

Grado de contaminación del río Chili por oligoelementos metálicos y su efecto en el cultivo de *Allium cepa* L. (cebolla) en el subsector de riego - Tiabaya

Degree of pollution of the Chili river by metallic oligoelements and its effect in *Allium stump* L. (onion) crops in the irrigation sector - Tiabaya

Recibido: marzo 15 de 2018 | Revisado: abril 20 de 2018 | Aceptado: julio 15 de 2018

MATILDE YUPANQUI MENDOZA¹
JULIO CÉSAR BERNABÉ ORTIZ²

RESUMEN

Se evaluó la contaminación en el agua, suelo y cultivo de *Allium cepa* L. (cebolla) con oligoelementos metálicos Mn, Fe, Cu, Zn en la campiña de Tiabaya, en tres zonas de estudio (Marshall, Alata y Punke) y un control comparativo para el agua, suelo (San José) y cultivo de cebolla “libre de contaminantes”. Los oligoelementos metálicos en el agua, en época de caudal alto (avenidas) en orden creciente de su concentración son: Zn < Cu << Fe << Mn; en época de caudal bajo (estiaje) el orden es: Zn < Cu << Fe < Mn, aún así, no superan los límites de: Zn = 2 mg/L; Fe = 1 mg/L; Mn y Cu de 0,2 mg/L, establecidos por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el agua en las cuatro zonas en estudio en las dos épocas de avenidas y estiaje. El suelo agrícola de la zona muestreada es neutro, con una textura franco arenoso, nivel bajo en materia orgánica, CIC nivel medio, ricos en fósforo disponible, nivel medio en potasio asimilable. La concentración de oligoelementos metálicos, en el suelo en campo interno está en el siguiente orden: Fe < Cu < Zn << Mn; Marshall presenta valores altos en Cu y Zn; Alata en Zn y Punke en Mn. En los suelos paralelos al canal de riego, el orden es: Cu < Zn < Mn <<< Fe, estos valores son muy altos en las cuatro zonas referidas al control del suelo. En el cultivo *Allium cepa* L. (cebolla) en el bulbo, el orden creciente en el campo interno es: Mn » Cu < Zn << Fe, mientras que en los cultivos paralelos al canal de riego, el orden de concentración es: Cu < Mn < Zn << Fe, indicando que la cantidad de Mn presente es ligeramente alta; el Zn excede a la concentración del cultivo control en casi el doble y el Fe, en tres veces. Existe un efecto competitivo sobre los otros nutrientes reduciendo la producción de cebollas. Las concentraciones encontradas de oligoelementos metálicos en el bulbo del cultivo control es; Mn con 6 ppm; Fe con 29 ppm, el Cu con 8 ppm y Zn con 14 ppm, los cuales indican que la disponibilidad de estos oligoelementos metálicos no es uniforme en la planta.

Palabras clave: oligoelementos, paralelos al canal de riego, caudal alto y caudal bajo

ABSTRACT

The contamination in the water, soil and culture of *Allium cepa* L. (onion) with metallic trace elements Mn, Fe, Cu, Zn in the Tiabaya countryside, in three study areas (Marshall, Alata and Punke) and a comparative control for water, soil (San José) and onion cultivation “free of contaminants” was evaluated. The metallic trace elements in the water, in time of high flow (avenues) in order of increasing concentration are: Zn < Cu <<

1 Universidad Nacional de San Agustín
- Arequipa, Perú
matiyupanqui@hotmail.com
2 Universidad Nacional de San Agustín
- Arequipa, Perú

Fe <<Mn; in low flow period (low water) the order is: Zn <Cu << Fe <Mn, however, they do not exceed the limits of: Zn = 2 mg / L; Fe = 1 mg / L; Mn and Cu of 0.2 mg / L, established by the National Environmental Quality Standards for water in the four zones under study in the two seasons of avenues and low water. The agricultural soil of the sampled area is neutral, with a sandy loam texture, low level in organic matter, medium level CIC, rich in available phosphorus, medium level in assimilable potassium. The concentration of metallic trace elements in the soil in the internal field is represented in the following order: Fe <Cu <Zn << Mn; Marshall presents high values in Cu and Zn; Alata in Zn and Punke in Mn. In the soils parallel to the irrigation channel, the order is: Cu <Zn <Mn <<< Fe, these values are very high in the four zones referred to the control of the soil. In the cultivation *Allium cepa* L. (onion) in the bulb, the increasing order in the internal field is: Mn »Cu <Zn << Fe, while in the crops parallel to the irrigation channel, the order of concentration is: Cu <Mn <Zn << Fe, indicating that the amount of Mn present is slightly high; Zn exceeds the concentration of control crop by almost twice and Fe by three times. There is a competitive effect on the other nutrients by reducing the production of onions. The concentrations found of metallic trace elements in the control crop bulb is; Mn with 6 ppm; Fe with 29 ppm, Cu with 8 ppm and Zn with 14 ppm, which indicate that the availability of these metallic trace elements is not uniform in the crop.

Key words: Oligoelements, soils parallel to the irrigation channel, high flow and low flow

Introducción

La intensificación de la agricultura no considera el riesgo del agotamiento del suelo agrícola ni la importancia del manejo eficiente de la fertilidad del suelo y el equilibrio que debe existir entre la nutrición vegetal para el desarrollo y sobrevivencia de las especies (Díaz & Ronco, 2004). El distrito de Tiabaya es el principal productor de *Allium cepa* L. (cebolla) variedad roja americana. Se eligió las zonas de Marshall, Alata, Punke, San José en donde el rendimiento de la producción cada vez es menor. Son muchas las causas de esta disminución (el empleo indiscriminado de fertilizantes, plaguicidas, insecticidas, vertido de residuos sólidos, plásticos, envases de plástico e incluso escombros en los sue-

los y en el agua. Pero se cree que una de las principales causas sea el vertido directo de las aguas residuales industriales en el curso del río Chili, que van contaminando los suelos, y los cultivos que allí se desarrollan (De la Hoz & Arumi, 2009).

En nuestro medio, se conoce el mecanismo de absorción de los oligoelementos metálicos por las plantas, se sabe de las diferentes manifestaciones que se producen en ellas, las deficiencias y los efectos fitotóxicos que ocasionan el exceso de oligoelementos metálicos en las plantas. Las deficiencias se pueden curar, pero los excesos, en su mayoría, producen la muerte de la planta. Sin embargo, no se conoce cuáles son las alteraciones que producen en el organismo humano por el exceso de estos oligoelemen-

tos, cuando ingresan en conjunto por diferentes vías en un organismo vivo expuesto a ellos por un tiempo prolongado (20 a 30 años), que sucederá si la bioacumulación de estos oligoelementos metálicos en el suelo sobrepasa la capacidad de auto depuración natural de los suelos agrícolas. Todas estas situaciones fueron el motivo para llevar a cabo el presente trabajo, cuyo objetivo principal es evaluar el grado de contaminación del río Chili por oligoelementos metálicos y su efecto en el cultivo de *Allium cepa L.* (cebolla) roja americana en el subsector de riego-Tiabaya.

