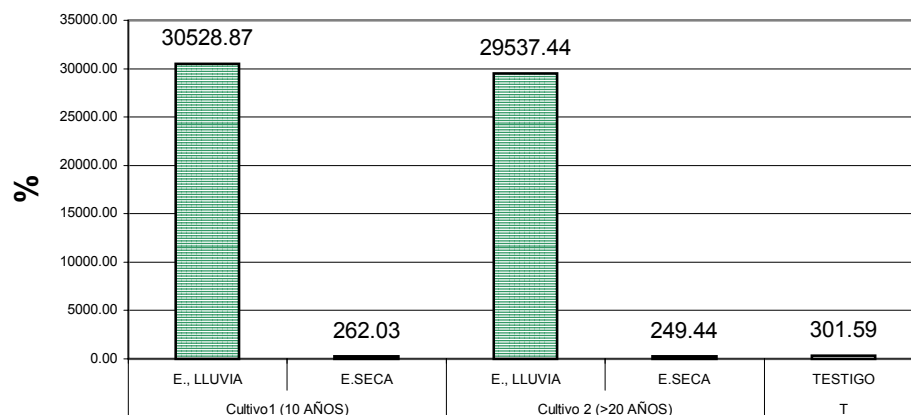


Este incremento puede estar influido por el incremento de cobre en el agua de riego y la disminución de la materia orgánica que permitió la mayor disponibilidad de este elemento para la planta.

5.8.2 TOXICIDAD POR HIERRO Y CROMO

El hierro es un microelemento esencial, forma parte de citocromos, proteínas y participa en reacciones de oxidación-reducción a diferencia del cromo que es requerido en cantidades muy pequeñas y su absorción está relacionada con la concentración del hierro que en formas de óxido e hidróxidos se pone más disponible para las plantas ayudados por un pH del suelo ligeramente básico.

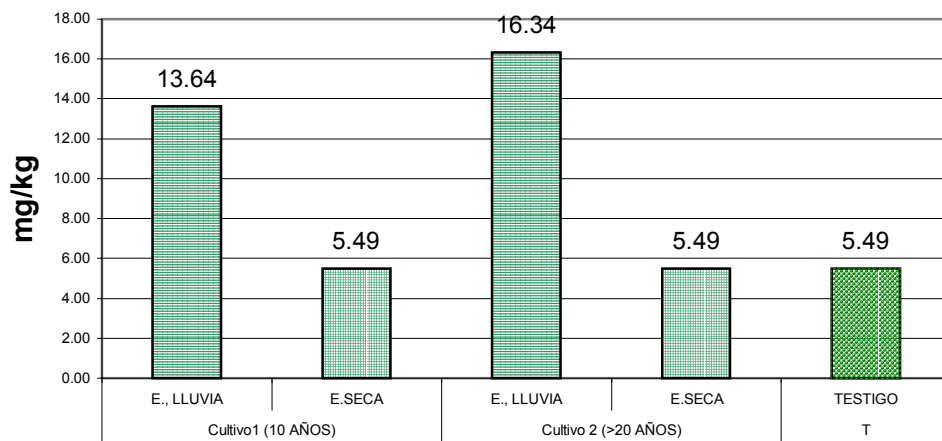
Gráfico 32: Concentraciones de hierro en la lechuga



Para la época de lluvia estos elementos en el cultivo, se manifiestan en concentraciones muy elevadas que se manifestaron en una toxicidad por este elemento.

Esto se observa en el caso de la lechuga, para esta primera época, las lechugas presentaron en las hojas jóvenes un bronceado, ya que la toxicidad por Hierro, aparentemente está relacionada con desórdenes fisiológicos en condiciones de inundación del suelo. Estas incluyen bronceado de las hojas, moteado de hojas, datos mencionados por Hernandez, 2002.

Gráfico 33: Concentraciones de cromo en la lechuga



Bosque (2004), Hernandez (2002) y Bidwell (1993) coinciden en señalar que en las hojas casi todo el hierro se encuentra en los cloroplastos, donde juega un papel importante en la síntesis de proteínas cloroplásticas. El cromo también es importante en el transporte de estas proteínas de ahí su grado de asociación con el hierro.

Gráfico 34: Síntomas de intoxicación por hierro y cromo



En otras cabezas de lechuga, este proceso se encontraba ya en estado de putrefacción, incidiendo en la calidad de la lechuga. No sucedió lo mismo en la época seca, donde se observaron concentraciones de hierro y cromo mucho menores, también ocurre lo mismo en el testigo.

