

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

CARRERA DE QUÍMICA INDUSTRIAL



**ANÁLISIS DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA
BAHÍA DE COHANA Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE LA LECHE
DEL GANADO BOVINO**

Tesis de grado para obtener el Título de Licenciatura

POR: JUAN PABLO ADRIÁZOLA VÁSQUEZ.

TUTOR: FRANZ VELASCO QUINTANILLA.

TUTOR EXTERNO: JAIME CHINCHEROS PANIAGUA.

LA PAZ – BOLIVIA

2015

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

Pág.

1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.3.1.IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.5.1.OBJETIVO GENERAL	11
1.5.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.6. JUSTIFICACIÓN	12
1.6.1.JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	12
1.6.2.JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	12
1.6.3.JUSTIFICACIÓN SOCIAL	12
1.7. ALCANCE.....	13
1.7.1. ALCANCE TEMÁTICO	13
1.8. HIPÓTESIS	13
1.9. ANÁLISIS DE VARIABLES.....	13

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Pág.

2.1. ORIGEN DE LOS METALES PESADOS.....	15
2.1.1.ORIGEN NATURAL	15
2.1.2.ORIGEN ANTROPOLÓGICO.....	16
2.1.2.1.ORIGEN INDUSTRIAL	18
2.1.2.2.ORIGEN URBANO	20
2.1.2.3.ORIGEN AGROPECUARIO	20
2.1.2.4.ORIGEN MINERO	21
2.2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LOS METALES PESADOS.....	24

2.2.1.AGUAS.....	24
2.2.1.1.PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AGUA.....	28
2.2.1.2.EUTROFIZACIÓN.....	30
2.2.1.3.MEDIDAS PARA EVITAR LA EUTROFIZACIÓN.....	31
2.2.1.4.ALTERACIONES FÍSICAS DEL AGUA.....	31
2.2.1.5.ALTERACIONES QUÍMICAS DEL AGUA.....	34
2.2.1.6.EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA SALUD.....	37
2.2.2.SUELOS.....	39
2.2.2.1.PROCESOS DEL SUELO INVOLUCRADOS EN LA BIODISPONIBILIDAD.....	41
2.2.2.2.BIODISPONIBILIDAD DE LOS METALES PESADOS.....	41
2.2.2.3.EFECTO DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO.....	42
2.2.3.SEDIMENTOS.....	45
2.2.4.PLANTAS.....	45
2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS METALES PESADOS.....	47
2.3.1.ARSÉNICO.....	47
2.3.1.1.CONTAMINACIÓN POR ARSÉNICO.....	47
2.3.2.CADMIO.....	49
2.3.2.1.CONTAMINACIÓN POR CADMIO.....	49
2.3.3.PLOMO.....	51
2.3.3.1.CONTAMINACIÓN POR PLOMO.....	51
2.3.4.CROMO.....	53
2.3.4.1.CONTAMINACIÓN POR CROMO.....	54
2.4. DESCRIPCIÓN DE METALES COMO NUTRIENTES.....	54
2.4.1.CALCIO.....	55
2.4.2.HIERRO.....	56
2.4.3.MAGNESIO.....	57
2.5. FUENTES DE LOS METALES PESADOS EN LOS ALIMENTOS.....	58
2.6. UTILIDAD DE LOS METALES PESADOS EN LOS ALIMENTOS.....	59
2.7. CAUSAS DE SU TOXICIDAD.....	60
2.8. DESCRIPCIÓN DE LA LECHE.....	60
2.8.1.VENTAJAS DE LA LECHE DE VACA COMO ALIMENTO.....	61
2.8.2.TIPOS DE LECHE SEGÚN EL SISTEMA DE HIGIENIZACIÓN.....	62
2.8.3.DERIVADOS LÁCTEOS.....	62
2.8.4.INOCUIDAD DE LA LECHE.....	63

2.8.5.CALIDAD DE LA LECHE	64
2.8.6.CONTAMINANTES EN LA LECHE DE VACA.....	65
2.8.7.PRESENCIA O AUSENCIA DE SUSTANCIAS EXTRAÑAS E INHIBIDORAS EN LA LECHE	66
2.8.7.1.ANTIBIÓTICOS.....	66
2.8.7.2.PESTICIDAS	67
2.8.8.METALES PESADOS EN LECHE CRUDA DE BOVINO	68
2.8.9.DESCRIPCIÓN DE LOS METALES PESADOS EN LA LECHE	69
2.8.10.EFECTO DEL pH EN LA LECHE	72

CAPÍTULO III

MERITALES Y MÉTODOS

	Pág.
3.1. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	73
3.2. TÉCNICAS DE MUESTREO	78
3.2.1. MUESTREO DE AGUAS	78
3.2.2. MUESTREO DE SUELOS.....	79
3.2.3. MUESTREO DE SEDIMENTOS	79
3.2.4. MUESTREO DE FORRAJE.....	81
3.2.5. MUESTREO DE LECHE	82
3.2.6. MUESTREO DE QUESO	82
3.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS EN CAMPO	83
3.3.1. DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS EN CAMPO.....	83
3.3.1.1.CONDUCTIVIDAD	83
3.3.1.2.pH.....	83
3.3.1.3.TEMPERATURA.....	84
3.3.1.4.COLOR.....	84
3.3.1.5.OLOR	85
3.4. DETERMINACIONES ANALÍTICAS EN LABORATORIO	85
3.4.1. DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS EN LABORATORIO.....	85
3.4.1.1.CONDUCTIVIDAD	86
3.4.1.2.pH.....	86
3.4.1.3.SÓLIDOS TOTALES EN AGUAS.....	86

3.4.1.4.NITRÓGENO TOTAL.....	87
3.4.1.5.FÓSFORO TOTAL.....	91
3.4.1.6.DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO-5.....	95
3.4.1.7.DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	97
3.4.1.8.DETERMINACIÓN DE NITRATOS	98
3.4.1.9.DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD TOTAL	99
3.4.1.10.DETERMINACIÓN DE SULFATOS	100
3.4.2. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS.....	101
3.4.2.1.DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO.....	104
3.4.2.2.DETERMINACIÓN DE CADMIO	105
3.4.2.3.DETERMINACIÓN DE PLOMO	106
3.4.2.4.DETERMINACIÓN DE CROMO TRIVALENTE	107
3.4.3. DETERMINACIÓN DE METALES COMO NUTRIENTES.....	108
3.4.3.1.DETERMINACIÓN DE CALCIO	108
3.4.3.2.DETERMINACIÓN DE MAGNESIO	109
3.4.3.3.DETERMINACIÓN DE HIERRO	110

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

	Pág.
4.1. PARÁMETROS QUÍMICOS.....	112
4.1.1. AGUAS.....	112
4.1.1.1.DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS.....	112
4.1.2. SUELOS.....	127
4.1.2.1.DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS.....	127
4.1.3. SEDIMENTOS	143
4.1.3.1.DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS.....	143
4.1.4. FORRAJE (TOTORA).....	160
4.1.4.1.DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS.....	160
4.1.5. LECHE	177
4.1.5.1.DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS.....	177
4.1.6. QUESO	183

4.1.6.1.DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS.....	183
4.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	188
4.2.1. CONDUCTIVIDAD	188
4.2.2. pH.....	192
4.2.3. TEMPERATURA.....	195
4.2.4. COLOR.....	196
4.2.5. OLOR.....	197
4.2.6. SÓLIDOS TOTALES.....	198
4.2.7. NITRÓGENO TOTAL.....	199
4.2.8. FÓSFORO TOTAL.....	205
4.2.9. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO-5).....	211
4.2.10.DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	213
4.2.11.SULFATOS (SO_4^-)	214
4.2.12.NITRATOS (NO_3^-).....	216
4.2.13.ALCALINIDAD TOTAL (CO_2 , CO_3^- y HCO_3^-).....	217

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

	Pág.
5.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	221
5.2. DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	221
5.3. RECOMENDACIONES	224

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Pág.

Tabla 2.1. Fuentes antrópicas de metales pesados	17
Tabla 2.2. Impactos ambientales potenciales de la industria.	18
Tabla 2.3. Tipo de desechos y forma de recolección	21
Tabla 2.4. Emisoras directas de contaminantes inorgánicos en agua clasificados por su actividad.	26
Tabla 2.5. Alteraciones físicas del agua.	31
Tabla 2.6. Alteraciones químicas del agua.	34
Tabla 2.7. Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos de agua.	38
Tabla 2.8. Directivas de Kelley para la clasificación de los suelos contaminados.....	43
Tabla 2.9. Vida media y tiempo de residencia de algunos metales pesados en el suelo	44
Tabla 2.10. Tabla periódica de los elementos de relevancia en el estudio de los suelos.	44

CAPÍTULO III

MERITALES Y MÉTODOS

Pág.

Tabla 3.1. Puntos Geo referenciales de la toma de muestras de aguas, suelos, sedimentos, forraje, leche y queso.	74
---	----

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Pág.

Tabla 4.1. Resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en muestras de aguas.....	112
Tabla 4.2. Resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de aguas.	114
Tabla 4.3. Resultados obtenidos en el análisis de Plomo en muestras de aguas.....	116
Tabla 4.4. Resultados obtenidos en el análisis de Cromo (Cr^{+3}) en muestras de aguas.....	118
Tabla 4.5. Resultados obtenidos en el análisis de Calcio en muestras de aguas.....	120
Tabla 4.6. Resultados obtenidos en el análisis de Hierro en muestras de aguas.	122
Tabla 4.7. Resultados obtenidos en el análisis de Magnesio en muestras de aguas.	124

Tabla 4.8. Resultados obtenidos de metales pesados en aguas para los 12 puntos de estudio...	126
Tabla 4.9. Resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en muestras de suelos.....	127
Tabla 4.10. Resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de suelos.....	129
Tabla 4.11. Resultados obtenidos en el análisis de Plomo en muestras de suelos.....	131
Tabla 4.12. Resultados obtenidos en el análisis de Cromo (Cr ⁺³) en muestras de suelos.	133
Tabla 4.13. Resultados obtenidos en el análisis de Calcio en muestras de suelos.....	135
Tabla 4.14. Resultados obtenidos en el análisis de Hierro en muestras de suelos.	137
Tabla 4.15. Resultados obtenidos en el análisis de Magnesio en muestras de suelos.....	139
Tabla 4.16. Resultados obtenidos de metales pesados en suelos para los 12 puntos de estudio.	141
Tabla 4.17. Resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en muestras de sedimentos.....	143
Tabla 4.18. Resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de sedimentos.....	145
Tabla 4.19. Resultados obtenidos en el análisis de Plomo en muestras de sedimentos.....	147
Tabla 4.20. Resultados obtenidos en el análisis de Cromo (Cr ⁺³) en muestras de sedimentos. ...	149
Tabla 4.21. Resultados obtenidos en el análisis de Calcio en muestras de sedimentos.....	151
Tabla 4.22. Resultados obtenidos en el análisis de Hierro en muestras de sedimentos.	153
Tabla 4.23. Resultados obtenidos en el análisis de Magnesio en muestras de sedimentos. ...	155
Tabla 4.24. Resultados obtenidos de metales pesados en sedimentos para los 12 puntos de estudio.....	157
Tabla 4.25. Resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en muestras de forraje.	160
Tabla 4.26. Resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de forraje.....	162
Tabla 4.27. Resultados obtenidos en el análisis de Plomo en muestras de forraje.	164
Tabla 4.28. Resultados obtenidos en el análisis de Cromo (Cr ⁺³) en muestras de forraje.....	166
Tabla 4.29. Resultados obtenidos en el análisis de Calcio en muestras de forraje.	168
Tabla 4.30. Resultados obtenidos en el análisis de Hierro en muestra de forraje.	170
Tabla 4.31. Resultados obtenidos en el análisis de Magnesio en muestras de forraje.	172
Tabla 4.32. Resultados obtenidos de metales pesados en forraje para los 12 puntos de estudio.	174
Tabla 4.33. Resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en leche.	177
Tabla 4.34. Resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de leche.....	178
Tabla 4.35. Resultados obtenidos en el análisis de Plomo en muestras de leche.....	179
Tabla 4.36. Resultados obtenidos en el análisis de Cromo (Cr ⁺³) en la leche.....	180
Tabla 4.37. Resultados obtenidos de metales pesados en leche para los 12 puntos de estudio. .	181

Tabla 4.38. Resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en muestras de queso.....	183
Tabla 4.39. Resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de queso.	184
Tabla 4.40. Resultados obtenidos en el análisis de Plomo en muestras de queso.....	185
Tabla 4.41. Resultados obtenidos en el análisis de Cromo (Cr^{+3}) en muestras de queso.....	186
Tabla 4.42. Resultados obtenidos de metales pesados en queso para los 12 puntos de estudio.	187
Tabla 4.43. Resultados obtenidos en el análisis de Conductividad eléctrica en muestras de aguas.	188
Tabla 4.44. Resultados obtenidos en el análisis de Conductividad eléctrica en muestras de suelos.....	189
Tabla 4.45. Resultados obtenidos en el análisis de Conductividad eléctrica en muestras de sedimentos.....	191
Tabla 4.46. Resultados obtenidos en el análisis de pH en muestras de aguas.	192
Tabla 4.47. Resultados obtenidos en el análisis de pH en muestras de suelos.....	193
Tabla 4.48. Resultados obtenidos en el análisis de pH en muestras de sedimentos.....	194
Tabla 4.49. Resultados obtenidos en el análisis de temperatura en muestras de aguas.	195
Tabla 4.50. Resultados obtenidos en el análisis de sólidos totales en muestras de aguas.....	198
Tabla 4.51. Resultados obtenidos en el análisis de Nitrógeno total en muestras de aguas. ...	199
Tabla 4.52. Resultados obtenidos en el análisis de Nitrógeno total en muestras de suelos....	201
Tabla 4.53. Resultados obtenidos en el análisis de Nitrógeno total en muestras de sedimentos.	202
Tabla 4.54. Resultados obtenidos en el análisis de Nitrógeno total.	204
Tabla 4.55. Resultados obtenidos en el análisis de Fósforo total en muestras de aguas.....	205
Tabla 4.56. Resultados obtenidos en el análisis de Fósforo disponible en muestras de suelos.	207
Tabla 4.57. Resultados obtenidos en el análisis de Fósforo disponible en muestras de sedimentos.....	208
Tabla 4.58. Resultados obtenidos en el análisis de Fósforo total en muestras de forraje.	210
Tabla 4.59. Resultados obtenidos en el análisis de DBO-5 en muestras de aguas.....	211
Tabla 4.60. Resultados obtenidos en el análisis de DQO en muestras de aguas.....	213
Tabla 4.61. Resultados obtenidos en el análisis de SO_4^- en muestras de aguas.....	214
Tabla 4.62. Resultados obtenidos en el análisis de NO_3^- en muestras de aguas.	216
Tabla 4.63. Resultados obtenidos en el análisis de Alcalinidad total en muestras de aguas. .	217
Tabla 4.64. Resultados obtenidos de parámetros fisicoquímicos en muestras de aguas para los 12 puntos de estudio.	219

Tabla 4.65. Resultados obtenidos de parámetros químicos en muestras de suelos, sedimentos y forraje para los 12 puntos de estudio. 220

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

Pág.

Figura 1.2. Contaminación que avanza hacia la Isla Parití y al municipio de Puerto Pérez..... 9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Pág.

Figura 2.1. Contaminación de explotaciones subterráneas 30

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Pág.