Los objetivos específicos son cuantificar los oligoelementos metálicos presentes en el agua del Subsector de Riego-Tiabaya en las cuatro zonas en estudio, en épocas de bajo caudal y alto caudal. Determinar la concentración de oligoelementos metálicos totales en el suelo agrícola de Tiabaya, en las cuatro zonas de control, en el campo interno (CI) y en el suelo paralelo al canal de riego (B). Finalmente, determinar la presencia de oligoelementos metálicos en el cultivo de *Allium cepa L.* (cebolla) en las cuatro zonas de control, en el campo interno (CI), en el cultivo paralelo al canal de riego (B), en los catáfilos externos y en el bulbo.

Existe una gran variedad de investigaciones sobre oligoelementos destinadas a

mejorar el rendimiento de la producción; algunas evalúan la evolución del contenido de elementos nutrientes en suelos cultivados con cebolla de bulbo en Colombia. Además, las investigaciones en cuanto a contaminación con oligoelementos existentes están dentro del grupo de elementos ecotóxicos y son referidos de modo puntual a la contaminación de aguas, o en suelos; mas no existen trabajos de investigación que evalúen, simultáneamente, agua, suelo y cultivo. Siendo este el alcance científico conocer cuáles son y en qué cantidad están presentes.Cuál es el comportamiento individual de cada uno de ellos y en conjunto. Además se pretende aportar las herramientas que contribuyan al manejo racional y conservación del suelo en la zona.

Finalmente, se pretende sensibilizar a las autoridades y a la sociedad en general, a tomar conciencia, de que el recurso agua y suelo agrícola, son los más valiosos recursos para la sostenibilidad de la alimentación humana en el futuro. Por ello, es importante tomar acciones concretas para cuidarlas y preservarlas de la contaminación.

Parte experimental

Zonas de muestreo Tal como se puede observar en la Figura 1.

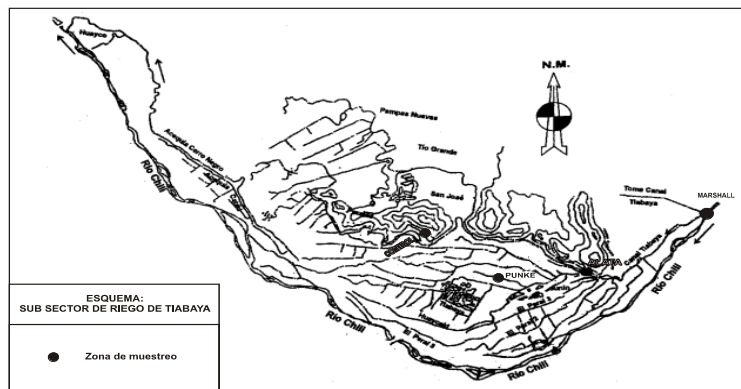


Figura 1. Mapa de la zona de muestreo del sub-sector Tiabaya.

Para los análisis de caracterización, se utilizaron los métodos Standard para el agua (AWWA), suelo (Normas de calidad del Instituto de la Ciencia del suelo) y para el cultivo (AOAC). Todos ellos contemplan técnicas instrumentales, volumétricas y colorimétricas. Los análisis de

cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} fueron hechos por el método de Absorción Atómica. Los elementos ecotóxicos, mediante Espectrofotometría de Masas con fuente de Emisión de Plasma acoplado inductivamente (ICP MS) REC Perkin Elmer. Siendo los resultados los siguientes:

Resultados y discusión

Caracterización del agua de la campaña de Tiabaya

Tabla 1

Análisis fisicoquímico en aguas del subsector de riego – Tiabaya

DETERMINACIONES	SUBSUELO	MARSHALL	ALATA	PUNKE
pH	6.60	7,00	6,40	6,70
CE (mS/cm)	820	620	410	510
CO_3^{2-} (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00
HCO_3^- (mg/L)	256,20	85,40	109,80	122,00
Cl ⁻ (mg/L)	64,61	44,73	59,64	24,85
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	100,80	9,60	47,04	72,00
NO_3^- (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca^{2+} (mg/L)	72	16	18	19
Mg^{2+} (mg/L)	39,04	14,64	17,08	15,86
K^+ (mg/L)	13,69	9,38	12,90	12,90
Na^+ (mg/L)	30,82	12,19	40,02	39,33
DT.(mg/L CaCO_3)	340,59	100,22	115,25	112,74

Tabla 2

Cálculo de SAR en aguas y clasificación según las normas de Riverside

DETERMINACIONES	SUB SUELO	MARSHALL	ALATA	PUNKE
Na^+ (meq/L)	1,34	0,53	1,74	1,71
Ca^{2+} (meq/L)	3,60	0,80	0,90	0,92
Mg^{2+} (meq/L)	3,20	1,20	1,40	1,30
CE (mS/cm)	820	620	410	510
SAR	0,73	0,53	1,62	1,62
CLASIFICACIÓN	C3S1	C2S1	C2S1	C2S1

Tabla 3

Análisis de caracterización de los suelos de la campiña de Tiabaya

DETERMINACIONES	SIN CULTIVO	MARSHALL	ALATA	PUNKE
pH	7,40	7,45	6,70	7,10
CE (mS/cm)	2,10	0,53	0,98	0,48
CaCO ₃ (%)	0,00	0,22	0,00	0,00
MO (%)	1,86	1,75	1,35	0,45
P (ppm)	21,74	22,90	22,32	20,54
K ₂ O (ppm) Disponible	477,97	475,01	565,47	707,58
K ₂ O (kg/ha)	172,1	171	203,6	254,7
CIC (cmol/kg)	13,20	9,60	14,60	8,20
Ca (cmol/kg)	8,14	4,54	9,10	3,14
Mg (cmol/kg)	2,05	2,03	2,07	2,05
K (cmol/kg) Cambiable	1,95	1,79	1,01	1,91
Na (cmol/kg)	1,06	0,82	0,95	0,76
Arena (%)	61,08	72,53	63,51	75,08
Limo (%)	24,36	14,36	21,07	14,27
Arcilla (%)	14,56	13,11	15,42	10,65
Clasificación textural	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso

Resultados de oligoelementos metálicos en aguas del subsector de riego- Tiabaya

Los principales resultados pueden observarse en la Tabla 4.