Gráfico 35: Lechugas del cultivo testigo y cultivo 1. Época seca.



5.9 DETERMINACION DE LA CONCENTRACIÓN MICROBIOLÓGICA EN LA LECHUGA (*Lactuca sativa* var. *Capitata*)

Los microorganismos capaces de provocar enfermedades humanas pueden encontrarse en los productos crudos. En ocasiones forman parte de la microflora de la fruta o la hortaliza como contaminantes fortuitos provenientes del suelo, el polvo y el entorno indican la O.M.S. (1989), O.I.R.S.A. (2001), Frazier (1993).

En otros casos se introducen en los alimentos a través de prácticas de manipulación y producción incorrectas, como la aplicación de abono sin tratar, el empleo de agua de riego contaminada o prácticas de manipulación no sanitarias (Cerdas , 2002)

Existe muy poca información específica sobre la concentración máxima de microorganismos (bacterias) en hortalizas de consumo directo dispuestas en mercados, muchos de estos criterios están basados en la conservación del alimento, la manipulación de los mismos y la disposición final que se le dará.

La Organización Mundial de la Salud, establece que para consumir hortalizas crudos la concentración de coliformes fecales deberá ser ausente. Pero como indican los informes de O.I.R.S.A. (2001), que no existen diferencias entre los valores que se permiten en hortalizas de consumo (anexo 13).

En el presente trabajo se tuvo que para todas las lechugas analizadas concentraciones elevadas de coliformes totales, fecales presencia de *Escherichia coli*, diferenciándose las concentraciones entre parcelas y entre épocas.

Así para la época de lluvia se tiene que la concentración de Coliformes totales es de 138.33 NMP.g⁻¹ en el cultivo 1 frente a los 44500 NMP.g⁻¹ del mismo cultivo en época seca, en cambio los coliformes fecales registran 0.72 NMP.g⁻¹ para la época seca siendo 21776 NMP.g⁻¹ para la época de lluvia siempre menores en la cultivo 1, incrementándose en el cultivo 2, pero con una diferencia no significativa, lo mismo sucede con la concentración de *Escherichia coli*.

Indica O.I.R.S.A. (2001) y Frazier (1993) que el número de bacterias necesario para provocar enfermedades humanas varía con el tipo de organismo y la edad y el estado del huésped. En algunos casos es necesario que haya más de un millón de bacterias patogénicas por gramo o cm² de superficie del alimento para que se produzca una enfermedad. En ninguno de los casos sobrepasan estos datos indicadores para vegetales y para tales microorganismos.

Cuadro 26: Concentración de coliformes totales, fecales y *escherichia coli*

PUNTO	CULTIVO 1		CULTIVO 2	
	EPOCA LLUVIA	ÉPOCA SECA	EPOCA LLUVIA	ÉPOCA SECA
Coliformes totales	138.33	44550.00	42.88	2476.67
Coliformes fecales	0.72	21776.67	0.93	548.33
Escherichia coli	0.83	19883.33	1.17	500.00

Sin embargo, algunos patógenos pueden provocar enfermedades en cantidades mucho menores. Por ejemplo, las especies de *Shigella* son agentes altamente infecciosos, con una dosis infectiva de tan sólo 10 células, no habiéndose encontrado

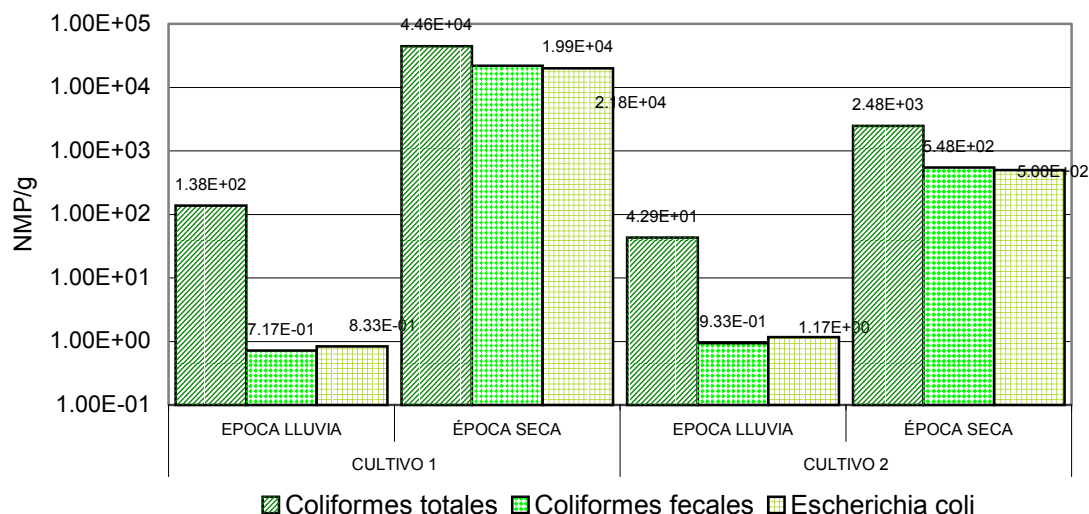
presencia ni de *Salmonella* en las lechugas analizadas. También Coaguila (1993) refiere no haber hallado estos microorganismos a diferencia de Iñiguez y García (1983) e INLASA (1989).