Figura 3.1. Lago Menor del Titicaca vista desde Google Earth, mostrando la densa concentración de hidrofitas (Hydrocotyle y Lemna)..... 73

Figura 3.2. Ubicación del punto de muestreo. 78

Figura 3.3. Lavado del frasco de plástico para el muestreo..... 78

Figura 3.4. Muestra colectada..... 78

Figura 3.5. Corte del suelo para el muestreo..... 79

Figura 3.6. Toma de muestra de suelos. 79

Figura 3.7. Elección del punto de muestreo. 80

Figura 3.8. Muestra de sedimento con agua. 80

Figura 3.9. Muestra de sedimento exento de agua. 80

Figura 3.10. Trasvase de sedimento a bolsas ziploc..... 80

Figura 3.11. Muestra de sedimentos colectada..... 80

Figura 3.12. Ubicación de punto de muestreo de forraje. 81

Figura 3.13. Preparación de la muestra de forraje obtenida. 81

Figura 3.14. Muestra de forraje colectada. 81

Figura 3.15. Muestras de leche colectadas 82

Figura 3.16. Medición de la conductividad en campo..... 83

Figura 3.17. Estándares de calibración para la lectura de pH. 84

Figura 3.18. Análisis de pH en campo para muestras de aguas..... 84

Figura 3.19. Color gris del agua en la Bahía de Cohana	84
Figura 3.20. Laboratorio de Calidad Ambiental de la U.M.S.A.....	85
Figura 3.21. Analistas químicos del Laboratorio de Calidad Ambiental de la U.M.S.A.	85
Figura 3.22. Adición de los volúmenes de muestra de aguas a las cápsulas pesadas.....	87
Figura 3.23. Secado de las cápsulas con muestra de agua en el equipo de baño María.	87
Figura 3.24. Preparación de muestras para el análisis de nitrógeno total.	88
Figura3.25. Adición de ácido sulfúrico en las muestras.	88
Figura 3.26. Digestión de las muestras para su posterior destilación.....	88
Figura 3.27. Destilación en el equipo Kjeldahl.	88
Figura 3.28. Muestras destiladas preparadas para su valoración con ácido sulfúrico.	89
Figura 3.29. Muestras valoradas en el punto final de viraje a lavanda con ácido sulfúrico 0,012 N.	89
Figura 3.30. Pesaje de muestras de suelos y sedimentos.....	89
Figura 3.31. Destilación en el equipo Kjeldahl.	89
Figura3.32. Valoración de las muestras de suelos y sedimentos destilados con ácido sulfúrico 0,12 N.....	90
Figura 3.33. Pesado de muestras de forraje.....	90
Figura 3.34. Digestión de las muestras de Forraje.....	90
Figura 3.35. Destilado de Nitrógeno en el equipo Kjeldahl en muestras de Forraje.	91
Figura 3.36. Valoración del destilado de nitrógeno con ácido sulfúrico 0,0992 N.	91
Figura 3.37. Preparación de las muestras de aguas.	92
Figura 3.38. Deseccación de las muestras en baño de arena.	92
Figura 3.39. Aforo a 50 ml de muestras tratadas con ácido sulfúrico y ácido nítrico concentrado.	92
Figura 3.40. Adición de la solución reveladora a cada muestra aforada para la lectura de fósforo total.	92
Figura 3.41. Preparación y revelación (color azul) de la curva de calibración de fósforo.	92
Figura 3.42. Lectura de fósforo total en el equipo de espectroscopia UV/VIS.	92
Figura 3.43. Pesado de suelos y sedimentos.....	93
Figura 3.44. Adición de solución reveladora a muestras filtradas.....	93
Figura 3.45. Muestras con solución reveladora.	93
Figura 3.46. Dilución de muestras para lectura.	93
Figura 3.47. Pesaje de muestras de forraje.....	94
Figura 3.48. Calcinación a 550°C de muestras en mufla.	94
Figura 3.49. Secado de muestras y adición de ácido clorhídrico 1:1.....	94

Figura 3.50. Muestras preparadas para adicionar la solución reveladora.	94
Figura 3.51. Muestras reveladas listas para su lectura.	95
Figura 3.52. Lectura de muestras en el equipo	95
Figura 3.53. Burbujeo con la bomba del agua de río y el agua de la pila para captar el oxígeno.	96
Figura 3.54. Frascos winkler preparados para la adición de muestra.	96
Figura 3.55. Lectura de oxígeno inicial con el oxímetro	96
Figura 3.56. Incubación de muestras a 20 °C.....	96
Figura 3.57. Digestión de muestras a 150 °C.....	97
Figura 3.58. Valoración con sulfato ferroso 0,025 N.	97
Figura 3.59. Aforo de muestras filtradas a 10 ml para la lectura de nitratos.	98
Figura 3.60. Trasvase de muestras en cubetas de cuarzo para la lectura de nitratos.	98
Figura 3.61. Lectura de nitratos en el equipo espectrofotométrico UV/VIS.	99
Figura 3.62. Adición de indicador y verificación de pH para la valoración.....	100
Figura 3.63. Valoración de la muestra con ácido clorhídrico 0,01 N.....	100
Figura 3.64. Adición de 20 ml de muestra y 20 ml de agua mili-Q.....	101
Figura 3.65. Sulfato de bario que se añade al matraz erlenmeyer.	101
Figura 3.66. Muestra de agua agitada con sulfato de Bario trasvasada en la cubeta de cuarzo para su posterior lectura.....	101
Figura 3.67. Lectura de sulfatos en muestras de aguas en el turbidímetro con el sulfato de bario formado en la cubeta de cuarzo.....	101

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Pág.

Figura 4.1. Descripción del comportamiento de Arsénico en muestras de aguas.....	113
Figura 4.2. Descripción del comportamiento de Cadmio en muestras de aguas.	115
Figura 4.3. Descripción del comportamiento de Plomo en muestras de aguas.....	117
Figura 4.4. Descripción del comportamiento de Cromo (Cr ⁺³) en muestras de aguas.....	119
Figura 4.5. Descripción del comportamiento de Calcio en aguas.	121
Figura 4.6. Descripción del comportamiento de Hierro en muestras de aguas.....	123
Figura 4.7. Descripción del comportamiento de Magnesio en aguas.	125
Figura 4.8. Descripción del comportamiento de Arsénico en muestras de suelos.....	128
Figura 4.9. Descripción del comportamiento de Cadmio en muestras de suelos.....	130

Figura 4.10. Descripción del comportamiento de Plomo en muestras de suelos.....	132
Figura 4.11. Descripción del comportamiento de Cromo (Cr^{+3}) en muestras de suelos.....	134
Figura 4.12. Descripción del comportamiento de Calcio en muestra de suelos.....	136
Figura 4.13. Descripción del comportamiento de Hierro en muestras de suelos.....	138
Figura 4.14. Descripción del comportamiento de Magnesio en muestras de suelos.....	140
Figura 4.15. Concentraciones de Arsénico que están por encima del límite permisible en suelos para los 12 puntos de estudio.....	141
Figura 4.16. Valores de concentración de Cromo trivalente presente en suelos para los 12 puntos de estudio.....	142
Figura 4.17. Descripción del comportamiento de Arsénico en muestras de sedimentos.....	144
Figura 4.18. Descripción del comportamiento de Cadmio en muestras de sedimentos.....	146
Figura 4.19. Descripción del comportamiento de Plomo en muestras de sedimentos.....	148
Figura 4.20. Descripción del comportamiento de Cromo (Cr^{+3}) en muestras de sedimentos...	150
Figura 4.21. Descripción del comportamiento de Calcio en muestras de sedimentos.....	152
Figura 4.22. Descripción del comportamiento de Hierro en muestras de sedimentos.....	154
Figura 4.23. Descripción del comportamiento de Magnesio en muestras de sedimentos.....	156
Figura 4.24. Concentraciones de Arsénico que están por encima del límite permisible en sedimentos para los 12 puntos de estudio.....	157
Figura 4.25. Concentración de Cadmio que está por encima del límite permisible en sedimentos para los 12 puntos de estudio.....	158
Figura 4.26. Valores de concentración de Cromo trivalente presente en sedimentos para los 12 puntos de estudio.....	159
Figura 4.27. Descripción del comportamiento de Arsénico en muestras de forraje.....	161
Figura 4.28. Descripción del comportamiento de Cadmio en muestras de forraje.....	163
Figura 4.29. Descripción del comportamiento de Plomo en muestras de forraje.....	165
Figura 4.30. Descripción del comportamiento de Cromo (Cr^{+3}) en muestras de forraje.....	167
Figura 4.31. Descripción del comportamiento de Calcio en muestras de forraje.....	169
Figura 4.32. Descripción del comportamiento de Hierro en muestras de forraje.....	171
Figura 4.33. Descripción del comportamiento de Magnesio en muestras de forraje.....	173
Figura 4.34. Concentraciones de Arsénico que están por encima del límite permisible en forraje para los 12 puntos de estudio.....	174
Figura 4.35. Concentración de Cadmio que está por encima del límite permisible en forraje para los 12 puntos de estudio.....	175
Tabla 4.36. Concentración de Plomo que está por encima del límite permisible en forraje para los 12 puntos de estudio.....	175

Figura 4.37. Valores de concentración de Cromo trivalente presente en forraje para los 12 puntos de estudio.	176
Figura 4.38. Descripción del comportamiento de Arsénico en muestras de leche.	177
Figura 4.39. Descripción del comportamiento de Cadmio en muestras de leche.	179
Figura 4.40. Descripción del comportamiento de Plomo en muestras de leche.	180
Figura 4.41. Descripción del comportamiento de Cromo (Cr^{+3}) en la leche.	181
Tabla 4.42. Valores de concentración de Cromo trivalente presente en muestras de leche para los 12 puntos de estudio.	182
Figura 4.43. Descripción del comportamiento de Arsénico en muestras de queso.	183
Figura 4.44. Descripción del comportamiento de Cadmio en muestras de queso.	184
Figura 4.45. Descripción del comportamiento de Plomo en muestras de queso.	185
Figura 4.46. Descripción del comportamiento de Cromo (Cr^{+3}) en muestras de queso.	186
Figura 4.47. Descripción del comportamiento de Conductividad eléctrica en muestras de aguas.	188
Figura 4.48. Descripción del comportamiento de Conductividad eléctrica en muestras de suelos.	190
Figura 4.49. Descripción del comportamiento de Conductividad eléctrica en muestras de sedimentos.	191
Figura 4.50. Descripción del comportamiento de pH en muestras de aguas.	192
Figura 4.51. Descripción del comportamiento de pH en muestras de suelos.	193
Figura 4.52. Descripción del comportamiento de pH en muestras de sedimentos.	194
Figura 4.53. Descripción del comportamiento de temperatura en muestras de aguas.	196
Figura 4.54. Color del agua observada en la toma de muestras.	196
Figura 4.55. Olor del agua percibida en la toma de muestras.	197
Figura 4.56. Descripción del comportamiento de Sólidos Totales en muestras de aguas.	198
Figura 4.57. Descripción del comportamiento de Nitrógeno total en muestras de aguas.	200
Figura 4.58. Descripción del comportamiento de Nitrógeno total en muestras de suelos.	201
Figura 4.59. Descripción del comportamiento de Nitrógeno total en muestras de sedimentos.	203
Figura 4.60. Descripción del comportamiento de Nitrógeno total en muestras de forraje.	204
Figura 4.61. Descripción del comportamiento de Fósforo total en muestras de aguas.	206
Figura 4.62. Descripción del comportamiento de Fósforo disponible en muestras de suelos.	207
Figura 4.63. Descripción del comportamiento de Fósforo disponible en muestras de sedimentos.	209
Figura 4.64. Descripción del comportamiento de Fósforo total en muestras de forraje.	210
Figura 4.65. Descripción del comportamiento de DBO-5 en muestras de aguas.	212
Figura 4.66. Descripción del comportamiento de DQO en muestras de aguas.	213

Figura 4.67. Descripción del comportamiento de SO_4^- en muestras de aguas.....	215
Figura 4.68. Descripción del comportamiento de NO_3^- en muestras de aguas.	216
Figura 4.69. Descripción del comportamiento de Alcalinidad total en muestras de aguas.	218

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Pág.

Figura 4.70. Puntos críticos en muestras de aguas, suelos, sedimentos, forraje (totora) y leche donde se obtuvieron concentraciones de metales pesados.....	223
---	-----

CAPÍTULO I



ANÁLISIS DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA BAHÍA DE COHANA Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE LA LECHE DEL GANADO BOVINO

1.1. INTRODUCCIÓN

Los suelos y las aguas contaminadas contienen todo tipo de materiales residuales, escombros estériles, entre otros, debido a la actividad minera, industrial (textil, curtiembres, mataderos) y desechos domésticos puesto que estos descargan al medio ambiente sin un previo tratamiento, esto representa un grave problema para el desarrollo de la vida de los seres humanos, animales y vegetales. Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos.

Las reservas mundiales de agua ocupan un lugar de suma importancia dentro de los recursos naturales. El agua es base de vida, el elemento fundamental de nuestro entorno y esencial en muchos procesos industriales como los que se desarrollan en las industrias de alimentación y bebidas. La existencia de aguas contaminadas es una de las causas de la erosión de suelos, enfermedades y epidemias. La presencia de muchos elementos químicos como Calcio, Magnesio, Manganeso, Hierro, Cobre, etc. Nitrógeno y fósforo son disueltos cuando están largo tiempo en contacto con agua pura causando ciertas alteraciones en las características del agua tales como: turbidez, color, olor, sabor, dureza, alcalinidad, que son características indeseables para usos industriales o para el consumo humano.¹

Las actividades mineras, filtración de aguas residuales de industrias y mataderos, además del vertido de residuos sólidos en los lechos de ríos provocan mayor contaminación de las cuencas de El Alto, situación que ocasiona serios focos

¹ www.proflow.com.mx

de infección a las familias que habitan en sus riberas y a lo largo de los afluentes, que desembocan en la bahía de Cohana del Lago Titicaca.²

El incremento de la demanda de alimentos inocuos, en especial sin sustancias químicas, ha ido en aumento a lo largo de estos años, teniendo en cuenta la importancia para la salud. Los peligros para la salud originados por los alimentos pueden derivar de las materias primas utilizadas, la manipulación y todas las fases de elaboración, transporte, almacenamiento y venta de los alimentos. Estos riesgos pueden deberse a un uso excesivo de agroquímicos, utilización de aditivos no autorizados, contaminación ambiental, y otros usos indebidos de los alimentos.³

El contenido en metales de los alimentos tanto de origen vegetal como animal depende de muchos factores, entre los que hay que destacar las condiciones medioambientales, los métodos de producción y procesado y el lugar de origen del alimento, especialmente en relación a la composición del agua y suelo. El mercurio, plomo y cadmio se incluyen entre los metales tóxicos más generalizados, también se debe considerar el arsénico ya que se encuentra entre los elementos tóxicos.⁴

1.2. ANTECEDENTES

La bahía de Cohana es compartida con Perú en una superficie de 8.300 kilómetros cuadrados, y con una población circundante que supera los dos millones de habitantes en el vecino país y Bolivia. Esta bahía sufrió los efectos de la contaminación por los residuos mineros, aguas servidas, desechos y otros, la lenteja de agua, al ser una planta acuática flotante, tienen efectos destructores, razón por la que debe ser limpiada constantemente.

La cuenca del Río Katari de El Alto, comienza en las comunidades de Alto Milluni, de donde fluye con desechos mineralógicos de cromo. Este río posteriormente se convierte en el Río Seco y Río Seke, los cuales en su trayecto reciben los desechos de residuos sólidos y aguas residuales, de algunas industrias

² <http://www.eabolivia.com/social/8218-contaminacion-de-cohana-tiene-su-mayor-fuente-en-el-alto.html>

³ <http://www.rlc.fao.org/es/inocuidad/codex/rla2904/pdf/lmpbol.pdf>

⁴ <http://www.lennotech.es/metales-pesados.html>

clandestinas, principalmente de curtiembres. Ambos ríos desembocan hacia la bahía de Cohana, en el lago menor del Titicaca. Las actividades mineras, desechos de aguas residuales por parte de curtiembres y otras industrias eliminando sus residuos sólidos sobre los ríos, son los grandes factores que vienen contaminando las cuencas de la ciudad de El Alto.

En una inspección realizada en Octubre de 2010 el coordinador nacional de Investigación y Monitoreo Ambiental de la Liga de Defensa del Medio Ambiente (LIDEMA) Marco Octavio Ribera, afirmó que pese a que hace más de diez meses, EPSAS concluyó la ampliación de su planta de tratamiento de P'uchukollo, con una inversión de casi ocho millones de dólares, la misma no cumple sus funciones ni las acciones previstas. Agregó que a mediados de 2011, en la inspección y monitoreo del canal emisor de la planta de P'uchukollo, las aguas del tubo emisor nuevamente se observaban muy oscuras y turbidas, con fuerte olor a heces fecales y sulfuros, sin cambios desde octubre del 2010, con gran cantidad de espumas por presencia de detergentes y el mismo color, turbidez y olor, que las aguas no tratadas del río Seco. El coordinador de comunicación de LIDEMA, Edwin Alvarado, indicó que la excesiva contaminación del lago Menor (Cohana) las aguas rebasaron su propio nivel e inundaron la Bahía en unos cinco kilómetros. En tanto, las comunidades que se habían dedicado a la pesca, dejaron esa actividad debido a que ya no pescaban especies con vida y más bien se dedicaron a la agricultura, lo cual les fue imposible sostener debido a la misma contaminación que afectó a sus productos, por lo que decidieron dedicarse a la ganadería con iguales resultados, pues el berro con el que se alimenta el ganado, está igualmente contaminado y ha provocado en los animales diarreas e infecciones, razón por la cual bajó el rendimiento de la carne, leche y queso.⁵

La Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), en Octubre de 2010 convocó a dirigentes campesinos de comunidades próximas a la Bahía de Cohana para analizar la contaminación ambiental de las aguas del Lago Titicaca y plantear soluciones concretas a corto, mediano y largo plazo.

⁵ <http://www.aaps.gob.bo/?p=2501>

Un estudio realizado por técnicos de la UMSA, advierte que la contaminación creciente en la Bahía de Cohana del Lago Titicaca es uno de los problemas críticos del departamento de La Paz, por efecto de la gestión ambiental deficiente de las ciudades de El Alto y Viacha. Según el estudio el problema se ha revelado que desde hace más de 10 años con indicadores ambientales negativos, toda vez que las acciones medio ambientales de las instituciones estatales, instituciones privadas y organizaciones sociales, resultaron insuficientes.⁶

En Junio de 2012 el director del Proyecto de Control de Contaminación en el eje Hidrográfico El Alto–Lago Titicaca (Prologo), Carlos Rivas, informó que a fin de evitar que el índice de contaminación continúe en aumento en la bahía de Cohana, la institución realiza trabajos de concienciación, desde hace cuatro años, en 19 comunidades e industrias cercanas a esa región. Prologo es una iniciativa de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (Usaid). El Director del proyecto mencionó que la bahía de Cohana está contaminada debido a que en sus aguas se desembocan toneladas de desechos sólidos, residuos industriales y patológicos que provienen de las ciudades de El Alto y Viacha. “Se estima que en la ciudad de El Alto hay más 1,2 millones de habitantes, que generan bastante basura que es desechada muchas veces a las aguas de los ríos Seco y Seke”. Se realizaron varias actividades para que la gente, que vive por el sector, deje de botar residuos contaminantes a los ríos Katari, Seco y Seke, que son los principales cursos que desembocan en la bahía de Cohana. Con referencia a las industrias, orientamos para que traten sus desechos líquidos. Prologo promocionó la construcción de establos, biocombustibles y la lombricultura para reforestar el lugar.