Tabla 4

Análisis comparativo de oligoelementos metálicos en aguas del subsector de riego-Tiabaya [avenidas (A) y estiaje (E)]

AGUA DE:	Mn mg/L(A)	Mn mg/L(E)	Fe mg/L(A)	Fe mg/L(E)	Cu mg/L(A)	Cu mg/L(E)	Zn mg/L(A)	Zn mg/L(E)
Subsuelo	0,065	0,096	1,18	0,05	0,004	0,009	0,009	<0,001
Marshall	0,067	0,026	1,44	0,17	0,005	0,003	0,010	<0,001
Alata	0,036	0,016	0,72	0,13	0,004	0,003	0,008	0,001
Punke	0,062	0,023	1,55	0,22	0,006	0,004	0,011	<0,001

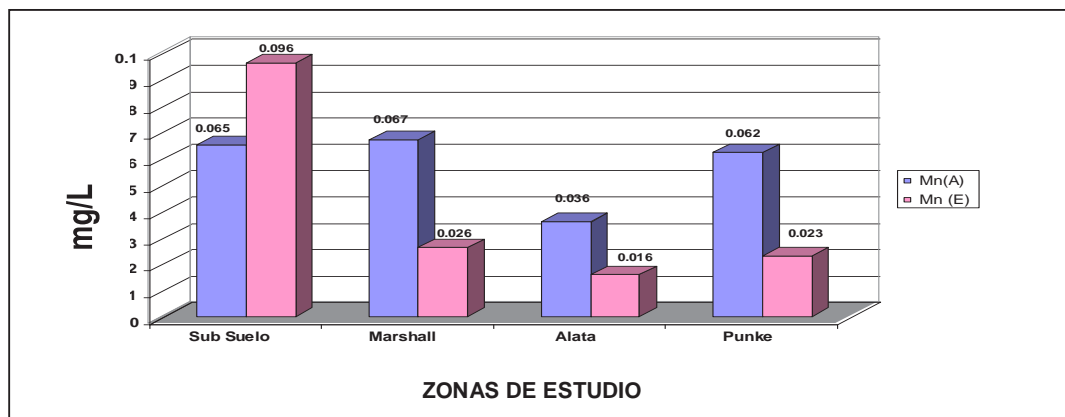


Figura 2. Análisis comparativo de manganeso en aguas del subsector de riego-Tiabaya

Se determinó por método de Espectrofotometría de Masas con fuente de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS)-REC Perkin Elmer, el cual tiene un límite de detección de ppb (partes por billón) y ppt (partes por trillón).

En las mismas muestras, simultáneamente, el equipo detecta los oligoelementos metálicos. Mn, Fe, Cu, Zn.

En las Figuras 2, 3, 4 y 5 se muestran los valores de las concentraciones medidos por el equipamiento.

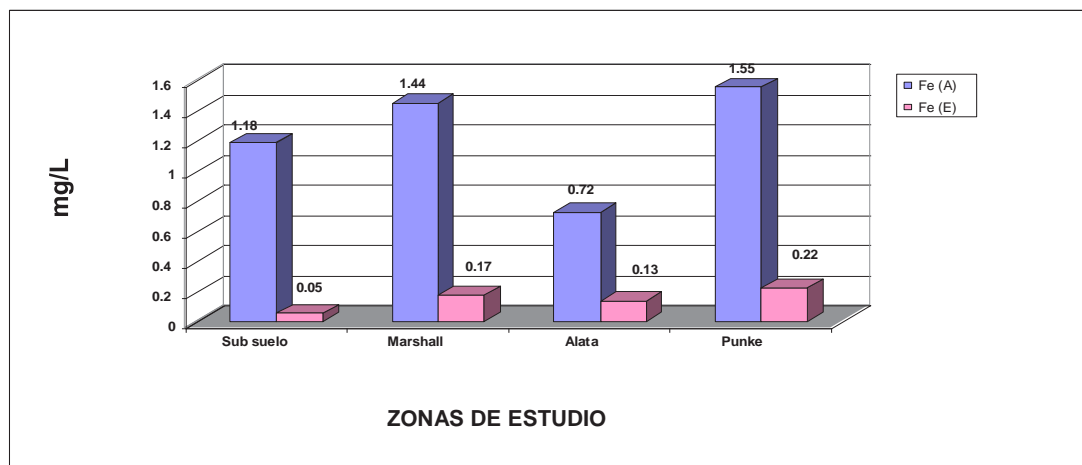


Figura 3. Análisis comparativo de hierro en aguas de riego

Se puede observar que en avenidas la concentración de hierro supera en casi siete veces los valores obtenidos en estiaje en Alata y Punke, mientras que en Mar-

shall y en el subsuelo el incremento en época de avenidas es mayor en unas tres veces, a los valores obtenidos en estiaje.

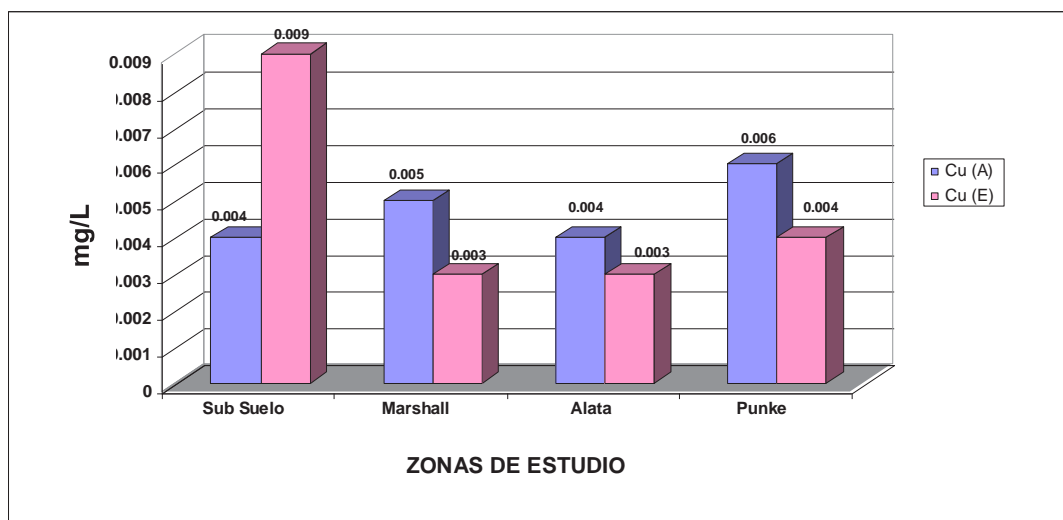


Figura 4: Análisis comparativo de cobre en aguas de riego

Fue determinado también por el método ICPMS-REC. Se puede observar que los valores obtenidos de cobre, en épocas de avenidas son mayores en un promedio de

1,5 veces más alto, respecto a la época de estiaje para las zonas de Marshall, Alata y Punke. Mientras que en el agua del subsuelo la diferencia es más del doble.