Observamos en el cuadro 26 que se registran incrementos en las concentraciones de los coliformes totales para la segunda época en ambos cultivos, pero con la diferencia de que las concentraciones en el cultivo 2 son mucho menores que las registradas en el cultivo 1, reduciendo aproximadamente la concentración en unas 10 veces menos la concentración inicial.

Estas concentraciones tampoco superan las requeridas para provocar una enfermedad, como ya se dijo anteriormente, según indica O.I.R.S.A. (2001) y Frazier (1993), claro que dependerá mucho de las características del individuo que consuma esta hortaliza. Estas altas concentraciones están relacionadas por las altas concentraciones encontradas también en las aguas utilizadas para riego.

Y como se indicó en ese caso, estos microorganismos son muy sensibles a los cambios de temperatura y pH, esa podría ser la explicación en el caso de la *Escherichia coli* que tiene una concentración variada al interior de las parcelas (serotipos diferentes), al ser una coliforme fecal que tolera pH alcalino (7 –7.5) a diferencia de las demás que prefieren pH ligeramente ácidos a neutros indica Frazier (1993).

Gráfico 36: Comparación de la presencia de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* en el cultivo y agua.



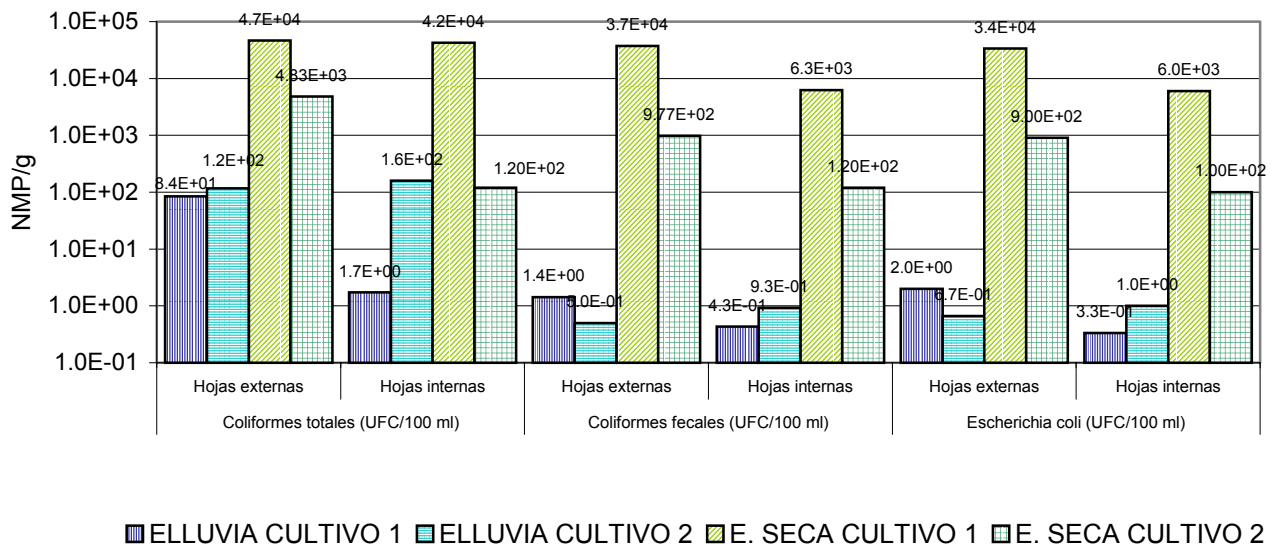
Así mismo podemos indicar que las concentraciones de estas bacterias encontradas en la lechuga están correlacionadas con las concentraciones encontradas en el agua, aunque con una diferencia relativamente pequeña de una menor población de microorganismos en el cultivo, corroborándose estos datos con los hallados por Coaguila (1993).