Las organizaciones sociales de Cohana y el Gobierno Municipal de Pucarani declararon a la Bahía de Cohana y comunidades aledañas como zonas en emergencia. El Ministerio de Medio Ambiente y Agua, junto al municipio y otras organizaciones, planifican estrategias para remediar esta situación. En 2010 se inauguró la planta procesadora de aguas residuales P’uchukollo en la ciudad de El

⁶ <http://www.fmbolivia.com.bo/noticia39333-analizan-contaminacion-de-la-bahia-de-cohana.html>

Alto con el objetivo de evitar la contaminación del lago Titicaca. Sin embargo, ésta se vio rebasada por la cantidad de agua contaminada.⁷

La Secretaría Departamental de Recursos Naturales, Biodiversidad y Medio Ambiente, de la Gobernación paceña, implementará en Julio de 2012 el Programa de Limpieza de la Bahía Cohana, para reducir los índices de contaminación en la cuenca, que afecta a la producción piscícola y agrícola de la provincia Los Andes. Este trabajo implica la construcción de letrinas y baños ecológicos en los municipios de Pucarani y Puerto Pérez, además del dragado del río Quellcata en el municipio de Viacha. Según el director de esta unidad *Ciro Quiape* informó que este proyecto la ejecución de este demandará Bs 621.761. Según la Secretaría Departamental de Recursos Naturales y Biodiversidad, en el municipio de Puerto Pérez, comunidad *Cascachi*, se edificarán 30 letrinas ecológicas y 33 en *Pajchari*; asimismo en el municipio de Pucarani se construirán 20 baños ecológicos.⁸

En Septiembre de 2012 el secretario de Recursos Naturales, Biodiversidad y Medio Ambiente de la Gobernación de La Paz, *Ciro Quispe*, puso énfasis en que uno de los proyectos que mitigarán la contaminación del lago será la construcción de dos plantas de tratamiento de aguas servidas en la bahía de Cohana y Katari. La mayor cantidad de desechos proviene de El Alto, Viacha y Laja, por eso estas plantas ayudarán mucho, 10 millones de dólares se invertirán en todos los proyectos que se ejecutarán en bien del lago Titicaca.⁹

La institución *PRODENA* (Asociación Pro Defensa de la Naturaleza) en Febrero de 2013 afirmó que la bahía de Cohana y los alrededores de Puno son las zonas más contaminadas del lago Titicaca. La planta de tratamiento de aguas *P'uchukollo* solamente alcanza a tratar parcialmente el 45% de las aguas del alcantarillado de El Alto, el resto va a parar directamente al río Seco, que es afluente del río Katari, que es el que desemboca en la bahía de Cohana. Si bien el Ministerio

7 http://www.laprensa.com.bo/diario/actualidad/la-paz/20120610/buscan-reducir-la-contaminacion-en-bahia-de-cohana_27087_43273.html

8 http://www.boliviaexterior.com/seccion/1071-BOLIVIA/noticia/20584-Inician-programa-de-limpieza-y-recuperación_de_Bahía_Cohana

9 <http://revistalaregion.wordpress.com/2012/09/24/obras-evitaran-contaminacion-del-lago-titicaca/>

de Medio Ambiente y Agua ha informado que mejorará la planta de P'uchukollo, esto no es suficiente, porque se necesitan varias plantas de tratamiento en El Alto y también en Viacha. En consecuencia, es necesario que se elabore un plan de mayor alcance para dar soluciones al problema de las aguas residuales y que se logre efectivamente que el lago sagrado no se continúe contaminando.¹⁰

Un estudio elaborado en 2013 por las Naciones Unidas, establece que el lago Titicaca corre un serio peligro por la contaminación que sufre a manos de las propias ciudades ribereñas del lugar. Señalan que, al año, el Titicaca recibe más de 100 toneladas de residuos por parte de los casi 2 millones de pobladores que viven en las zonas ribereñas. También mencionan la degradación sufrida a causa de las actividades mineras y del calentamiento global, lo cual ha generado incluso la disminución de diversas especies marinas del lago. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).¹¹

En Marzo de 2013 el coordinador de la Asociación Pro Defensa de la Naturaleza (Prodena), miembro de Lidema, Iván Castillo, informó que las autoridades del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, de la Gobernación de La Paz y de la Alcaldía de la ciudad de El Alto, aún no intervienen para dar una solución definitiva a la contaminación que afecta a la bahía Cohana, ubicada entre los municipios de Pucarani y Puerto Pérez, en la provincia Pacajes, del departamento de La Paz.

Las aguas contaminadas, a orillas del Lago Titicaca, están afectando a los pobladores de las comunidades de Catavi, Lacaya, Chojasivi y Cohana, del municipio de Pucarani y a Pajchiri, Quehuaya, Cunamá y Cascachi, del municipio de Puerto Pérez; y, por su avanzada extensión de más de 20 kilómetros, también está llegando hasta las Islas de Suriqui y Pariti.

Un estudio realizado por Marco Antonio Ribera de Lidema, señala que, el problema de la Contaminación de Cohana, es el río Pallina el que transporta mayor cantidad de contaminación a las bahías del Lago como ser: a Aygachi, Belén Yayes,

¹⁰ <http://www.prodena.org/portal>

¹¹ G:IONU alerta contaminación en el lago Titicaca LaRepublica_pe.mht

Cumana, Cajcachi y Pajchiri. Del mismo modo el río Katari traslada un promedio de 17 mil litros de aguas contaminadas por segundo.¹²

Figura 1.1. Eutrofización en la bahía de Cohana.



En Mayo de 2013 el director del Instituto de Ecología Lic. Rubén Marín de la Universidad Mayor de San Andrés a cargo del proyecto LimnoEco Titicaca: Estudio limnoecológico de la Bahía de Cohana (Lago Huiñaymarca – Titicaca) realizó un estudio con programas de monitoreo y estudios puntuales para determinar la calidad de aguas del Lago (ALT, IBTEN, PNUMA, Ingeniería Sanitaria de la Universidad Mayor de San Andrés, etc.). Sin embargo, la mayoría de las instituciones no contempla el efecto de la contaminación sobre las comunidades acuáticas, excepto PNUMA y el Instituto de Ecología de la UMSA.

Las investigaciones en áreas de influencia de la Bahía de Cohana fueron realizadas en tres secciones debidamente geo referenciados. Se tomaron muestra de agua, para análisis de la DBO, DQO, Cd, nitratos, nitritos y otros. En los mismos puntos de cada sección se tomaron muestras biológicas de fauna bentónica con una draga tipo Eckman, de fito y zooplancton con redes específicas.

Los primeros resultados muestran un proceso de eutrofización gradual desde las zonas de orilla hacia al interior de la Bahía. Principalmente el oxígeno disuelto en horas de la mañana se encuentra estratificado con Concentraciones entre 3 y 8 mg/l y

¹² http://www.lidema.org.bo/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=669:autoridades-aun-no-intervienen-en-la-contaminacion-de-cohana&catid=48:noticias

con diferente comportamiento en las tres secciones. El pH en el fondo del es ligeramente básico (pH 9) en relación a los valores encontrados en aguas superficiales. El fósforo en áreas de macrófitas se encuentra en Concentraciones elevadas.

Este mismo comportamiento presenta las evaluaciones del nitrógeno total (NT). Las evaluaciones biológicas aún se encuentran en fase de laboratorio. Los efectos de este proceso de eutrofización por consecuencia de la contaminación presentan un factor progresivo. El avance de las macrófitas hacia el interior del Lago ya es visible, especialmente Azollasp que va en busca de abrigo de la totora.¹³

En Junio de 2013 la Universidad Mayor de San Andrés en conjunto de I.R.D. (Institut de Recherche pour le Développement) desarrolló un taller denominado Metales, Ambiente y Salud con Enfoque Ecosistémico, en el cual se afirmó que dentro del Lago Titicaca uno de los sitios más contaminados es la Bahía Cohana, que sufre de un proceso de eutrofización causado por los desagües domésticos de la tercera ciudad más poblada de Bolivia. Este problema se complica con la contaminación de origen industrial que añade metales pesados y orgánicos diversos.

Esto se debe a la falta de herramientas adecuadas para medir el enriquecimiento de nutrientes en estados incipientes de eutrofización. Ante esto se están evaluando diferentes marcadores para medir el estado trófico de las zonas alrededor de la Bahía de Cohana y la presencia de nutrientes de origen antropogénico. Dichos marcadores incluyen la composición isotópica de nitrógeno en macrófitas, la composición de las comunidades de algas, sulfuro de hidrógeno, Concentraciones de nitrógeno, fósforo, atenuación de la penetración de la luz solar y otros.¹⁴

En Agosto de 2014 un reportaje realizado por periódico el Diario el asambleísta departamental de la provincia los Andes, Adelio Tito manifestó que la

¹³ <http://www.simposiotiticaca.org/web/13rb-contenido-proyecto-limnoeco-titicaca-estudio-limnoecol%C3%B3gico-de-la-bah%C3%ADa-de-cohana.html>

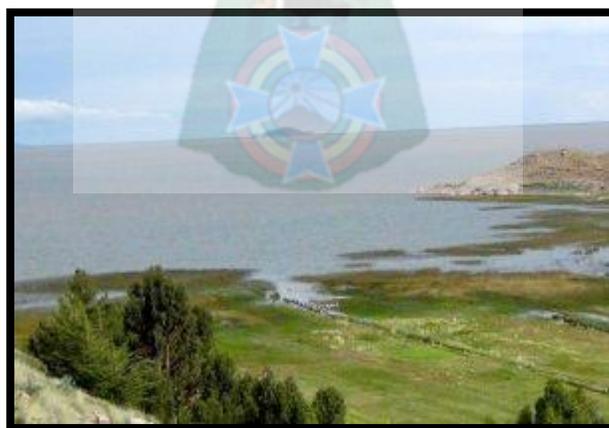
¹⁴ Taller IRD/COPEH-LAC "METALES, AMBIENTE Y SALUD CON ENFOQUE ECOSISTÉMICO" año: 2013

contaminación en el lago menor del lago Titicaca ha avanzado, hasta llegar a la isla Parití y al municipio de puerto Pérez afectando la producción y la salud de los habitantes sin que las autoridades hagan nada al respecto. Durante este primer semestre se ha agravado la situación, debido a las fuertes lluvias que han desbordado los ríos de El Alto, Viacha, Laja y Pucarani, cuyas aguas han traído consigo elementos contaminantes por el mal manejo que existe de las aguas servidas y de la basura en estos municipios.

Horacio Yujra, uno de los pobladores de la bahía de Cohana afirmó que en el lugar ya no hay agua limpia, las vertientes se secaron, no sabemos si los peces migraron o murieron, sólo desaparecieron. Los mismos totorales ya no son igual que antes y han comenzado a desaparecer.

El asambleísta Adelio Tito, informó que en la isla Parití y en varias de las regiones, donde la contaminación se va extendiendo, los pobladores no cuentan con agua potable por lo que beben el líquido contaminado y mal oliente del lago Titicaca, que a pesar de hacerlo hervir está causando enfermedades intestinales en los habitantes de la región.

Figura 1.2. Contaminación que avanza hacia la Isla Parití y al municipio de Puerto Pérez.



Adelio Tito señaló también que en los últimos tiempos han visto la merma de la producción en las islas, en las riveras y poblaciones que utilizan los ríos que

vienen de la cuenca Katari, ya que la región se caracteriza por ser una zona de producción lechera, productos que también comienzan a contaminarse.

Asimismo la contaminación ha afectado la economía del lugar, ya que no se puede pescar ni criar ganado, porque los animales mueren como consecuencia de los químicos que llegan a la zona lacustre a través de las aguas residuales que, en muchos casos, provienen de industrias mineras y curtiembres.

Pedro Quispe un comunario del lago menor del lago Titicaca expresó que en las riveras del puerto Pérez, el ganado muere, no crece, no produce leche y cerca de las islas teníamos criaderos de truchas, donde todos los peces han muerto, generando pérdidas enormes, ya no tenemos futuro.¹⁵

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La bahía de Cohana ubicada en la península del Lago Titicaca actualmente es una de las productoras de leche y quesos para la ciudad de La Paz, la Liga de Defensa del Medio Ambiente (LIDEMA) afirma que en esta bahía existe una gran contaminación en sus aguas producidas por desechos liberados por las industrias, minería, hospitales y aguas servidas provenientes de la población, dichas aguas son utilizadas para el alimento de ganados y riego de suelos.

Actualmente la bahía de Cohana no cuenta con un estudio analítico cualitativo y cuantitativo sobre la contaminación de aguas, suelos y forraje existentes en esta bahía y estos componentes de la naturaleza contaminados, son los que afectarían en la calidad de la leche y queso que se produce.

¹⁵ <http://www.eldiario.net/revistas/>

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La bahía de Cohana está identificada como una de las proveedoras de leche y queso de la ciudad de La Paz y teniendo en cuenta que no existen estudios completos sobre la contaminación en esta bahía, es imprescindible realizar un estudio sobre la contaminación que existe en sus aguas. Asimismo estas aguas contaminadas afectarían a los suelos y forraje (alimento del animal) puesto que estas son usadas para riego, pudiendo disminuir la calidad de la leche y quesos que posteriormente son distribuidos a la población de La Paz.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la contaminación del agua en la bahía de Cohana y su influencia en la calidad de la leche del ganado bovino.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las posibles fuentes de contaminación que afectarían a la calidad de la leche.
- Determinar la contaminación orgánica (nitrógeno total, fósforo total, Demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno) y de metales pesados en aguas, suelos y sedimentos.
- Determinar elementos pesados bioacumulables en el forraje.
- Determinar la inocuidad alimentaria en la leche y queso provenientes del ganado vacuno de la bahía de Cohana.
- Proponer estrategias para reducir la contaminación.

1.6. JUSTIFICACIÓN

1.6.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Se ha identificado que las principales fuentes de contaminación del Lago Titicaca son la bahía de Cohana en Bolivia y Puno en Perú, razón por la cual este proyecto realizará un análisis cualitativo y cuantitativo sobre la contaminación que existe en dicha bahía para lo cual se cuenta con instrumentos, métodos y tecnologías contando con el apoyo del Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) de la Universidad Mayor de San Andrés.

1.6.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Las aguas contaminadas son factores que afectan en la alimentación del ganado consecuentemente a la calidad de leche que se produce en la región, afectando directamente en los ingresos de los comunarios del lugar. Con el presente proyecto se busca analizar la contaminación que tienen actualmente las aguas de la bahía de Cohana, y con los resultados buscar nuevas estrategias para reducir la contaminación de las aguas mejorando así las condiciones de vida, aumentando los ingresos de los comunarios del lugar puesto que ellos viven de la cosecha, ganadería (producción de leche y queso) y pesca.

1.6.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Con este estudio, se busca tomar medidas para disminuir la contaminación existente en las aguas de la bahía mejorando así las condiciones de vida, evitando que los comunarios migren a otros lugares en busca de aguas libres de contaminación teniendo en cuenta que el agua es uno de los elementos primordiales para la vida.

1.7. ALCANCE

1.7.1. ALCANCE TEMÁTICO

El siguiente estudio se desarrolla dentro del campo ambiental con herramientas que se encuentran dentro el área de la química utilizando un análisis cualitativo y cuantitativo, realizando inicialmente el muestreo correspondiente y los análisis se realizará en laboratorio.

1.8. HIPÓTESIS

La fuerte contaminación que existe en la Bahía de Cohana afectaría en la calidad de la leche del ganado bovino, producida en esta bahía, ya que ésta es utilizada para riego de suelos y alimento para el ganado pudiendo ocasionar una alteración en la calidad de la leche.

1.9. ANÁLISIS DE VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE

La calidad de la leche y queso producida en la bahía de Cohana.

VARIABLE DEPENDIENTE

Contaminación de aguas y suelos provenientes de industrias, actividad minera, hospitales y aguas servidas.

DEFINICIÓN DE VARIABLE

Calidad de la leche y queso

La calidad de la leche y queso está definida por el conjunto de cualidades que hacen aceptables los alimentos para los consumidores según norma sanitaria.

Contaminación de aguas y suelos

La contaminación del agua está relacionada con la incorporación de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, aguas

residuales y de otros tipos. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para su uso. La contaminación del suelo es la presencia de compuestos químicos hechos por el hombre, esta contaminación se produce por filtraciones de rellenos sanitarios, acumulación directa de residuos industriales, matadero, industrias farmacéuticas u otra alteración al ambiente natural del suelo.



CAPÍTULO II



MARCO TEÓRICO

2.1. ORIGEN DE LOS METALES PESADOS

2.1.1. ORIGEN NATURAL

Se consideran como metales pesados a aquellos elementos cuya densidad es igual o superior a 5 g/cm^{-3} , cuando están en forma elemental; y en la tabla periódica son aquellos que tienen densidades mayores a la del hierro y su número atómico es superior a 20, excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos.¹⁶

La presencia en los suelos de Concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos (contaminantes) da lugar a un tipo especial de degradación que se denomina contaminación. El contaminante está siempre en Concentraciones mayores de las habituales (anomalías) y en general tiene un efecto adverso sobre algunos organismos. Por su origen puede ser geogénico o antropogénico. Los primeros pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones. Por el contrario, los antropogénicos se producen por los residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, etc. y de los residuos sólidos urbanos. Desde un punto de vista legal, los contaminantes antropogénicos son los verdaderos contaminantes.

La toxicidad de un elemento o compuesto químico es la capacidad que tiene ese material de afectar adversamente alguna función biológica. Los materiales o compuestos tóxicos no tienen origen biológico, excepto el caso particular de las toxinas que son compuestos tóxicos biogénicos. Los contaminantes pueden eliminarse de un suelo por volatilización, disolución, lixiviado o erosión, y pasar a los organismos cuando pueden ser asimilables (bioasimilables), lo que normalmente ocurre cuando se encuentran en forma más o menos soluble. En concreto, la

¹⁶ *Toral-Férreo 1996 Estudio comparativo de esquemas de especiación en muestras sólidas de interés medioambiental. Trabajo de Valladolid, España.*

posibilidad de que un elemento (contaminante o no) quede libre y pase a disolución en un suelo se llama disponibilidad.

La biodisponibilidad es el grado de libertad en el que se encuentra un elemento o compuesto de una fuente potencial para ser capturado por un organismo (ingerido o adsorbido) (Newman & Jagoe, 1994). Normalmente sólo una fracción pequeña de una sustancia potencialmente contaminante de un medio es biodisponible.