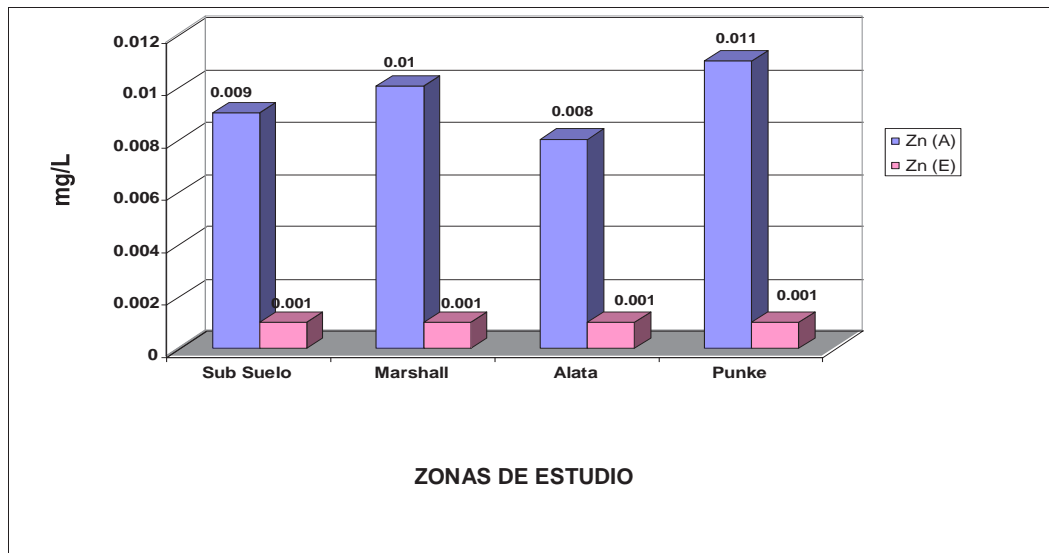


Figura 5. Análisis comparativo de zinc en aguas de riego

Por el método ICPMS-REC se puede observar que la diferencia de los valores obtenidos de zinc en épocas de avenidas es

mucho mayor que en épocas de estiaje. Esta diferencia bordea en un promedio de 10 veces en cada una de las zonas en estudio.

Análisis de oligoelementos metálicos en suelo de la campiña de Tiabaya

Los resultados de las medidas pueden observarse en la Tablas 5 y 6.

Tabla 5

Análisis comparativo de oligoelementos metálicos en suelo

SUELO	Mn (ppm) B	Mn (ppm) CI	Fe (ppm) B	Fe (ppm) CI	Cu (ppm) B	Cu (ppm) CI	Zn (ppm) B	Zn (ppm) CI
Sin Cultivo		281		13,1		30,9		46
Marshall	297,5	221	18100	20,3	87,6	44,9	120,5	67,2
Alata	354	273	18500	19,6	48,5	37,5	75	71,7
Punke	319	193	20400	15,4	42,4	24,5	75	45,7

Nota:

(B) Paralelo al canal de riego (CI) Campo Interno

Tabla 6

Análisis comparativo de oligoelementos metálicos en suelo en Kg/ha

SUELO	Mn (Kg/ha) B	Mn (Kg/ha) CI	Fe (Kg/ha) B	Fe (Kg/ha) CI	Cu (Kg/ha) B	Cu (Kg/ha) CI	Zn (Kg/ha) B	Zn (Kg/ha) CI
Sin Cultivo		1011,6		47,16		112,40		165,60
Marshall	1071,0	795,6	65160	73,08	315,36	161,64	433,8	241,92
Alata	1274,0	982,8	66600	70,56	174,60	135,00	270,0	258,12
Punke	1148,4	694,8	73440	55,44	152,64	88,20	270,0	164,52

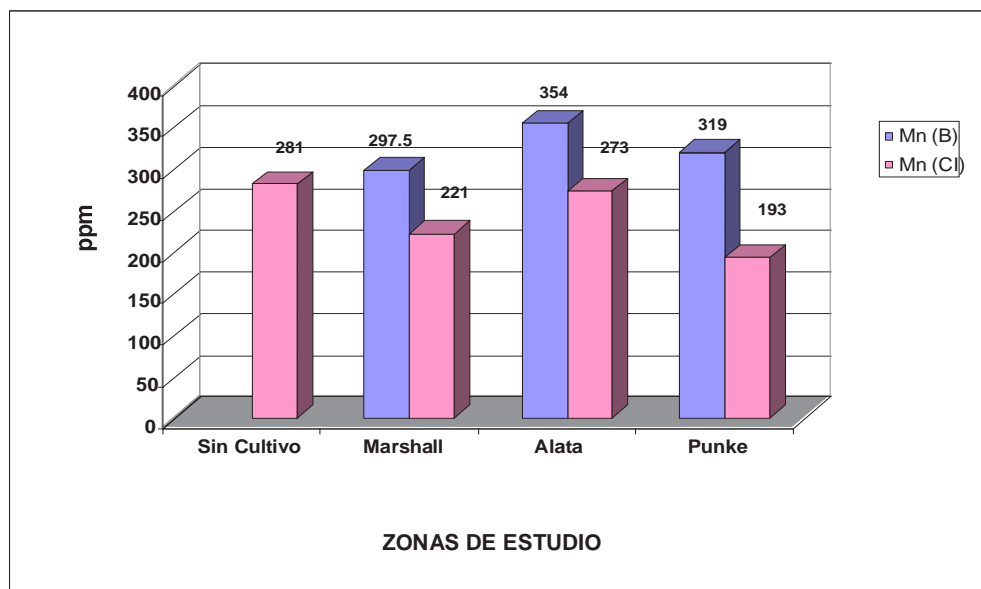


Figura 6. Análisis comparativo de manganeso en suelos de la campiña de Tiabaya

Los oligoelementos metálicos en el suelo fueron determinados también por el método de Espectrofotometría de Masas con fuente de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS)-REC Perkin Elmer. La muestra de suelo fue previamente sometida a una digestión ácida para solubilizar la muestra y poder detectar los oligoelementos metálicos presentes en el suelo. Este equipo,

simultáneamente, detecta todos los metales; en este caso detectó en las cuatro muestras preparadas de cada zona en estudio los oligoelementos metálicos Mn, Fe, Cu, Zn.

En las Figuras 6, 7, 8 y 9 se muestran los valores de las concentraciones medidos por el equipamiento en ppm en función de cada región de estudio.