Las altas concentraciones de microorganismos encontradas en los cultivos corresponden principalmente a las hojas externas, la mayor cantidad son Coliformes Totales, mientras que para las Coliformes fecales y *Escherichia coli* la concentración es casi nula en las hojas internas para la época de lluvia.

Este análisis permite una mejor interpretación de donde se localiza la contaminación con estos microorganismos, entendiendo que se trata de una contaminación por contacto con el agua y el suelo.

Como sucedió con el agua analizada, las concentraciones de microorganismos se incrementan en época seca y son las hojas externas las que presentan mayores concentraciones para Coliformes totales, Coliformes fecales, *Escherichia coli*, en ese orden como se observa en el gráfico 37.

Gráfico 37: Concentración de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* en hojas externas e internas. Comparación entre épocas



Con todos estos resultados se puede señalar que existe contaminación microbiológica en los cultivos de lechuga, localizada principalmente en las hojas externas. Dependiendo de la época, se registró una mayor contaminación en la época seca, siendo que en la época de lluvia prácticamente las concentraciones de microorganismos son mínimas que no alcanzan a formar en muchos de los casos ni una colonia en un gramo.

También se puede que sobre las concentraciones de microorganismos influye las distancias entre el punto del canal principal y las parcelas, debido al cambio de pH, y temperatura y en cierto grado la oxigenación que se produce en el recorrido provocando la disminución de la población microbiana.

5.10 EFECTO DEL RIEGO EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE LECHUGA

La lechuga es uno de los cultivos importantes para la comercialización en los mercados de La Paz, debido a que su ciclo productivo dependiendo de la variedad dura de un mes y medio a tres meses.

La superficie promedio familiar del cultivo varía entre 0.05 a 0.1 Has, en la comunidad de Huayhuasi. El promedio municipal es de 0.087 Has/Flia (PDM, 2001).

Las parcelas utilizadas para el estudio tenían un área de 300 m² para la parcela uno y 250 m² para la parcela dos, se obtuvieron rendimientos de 675 y 562 kilogramos respectivamente.

El rendimiento promedio llega a 5.7 TM.Ha⁻¹ en el ámbito municipal indican los datos del PDM (2001) el mismo que comparado con el rendimiento departamental es de 2 TM.Ha⁻¹, nos muestran que la sección cuenta con buenos rendimientos por las condiciones climáticas favorables.

Los rendimientos encontrados en la comunidad de Huayhuasi superan los datos del PDM (2001), siendo que estas producciones son por campañas, considerando que las producciones son tres campañas por año entonces se tienen que esta producción

anual se triplica, alcanzando un total por campaña en el ámbito de la comunidad de 19.67 TM.Ha⁻¹.

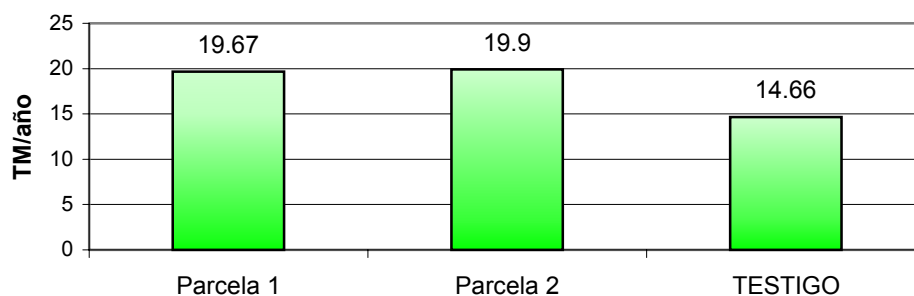
Cuadro 27: Rendimiento promedio de lechuga

CANTÓN	SUPERFICIE (m ²)	RENDIMIENTO (kg. parcela)	RENDIMIENTO (kg.m ⁻¹)	PRODUCCIÓN (TM.Ha ⁻¹)
Parcela 1	300	675,00	2,25	22,50
Parcela 2	250	562,50	2,25	22,50
TESTIGO	300	450,00	1,50	15,00

Gráfico 38: Rendimiento de lechuga por campaña en las parcelas y testigo



Gráfico 39: Producción de lechuga por año en las parcelas y testigo



Las graficas anteriores explican claramente que los rendimientos de lechuga por parcela en la localidad de Huayhuasi son mayores respecto a la parcela testigo.

Sin embargo, estos datos no se corroboran para la producción; las parcelas uno y dos producen tres veces al año, lo que incrementa la producción, en cambio en la parcela testigo se tiene dos campañas por año.