Su efecto suele ser negativo, pero también puede ser indiferente para un organismo específico. La biodisponibilidad de un elemento es función de: a) la forma química y física en la que se encuentra en el medio; y b) la capacidad de los organismos para absorberlo o ingerirlo. Estos elementos pueden ser acumulados en el organismo (bioacumulación) hasta tres, cuatro o cinco órdenes de magnitud mayores que la concentración del medio donde vive.¹⁷

2.1.2. ORIGEN ANTROPOLÓGICO

Las actividades antropogénicas tales como: minería, fundición, agricultura, eliminación de residuos o vertidos por parte de diferentes industrias son las principales responsables de la acumulación en cantidades no deseables de una gran variedad de metales como Ag, As, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Rd, Sn, Th, U y Zn. La mayor parte de ellos pueden producir efectos nocivos en seres humanos cuando alcanzan niveles que no pueden ser procesados por el organismo. Entre los daños descritos se encuentran reacciones de hipersensibilidad, efectos carcinogénicos, afectación fetal y reproductiva o daños a nivel neuromuscular y neurológico.¹⁸

El hombre moderno accidentalmente o a propósito, le ha emitido millones de toneladas de basura al medio ambiente. En el intento de blanquear su ropa las amas de casa utilizan gran cantidad de detergente generando espuma y contribuyendo de

¹⁷ *Contaminación de Suelos por Metales Pesados, Autor: Galán y Romero, Año: 2008*

¹⁸ *Beyersmann and Hartwig 2008; Smith et al. 2009; Berny et al. 2010; Guitart et al. 2010a, 2010b; Gundacker et al. 2010b; Nagajyoti et al. 2010; Soderland, et al. 2010*

esta manera con fosfatos, algunos de los efectos de la presencia de este químico es el crecimiento de algas y otros vegetales acuáticos volviendo pantanosos los lagos y agregan mal olor a los cuerpos de agua con sus desechos químicos.

El agua es el medio de vida para muchas especies, si su composición se ve alterada entonces los organismos animales y vegetales sufren cambios en su metabolismo y presenta mal olor del agua. Estas Concentraciones de materia orgánica originan un alto porcentaje de fosfatos en el agua del río o arroyo en que se descarga. Estos fosfatos ocasionan un rápido crecimiento en la población de algas. Las algas utilizan el oxígeno en gran cantidad y disminuye el oxígeno que se necesita para la respiración de los animales acuáticos causando su muerte.¹⁹

Las fuentes antrópicas (Tabla 2.1.) las podemos clasificar en puntuales (fijas) y no puntuales (móviles). Dentro de las primeras tenemos a las industrias. Dentro de las segundas están los lodos residuales, fertilizantes, cenizas y humos.²⁰

Tabla 2.1. Fuentes antrópicas de metales pesados

Fuente	Metales pesados
Lodos residuales	Cd, Pb, Cr, As, Zn, Co, Ba, Be, Ce, Cu, Mn, Co, Hg, Mo, Ni, Sr, V y Zr
Riego	Cd, Pb, Se
Fundidoras	Pb, Cd, Sb, Hg
Plaguicidas	Pb, Hg, Cu, V y Zn
Fertilizantes	Cd, Pb, Ce, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Sn, Sr, Zn
Minas	Pb, Cd, As, Hg
Abonos	Se, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, Zr y Zn
Carbonatos	Ce, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sr, Zn y Zr
Combustión de carbón	Pb, Se

Fuente: Bautista, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados (p. 35). México: Universidad Autónoma de Yucatán.

¹⁹ <http://www.monografias.com/trabajos98/contaminacion-del-lago-titicaca-y-sus-implicancias/contaminacion-del-lago-titicaca-y-sus-implicancias2.shtml>

²⁰ Bautista, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Universidad Autónoma de Yucatán, México. pp 22-35.

2.1.2.1. ORIGEN INDUSTRIAL

La actividad industrial puede contaminar el suelo por vía aérea, a través de deposición del material desechado y emisiones gaseosas, como ocurre con las fundiciones. También puede contaminarse a través de aguas residuales como ocurre con la minería, industria automotriz, curtiembre, industria de la celulosa, galvanoplastia y otras.

Las actividades industriales tienen un efecto sobre el medio muy variable, según el sector, la tecnología utilizada y el tipo de recursos empleados (Tabla 2.2). Los impactos derivados de la producción industrial se pueden dividir en dos: el uso de recursos desde su extracción hasta su desecho, y el consumo de energía. Los efectos más generalizados son la contaminación de la atmósfera, suelo y agua.²¹

Tabla 2.2. Impactos ambientales potenciales de la industria.

Sector	Aire	Agua	Suelo	Ecosistemas
Químico	Contaminación por gases y partículas.	Contaminación por compuestos orgánicos, metales pesados, PCB's, cianuro.	Deposición y vertido de residuos químicos contaminantes.	Alteración de la vegetación por contaminación atmosférica y lluvia ácida.
Papel	Emisiones SO ₂ , NO _x , CH ₄ , CO ₂ , CO, H ₂ S, Cloro, dioxinas.	Contaminación del agua de proceso con cloro y otros tóxicos.	Aumento de la erosión por eliminación de árboles.	Posible destrucción de hábitats singulares como selvas y bosques.
Cemento, Vidrio, Cerámica	Partículas, ácidos, Arsénico, Cromo, etc.	Contaminación de aguas de proceso con metales pesados y aceites.	Minería de Vertederos de subproductos.	Destrucción de hábitats en la minería Alteraciones por

²¹ *PROBLEMAS AMBIENTALES, PROBLEMAS HUMANOS* Autor: César Bordehore.

				contaminación atmosférica y del agua.
Hierro y otros metales	SO ₂ , NOX, CO, H ₂ S, Plomo, Arsénico, Cadmio, Plomo, Cobre, Níquel, Selenio, Zinc, compuestos orgánicos, PCB's, polvo y cenizas, entre otros.	Minería Uso de agua de proceso: contaminación por alquitranes y aceites, sólidos, metales, benceno, fenoles, ácidos, amoniaco, plomo, zinc, etc.	Minería Deposición en vertederos: residuos sólidos, sales, metales pesados, etc.	Problemas originados por la minería: destrucción de hábitats. Contaminación de agua y aire.
Refinerías	SO ₂ , NOX, CO, H ₂ S, CO ₂ , partículas, mercaptanos, hidrocarburos, etc.	Contaminación del agua de refrigeración Vertidos de aceites y derivados, fenoles, cromo, gases.	Minería Vertederos: residuos contaminantes.	Destrucción de hábitats por la minería. Contaminación de agua y suelo Accidentes de transporte de petróleo y derivados.
Tintes y papel	Partículas, H ₂ S, CO ₂ , compuestos de cromo.	Contaminación del agua de proceso: sólidos en suspensión, sulfatos, tintes, cromo, etc.	Vertederos de desechos, tintes y cromo.	Contaminación del agua Introducción de metales pesados en la cadena trófica.

Fuente: Datos de la OCDE "The state of the environment, 1991".

2.1.2.2. ORIGEN URBANO

Está formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales. Durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue tan sólo reducir su contenido en materias que demandan oxígeno, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno) y bacterias dañinas. En los últimos años, por el contrario, se ha hecho más hincapié en mejorar los medios de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración. Los principales métodos de tratamiento de las aguas residuales urbanas tienen tres fases: el tratamiento primario, que incluye la eliminación de arenillas, la filtración, el molido, la floculación (agregación de los sólidos) y la sedimentación; el tratamiento secundario, que implica la oxidación de la materia orgánica disuelta por medio de lodo biológicamente activo, que seguidamente es filtrado; y el tratamiento terciario, en el que se emplean métodos biológicos avanzados para la eliminación del nitrógeno, y métodos físicos y químicos, tales como la filtración granular y la adsorción por carbón activado.²²

2.1.2.3. ORIGEN AGROPECUARIO

Son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales. Los residuos animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración y las escorrentías. Las medidas de control pueden incluir el uso de depósitos de sedimentación para

²² <http://www.monografias.com/trabajos98/contaminacion-del-lago-titica-ca-y-sus-implicancias/contaminacion-del-lago-titica-ca-y-sus-implicancias2.shtml>

líquidos, el tratamiento biológico limitado en lagunas aeróbicas o anaeróbicas, y toda una serie de métodos adicionales.²³

2.1.2.4. ORIGEN MINERO

La minería y actividades asociadas generan una gran cantidad de residuos pétreos y lodos ricos en metales pesados que son depositados en la superficie del entorno minero. Así, el suelo original de la mina se degrada o se pierde irreversiblemente. El “nuevo suelo” sufre un grave impacto durante la explotación minera, es frecuentemente inestable, y está formado por materiales poco aptos para las actividades biológicas y los procesos formadores del suelo.²⁴

Es necesario clasificar los tipos de desechos y su manera de recolección para identificar los principales focos de contaminación los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2.3. Tipo de desechos y forma de recolección

TIPO DE DESECHO	FORMA DE RECOLECCIÓN
Basura doméstica.	Por el servicio de aseo público, (contratado o municipal).
Basura de pequeños establecimientos comerciales o industriales.	Por el servicio de aseo público, (contratado o municipal).
Basuras de grandes	Puede ser recogida por el servicio de aseo

²³ <http://www.monografias.com/trabajos98/contaminacion-del-lago-titicaca-y-sus-implicancias/contaminacion-del-lago-titicaca-y-sus-implicancias2.shtml>

²⁴ Becerril J.M., Barrueta O., GarcíaPlazaola J.I., Hernández A., Olano J.M., Garbisu C. (2007)

<p>establecimientos comerciales.</p>	<p>público, cobrando el costo al usuario, pero también puede hacerlo el propio establecimiento, en forma directa o a través de empresas privadas. Se recomienda usar grandes contenedores.</p>
<p>Residuos de grandes industrias, o residuos tóxicos de cualquier establecimiento.</p>	<p>Cuando no son tóxicos, pueden ser retirados por el servicio de aseo público, cobrándose el costo; por quienes lo producen o por empresas privadas. Si son tóxicos, tienen que recogerse con las debidas precauciones y disponerse de ellos en forma especial, consultando al servicio de salud, por lo que es recomendable que su manejo se entregue a la propia industria o empresas especializadas con control municipal. Una sana política es que se responsabilice de este tipo de residuos a quienes lo producen.</p>
<p>Residuos hospitalarios (los provenientes de la atención de enfermos, excluyéndose de ésta categoría los restos de comida o del trabajo de <u>oficina</u> en los hospitales, siempre que se almacenan separadamente).</p>	<p>Su recolección y disposición final requieren de precauciones especiales, exigiéndose su incineración en los mismos establecimientos, o su traslado con tal objeto mediante sistemas sanitarios adecuados, por lo que en general su manejo debe quedar a cargo de los propios hospitales o clínicas, con la <u>supervisión</u> del servicio de salud.</p> <p>No debe incluirse dentro de los servicios de recolección pública ordinaria por los graves riesgos que presenta.</p>

<p>Restos de trabajos de jardinería.</p>	<p>Las hojas, ramas pequeñas, arbustos y césped pueden no ser retirado por los servicios de aseo público, tanto si provienen de jardines privados como de parques o plazas, pero los troncos de <u>árboles</u>, ramas grandes o piedras no pueden recogerse con los camiones compactadores, pues dañaría el sistema de prensado. Para este último caso hay que destinar camiones con caja abierta, pudiendo los servicios de limpieza pública establecer servicios especiales o bien encargar de atender el retiro de estos residuos a empresas privadas. El servicio puede efectuarse en forma periódica, pero con frecuencias bajas (una vez cada 15 días, por ejemplo), o bien prestarse la atención previo pedido especial de quien lo necesita.</p>
<p>Residuos voluminosos (refrigeradores, muebles, etc.)</p>	<p>Son poco comunes en nuestro país, pero comienzan a aparecer. Se requiere un servicio especial, que puede ser periódico (una vez al mes, por ejemplo) o a pedido de los usuarios. La recolección puede hacerla la municipalidad o empresas privadas.</p>
<p>Escombros</p>	<p>Su retiro corresponde a quienes lo producen, pero a menudo las municipalidades tienen que ejecutar el trabajo pro ser botados ilegalmente, en la vía pública. Es posible contratar esta tarea, con una tarifa especial.</p>

Residuos sólidos agropecuarios.	Su recolección no corresponde a los servicios de limpieza pública.
Residuos de explotaciones mineras	No se incluyen dentro de los que recogen los servicios de limpieza pública.

Fuente: tesis "Consideraciones jurídicas sobre la contaminación ambiental por desechos sólidos" por Yira M. Casasola.

2.2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LOS METALES PESADOS

2.2.1. AGUAS

El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina al uso Industrial, el 30% al consumo agrícola y un 11% al gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, Agua para todos, agua para la vida (Marzo 2003). Se estima que en 2025, el consumo de agua destinada al uso industrial alcanzarán los 1.170 km³ / año, cifra que en 1995 se situaba en 752 km³ / año. El sector productor no sólo es el que más gasta, también es el que más contamina. Más de un 80% de los desechos peligrosos del mundo se producen en los países industrializados, mientras que en las naciones en vías de desarrollo un 70% de los residuos que se generan en las fábricas se vierten al agua sin ningún tipo de tratamiento previo, contaminando así los recursos hídricos disponibles. Estos datos aportan una idea de la importancia que tiene el tratamiento y la reutilización de aguas residuales en el sector industrial en el mundo, y más aún en países que saldan su balance de recursos hídricos con números rojos. Es el caso de España, la nación europea con mayor déficit hídrico.

El agua es tanto un derecho como una responsabilidad, y tiene valor económico, social y ambiental. Cada ciudadano, cada empresa, ha de tomar conciencia de que el agua dulce de calidad es un recurso natural, cada vez más

escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, necesario no sólo para el desarrollo económico, sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza. No cabe duda de que la industria es motor de crecimiento económico y, por lo tanto, clave del progreso social. Sin embargo, a menudo la necesidad de maximizar el proceso productivo excluye de la planificación el tercer pilar del progreso, la protección del Medio Ambiente. El adecuado tratamiento de aguas residuales industriales y su posterior reutilización para múltiples usos contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración ambiental del dominio público hidráulico y marítimo y de sus ecosistemas. Sin olvidar que el agua de calidad es una materia prima crítica para la industria.

En la directiva 91/271 CEE (Comunidad Económica Europea), del Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas, se definen los distintos tipos de aguas residuales:

- **Aguas residuales domésticas:** Aquellas procedentes de zonas de vivienda y de servicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.
- **Aguas residuales industriales:** Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.
- **Aguas urbanas:** Las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas habitualmente se recogen en un sistema colector y son enviadas mediante un emisario terrestre a una planta EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales).

Las industrias que realicen el vertido de sus aguas residuales en esta red colectora, habrán de acondicionar previamente sus aguas. Los compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran en aguas residuales procedentes de instalaciones industriales diversas. A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en Concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se

han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo.

La Tabla 2.4 muestra la clasificación, por sectores de actividad industrial, de los principales compuestos contaminantes en agua junto con el porcentaje de participación en las emisiones directas en la Unión Europea (se han omitido porcentajes inferiores al 10%).²⁵

Tabla 2.4. Emisoras directas de contaminantes inorgánicos en agua clasificados por su actividad.

Arsénico y sus compuestos	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (22%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (20%) Producción de cemento y materiales cerámicos (18%) Plantas de procesado de residuos peligrosos (10%)
Cadmio y sus compuestos	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (66%)
Cloruros	Plantas de combustión (40%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (30%) Industria Química Orgánica de base (20%)
Cromo y sus compuestos	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (87%)
Cobre y sus compuestos	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (23%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (18%) Industria Química Orgánica de base (12%) Plantas de combustión (12%)
Cianuros	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y

²⁵ Libro: *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales* Autores: Antonio Rodríguez Fernández-Alba, Pedro Letón García, Roberto Rosal García, Miriam Dorado Valiño, Susana Villar Fernández, Juana M. Sanz García
Depósito Legal: M-30985-2006 Comunidad Madrid

	sinterización de minerales metálicos (80%) Industria Química Orgánica de base (10%)
Fluoruros	Industria química inorgánica de base o fertilizantes (54%) Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (22%) Industria Química Orgánica de base (17%)
Plomo y sus compuestos	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (40%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (15%) Industria Química Orgánica de base (12%) Refinerías de petróleo y gas (12%)
Mercurio y sus compuestos	Industria química inorgánica de base o fertilizantes (31%) Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (18%) Industria Química Orgánica de base (14%)
Níquel y sus compuestos	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (44%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (13%) Industria Química Orgánica de base (13%)
Fósforo	Industria química inorgánica de base o fertilizantes (25%) Industria Química Orgánica de base (22%) Industria de la madera y papel (18%) Industrias lácteas, mataderos y otras (13%)
Zinc y sus compuestos	Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (33%) Industria Química Orgánica de base (23%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (16%) Industria de la madera y papel (11%)

Fuente: The European Pollutant Emission Register.

2.2.1.1. PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AGUA

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar en los siguientes ocho grupos:

1. **Microorganismos patógenos.** Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tífus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños.

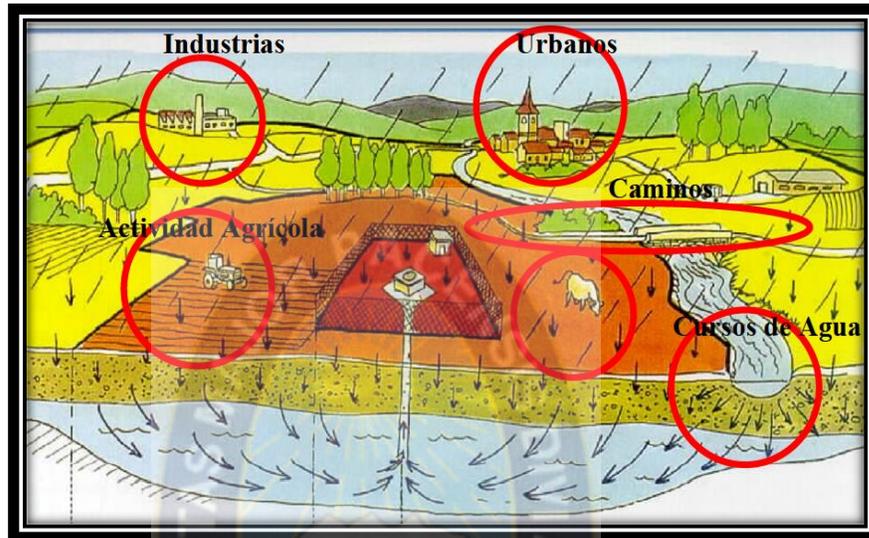
Normalmente estos microbios llegan al agua por las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La Organización Mundial para la Salud (OMS) recomienda que en el agua para beber haya 0 colonias de coliformes por 100 ml de agua.