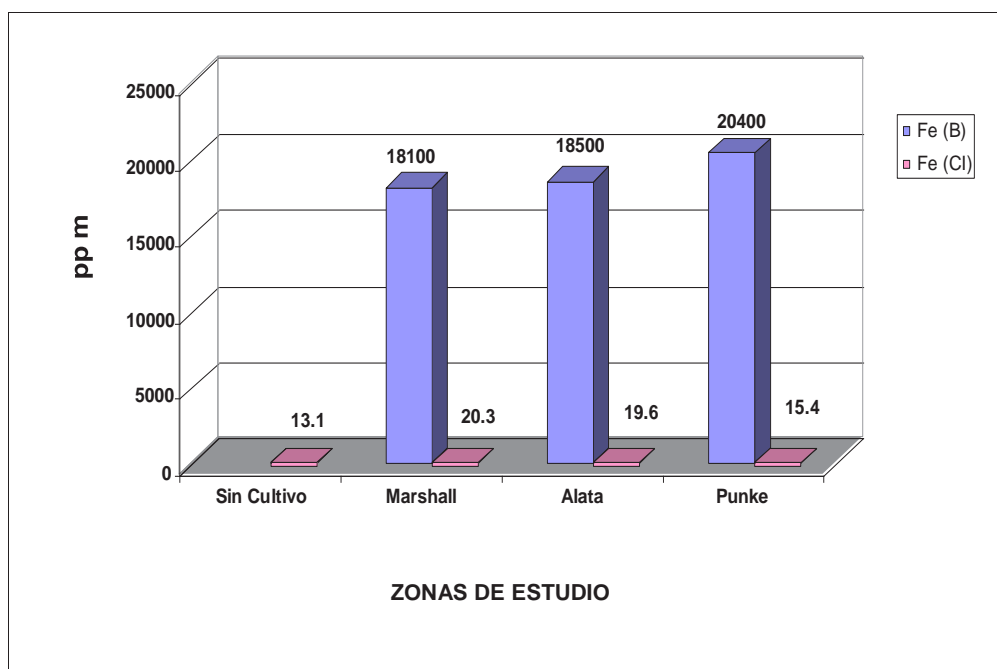


Figura 7. Análisis comparativo de hierro del suelo

Fue determinado por el método ICPMS-REC. Se puede observar que el hierro, en el suelo paralelo al canal de riego, es muy alto respecto al suelo del campo interno. Esta diferencia es altísima en

las tres zonas en estudio. Mientras que para el suelo sin cultivo el valor obtenido es el más bajo seguido de Punke, Alata y Marshall en el campo interno (CI).

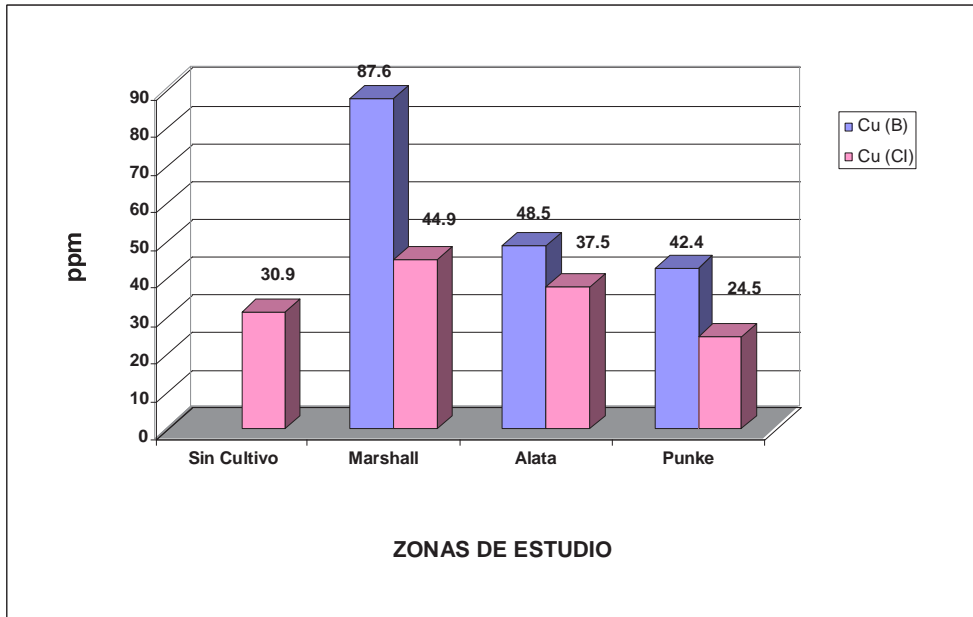


Figura 8. Análisis comparativo de cobre en suelo

Se analizó por el método de ICPMS-REC, se puede observar que en el suelo paralelo al canal de riego en Alata y Punke y suelo sin cultivo la variación es

1,5 veces mayor respecto al suelo de campo interno. Mientras que en Marshall la diferencia es el doble.

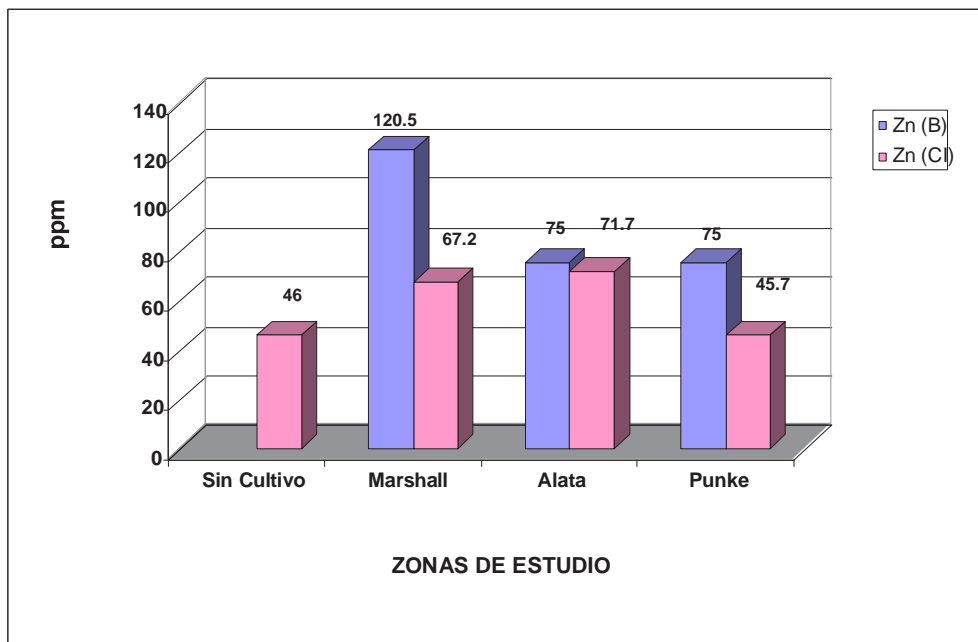


Figura 9. Análisis comparativo de zinc en suelo

Se precisó por el método de ICPMS-REC, descrito en el capítulo II. Se puede observar que los valores del Zn, en el suelo paralelo al canal de riego, no presentan una variación significativa en Alata, respecto al suelo de campo interno. En Punke, la variación es alta y en Marshall esta variación es casi el doble. El suelo sin cultivo presenta el valor más bajo de todos.