También influye en la producción los costos de producción, se considera dichos costos en los anexos 27 al 31. El análisis considera ambas épocas, encontrando diferencias de costos de producción entre épocas siendo menor la inversión económica en la época de lluvia para las dos parcelas, incrementándose esta inversión en la época seca, principalmente en gastos referidos a insumos como fertilizantes.

En el testigo la inversión económica es casi constante debido a que se invierte todo el año en los mismos insumos, el costo del agua es menor en la época de lluvia.

Esta diferencia de costos influye en la producción de lechuga que resulta favorable para los productores de la comunidad de Huayhuasi que tiene disposición de agua durante todo el año.

CAPITULO VI

6 CONCLUSIONES

En función de la evaluación realizada en las aguas del río La Paz y su uso en el riego para la producción del cultivo de lechuga, considerando años de riego y distancias entre parcelas respecto a la toma del canal principal en la comunidad de Huayhuasi, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

El río La Paz es la principal fuente de agua para los Sistemas de riego comunal y parcelario de la comunidad de Huayhuasi, la misma cuenta con tres canales principales de riego, todos ellos con nacientes en el río La Paz, su mantenimiento es anual y obligatorio para todos los comunarios y agricultores de la zona.

Este recurso es disponible todo el año. El caudal de los canales principales es constante y tiene un promedio de 70 L.seg^{-1} de los que se distribuyen canales secundarios con caudales menores $0.5 \text{ A } 0.8 \text{ L.seg}^{-1}$, diferenciándose en función del cultivo a regar.

La calidad del agua de riego según la F.AO. y U.S.D.A. corresponde a la clase C_3-S_1 , es decir, que son aguas normales respecto al contenido de salinidad pero varían de ligeramente alcalinas a medianamente alcalinas, en función a su salinidad

Respecto a los parámetros físicos (ST, SD y SS) se encontraron concentraciones que sobrepasan los límites establecidos por el R.L.M.A 1333 para las épocas de lluvia y seca, observándose que al existir una disminución del caudal en los canales secundarios, se tiene una disminución de la concentración de los sólidos.

Referente a la evaluación de la contaminación orgánica, se concluye que los indicadores DBO_5 y DQO registran valores máximos en la época seca sobrepasando los límites permisibles del R.M.L.A 1333; así también la concentración de Aceites-Grasas y Detergentes presentan concentraciones elevadas en la época seca respecto a la época de lluvia, llegando a sobrepasar los límites permisibles del R.M.L.A 1333

La contaminación microbiológica con coliformes totales y fecales presenta las mayores concentraciones en la época seca en todos los puntos de muestreo, llegando a superar los máximos permitidos por el R.L.M.A 1333, pero con el recorrido desde la toma del canal principal del río hacia las parcelas, la concentración de microorganismos disminuyen significativamente, haciendo evidente su sensibilidad al pH, temperatura y su condición anaeróbica.

Del contenido total de metales analizados se evidencia la presencia de elementos como el cadmio, cobre, manganeso, zinc, cromo, plomo y hierro cuyas concentraciones sobrepasan los límites establecidos por el R.L.M.A 1333, siendo que los primeros cuatro elementos tienen un incremento de sus concentraciones en la época seca, en cambio el cromo, plomo y el hierro disminuyen sus concentraciones en esta misma época.

El agua considerada testigo no reportó ningún parámetro que sobrepase los límites establecidos por el R.L.M.A 1333.

Respecto a los suelos, corresponden a la clase franco arcillosa y clasificándose como suelos **ligeramente alcalinos** y **medianamente alcalinos**. El contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio tienen concentraciones elevadas para la época de lluvia, disminuyendo en la época seca principalmente para la materia orgánica y el nitrógeno, como consecuencia del permanente laboreo agrícola.

Existe una concentración de los metales Arsénico, Cadmio, Cobre, Manganeso y Zinc en la capa arable como en el subsuelo que tienden a incrementar en la época seca, en cambio el Cromo y el Hierro disminuyen para esta época; también se evidencia que esta dinámica de elementos se ven influidas por las concentraciones del agua de riego.

El testigo en cambio presenta características que lo clasifican como un suelo normal presentando concentraciones similares al de las parcelas uno y dos, evidenciando que corresponden a la misma unidad geológica

El efecto del riego en los vegetales señala una alta concentración de los elementos fósforo, potasio, hierro, cobre y para el calcio, magnesio se considera como concentraciones normales que el cultivo de lechuga absorbe, para ambas épocas; en estos elementos existen **diferencias significativas** para el elemento Hierro, cultivos y

el testigo, para la época de lluvia, también estas diferencias se manifiestan entre épocas.