2. **Desechos orgánicos.** Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, OD, en agua, o la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno).
3. **Sustancias químicas inorgánicas.** En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

4. **Nutrientes vegetales inorgánicos.** Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.
5. **Compuestos orgánicos.** Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.
6. **Sedimentos y materiales suspendidos.** Muchas partículas desprendidas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos.
7. **Sustancias radiactivas.** Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando Concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.
8. **Contaminación térmica.** El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses

con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

Figura 2.1. Contaminación de explotaciones subterráneas



Fuente: Universidad de Navarra. Tema: Contaminación del agua.

2.2.1.2. EUTROFIZACIÓN

La Eutrofización es el enriquecimiento excesivo del agua con determinados nutrientes (Fósforo y Nitrógeno) originando el crecimiento de algas. El problema está en que si hay exceso de nutrientes crecen en abundancia las plantas y otros organismos. Más tarde, cuando mueren, se pudren y llenan el agua de malos olores, dándoles un aspecto nauseabundo y disminuyendo drásticamente su calidad.

El proceso de putrefacción consume una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos. Los vertidos humanos aceleran el proceso de eutrofización hasta convertirlo, muchas veces, en un grave problema de contaminación. Las principales fuentes de eutrofización son: los vertidos urbanos, que llevan detergentes y desechos orgánicos los vertidos ganaderos y agrícolas, que aportan fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos.

2.2.1.3. MEDIDAS PARA EVITAR LA EUTROFIZACIÓN

Lo más eficaz para luchar contra este tipo de contaminación es disminuir la cantidad de fosfatos y nitratos en los vertidos, usando detergentes con baja proporción de fosfatos, empleando menor cantidad de detergentes, no abonando en exceso los campos, usando los desechos agrícolas y ganaderos como fertilizantes, en vez de verterlos, etc. En concreto: Tratar las aguas residuales en EDAR (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales) que incluyan tratamientos biológicos y químicos que eliminan el fósforo y el nitrógeno. Almacenar adecuadamente el estiércol que se usa en agricultura. Usar los fertilizantes más eficientemente. Cambiar las prácticas de cultivo a otras menos contaminantes. Así, por ejemplo, retrasar el arado y la preparación de los campos para el cultivo hasta la primavera y plantar los cultivos de cereal en otoño asegura tener cubiertas las tierras con vegetación durante el invierno con lo que se reduce la erosión. Reducir las emisiones de NOx y amoniaco.

2.2.1.4. ALTERACIONES FÍSICAS DEL AGUA

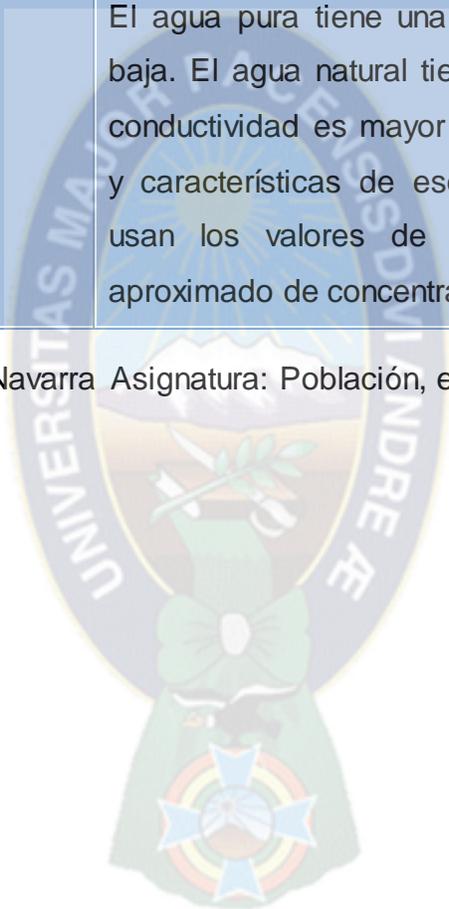
Tabla 2.5. Alteraciones físicas del agua.

Alteraciones físicas	Características y contaminación que indica
Color	El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de la salgas que contienen. Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación
Olor y sabor	Compuestos químicos presentes en el agua como

	<p>los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas Concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.</p>
Temperatura	<p>El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C.</p> <p>Las centrales nucleares, térmicas y otras industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante.</p>
Materiales en suspensión	<p>Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las sustancias suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)</p>
Radiactividad	<p>Las aguas naturales tienen unos valores de radiactividad, debidos sobre todo a isótopos del K. Algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos.</p>

Espumas	Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder auto depurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.
Conductividad	El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos.

Fuente: Universidad de Navarra Asignatura: Población, ecología y ambiente Autor: Luis Echarri Año: 2007



2.2.1.5. ALTERACIONES QUÍMICAS DEL AGUA

En la siguiente tabla se muestra las alteraciones químicas que sufren los cuerpos de agua y se detalla la causa de su alteración.

Tabla 2.6. Alteraciones químicas del agua.

Alteraciones químicas	Contaminación que indica
pH	<p>Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO₂ formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato.</p> <p>Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.</p>
Oxígeno disuelto O.D.	<p>Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.</p>
Materia orgánica biodegradable:	<p>DBO₅ es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se</p>

<p>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)</p>	<p>mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite proveer cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta.</p>
<p>Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno (DQO)</p>	<p>Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.</p>
<p>Nitrógeno total</p>	<p>Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en exceso en las aguas causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kjeldahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado.</p>
<p>Fósforo total</p>	<p>El fósforo, como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.</p>

<p>Aniones: Cloruros, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfuros, cianuros y fluoruros.</p>	<p>Indican salinidad, contaminación agrícola, actividad bacteriológica, detergentes y fertilizantes, acción bacteriológica anaerobia (aguas negras, etc.) contaminación de origen industrial en algunos casos se añaden al agua para la prevención de las caries, aunque es una práctica muy discutida.</p>
<p>Cationes: Sodio, calcio y Magnesio. Amonio y metales pesados</p>	<p>Indica salinidad están relacionados con la dureza del agua contaminación con fertilizantes y heces de efectos muy nocivos; se bioacumulan en la cadena trófica;(se estudian con detalle en el capítulo correspondiente).</p>
<p>Compuestos orgánicos</p>	<p>Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales (automóviles, lubricantes, etc.) son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos.</p> <p>Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor.</p> <p>La contaminación con pesticidas, petróleo y otros hidrocarburos se estudia con detalle en los capítulos correspondientes.</p>

Fuente: Universidad de Navarra Asignatura: Población, ecología y ambiente. Autor: Luis Echarri Año: 2007.

2.2.1.6. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA SALUD

La contaminación del agua representa un gran problema de salud Pública. Los mecanismos de transmisión de las enfermedades pueden ser:

a) Directos. Por ingestión de agua contaminada, procedente de abastecimientos de grandes poblaciones o de pozos contaminados. En otros casos es por contacto cutáneo o mucoso (con fines recreativos, contacto ocupacional o incluso terapéutico) pudiendo originar infecciones locales en piel dañada o infecciones sistémicas en personas con problemas de inmunodepresión.

b) Indirecto. El agua actúa como vehículo de infecciones, o bien puede transmitirse a través de alimentos contaminados por el riego de aguas residuales. Así mismo, los moluscos acumulan gran cantidad de polivirus y pueden ser ingeridos y afectar a los seres humanos. Finalmente, algunos insectos que se reproducen en el agua son transmisores de enfermedades como el paludismo o la fiebre amarilla.

La susceptibilidad de las personas a estas infecciones depende de una serie de factores como son: edad, higiene personal, acidez gástrica (representa una barrera para la mayoría de los patógenos), la motilidad intestinal (impide la colonización intestinal al favorecer la eliminación de los microorganismos) la inmunidad (desempeña un papel importante aumentando o disminuyendo la susceptibilidad).²⁶

El principal problema del uso de aguas residuales para riego agrícola son las elevadas cantidades de elementos contaminantes que contiene y que son depositadas en los terrenos de cultivo incrementando su concentración natural de tres a seis veces con respecto a lo que ocurre en suelos donde no se emplean aguas residuales para el riego.

El uso de efluentes provenientes de zonas urbanas para fines de riego en la agricultura, es una práctica que se incrementa cada día en particular en países

²⁶ Libro: *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente* Autor: Girbau García. *Enfermería Comunitaria I. Salud Pública*. Masón 2002

subdesarrollados, en zonas áridas y semiáridas, así como en las zonas con crecimiento demográfico constante en donde se presenta mayor explotación de recursos y generación de recursos.

La generación de aguas residuales en nuestro país, producto de actividades domésticas, industriales y agrícolas, han generado un impacto negativo sobre el medio ambiente ya que en estas aguas van incluidas sustancias tóxicas que afectan a la flora y fauna de la región donde son utilizadas. Es un importante medio de dispersión de elementos patógenos y organismos que causan la eutrofización de ríos y lagos, incorporan sustancias indeseables a las aguas subterráneas y en las actividades agropecuarias, contaminan a las plantas y animales a través de diferentes rutas en la cadena alimenticia y que por lo tanto, repercuten en el hombre.²⁷

Tabla 2.7. Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos de agua.

Parámetros	Unidad	Cancerígenos	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
pH		No	6.0 a 8.5	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0
Sólidos disueltos totales	mg/l		1000	1000	1500	1500
DBO ₅	mg/l	No	< 2	< 5	< 20	< 30
DQO	mg/l	No	< 5	< 10	< 40	< 60
Arsénico total	mg/l	Si	0.05 c. As	0.05 c. As	0.05 c. As	0.1 c. As
Calcio	mg/l	No	200	300	300	400

²⁷ Tesis: "Contaminación del agua y la importancia en la salud" por Carolina Herrera.

Cadmio	mg/l	No	0.005	0.005	0.005	0.005
Cromo Hexavalente	mg/l	Si	0.05 c. Cr total	0.05 c. Cr +6	0.05 c. Cr +6	0.05 c. Cr +6
Cromo Trivalente	mg/l	No	-	0.6 c. Cr+3	0.5 c. Cr+3	1.1 c. Cr+3
Hierro Soluble	mg/l	No	0.3 c. Fe	0.3 c. Fe	1.0 c. Fe	1.0 c. Fe
Magnesio	mg/l	No	100 c. Mg	100 c. Mg	150 c. Mg	150 c. Mg
Manganeso	mg/l	No	0.5 c. Mn	1.0 c. Mn	1.0 c. Mn	1.0 c. Mn
Nitrógeno Total	mg/l	No	5 c. N	12 c. N	12 c. N	12 c. N
Plomo	mg/l	No	0.05 c. Pb	0.05 c. Pb	0.05 c. Pb	0.1 c. Pb
Sulfatos	mg/l	No	300 c. SO ₄	400 c. SO ₄	400 c. SO ₄	400 c. SO ₄

Fuente: Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero

2.2.2. SUELOS

La naturaleza diversa de los compuestos que se originan en la actividad industrial, ganadera y la proveniente de residuos urbanos, son ecológicamente imprevisibles. De hecho, si los compuestos son solubles se incorporan a las plantas y a los animales que los ingieren. Por otro lado, si los compuestos no son solubles permanecen en el suelo retenidos sin poder ser procesados eficazmente por las redes tróficas, salvo en ciertas condiciones de acidez del terreno. Cuando la contaminación es efectiva y los mecanismos naturales de depuración quedan

saturados, se produce una paulatina desaparición de las especies animales y vegetales, y en casos extremos a la transformación de un suelo totalmente estéril.²⁸

La forma habitual de presentación de los metales en el suelo es en forma catiónica, tendiendo a hidrolizarse rápidamente en las soluciones del suelo. La acumulación de metales se centra en la interface entre una fase sólida y una fase acuosa al adsorberse éstos sobre la superficie sólida del suelo en forma de complejos neutros, catiónicos y aniónicos. Las arcillas y la materia orgánica, debido a que presentan cargas superficiales negativas, son los componentes del suelo retenedores por excelencia de metales pesados.

La química de los metales pesados en el suelo es compleja. La distribución de los metales añadidos a los suelos se puede resumir de la siguiente manera. Los metales que se incorporan en el suelo, como los que ya están, podrán distribuirse en la fase sólida o en la fase líquida del mismo. Los metales disponibles a las plantas y los susceptibles a la lixiviación están presentes siempre en la solución del suelo o sea en su fase líquida, ya sea como iones metálicos libres, como complejos y/o como quelatos.

Cuando estos son adsorbidos por las plantas o lixiviados a las capas inferiores, la solución del suelo se requiebra restituyendo nuevamente estos metales de su fase sólida. De modo que se establece un equilibrio constante entre ambas fases del suelo. Por otra parte los metales en la solución del suelo pueden sufrir procesos de precipitación (carbonatos, hidróxidos, fosfatos, etc.) y/o adsorción (arcillas, materia orgánica) es decir pasar a la fase sólida y quedan inmovilizados.

La mayor o menor incorporación de los metales a las plantas dependerá de todos estos procesos mencionados anteriormente, los cuales a su vez dependen del pH del suelo. Cuanto más bajo sea éste, mayor será la concentración de metales en solución y por consiguiente estarán más disponibles para las plantas. La movilidad de los metales pesados está determinada decisivamente por el pH del suelo, a pH

²⁸ Ruda, E. (2004). *Contaminación y salud del suelo*. Ed. UNL, Argentina. pp 9-14.

ácido aumenta la movilidad del aluminio, zinc, manganeso, cobre, hierro y cobalto y a pH básico la del molibdeno y del selenio.

En general, en los suelos con elevada capacidad de intercambio catiónico (ricos en materia orgánica y con altos contenidos de arcilla), se asegura una cierta inmovilización de los metales pesados por quedar estos retenidos por adsorción al complejo coloidal del suelo.²⁹

2.2.2.1. PROCESOS DEL SUELO INVOLUCRADOS EN LA BIODISPONIBILIDAD

La biodisponibilidad depende de la solubilidad de los metales pesados y de su capacidad de adsorción en la fracción coloidal del suelo. La interacción entre los distintos procesos como intercambio catiónico, adsorción/desorción, precipitación/disolución y formación de complejos, afecta la distribución de los metales entre la solución del suelo y la fase sólida, siendo responsables de su movilidad y biodisponibilidad.³⁰

2.2.2.2. BIODISPONIBILIDAD DE LOS METALES PESADOS

En el suelo los metales se asocian con distintas fracciones: 1. En solución, como iones de metal libre y complejos metálicos solubles, 2. Absorbidos en los sitios de intercambio de los constituyentes inorgánicos del suelo, 3. Ligados a la materia orgánica, 4. Precipitados como óxidos, hidróxidos y carbonatos, y 5. Residual en las estructuras de los minerales silicatados.³¹ Para que se produzca extracción de los metales por la planta, estos deben estar biodisponibles. Se entiende por biodisponibilidad a la fracción de metales pesados que está disponible para la absorción por las plantas. La biodisponibilidad depende de la solubilidad y movilidad de los metales en la solución del suelo. Solo los metales asociados con las fracciones 1 y 2 están realmente disponibles para que las plantas los extraigan, por

²⁹ *COMPORTAMIENTO DE LOS METALES PESADOS* Autores: Hernández Martínez y Domínguez Sánchez Año: 2012

³⁰ Rieuwerts 1998; Silveira, 2003; Basta, 2004

³¹ Rieuwerts, 1998; Lassat, 2001, Reichaman, 2002; Basta 2004

ello, la concentración total de los metales pesados en el suelo no refleja necesariamente los niveles de metales biodisponibles.³²

2.2.2.3. EFECTO DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO

El suelo no es solamente un receptor geoquímico para los contaminantes sino que también actúa como un regulador natural que controla el transporte de los elementos químicos y sustancias a la atmósfera, hidrósfera y biota. En distintas publicaciones se ha definido contaminación de suelo y polución de suelos como dos términos diferentes. Se refieren a suelo contaminado como un suelo cuyo estado químico se desvía de la composición normal pero no tiene un efecto negativo hacia los organismos. La polución ocurre cuando un elemento o una sustancia están presentes en Concentraciones mayores que la natural como un resultado de la actividad humana tiene un efecto negativo sobre el ambiente y sus componentes. Los suelos no se consideran polucionados a menos que exista una concentración umbral que empiece a afectar los procesos biológicos. El término polución ha sido poco aceptado. La Unión Europea ha propuesto la directiva de Kelley (Tabla 2.8) para clasificar los suelos según el grado de contaminación ligera, contaminación, contaminación alta y contaminación inusualmente alta.

Los metales pesados y elementos traza originados en distintas fuentes pueden llegar a la superficie del suelo. Su destino posterior dependerá de las propiedades físicas y químicas del suelo y especialmente de su especiación. Aunque la química de los contaminantes del suelo ha sido objeto de numerosos estudios, el conocimiento del comportamiento de los elementos traza contaminantes es incompleto. La persistencia de los contaminantes en el suelo es mucho más larga que en otros comportamientos de la biósfera, y la contaminación de suelos, especialmente por metales pesados, parece ser permanente.