Análisis de oligoelementos metálicos en cultivos de cebolla roja americana en la campiña de Tiabaya

Los análisis de los oligoelementos metálicos fueron realizados en el laboratorio

SGS-Perú SAC. Por el método de Espectrofotometría de Masas con Fuente de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS)-REC. Perkin Elmer.

Los principales resultados pueden observarse en las Tablas 7 y 8.

Para el control de calidad de los resultados de los análisis, se hicieron siete lecturas por cada elemento que corresponde a: la muestra por triplicado, un blanco de equipo, un blanco del método, una lectura del material de referencia certificado y una lectura del patrón (Tablas 7 y 8).

Tabla 7
Análisis de oligoelementos metálicos en cultivo de cebolla roja americana

LUGAR DE MUESTREO	Mn [ppm]	Fe [ppm]	Cu [ppm]	Zn [ppm]
(C) CAMPO INTERNO				
Marshall bulbo	5	100	4,2	25,8
Marshall Catáfilos Externos	23	300	7,6	31,8
Alata bulbo	10	98	4,0	12,9
Alata Catáfilos Externos	29	300	13,1	94,0
Punke bulbo	11	100	7,5	29,3
Punke Catáfilos Externos	30	600	8,3	52,1
Control Macetas Catáfilos externos	7	62	19	15
Control Macetas Bulbo	6	29	8	14
(B) Paralelo al canal de riego				
Marshall Catáfilos Externos	41	700	29,3	133
Marshall bulbo	15	200	9,0	27,3
Alata Catáfilos Externos	67	200	15,8	43,4
Alata bulbo	8	98	5,5	23,2
Punke Catáfilos Externos	30	500	14,4	84,7
Punke Bulbo	31	98	4,0	22,5

Tabla 8

Análisis de oligoelementos metálicos en cultivo de cebolla roja americana en Kg/ha

LUGAR DE MUESTREO	Mn [Kg/ha]	Fe [Kg/ha]	Cu [Kg/ha]	Zn [Kg/ha]
(B)				
Marshall bulbo	54,0	720	104,4	98,3
Alata bulbo	28,8	352,8	19,8	83,5
Punke bulbo	111,6	352,8	14,4	81,0
CI				
Marshall bulbo	18	360	15,1	92,9
Alata bulbo	36	352,8	14,4	46,4
Punke bulbo	39,6	360	27	105,5
Control Macetas Bulbo	21,6	104,4	28,8	50,4

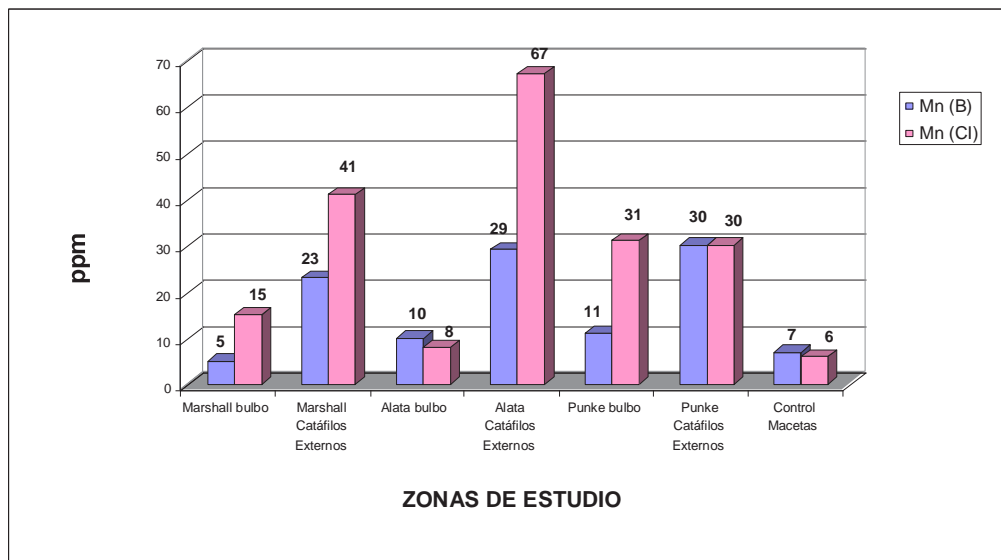


Figura 10. Concentración de manganeso en cultivo de cebolla roja en la campaña de Tiabaya

Para la detección de los oligoelementos metálicos se utilizó el método de Espectrofotometría de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS)-REC. Perkin Elmer previa digestión nítrico-perclórica de la muestra siguiendo el protocolo para oligoelementos en muestras ambientales. Se puede observar, en los catafilos externos la concentración de Mn es alta, en las zonas de Alata, Marshall y en Punke y baja casi en un 50% en el control cultivo en macetas. Esta dife-

rencia se acentúa en los cultivos tomados paralelo al canal de riego (B) en comparación con los cultivos del campo interno (CI). En el bulbo, la concentración de Mn en los cultivos paralelos al canal de riego también es alta en comparación con los cultivos en campo interno, Punke tiene el valor más alto seguido de Marshall, Alata y el control cultivo en macetas presenta las concentraciones más bajas en el bulbo y en los catafilos externos.

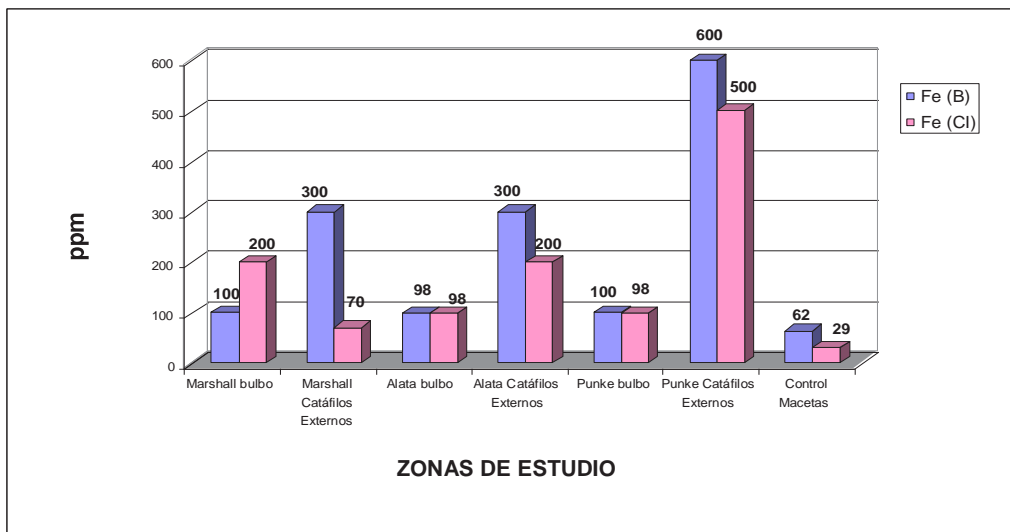


Figura 11. Concentración de hierro en cultivo de cebolla roja

Fue determinado por el método de ICPMS-REC. Se observa que los cultivos paralelos al canal de riego presentan valores más altos en los catáfilos externos en Marshall. En Punke y Alata la concentración más alta de Mn en catáfilos externos, es en los cultivos de campo interno. En el bulbo Marshall, tiene alta concentración