El Cromo total en la época de lluvia tiene elevadas concentraciones que conjuntamente el hierro se manifiestan en las hojas jóvenes de la lechuga presentando síntomas de intoxicación, al presentar un bronceado en los bordes que con el tiempo se extiende y provocan una pudrición.

Esta manifestación de intoxicación también se puede considerar como consecuencia de las bajas concentraciones que presenta respecto al calcio considerado como controlador de toxicidad.

La comparación de concentraciones presentes de Fósforo, Calcio, Magnesio, Cobre, Cromo y Plomo en el **testigo** nos permite concluir que las cantidades encontradas en lechugas para la época seca son las mismas que se encontraron en el testigo son los que se pueden encontrar habitualmente en la lechuga

Se evidencia que existe contaminación microbiológica en la lechuga con altas concentraciones de coliformes totales, fecales, *Escherichia coli* principalmente en las hojas externas no se ha encontrado *salmonellas* y *sighella*; estas concentraciones son menores en la época de lluvia incrementándose considerablemente en la época seca.

Los rendimientos y producción de lechuga de las parcelas uno y dos en la comunidad de Huayhuasi superan los rendimientos promedios establecidos por el testigo y los rendimientos departamentales, estableciendo la ventaja del uso de esta agua en el aspecto económico debido a que los costos de producción son menores en las parcelas uno y dos que usa el agua del río La Paz respecto al testigo que utilizó agua de otra fuente casi potable.

CAPITULO VII

7 RECOMENDACIONES

La recomendación mas importante considerada es que una vez identificado factores principalmente negativos que perjudiquen el uso de esta agua para riego siendo el único recurso disponible para la producción se establece:

- Dejar que el agua siga el proceso de autopurificación, construyendo y manteniendo desniveles a lo largo de los canales de riego para provocar una mayor oxigenación y reducir los niveles de DQO y DBO para atacar a los microorganismos anaerobios.
- Mantener la concentración de pH (casi neutro) para evitar la movilidad de los metales y su disponibilidad, manteniendo también el contenido de materia orgánica.
- Ampliar el ancho y alto del surco para evitar el contacto directo del agua con el cultivo principalmente cuando se tenga que regar por muchas horas y antes de la cosecha.
- Realizar estudios sobre otros metales que no se consideraron en el presente estudio (cromo hexavalente, aluminio, molibdeno) en las aguas del Río La Paz, utilizadas con fines de riego.
- Realizar estudios complementarios sobre las necesidades hídricas de cada cultivo
- Implementar y ampliar los análisis de contaminantes microbiológicos de bacterias a parásitos, estudiados no solo en agua sino también en suelos
- Estudiar específicamente la biodisponibilidad de los elementos metálicos en suelos y la relación con microorganismos presentes en el suelo
- Realizar una caracterización de los microorganismos presentes en el suelo.
- Ampliar los estudios de metales y su presencia en la lechuga
- Incrementar el número de vegetales a estudiar (principalmente tuberculos)

- Implementar un monitoreo de metales presentes en aguas utilizadas con fines de riego considerando las campañas agrícolas.
- Capacitar a los agricultores sobre técnicas agrícolas que minimicen el efecto del uso del agua del Río La Paz.
- Implementar tratamientos locales con el uso de plantas locales, tolerantes a la toxicidad de metales al ingreso de cada parcela.
- Realizar un estudio sobre la implementación y plantación de especies vegetales tolerantes a metales considerando las bajas concentraciones de los mismos en las aguas y la posibilidad de implementar este tipo de tratamiento localizado en la comunidad