Los metales pesados acumulados en el suelo desaparecen lentamente por lixiviación, absorción por las plantas y erosión. En la tabla 2.9 se muestra la vida estimada para algunos metales pesados mediante estudios de lixiviación realizados

³² *Elliot y Shields, 1988; Sims y Kline, 1991; Ma y Rao, 1997; Rieuwert, 1998; Lassat, 2001; Silveira, 2003*

por Limura et al. (1977), junto con el tiempo de residencia, según datos recopilados por Bowen (1979) para suelos en clima templado. En suelos de bosques lluviosos tropicales la velocidad de lixiviación de los elementos es mucho mayor y la vida media es más corta estimándose en alrededor de 40 años. Todas las estimaciones que se han realizado indican claramente que la remoción completa de los contaminantes metálicos de los suelos es casi imposible.³³

Tabla 2.8. Directivas de Kelley para la clasificación de los suelos contaminados

Parámetro	mg/kg de suelo seco				
	Valores típicos para suelos no contaminados	Contaminación ligera	Contaminación	Contaminación alta	Contaminación inusualmente alta
pH (ácido)	6 – 7	5 – 6	4 – 5	2 – 4	<2
pH (alcalino)	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 12	>12
Arsénico	0 – 30	30 – 50	50 – 100	100 – 500	>500
Cadmio	0 – 1	1 – 3	3 – 10	10 – 50	>50
Cromo	0 – 100	100 – 200	200 – 500	500 – 25.000	>2.500
Cobre (disponible)	0 – 100	100 – 200	200 – 500	500 – 25.000	>2.500
Plomo	0 – 500	500 – 1.000	1.000 – 2.000	2.000 – 1.0%	>1%
Plomo (disponible)	0 – 200	200 – 500	500 – 1.000	1.000 – 5.000	>5.000
Manganeso	0 – 500	500 – 1.000	1.000 – 2.000	2.000 – 1.0%	1.0%
Níquel (disponible)	0 – 20	20 – 50	50 – 200	200 – 1.000	>1.000
Cinc (disponible)	0 – 250	250 – 500	500 – 1.000	1.000 – 5.000	>5.000

Fuente: SAG, 2005.

Fuente: Libro Electrónico “CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MEDIO AMBIENTE”.

³³ Knox, 1999

Tabla 2.9. Vida media y tiempo de residencia de algunos metales pesados en el suelo

Elemento	1ª vida media, según estudios de lixiviación templado (Bowen, 1979). (Limura et al, 1977).	Tiempo de residencia, en clima templado (Bowen, 1979).
Ni		1000 a 3000
Cu	310 a 1500 años	1000 a 3000
Zn	70 a 510	1000 a 3000
Se		1000 a 3000
Cd	13 a 1100	75 a 380
Hg		500ª 1000
Pb	740 a 5900	1000 a 3000

Fuente: Libro Electrónico “CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MEDIO AMBIENTE”.

Tabla 2.10. Tabla periódica de los elementos de relevancia en el estudio de los suelos.

■ Elementos nutrientes para animales o plantas. Algunos también son tóxicos en cantidades excesivas.
■ Elementos tóxicos en pequeñas cantidades, sin funciones biológicas conocidas.
■ Otros elementos estudiados por sus implicaciones en el medio edáfico. El bromo se usa como trazador de solutos aniónicos como nitrato; isótopos de rubidio y estroncio se usan como trazadores de potasio y calcio en plantas y suelos; cesio y titanio se usan como trazadores de procesos geológicos, como la erosión del suelo.

1	H																			He	
2	Li	Be																			
3	Na	Mg																			
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br				Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I				Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At				Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs													
				La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
				Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw			

Metales ← → No metales

Fuente: Brady & Well, 2002.

2.2.3. SEDIMENTOS

Los sedimentos de los ríos, constituyen un verdadero reservorio o sumidero de metales pesados, toda vez que son adsorbidos y acumulados fácilmente que en el agua, donde son menos solubles, razón por la cual se consideran de gran interés científico, pues actúan como “trampas” que facilitan la obtención de información de la fuente contaminante.

La distribución de metales pesados en los sedimentos de fondo es afectada por la mineralogía y por la composición del material suspendido, por la influencia antropogénica y por los procesos in situ, tales como la deposición, la absorción y el enriquecimiento por acción de los microorganismos.

Los sedimentos pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación porque los metales pesados no se quedan permanentemente en ellos y pueden ser liberados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos. Por otra parte, la presencia de ciertos componentes de las formulaciones de los detergentes como son el tenso activo, agentes blanqueadores, estabilizantes, entre otros, participan posiblemente en la movilización de los metales pesados.³⁴

2.2.4. PLANTAS

Los contaminantes como los metales pesados tienen la capacidad de provocar cambios evolutivos debido a sus efectos dañinos en plantas. Ejemplos de metales pesados son el cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn), mercurio (Hg), arsénico (As), etc.

Los metales pesados son potencialmente contaminantes devastadores ya que contaminan el aire, agua y tierra utilizados por las plantas y los demás eslabones de las cadenas tróficas. Sus efectos en las plantas incluyen: necrosis en las puntas de

³⁴ *EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LA CIÉNAGA LA SOLEDAD Y BAHÍA DE CISPATÁ, CUENCA DEL BAJO SINÚ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA. Investigador: JOSE LUIS MARRUGO NEGRETE Doctor Ciencias Químicas. Año: 2011*

las hojas e inhibición del crecimiento de las raíces, junto con muchas fatalidades en muchas especies de plantas incapaces de tolerar estos metales.

Los sustratos contaminados suelen ser producto del trabajo minero, polución, industria de fundición y chapado, depósito de origen atmosférico de incineradores y tubos de escape de vehículos, uso de fertilizantes y pesticidas, y el depósito de lodos y barros residuales.³⁵

La contaminación por metales pesados constituye actualmente uno de los más serios problemas ambientales, provocado fundamentalmente por la actividad antrópica. Algunas especies vegetales desarrollaron mecanismos fisiológico-bioquímicos para minimizar los efectos de los metales pesados, controlando su absorción, acumulación y translocación en el tejido vegetal.

Algunas plantas pueden acumular metales pesados dentro y fuera de sus tejidos, debido a su gran habilidad para adaptarse a las propiedades químicas del medio ambiente. Siendo así, pueden ser consideradas reservorios intermediarios a través de los cuales los metales pesados se mueven desde el suelo, al agua hasta llegar hasta los animales y el hombre. Las plantas pueden ser receptores pasivos de metales pesados, aunque también pueden ejercer control sobre las translocación o reinsertión de algunos elementos a través de reacciones fisiológicas específicas. Las plantas pueden presentar diferentes mecanismos de tolerancia en respuesta al exceso de metales pesados, incluida la reducción del transporte a través de membrana, exclusión, formación de péptidos ricos en grupos tiólicos (fitoquelatinas y metalotioneínas) quelación por ácidos orgánicos y aminoácidos, y compartimentación del metal en estructuras subcelulares.³⁶

³⁵ <http://www.buenastareas.com/ensayos/Efectos-De-Metales-Pesados-En-Las/26935265.html>

³⁶ MECANISMOS DE HIPERACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN PLANTAS Autores: Fabiana Soares dos Santos¹, Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho², Sael SánchezElías³, Ramiro Valdés Carmenate⁴, Irene Blabín Arias⁴. Año:

2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS METALES PESADOS

2.3.1. ARSÉNICO

El Arsénico es el mineral más conocido popularmente como tóxico. Su forma inorgánica es la más tóxica. En diversos países existen límites fijados de toxicidad en agua, así la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (EPA) fija en 50 $\mu\text{g/l}$ el contenido del agua potable, pues está probado el riesgo de cáncer en poblaciones de Chile, Argentina, y Taiwan donde los niveles en agua son elevados.³⁷

2.3.1.1. CONTAMINACIÓN POR ARSÉNICO

El arsénico es un elemento natural ampliamente distribuido en la corteza terrestre. En el ambiente, el arsénico se combina con oxígeno, cloro y azufre para formar compuestos inorgánicos de arsénico. El arsénico en animales y en plantas se combina con carbono e hidrógeno para formar compuestos orgánicos de arsénico. Los compuestos inorgánicos de arsénico se usan principalmente para preservar madera. El arsenato cromado de cobre (CCA) se usa para producir madera “presurizada.” El uso residencial del CCA se discontinuó en los Estados Unidos, pero aún tiene usos industriales. Los compuestos orgánicos de arsénico se usan como plaguicidas, principalmente en cosechas de algodón y huertos frutales.

El arsénico ocurre naturalmente en el suelo y en minerales y, por lo tanto, puede entrar al aire, al agua y a suelos en otras áreas en polvo que levanta el viento y puede entrar al agua en efluente de lluvia o en agua que se filtra a través del suelo. El arsénico no puede ser destruido en el ambiente. Solamente puede cambiar de forma, la lluvia y la nieve remueven las partículas de polvo con arsénico del aire. Muchos compuestos comunes de arsénico pueden disolverse en agua. La mayor parte del arsénico en el agua terminará eventualmente en el suelo o el sedimento. Los peces y mariscos pueden acumular arsénico; la mayor parte de este arsénico

³⁷ NRC (1999) *Arsenic in drinking water. Subcommittee on arsenic in drinking water. National Academic of Sciences. National Academic Press. Washington DC*

está en una forma orgánica llamada arsenobetaína, que es mucho menos peligrosa.³⁸

En alimentación animal la principal fuente de arsénico era en el pasado el ácido arsánico, pero en la actualidad al estar retirados del mercado, las fuentes más importantes son aguas contaminadas, vegetales cultivadas en suelos contaminados y pescados.

Los niveles de tolerancia para los animales domésticos son de 0,50 mg/kg, claramente superiores a los considerados para un agua potable y los permitidos por la legislación europea. El arsénico se acumula lentamente, pues si bien la absorción es elevada, se excreta en orina. Para la Agencia de Protección Ambiental (EPA) los problemas de arsénico para humanos pueden estar asociados con aguas y pescados, pero raramente con productos de animales domésticos.³⁹

La inhalación de niveles altos de Arsénico puede producir dolor de garganta e irritación de los pulmones. La ingestión de niveles muy altos de Arsénico puede ser fatal. La exposición a niveles más bajos puede producir náusea, vómito, disminución del número de glóbulos rojos y blancos, ritmo cardíaco anormal, fragilidad capilar y una sensación de hormigueo en las manos y los pies. La ingestión o inhalación prolongada de niveles bajos de Arsénico inorgánico puede producir oscurecimiento de la piel y la aparición de pequeños callos o verrugas en la palma de las manos, la planta de los pies y el torso. El contacto de la piel con Arsénico inorgánico puede producir enrojecimiento e hinchazón. El departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS, siglas en inglés) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, siglas en inglés) han determinado que el Arsénico inorgánico es un elemento reconocido como carcinogénico en seres humanos.⁴⁰

³⁸ Referencias Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR) 2007.

³⁹ METALES PESADOS EN ALIMENTACIÓN ANIMAL Jesús Méndez Batán. 2001. XVII Curso de Especialización FEDNA COREN S.C.L.

⁴⁰ ATSDR, 2007 ATSDR Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2007) Arsénico

2.3.2. CADMIO

El Cadmio es un elemento no esencial cuyas propiedades químicas son intermedias entre el Zn y el Hg. En ambientes dulceacuícolas, está íntimamente asociado con la materia coloidal como CdCl_2 y CdSO_4 . En el mar el 66% está presente como ion junto con CdCO_3 (26%), $\text{Cd}(\text{OH})_2$ (5%), CdCl_2 , (1%) y CdSO_4 (1%). En aguas costeras una alta proporción de este metal se encuentra asociado a partículas formando complejos. Las principales fuentes de Cd en ambientes acuáticos son debidas al lavado de los suelos agrícolas y a las descargas de la minería y la industria. Otro origen importante son los desechos municipales y los lodos de las plantas de tratamiento. Su presencia en ambientes marinos disminuye la capacidad de sobrevivencia de larvas y estadios juveniles de peces, moluscos y crustáceos.⁴¹

2.3.2.1. CONTAMINACIÓN POR CADMIO

El cadmio puede acumularse en el cuerpo humano, especialmente en el riñón, pues su eliminación es muy lenta y puede provocar afecciones renales, alteraciones óseas y fallos del aparato reproductor. No puede descartarse que actúe como carcinógeno.⁴²

En seres humanos, la exposición a largo plazo se asocia a la disfunción renal. La alta exposición puede conducir a la enfermedad obstructora del pulmón y se ha ligado al cáncer del pulmón, aunque los datos referentes al último son difíciles de interpretar debido a los diferentes factores que originan el cáncer. El Cd puede producir también efectos en el tejido óseo (osteomalacia, osteoporosis) en seres humanos y animales. Además el Cd también puede estar relacionado con un aumento en la presión arterial y efecto sobre el miocardio de los animales, aunque la

⁴¹ EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LA CIÉNAGA LA SOLEDAD Y BAHÍA DE CISPATÁ, CUENCA DEL BAJO SINÚ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA. Investigador: JOSE LUIS MARRUGO NEGRETE Doctor Ciencias Químicas. Año: 2011

⁴² NRC (1999) *Cadmium in drinking water. Subcommittee on arsenic in drinking water. National Academic of Sciences. National Academic Press. Washington DC*

mayoría de los datos humanos no apoyan estos resultados. La exposición adicional a los seres humanos se presenta a través del Cd en el aire, ambiente y agua potable.⁴³

Aproximadamente se absorbe un 5% del cadmio presente en los alimentos. Este porcentaje puede alcanzar el 15% si hay deficiencia de hierro. En riñón puede concentrarse hasta el 85% de la carga corporal de cadmio.

Los contenidos de Cadmio en los suelos, son relativamente bajos y la absorción por los vegetales relativamente pobre, por lo que en condiciones normales de cultivo, no suele ser preocupante esta vía de entrada en la cadena alimenticia, pero sí se pueden dar valores más elevados al utilizar fuentes de abonos fosforados ricos en cadmio o bien residuos urbanos.⁴⁰

El cadmio se encuentra en el ambiente de lugares de trabajo que manipulen baterías, soldaduras, pigmentos, etc.; en aguas contaminadas; en lugares cercanos a centrales térmicas y quemaderos de basuras y particularmente en el tabaco, la cantidad de cadmio absorbido con el humo del tabaco puede ser equivalente a la ingerida en la dieta, hasta unos 10 mg/día .

El cadmio se encuentra presente en la mayoría de los alimentos siendo más abundante en moluscos bivalvos, y dentro de las carnes en hígados y en riñones. Lo que preocupa a las autoridades sanitarias es precisamente que el cadmio se encuentre en la mayoría de los alimentos pues si bien las cantidades son pequeñas, al tener la particularidad de que su eliminación muy lenta del organismo, es necesario limitar mucho las cantidades de ingestión diaria para evitar efectos perniciosos a largo plazo. Por esta razón es uno de los metales que posiblemente preocupe más su control en la actualidad.⁴⁴

⁴³ *EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LA CIÉNAGA LA SOLEDAD Y BAHÍA DE CISPATÁ, CUENCA DEL BAJO SINÚ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA. Investigador: JOSE LUIS MARRUGO NEGRETE Doctor Ciencias Químicas. Año: 2011*

⁴⁴ *WHO (1989) Evaluation of certain food additives and contaminants. 33 report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives. Technical Report series 776 (WHO, Geneva.*

2.3.3. PLOMO

El plomo un componente natural de la corteza terrestre, y se encuentra comúnmente en los suelos, plantas y agua a niveles traza. La aparición de Pb metálico en la naturaleza es poco frecuente. Los principales minerales de Pb son la galena (PbS) y cerusita (PbCO₃), anglesita (PbSO₄) y piromorfita (Pb₅ (PO₄)₃Cl) son menos importantes, pero se presentan con frecuencia. El Pb se encuentra generalmente en los minerales que también contienen Cu, Zn y Ag, y se extrae como un co-producto de estos metales.⁴⁵

El plomo ya era conocido por los pueblos de la Mesopotamia y Egipto antes de 6-7 mil años de nuestra era. Los primeros broncees en el Asia Central fueron hechos de cobre y plomo. El plomo es un componente muy importante en diferentes combinaciones de metales para la producción de acumuladores, cables, rodamientos, imprentas. También es importante como antidetonante en la producción de gasolinas.⁴⁶

2.3.3.1. CONTAMINACIÓN POR PLOMO

La absorción de plomo puede constituir un grave riesgo para la salud pública. El plomo puede provocar un retraso del desarrollo mental e intelectual de los niños y causar hipertensión y enfermedades cardiovasculares en los adultos. En los diez últimos años, los contenidos de plomo de los productos alimenticios se redujeron sensiblemente porque aumentó la sensibilización ante el problema sanitario que puede representar el plomo y por los esfuerzos realizados para reducir la emisión de plomo en su origen. En el dictamen de 19 de junio de 1992, el SCF establecía que el contenido medio de plomo de los productos alimenticios no parece ser causa de alarma pero que debe de proseguirse la acción a largo plazo con el objetivo de

⁴⁵ *EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LA CIÉNAGA LA SOLEDAD Y BAHÍA DE CISPATÁ, CUENCA DEL BAJO SINÚ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA. Investigador: JOSE LUIS MARRUGO NEGRETE Doctor Ciencias Químicas. Año: 2011*

⁴⁶ *Yacimientos Minerales Metálicos 4ta Edición de L.F. VASSALLO, PhD. año 2008 Centro de Geociencias, UNAM Querétaro, MEXICO.*

continuar reduciendo los contenidos medios de plomo en los productos alimenticios.⁴⁷

La absorción de plomo por vía oral es cercana al 10% en adultos y se incrementa hasta el 50% en niños. El plomo absorbido se distribuye en distintos órganos y tejidos como riñón, hígado, encéfalo y huesos. Dada su similitud con el calcio, el mayor depósito de plomo se localiza en el tejido óseo.

Los contenidos en plomo de los suelos son relativamente bajos y la absorción por las plantas es relativamente baja, salvo que los suelos estén contaminados. Una de las principales fuentes de contaminación del medioambiente son las gasolinas con plomo, lo que puede representar una vía importante de entrada en la cadena alimenticia al consumir los animales cultivos de áreas contaminadas. Otra posible fuente de entrada son las pinturas de las instalaciones ganaderas, que puedan ser lamidas por los animales.