de Mn en los cultivos paralelos al canal de riego. En Punke y Alata, no existe diferencia significativa entre los cultivos de campo interno y los cultivos paralelos al canal de riego (Figura 11). Mientras que el control presenta los valores más bajos en el bulbo y en catáfilos externos.

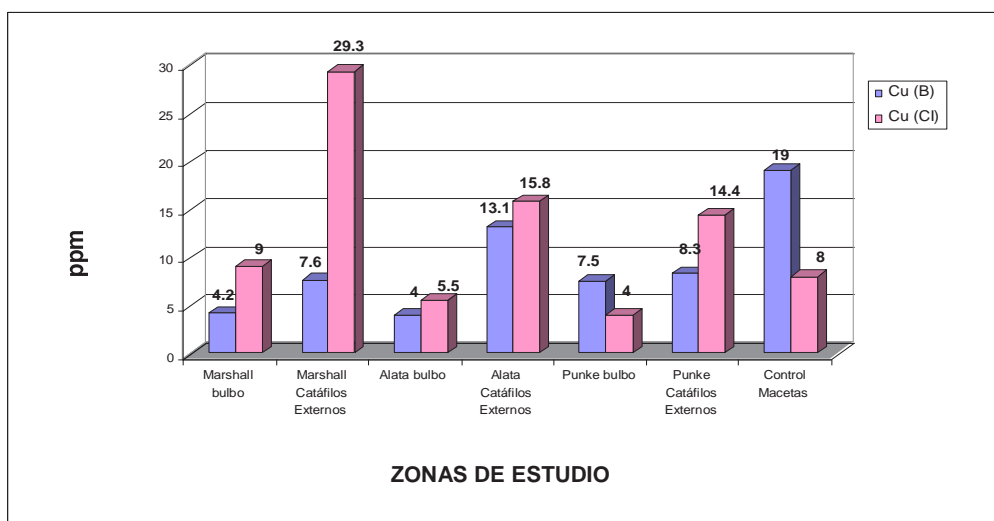


Figura 12. Concentración de cobre en cultivo de cebolla roja

Se estableció por el método de ICPMS-REC. Se observa que los cultivos paralelos al canal de riego presentan concentraciones más altas, especialmente en los catáfilos externos; Marshall primer

lugar valor más alto. Alata y Punke tercer lugar con valores casi similares, en comparación con los cultivos en campo interno (Figura 12).

En el bulbo, primer lugar Marshall en cultivos paralelos al canal de riego, segundo lugar Alata con valores más altos, mientras que en Punke los valores más altos presentan los cultivos de campo inter-

no. El control cultivo en macetas ocupa el segundo lugar en cuanto a la concentración de Cu en los catáfilos externos y el tercer lugar en Cu en el bulbo.

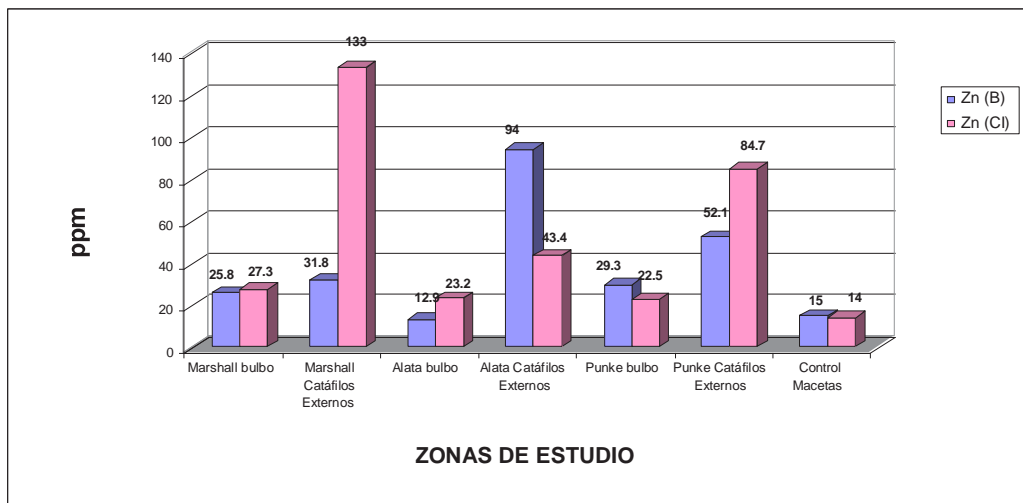


Figura 13. Concentración de zinc en cultivo de cebolla roja

Fue determinado por el método JCPMS-REC. Se observa que los cultivos paralelos al canal de riego presentan concentraciones más altas, en los catáfilos externos. En Marshall, es más alto que Punke; sin embargo, en Alata se invierte, la concentración más alta es el campo interno.

En el bulbo, en cultivos paralelos al canal de riego es alto en Marshall, seguido Alata y en Punke se invierte; la cantidad de Zn es mayor en campo interno. Mientras que el control cultivo en macetas la concentración de Zn en catáfilos externos y bulbo no es muy significativa (Figura 13).

Análisis de oligoelementos en la muestra control de *Allium cepa L.* (cebolla)

Los resultados pueden observarse en la Tabla 9.

Tabla 9

Análisis de los oligoelementos en el control comparativo (cultivo en macetas) de *Allium cepa L.* (cebolla).