CAPITULO VIII

8 BIBLIOGRAFIA

- Acosta, L., Álvaro, H., Jiménez, H., Manrique, R., & Torralba, R., 2001, "Estudio general del caso Villa El Salvador, Lima, Perú", Proyecto Regional USO, IDRC-CEPIS, Lima Perú
<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaar/e/proyecto/generales/casos/villa.html>
- Bidwell R.G.S., 1993, Fisiología vegetal. Segunda edición. Editorial A.G.T. México,D.F. 780 p.
- Bosque, Hugo, 2004, "Fisiología Vegetal". Apuntes de clase. Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia.
- Campos, Hector., 2000, "Inocuidad de alimentos y negociaciones comerciales sobre productos agropecuarios". Negociaciones sobre agricultura internacional. s.t.. Montevideo-Uruguay. s.e.. In. pp 8
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 2004, "Avances del Inventario Regional de la Situación de las Aguas Residuales Domésticas en América Latina", Lima, Perú
<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaar/e/proyecto/Inventario-Resumen.pdf>
- Chamón O. M., 2001, Contaminación de las aguas y la problemática ambiental de Río Abajo (Mallasa – Mecapaca). Tesis de grado. Carrera de Geología, Facultad de Ingeniería Geológica U.M.S.A. La Paz, Bolivia. 135 p.
- Chapman, H. y Prat, P., 1988, Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Sexta Reimpresión. Editorial Trillas. México. 195 p.
- Chilon, E., (1995), Manual de edafología. Primera edición. La Paz, Bolivia. pp261
- Chungara, J., 2005, Problemática de la contaminación del Río Choqueyapu. Comunicación personal.
- Dorronsoro C., 2004, " Información acerca del suelo". Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada, España. Libros electrónicos y monografías. Disponible en <http://www.edafologia.net>
- Escobari, J., 2003, " Problema´tica ambiental en Bolivia.Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicos, UDAPE. La Paz, Bolivia. doc, pdf. 31 p
- FAO/WHO. 1999. Understanding the Codex Alimentarius. Available via the Internet at <http://www.fao.org/docrep/w9114e/w9114e00.htm>
- FAO/WHO Food Standards Programme 1999, Codex Alimentarius Commission. Pub. # M-83.

- FAO, 1987. La calidad del agua en la agricultura. Roma. Estudio FAO riego y Drenaje 29 Rev1.Roma. 174p
- Fuentes,J.L., (1998), Técnicas de riego. España.Ministerio de Pesca y Alimentación. Tercera edición. Barcelona, España, pp 447.
- Frazier, W.D., Westhoff, D. C., (1993). Microbiología de los alimentos.Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España. 671p.
- García, I., 2002, “Contaminación por fertilizantes”
<http://www.edafología.urg.es/Conta/Tema14/1Calsif.html>
- García, I., 2002, “Contaminación por sales solubles”
<http://www.edafología.urg.es/Conta/Tema14/1Calsif.html>
- García, I.,2002, “Contaminación del suelo por metales pesados”
<http://www.edafología.urg.es/Conta/Tema15/1Calsif.html>
- García N, A., 2005, Edafología, Gestión y Conservación del suelo. Universidad de Extremadura, Departamento de Biología y Producción de los Vegetales, Área de Edafología y Química Agrícola. Extramadura, España.
<http://www.unex.es/eweb/edafo/>
- Glyn H, y Heinke G.,1999, Ingeniería Ambiental. Segunda Edición. Editorial HIDPONOAMERICANA S.A., México, 350 – 380 pp.
- Gómez Mesa, Elías, 2004, “Problemas ambientales del Cromo” Santo Domingo Republica Dominicana.
[http:// www.momnografías.com/trabajos6/contam/contam.shtml](http://www.momnografías.com/trabajos6/contam/contam.shtml)
- Hernández Gil, R. 2002. Nutrición Mineral de las plantas. Libro Botánica Online Facultad de Ciencias Forestales. ULA. Mérida, Venezuela.
[http:// www.forest.ula.ve/~rubenhg](http://www.forest.ula.ve/~rubenhg)
- Holding B.V, 2005, “Agua residual & purificacion del aire”, “Efecto del Cromo”. Lenntech
<http://www.lenntech.com/espanol/formulario-de-consulta.htm>
- J.I.C.A. , 1993, Estudio para el control de la contaminación del agua de los ríos. La Paz, Bolivia.
- Kastenmayer, P., 1990, Análisis de minerales y elementos traza en elementos. Documentos F.A.O.
- Kalam, A., 2004, Apuntes de Ecología. s.t. Editorial MS DAK Cuarta edición. La Paz Bolivia. 115 p.