La absorción de plomo por los animales es baja, inferior al 1% y parece existir un cierto mecanismo de regulación de forma que al aumentar la exposición a fuentes de plomo, no aumenta linealmente la retención en el organismo. Exposiciones crónicas a bajos niveles de plomo no causan síntomas clínicos en vacuno, porque los huesos secuestran el plomo y lo liberan lentamente a la sangre para que sea excretado.⁴⁸

El plomo se acumula más en huesos que en tejidos blandos, por esta razón los aportes de las carnes en plomo a la dieta son muy bajos. Una de las principales fuentes de plomo en la dieta humana eran las latas soldadas con plomo, pero al suprimirse esta práctica, así como el cambio de las cañerías de plomo por otros materiales y la utilización de gasolinas sin plomo ha resultado en una reducción importante de la exposición de la población a la ingesta de plomo. Los valores tolerables de ingesta diaria de plomo son de 243 mg/persona y día. Los valores

⁴⁷ DOCE (2001) Reglamento CE 466/2001 de la Comisión por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. DOCE, 16 marzo 2001 L77/1-13

⁴⁸ NRC (1999) Arsenic in drinkingwater. Subcommittee on arsenic in drinkingwater. National Academic of Sciences. National Academic Press. Washington DC

actuales en nuestro entorno de ingesta diaria de plomo oscilan entre los 28-29 mg/persona y día del País Vasco, Alemania, Reino Unido y Holanda, hasta los 7 mg/persona y día de EE.UU.⁴⁹

La intoxicación aguda del plomo se presenta acompañada de alteraciones digestivas, dolores epigástricos y abdominales, vómitos, alteraciones renales y hepáticas, convulsión y coma. En tanto que la intoxicación crónica puede involucrar neuropatías, debilidad y dolor muscular, fatiga, cefalea, alteraciones del comportamiento, alteraciones renales, temblor, alucinaciones con pérdida de memoria, cólicos, alteraciones hepáticas.⁵⁰

2.3.4. CROMO

El cromo fue descubierto en 1797 por el químico francés L. Vöclen en el mineral crocoita de los Urales. Las menas de cromo (cromitas) fueron reconocidas primeramente en los Urales en el año de 1799. A principios del siglo XIX fueron utilizadas solo como materiales aislantes del calor en los hornos de la industria metalúrgica, para pinturas y como endurecedores de pieles. A fines del siglo XIX el cromo fue utilizado como metal adicionado para dar ligereza y mejorar las características del acero.

Actualmente los principales consumidores de cromitas es la industria metalúrgica (65%), la industria de los aislantes contra el calor (18%) y la industria química (17%). La adición de cromo al acero, aumenta su solidez, dureza y propiedades anticorrosivas (aceros inoxidables, esferas duras, resistentes a ácidos y en diferentes instrumentos de acero). Combinaciones de cromo con cobalto, tungsteno y molibdeno se utilizan como cubiertas anticorrosivas.⁵¹

⁴⁹ METALES PESADOS EN ALIMENTACIÓN ANIMAL Jesús Méndez Batán. 2001. XVII Curso de Especialización FEDNA COREN S.C.L.

⁵⁰ INE, 2009 Instituto Nacional de Ecología (INE, 2009) Metales pesados <http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales>

⁵¹ Yacimientos Minerales Metálicos 4ta Edición de L.F. VASSALLO, PhD. año 2008 Centro de Geociencias, UNAM Querétaro, MEXICO.

2.3.4.1. CONTAMINACIÓN POR CROMO

El problema de salud más común en el ser humano por estar expuesto al Cromo involucra principalmente a la vía respiratoria. Estos efectos incluyen irritación del revestimiento del interior de la nariz, secreción nasal, y problemas para respirar (asma, tos falta de aliento, respiración jadeante). En trabajadores, la inhalación del Cromo (VI) causa cáncer de pulmón y el incremento de tumores en el estómago está asociado con la ingestión de agua contaminada con Cromo hexavalente.⁵²

2.4. DESCRIPCIÓN DE METALES COMO NUTRIENTES

Un nutriente es aquello que nutre, aumenta la sustancia del cuerpo animal o vegetal. Son productos químicos que proceden del exterior de la célula y que ésta requiere para poder desarrollar sus funciones vitales. Los nutrientes son absorbidos por la célula y transformados a través de un proceso metabólico de biosíntesis (conocido como anabolismo) o mediante degradación, para obtener otras moléculas.

Entre las diversas sustancias que componen los alimentos, los nutrientes son aquéllas que participan activamente en las reacciones metabólicas. El agua, el oxígeno y los minerales son los nutrientes básicos que consumen las plantas, mientras que los seres humanos y los animales se alimentan de vegetales y de otros animales.⁵³

⁵² ATSDR, 2008 ATSDR Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2008)http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.html

⁵³ <http://www. Definición%20de%20nutrientes%20-%20Qué%20es,%20Significado%20y%20Concepto.html>

2.4.1. CALCIO

El Calcio es un elemento químico que pertenece a los metales alcalino-térreos del grupo II de la tabla periódica, es el elemento metálico más abundante en el cuerpo humano y el quinto elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre. Fue muy usado por los antiguos en la forma de cal.

El calcio (Ca) es acumulado por las plantas, especialmente en las hojas donde se deposita irreversiblemente, es un elemento esencial para el crecimiento de meristemas y particularmente para el crecimiento y funcionamiento apropiado de los ápices radicales. La fracción principal de este (Ca) 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.⁵⁴

La deficiencia de calcio está generalmente asociada a efectos de acidez del suelo y muchas veces es difícil diferenciar una de la otra. El calcio se absorbe como el catión divalente Ca^{+2} y es casi inmóvil y es por esto que las deficiencias se observan primeramente en los tejidos jóvenes. Las deficiencias de calcio parecen tener dos efectos en la planta: causan una atrofia del sistema radical y le dan una apariencia característica a la hoja. Las hojas se muestran cloróticas, enrolladas y rizadas. Se presentan raíces pobremente desarrolladas, carentes de fibras y pueden tener apariencia gelatinosa. Los síntomas se observan cerca de los ápices de crecimiento de raíces y tallos. La carencia de calcio también inhibe la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico.⁵⁵

⁵⁴<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral>

⁵⁵http://www.fertiberia.com/fertirrigacion/guia_de_abonado/recomendaciones/consejos_seleccion/

2.4.2. HIERRO

El hierro es un metal extraordinariamente común y se encuentra en grandes cantidades en suelos y rocas, aunque normalmente en forma insoluble. Sin embargo, debido a un número de complejas reacciones que se suceden de forma natural en el suelo, se pueden formar compuestos solubles de hierro que pueden contaminar cualquier agua que lo atraviese. Por lo tanto, el exceso de hierro es un fenómeno común de las aguas subterráneas, especialmente aquellas aguas subterráneas blandas.⁵⁶

El hierro es un elemento esencial para los cultivos. Las plantas no pueden realizar su ciclo vital sin su ausencia, ya que está involucrado en el metabolismo de la planta de una manera específica. Está involucrado en la síntesis de clorofilas, y participa de un buen número de sistemas enzimáticos importantes para el metabolismo de las plantas. Su deficiencia se denomina clorosis férrica y se caracteriza, de forma visual, por la aparición de un color amarillo en las hojas jóvenes. Como consecuencia de la clorosis férrica, las plantas no se desarrollan adecuadamente, teniendo menor vigor y una menor producción. La clorosis es consecuencia del efecto que distintos factores, tienen sobre la absorción y distribución de hierro por las plantas y que es debido a la suma de varios procesos. Estos procesos, se dan a una velocidad suficiente como para suplir las necesidades férricas de la planta y son: Solubilización de los oxihidróxidos de hierro de los suelos, por lo general muy insolubles, tanto más cuanto más elevado es el pH del suelo.

El proceso de absorción de hierro por las raíces jóvenes de las plantas está muy influenciado por el pH, el bicarbonato y presencia de caliza del suelo. De manera general las plantas son capaces de reducir el Fe (III) en la superficie de la raíz y formar Fe (II) que es la especie química que las plantas pueden tomar. En cantidades excesivas reducen el crecimiento y provocan acumulaciones indeseables en los tejidos.⁵⁷

⁵⁶ N.F.GRAY, *Calidad de Agua Potable*, editorial Acribia, S.A – Zaragoza (España)

⁵⁷ <http://www.abcgro.com/fertilizantes/quelatos.asp>

2.4.3. MAGNESIO

Es muy abundante en la naturaleza, y se halla en cantidades importantes en muchos minerales rocosos, como la dolomita, magnesita, olivina y serpentina. Además se encuentra en el agua de mar, salmueras subterráneas y lechos salinos. Es el tercer metal estructural más abundante en la corteza terrestre, superado solamente por el aluminio y el hierro.⁵⁸

Los suelos con alto contenido de magnesio intercambiable se presentan problemas de infiltración, aunque la función del magnesio en provocar problemas de toxicidad no está bien documentada. Sin embargo en la actualidad, la mayor parte de los investigadores están de acuerdo que este elemento actúa más como calcio que como sodio y que los suelos lo absorben con un grado preferencial muy superior al sodio y ligeramente inferior al calcio.

Los efectos potenciales del sodio son ligeramente mayores cuando en el agua de riego o en la solución del suelo, la proporción Ca/Mg es menor que la unidad. La productividad de los cultivos parece ser menor en los suelos con alto contenido de magnesio o cuando se riegan con aguas que contienen altos niveles de ese elemento, esto se debe posiblemente a la deficiencia de calcio inducida por un exceso de magnesio intercambiable en el suelo. Resultados experimentales indican que los rendimientos de cultivos como la cebada, trigo, maíz, y la remolacha azucarera, son reducidos cuando en el suelo, la proporción de Ca/Mg es inferior a la unidad.

La deficiencia de magnesio ocurre comúnmente en suelos ácidos, arenosos, en áreas de precipitación moderada a alta. La ausencia de Mg^{+2} se caracteriza por una clorosis en hojas viejas, principalmente entre las nervaduras. En algunas plantas la ausencia de clorofila es seguida por la aparición de otros pigmentos.⁵⁹

⁵⁸ ESTUDIO DE LA FAO "Riego y Drenaje".

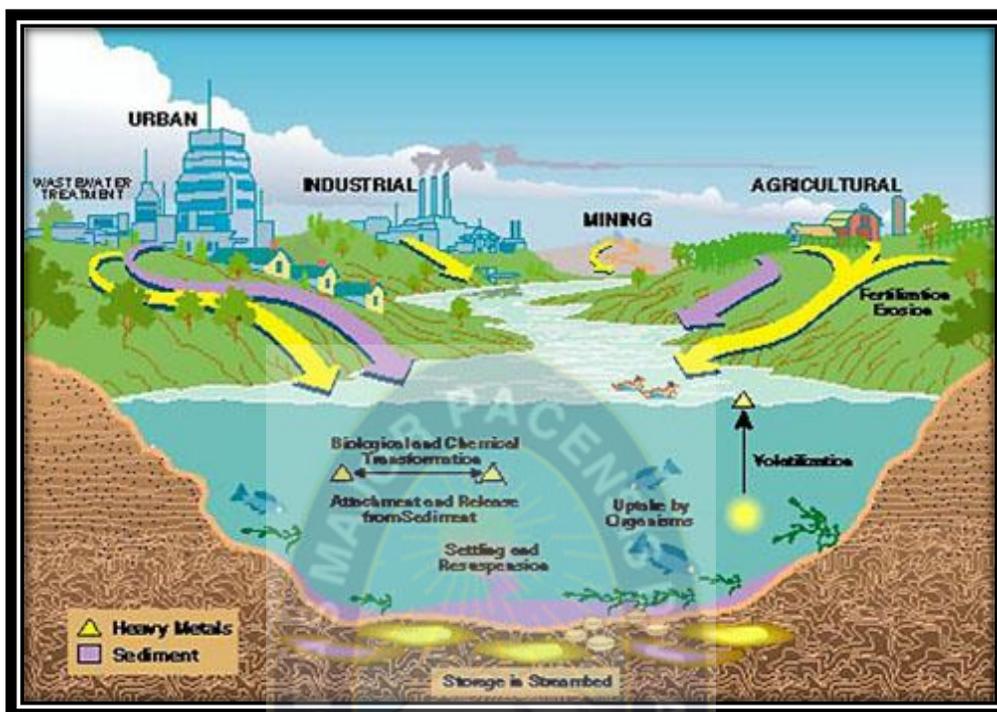
⁵⁹ http://www.fertiberia.com/fertirrigacion/guia_de_abonado/recomendaciones/consejos_seleccion/

2.5. FUENTES DE LOS METALES PESADOS EN LOS ALIMENTOS

Los metales pesados están en los alimentos y provienen de diversas fuentes, las más importantes son: el suelo contaminado en el que se producen los alimentos para el hombre y los animales; los lodos residuales, los fertilizantes químicos y plaguicidas empleados en agricultura, el uso de materiales durante el ordeño, almacenamiento y transporte de la leche, así como la contaminación por metales pesados de los alimentos y el agua que ingieren los bovinos afectan la calidad de la leche. La presencia de metales pesados en alimentos y particularmente en productos lácteos, constituye un tema de actualidad debido a la contaminación de la cadena trófica involucrada y a los daños que ocasionan a la salud pública.

Las fuentes principales del mercurio son las siguientes: el pescado (a causa de la contaminación de los mares); los insecticidas (que contienen normalmente uno o dos metales pesados, que se cuelean en la cadena alimentaria); el agua 'potable' (tenemos que suponer que todo el agua contiene tóxicos a menos que se haya comprobado mediante análisis lo contrario); algunos medicamentos (especialmente los que regulan la alta presión sanguínea y la vacuna contra el tétanos); y el aire contaminado por la industria y los coches (por la tecnología de combustión). Otra fuente de mercurio muy importante es el traspaso de la madre al feto a través de la placenta y al bebé a través de la leche materna por procesos hormonales. Mediante estos procesos la madre traspasa del 40 al 60% de su carga al niño. Pero la cantidad más grande entra en nuestros cuerpos por los empastes de los dientes. La amalgama usada en éstos contiene normalmente un 50% de mercurio.

Figura 2.2. Fuentes de contaminación hacia el medio ambiente.



Fuente: University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine.

2.6. UTILIDAD DE LOS METALES PESADOS EN LOS ALIMENTOS

Los metales no son malos por definición, pues muchos resultan esenciales en nuestra dieta. Pero estando presentes en el medio ambiente de manera natural o por la acción del hombre, nuestra exposición a través de los alimentos difícilmente puede evitarse.

Metales esenciales su ausencia o su insuficiencia en la dieta humana induce después de cierto tiempo algunas modificaciones a los procesos metabólicos y entonces aparecerán algunas enfermedades por ejemplo: sodio, potasio, calcio, cobre, zinc y manganeso.

Metales no esenciales como el plomo, cadmio, mercurio, aluminio entre otros; cuando estos metales son absorbidos en pequeñas cantidades existe la posibilidad de eliminarlos a través de la orina, jugos gástricos, etc. El incremento en la concentración de los metales pesados en los alimentos puede causar un efecto

tóxico a quien los consume, la gravedad de este efecto dependerá de la naturaleza, cantidad y forma química de los metales, de la concentración del metal en el alimento y de la resistencia del organismo a los efectos sinérgicos o antagónicos a otros contaminantes químicos.

2.7. CAUSAS DE SU TOXICIDAD

Los Metales Pesados producen graves efectos en el cerebro y en la evolución mental de los niños. Entre muchos otros síntomas la intoxicación por plomo provoca una perturbación de la formación de la sangre y así se presentan leucemias y anemias, insuficiencias renales y enfermedades neurológicas.

El mercurio en particular se fija en diferentes partes del cuerpo humano. Principalmente afecta a órganos como el hígado, los riñones y el corazón, provocando diferentes alteraciones en ellos. Pero también afecta a las articulaciones, al tracto intestinal, a los huesos, a la sangre y especialmente a todo el sistema nervioso incluido el cerebro. Hay muchos síntomas que están relacionados con el mercurio pero no directamente provocadas por el mismo, debido a la perturbación de la barrera hematoencefálica.

Esto provoca cambios emocionales (sistema límbico), perturbaciones del sistema auditivo y visual y otros síntomas del sistema nervioso, no siempre provocados por el mercurio mismo. En el espacio intracelular el mercurio provoca daños en las mitocondrias, nuestras fábricas de energía (fatiga).⁶⁰

2.8. DESCRIPCIÓN DE LA LECHE

La leche es considerada como el producto más noble de los alimentos, dada su composición peculiar rica en proteína, grasa, carbohidratos, sales minerales y vitamina; constituye en alimento esencial para el hombre y para todas las especies de mamíferos y las restricciones a su uso son limitadas a casos excepcionales. Lo mismo se aplica a todos sus derivados lácteos, es por esta razón, que existe un

⁶⁰ <http://www.alimentacion-sana.org/PortalNuevo/actualizaciones/metalesalimentos.html>

riesgo permanente de que la leche sirva como vehículo de multiplicación de microorganismos patógenos o de fraudes durante su procesamiento.⁶¹

El control higiénico-sanitario y alimentación de las vacas lecheras y de la ordeña, es fundamental para garantizar la composición de la leche y reducir el riesgo de transmisión de agentes de enfermedades. La refrigeración después de la ordeña y el transporte en frío permite aumentar la vida media del producto. La evaluación de la calidad de la leche cruda mediante pruebas físico químicas complementadas por exámenes microbiológicos posibilita la identificación de los productores con buenas prácticas de manejo de los que no las tienen. La pasteurización de la leche con calidad, asegura la distribución de un producto exento de riesgos para la población lo que es aplicado también para todos sus derivados, por lo que se sugiere: ^{62, 63, 64}

- Los propietarios mantengan saludables a las vacas lecheras; que higienicen y saniticen las instalaciones y los equipos destinados a la ordeña y almacenamiento de la leche cruda.
- Los responsables de los centros de acopio agilicen y modernicen el sistema de transporte de leche hacia la industria láctea.
- Que la industria láctea mantenga un control adecuado de la leche que se reciba y que los procedimientos analíticos, aseguren la calidad final del producto.