Cultivo de cebolla en macetas	Oligoelementos			
	Mn Ppm	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm
Catáfilos externos	7	62	19	15
Bulbo	6	29	8	14
Raíz	60	1116	44	73
Hojas verdes	29	150	16	20
Hojas secas	20	266	14	20

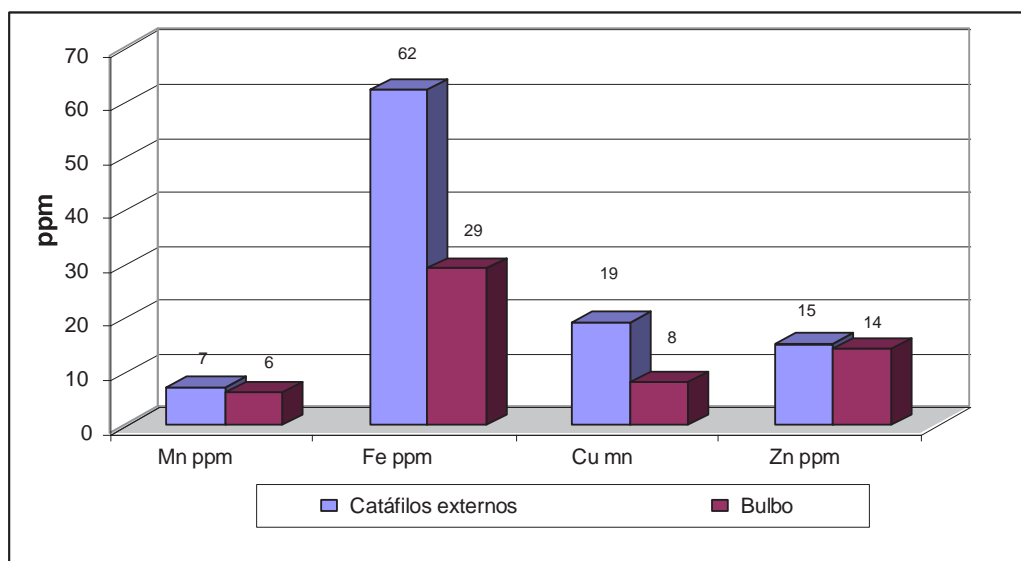


Figura 14. Concentración de los oligoelementos en cultivo en macetas de *Allium cepa L.* (cebolla roja)

Fue determinado por el método de ICP-MSREC. En la Tabla 9, se observan las variaciones de la concentración de los oligoelementos en los catáfilos externos respecto al bulbo. Para el Mn y el Zn la diferencia no es muy significativa. En cambio para el Fe y Cu, la variación es más del doble (Figura 14).

Conclusiones

La salinidad del agua del subsector de riego – Tiabaya proveniente del río Chili es de nivel medio, mientras que el agua del subsuelo presenta un nivel alto de salinidad.

Los valores de oligoelementos metálicos cuantificados en el agua no superan los límites establecidos por los Estándares Nacionales, excepto en Punke, que presenta un ligero incremento en Fe, en época de caudal alto. Las concentraciones en orden creciente son: Zn < Cu << Fe < Mn, en las dos épocas.

El suelo agrícola de las zonas en estudio es neutro, pobre en materia orgánica,

nivel medio en CIC, rico en fósforo asimilable, suelo bien aireado y de textura franco arenoso.

Los valores de concentración de oligoelementos metálicos encontrados en el suelo en (CI) campo interno están en el siguiente orden: Fe < Cu < Zn << Mn; Marshall presenta valores altos en Cu y Zn; Alata en Zn y Punke en Mn. En los suelos paralelos al canal de riego (B) el orden es: Cu < Zn < Mn <<< Fe. Estos valores son muy altos en las cuatro zonas referidas al control.

Las concentraciones de oligoelementos metálicos encontradas en el cultivo *Allium cepa L.* (cebolla) en el bulbo presentan el siguiente orden en el campo interno: Mn » Cu < Zn << Fe, mientras que en los cultivos paralelos al canal de riego el orden de concentración es: Cu < Mn < Zn << Fe, indicando que la cantidad de Mn presente es ligeramente alta. El Zn excede a la concentración de cultivo control en casi el doble y Fe excede tres veces. Por tanto, ejerce un efecto competitivo

sobre los otros nutrientes reduciendo la producción.

Las concentraciones encontradas de oligoelementos metálicos en el bulbo del cultivo control son Mn con 6 ppm; Fe con 2 ppm, el Cu con 19 ppm y Zn con 15 ppm, los cuales indican que la disponibilidad de los oligoelementos no es uniforme en la planta.

La diferencia entre las concentraciones de los oligoelementos metálicos en suelos y cultivos ubicados en el CI (campo interno) y en B (paralelo al canal de riego); de debe a que esta zona va a experimentar mayor lixiviación de los contenidos biodisponibles del suelo para cada metal; por tener mayor tiempo de contacto con el agua; por consiguiente, habrá mayor número de reacciones fotoquímicas.

Recomendaciones

Se recomienda que el Ministerio del Ambiente coordine con el Ministerio

de Agricultura a través de sus instancias respectivas para que vigilen y preserven, los recursos agua y suelo de la contaminación antropogénica mediante drásticas medidas de seguridad para el buen uso de ellos.

Se sugiere que el Ministerio de Agricultura en coordinación con los organismos pertinentes y las universidades realicen campañas de descontaminación y remediación de los suelos agrícolas, para poder preservar la campiña de Arequipa.

Se recomienda continuar con las investigaciones en la evaluación de oligoelementos metálicos en matrices suelo y cultivo para poder establecer los estándares máximos y mínimos a nivel regional y nacional.

Es necesario preparar materiales de referencia del *Allium cepa L.* (Cebolla) roja americana para poder cuantificar los elementos traza.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ing. Agrónomo Rubén Bazán del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional La Molina – Lima; a SERVILAB de la Facultad de Ciencias Naturales y al Laboratorio Regional de Análisis de Suelos y Plantas de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la UNSA.

Referencias

- Baind, C. (2001). *Química ambiental*. España: Ed. Reverté. S.A.
- De La Hoz, F. & Arumi, J. y otros (2009). *Manual de tratamiento para aguas de riego agrícola*. Universidad de Concepción. Chile. www.nfia.gob.cl
- Díaz, M. & Ronco, A. (2004). *Ensayos de Toxicidad Aguda con Allium cepa L mediante la evaluación de la in-*

hibición del crecimiento promedio de raíces de cebolla. WWW. Botanical/online.com

Garza Almanza, V. (2005). *Reúso Agrícola de las aguas residuales de Ciudad Juárez en el Valle de Juárez y su impacto en la salud pública. Centro de Estudios de Medio Ambiente.* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Ciudad de Juárez. México.

Méndez, G. T. (2000). *Estudio sobre contaminación de suelos agrícolas del Va-*

lle de Mezquital Hidalgo por A.B.S. Boro y metales pesados por el uso de aguas negras de la ciudad de México. (Tesis). UNAM COEDE-SIDMA. México. www.unam.mx

Navarro, S. & Navarro, G. (2000). *Química Agrícola, El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal.* España: Ed. Mundi-Prensa.