- MDSMA (Ministerio de desarrollo sostenible y medio ambiente). 1996. REGLAMENTO A LA LEY DE MEDIO AMBIENTE; Ley 1333. segunda edición. Ediciones MINSA PRODUCCIONES. La Paz Bolivia. pp 271
- Medrano, William V., 2001, Evaluación de la calidad de aguas residuales de la planta de tratamiento de alba rancho (semapa) con fines de riego. s.e. Cochabamba, Bolivia.
- Metcalf-Eddy (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Ingeniería sanitaria tratamiento evacuación y reutilización de las aguas residuales. Volumen I. Editorial Labor; Barcelona, España, 505 p.
- Navarro, A. Y Maldonado, E., 2002, Eutrofización y descargas orgánicas. Programa de Extensión Marina. Puerto Rico. 3p.
- OIRSA (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria). 2001. Manual para el control y aseguramiento de calidad e inocuidad de frutas y hortalizas frescas. San Salvador – El Salvador. s.e. pp116
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 1989, Directrices Sanitarias sobre el Uso de Aguas Residuales en Agricultura y Acuicultura.. Serie de Informes Técnicos 77890
- Orzag, V. y Miranda, R., 2001, “Evaluación del impacto del riego con aguas del río desaguadero sobre la salinización/ sodificación y acumulación de metales pesados en suelos y vegetación” Sectores Chilahualla y El Choro (Altiplano Central - Bolivia)”. Memoria del Congreso de Suelos, 2001. Base de Datos. Agro XXI. La Paz, Bolivia.
- Osava, Mario, 2004, “Mega ciudades derrochan los recursos hídricos”, Tierramérica, ambiente y desarrollo <http://www.tierramerica.net/2004/0313/articulo.shtml>
- PALACIOS , O; ACEVES, E. 2000. Instructivo para el muestreo registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. México. 49 p. Aguas residuales
<http://altavista.com/sites/search/web?q=aguas+residuales&pg=q&kl=es&stq=20>
- PROYECTO BOL 8/007, 2005, “Contaminación orgánica e inorgánica en la cuenca del río Choqueyapu. Informe de la primera campaña de muestreo. Fase II. IBTEN / IIS / DCA. La Paz, Bolivia. s.e
- P.D.M., 2005, Plan de Desarrollo municipal. Municipio de Mecapaca. La Paz, Bolivia. 250 p.
- Rocabado, L. , 2001, Impacto del riego tradicional con aguas del río Desaguadero sobre la acumulación de metales pesados en suelos y vegetación de la Comunidad Santa Ana en la Provincia Gualberto Villarruel del Departamento de La Paz. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, U.M.S.A. La Paz. Bolivia. 115p.

- Rodriguez, J.J. y Marín F. T., 2001, "Calidad de las Aguas para Uso Agrícolas". Guía Técnica Pscosecha N° 2. San José Costa Rica.
- Soil Conservation Service. USDA. (1972) Investigación de suelos. Métodos de laboratorio y procedimientos para recoger muestras. Ed. Trillas. México.
- Suarez F. A., 2004, "Biomonitoreo del grado de toxicidad aguda del agua del río Choqueyapu. Tesis de Grado. Universidad Tecnológica Boliviana. Ingeniería Ecología y Medio Ambiente. La Paz, Bolivia. 150 p
- U.S. EPA. 2000. Total Coliform Rule – Approved Methods for Coliform Assay. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency. Available via the Internet at http://www.epa.gov/safewater/methods/tcr_tbl.html
- University of Maryland, 2002, "Mejorando la seguridad y calidad de frutas y hortalizas frescas: m.anual de formación para instructores" WTO. 2000. International Trade Statistics 2000. World Trade Organization, Geneva, Switzerland. Available via the Internet at http://www.wto.org/english/res_e/statis_e/stat_toc_e.htm
- Unidad de Aguas y Suelos, MACA Componente de Asistencia Técnica CAT PRONAR, 2005. "Políticas Públicas de Riego". Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios Viceministerio de Asuntos Agropecuarios y Riego Dirección General de Servicios Agropecuarios y Riego. La Paz, Bolivia. doc, pdf. 31 p.
- Vullo, Diana L, 2003, "Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente" Revista Química Viva Vol. 2, número 3. <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar>
- Vanegas, Mario, 2002, "Estudio de viabilidad del caso Ibagué, Colombia", Proyecto Regional USO, IDRC-CEPIS, Lima Perú. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaar/e/proyecto/viabilidad/casos/ibague.pdf>
- _____, 2005, Propiedades químicas - Efectos de los metales sobre la salud - Efectos ambientales de la contaminación por metales <http://www.lenntech.com/espanol/formulario-de-consulta.htm>
- _____, 2004, "Diagnostico de Aguas de Riego".s.e. 12 –abril-2005. <http://www.infoagro.com/buscador/buscador.ash>

ANEXOS

I. PROTOCOLOS DE MUESTREO

II. MÉTODOS ANALITICOS

III. NORMAS Y LÍMITES

IV. RESULTADOS

V. REPORTES DE LABORATORIO

REPORTES
DE
LABORATORIO
EPOCA
DE LLUVIA

REPORTES
DE
LABORATORIO
EPOCA SECA

REPORTES
DE
LABORATORIO
PROYECTO BOL 8/007

REPORTES
DE
LABORATORIO
CHAMÓN, O. (2001)

VI. PERFILES DE SUELO

VII. MAPAS

VIII. FOTOS