2.8.1. VENTAJAS DE LA LECHE DE VACA COMO ALIMENTO

La leche de vaca, así como la de otros mamíferos, es un producto alimenticio muy completo, pues contiene una diversidad de nutrientes (CHO, Grasas, Proteínas, Vitaminas y Minerales) y en cantidades suficientes para satisfacer gran parte de las

⁶¹ Sedesol. *Manual de normas de control de calidad de leche cruda. 6ª Revisión. Liconsa. Dirección de producción; 2007: 1-28.*

⁶² Margariños H. *Producción higiénica de la leche cruda. Una guía para la pequeña y mediana empresa. 1ª ed. Guatemala, Guatemala: Producción y Servicios Incorporados S.A. 2001.*

⁶³ Spreer E. *Lactología industrial. 2ª ed. Zaragoza, España: Acribia; 1991.*

⁶⁴ BhemerMLA. *Tecnología do leite. 10ª ed. Sao Paulo, Brasil: Nobel; 1980.*

Cantidades Diarias Recomendadas (CDR), siendo solo deficiente en vitamina C, hierro y fibra dietética. Constituye un alimento de alta densidad nutritiva, debido a que aporta muchos nutrientes con relativamente pocas calorías, especialmente si se trata de leche descremada. Por su riqueza en proteínas, minerales y grasas, constituye un alimento muy apropiado para las etapas de la vida humana caracterizadas por crecimiento y/o formación de nuevos tejidos en el organismo, como en la niñez, adolescencia y en el embarazo.

A diferencia de las carnes y leguminosas, la leche y sus derivados no contienen ni producen por degradación de sus componentes, ácido úrico en el organismo, por el contrario, tiene efecto urico-súrico (facilita la eliminación de ácido úrico por la orina) y desciende su nivel sanguíneo.⁶⁵

2.8.2. TIPOS DE LECHE SEGÚN EL SISTEMA DE HIGIENIZACIÓN

La leche de vaca y sus derivados ocupan un lugar muy importante; representan a uno de los grupos de alimentos protectores, porque aportan proteínas de excelente calidad y son la fuente más importante de calcio. Entre los tipos de leche se tiene a la Leche Pasteurizada, Leche UHT y Leche en polvo. (Anexo Nro. 1)

2.8.3. DERIVADOS LÁCTEOS

Los derivados lácteos son una gran gama de productos que se obtienen al someter a la leche a determinados procedimientos tecnológicos. Todos tienen normas oficiales que los definen y especifican sus características y métodos de control. Los grupos que se distinguen:

- Crema.
- Mantequilla.
- Quesos y quesos fundidos.
- Sueros lácteos.
- Requesón.
- Yogurt.

⁶⁵ *LOS ALIMENTOS LACTEOS Y SUS LIMITACIONES* Autor: YANETT PALENCIA M. Año: 2000

En cuanto al proceso tecnológico los derivados lácteos implican a tres grupos: a) Productos obtenidos al separar la materia grasa de la leche, b) Productos procedentes de la coagulación de las proteínas y la separación de la fracción hidrosoluble, c) Productos resultantes de la fermentación o de la acidificación de la leche. (Anexo Nro. 2)

2.8.4. INOCUIDAD DE LA LECHE

En la leche y sus derivados, así como en cualquier otro alimento, la inocuidad constituye un factor obligatorio, no es posible obviar la inocuidad cuando se habla de alimentos.

Inocuidad: Garantía de no causar daño a la salud del consumidor. Dentro del concepto de inocuidad es necesario referirse a los llamados peligros: agentes biológicos, químicos o físicos presentes en los alimentos que puedan afectar la salud.

Peligros biológicos: Gérmenes o toxinas de variado origen

Peligros químicos: Sustancias contaminantes indeseables o añadidas que pueden ocasionar daños a la salud del consumidor.

Peligros físicos: Objetos, partículas, plástico, metal etc. que pueden llegar al alimento accidental o intencionalmente.

Para asegurar la inocuidad de la leche y sus productos, debe hacerse la evaluación de los Peligros y sus métodos de control y el recurso para prevenirlos o reducirlos en forma eficiente lo proporcionan los sistemas de Buenas Prácticas de Fabricación y los sistemas de Gestión de calidad ISO 9000.⁶⁶

⁶⁶ CALIDAD E INOCUIDAD DE LA LECHE Y PRODUCTOS LACTEOS Trina Vargas. Farmacéutica. Bromatóloga. MSc.Facultad de Ciencias Veterinarias, Departamento de Salud Pública.

2.8.5. CALIDAD DE LA LECHE

En el sentido más amplio de este concepto, se entiende por calidad de leche cruda el conjunto de características que determinan su grado de idoneidad para los fines previstos de tratamiento y empleo.⁶⁷ En general podríamos decir que la leche es de calidad cuando reúne los siguientes requisitos:

- ✓ Ausencia Absoluta de sustancias perjudiciales para la salud del consumidor, tales como sustancias extrañas y residuos de productos nocivos (pesticidas, medicamentos, toxinas microbianas. etc.).
- ✓ Capacidad de acidificación normal, es decir ausencia de sustancias capaces de inhibir a la flora acidoláctica.
- ✓ Baja carga microbiana, como requisito previo para obtener productos con capacidad de conservación prolongada.
- ✓ Composición química normal, indicativa de una buena aptitud para la transformación.

Particularizando, la calidad de la leche de quesería puede ser definida como su aptitud para dar un buen queso en las condiciones normales de trabajo y con un rendimiento satisfactorio.

En general la calidad de la leche destinada a la fabricación de queso es la suma de dos calidades, la calidad química y la calidad microbiana. La calidad química viene dada por la presencia o ausencia de sustancias extrañas e inhibidoras, la aptitud para ser coagulada por el cuajo y la composición.⁶⁸

⁶⁷ CERSOVSKY, H, SONTAG, S y JOHST, F. (1982) *Especificaciones de la calidad de la leche cruda y métodos para su determinación* Ed. Acribia, Zaragoza.

⁶⁸ *La Calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: calidad química. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Reynosa, México Año: 1998.*

2.8.6. CONTAMINANTES EN LA LECHE DE VACA

Contaminantes químicos.

Numerosas sustancias pasan de la vaca a la leche, y suponen una amenaza para la salud humana. Entre ellas cabe destacar las siguientes:

Residuos de medicamentos veterinarios: Entre ellos los antibióticos usados para tratar las mastitis (inflamación de las mamas de las vacas). En teoría, la leche que se ordeña mientras dura el tratamiento con antibióticos y hasta 48 horas después de la última dosis, no debe comercializarse, sin embargo, esta norma se incumple con frecuencia, y estos residuos que son indetectables por el sentido del gusto, producen efectos indeseables en el consumidor, como reacciones alérgicas y/o inducción de resistencias bacterianas.

Productos antiparasitarios, contra dístomas hepáticas, vermes y piojos, ácaros, moscas.

Desinfectantes y detergentes, para prevenir la inflamación de las ubres, éstas se rocían o sumergen con frecuencia en sustancias yodadas, y si no se emplean correctamente pasan a la leche.

Productos fitosanitarios o pesticidas, especialmente compuestos de hidrocarburos orgánicos altamente clorados, éstos debido a su estabilidad y buena liposolubilidad se acumulan a lo largo de la cadena alimentaria en grandes cantidades en el tejido adiposo y pasan a la leche (en su fracción grasa), estos pesticidas se encuentran en el pasto y los forrajes concentrados.

Metales pesados: Debido a que el Plomo, Cadmio y Mercurio están ampliamente difundidos en la naturaleza, también la vaca los ingiere (pasto, polvo). Aunque la vaca actúa como un filtro y los requisitos establecidos para las instalaciones de ordeño, filtrado y refrigerado de una industria lechera son muy elevados, puede

producirse un aumento de la contaminación con metales pesados durante el procesado de la leche.⁶⁹

2.8.7. PRESENCIA O AUSENCIA DE SUSTANCIAS EXTRAÑAS E INHIBIDORAS EN LA LECHE

La presencia de sustancias extrañas e inhibidoras constituye en la actualidad un problema particularmente difícil a la hora de asegurar la elaboración y la calidad de los productos terminados en general y del queso en particular.

Las sustancias extrañas, de interés en tecnología quesera, que se pueden encontrar en la leche son:

1. Antibióticos.
2. Pesticidas.
3. Metales pesados.
4. Residuos de sustancias utilizadas en la limpieza y desinfección.

2.8.7.1. ANTIBIÓTICOS

El empleo de antibióticos en la terapéutica de las infecciones de los animales lecheros, particularmente de las localizadas en la mama, y en la formulación de piensos se ha convertido en un grave problema. El paso de restos a la leche es endógeno; se ha comprobado que la mayor parte de los preparados farmacológicos administrados a las hembras lactantes se segregan con la leche. La cuantía del paso es variable y la duración de la secreción depende del tipo de principio y de la vida de administración.

Los residuos de los antibióticos en la leche, independientemente de acciones biológicas (alergias en consumidores, aparición de flora resistente), tienen repercusiones tecnológicas importantes en la elaboración del queso. Su acción tecnológica principal es la provocación de trastornos en la capacidad de acidificación de la leche. Los cultivos iniciadores, responsables primeramente de la acidificación

⁶⁹ *LOS ALIMENTOS LACTEOS Y SUS LIMITACIONES* Autor: YANETT PALENCIA M. Año: 2000

de la leche y después de los cambios bioquímicos que tienen lugar durante la maduración (transformación de la cuajada en queso), se ven inhibidos por los residuos de los antibióticos, fallan, y el queso obtenido se altera, o al menos no presenta unas características organolépticas tan satisfactorias como las del queso en el que los cultivos iniciadores han actuado con normalidad.⁷⁰

Los quesos elaborados con la leche que presenta residuos de antibióticos muestran una estructura esponjosa y sabor ligeramente amargo. Además, los residuos de antibióticos pueden también actuar sobre algunos componentes de la leche; por ejemplo, se ve afectada la lipasa de la leche que pierde entre el 7 y el 49% de su actividad dependiendo del tipo de antibiótico que se trate y de su concentración.⁷¹

2.8.7.2. PESTICIDAS

Con el término genérico de pesticidas se designan diversos compuestos que se utilizan en la lucha contra microorganismos, parásitos, insectos, roedores y malas hierbas en la producción agropecuaria. Este amplio grupo de sustancias se clasifican de acuerdo con sus propiedades, indicadores y modo de empleo, en insecticidas, herbicidas, fungicidas y rodenticidas.

Del total de pesticidas encontrados en la leche, los hidrocarburos clorados representan el 70-85 %, los compuestos organofosforados del 5 al 20 %, los carbamatos del 5 al 10 % y otros pesticidas menos del 5 %.⁷² Los más persistentes son los pesticidas organoclorados a base de sustancias tan conocidas como el DDT, aldrín, dieldrín, hexaclorobenzol, etc. Los pesticidas organofosforados son menos estables y se hidrolizan y se reducen con facilidad; los plazos de espera son en este caso notablemente más cortos, por lo general entre 7 y 14 días.

⁷⁰ *La Calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: calidad química. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Reynosa, México Año: 1998.*

⁷¹ CERNA, E. PIEMANOVA, B. y JANICEK, J. (1982). *Residuos de sustancias extrañas en la leche* Ed. Acribia, Zaragoza.

⁷² CERNA, E. PIEMANOVA, B. y JANICEK, J. (1982). *Residuos de sustancias extrañas en la leche* Ed. Acribia, Zaragoza.

Al estudiar el efecto de pesticidas organoclorados sobre los microorganismos se comprobó que algunos géneros microbianos tienen la facultad de desdoblar dichos compuestos hasta convertirlos en sustancias menos nocivas. (Anexo Nro. 3)

2.8.8. METALES PESADOS EN LECHE CRUDA DE BOVINO

Los metales pesados son de gran interés para los científicos debido a que la presencia de éstos en el ambiente tiene efectos negativos sobre la salud del hombre, de los animales y de los cultivos agrícolas. Los metales pesados están en los alimentos y provienen de diversas fuentes, las más importantes son: el suelo contaminado en el que se producen los alimentos para el hombre y los animales; los lodos residuales, los fertilizantes químicos y plaguicidas empleados en agricultura, el uso de materiales durante el ordeño, almacenamiento y transporte de la leche, así como la contaminación por metales pesados de los alimentos y el agua que ingieren los bovinos afectan la calidad de la leche. La presencia de metales pesados en alimentos y particularmente en productos lácteos, constituye un tema de actualidad debido a la contaminación de la cadena trófica involucrada y a los daños que ocasionan a la salud pública. Es necesario enfatizar que los riesgos a la salud de la población infantil necesitan ser evaluados de una manera integral, considerando la exposición crónica de metales pesados en alimentos que por lo regular se presenta asintomática durante un tiempo prolongado de vida. Algunos metales, como el cobre y el zinc, son necesarios en niveles bajos para el funcionamiento normal de los organismos vivos, sin embargo, en Concentraciones altas pueden ser muy tóxicos.⁷³

La función de los nutrimentos puede ser dividida en dos categorías: 1. Metales esenciales (su ausencia o su insuficiencia en la dieta humana induce después de cierto tiempo algunas modificaciones a los procesos metabólicos y entonces aparecerán algunas enfermedades) por ejemplo: el sodio, potasio, calcio, cobre, zinc y manganeso y 2. Metales no esenciales como el plomo, cadmio, mercurio, aluminio entre otros; cuando estos metales son absorbidos en pequeñas cantidades existe la posibilidad de eliminarlos a través de la orina, jugos gástricos, etc. El incremento en

⁷³ MubbasherSabyr S., S. Waheed Khan and I. Hayat. 2003. Effect of environmental pollution on quality of meat in district Bagh, Azad Kashmir. Pakistan Journal of Nutrition. Vol. 2 No. 2: 98-101.

la concentración de los metales pesados en los alimentos puede causar un efecto tóxico a quien los consume, la gravedad de este efecto dependerá de la naturaleza, cantidad y forma química de los metales, de la concentración del metal en el alimento y de la resistencia del organismo a los efectos sinérgicos o antagónicos a otros contaminantes químicos.⁷⁴

En el 2003 Rodríguez Sánchez, citando a la Organización Mundial de la Salud, menciona que se ha comprobado que la leche de bovinos que pastorean e ingieren agua a las orillas de lagos y ríos contaminados con desechos industriales y aguas negras contienen metales pesados como plomo, cadmio, mercurio y zinc; en estos estudios se ha encontrado que la concentración de metales pesados ingeridos por las vacas tienen influencia sobre las Concentraciones de dichos elementos en la leche, además demostraron que una parte de estos elementos son eliminados en la leche, unidos a compuestos orgánicos, principalmente en las proteínas, mientras que otros se asocian a una baja porción de grasa.⁷⁵

2.8.9. DESCRIPCIÓN DE LOS METALES PESADOS EN LA LECHE

La leche puede contaminarse con metales pesados de un modo exógeno, cuando éstos pasan a ella después del ordeño a partir generalmente del utillaje, o de un modo endógeno si el animal lechero toma los metales pesados con el agua o con el alimento y los elimina por la leche. Los elementos más importantes que pueden aparecer en la leche son el cobre, plomo, cinc, estaño, hierro, mercurio, aluminio, arsénico y molibdeno.⁷⁶

⁷⁴ Muntean N., R. Laslo, R. Ghitulescu and E. Muntean.2004. *Heavy metal's content in some food products. Institute of Public Health ClujNapoca, Romania. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine ClujNapoca, Romania.*

⁷⁵ Rodríguez Sánchez, M. 2003. *Determinación de presencia y concentración de metales pesados en leche bronca. Tesis de Licenciatura. Ingeniero en industrias Alimentarias. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 86p.*

⁷⁶ *La Calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: calidad química. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Reynosa, México Año: 1998.*

Cobre

El cobre que contamina la leche es fundamentalmente de origen exógeno. Se ha realizado experimentos alimentando vacas con sales de cobre, y esta administración provoca un mínimo incremento del contenido de cobre en la leche, encontrándose este incremento dentro del error analítico.

Plomo

La contaminación de la leche suele tener un origen endógeno. Se advirtió una elevada tasa de plomo en la leche de animales alimentados con pastos y forrajes procedentes de zonas en las inmediaciones de industrias mineras y de carreteras.

Cinc

Si bien el pienso también puede ser fuente de contaminación, en caso de aparecer este elemento en gran cantidad en la leche hay que investigar causas exógenas.

Estaño

La leche se contamina por lo general por contacto con recipientes estañados. El pienso aquí no reviste importancia.

Hierro

La contaminación por hierro se lleva a cabo casi siempre después del ordeño por contacto de la leche con superficies y utillaje oxidado.

Mercurio

El origen del mercurio suele ser endógeno. En condiciones normales el pienso no suele contener mercurio; sin embargo, puede contenerlo los piensos elaborados con harinas de pescado contaminado.

Aluminio

Administrando experimentalmente sales de aluminio a los animales lecheros, al cabo de cuatro semanas se advirtió un aumento en la leche de nivel de este elemento hasta el doble de su valor habitual. Sin embargo, el pienso no suele tener importancia en la práctica como fuente endógena de contaminación.

En determinadas circunstancias podría tener importancia un origen exógeno, ya que las centrales lecheras e industrias a menudo utilizan utillaje de aluminio para transportar y tratar la leche. Sin embargo, el aluminio es estable al pH de la leche, por lo que no son habituales las contaminaciones a partir del utillaje.

Arsénico y Molibdato

Cuando aparecen contenidos elevados de estos elementos en la leche hay que buscar las causas en el pienso, que puede estar contaminado en determinadas áreas industriales, y, en el caso del arsénico, por pesticidas que lo contienen.

La presencia en la leche de cantidades elevadas de hierro y cobre, sobre todo, puede provocar enranciamiento auto oxidativo de la grasa que conlleva la aparición en el queso de sabores a rancio indeseables.

Para evitar los problemas relacionados con la presencia de Concentraciones elevadas de metales pesados en la leche es suficiente controlar los piensos y forrajes suministrados al ganado lechero y evitar el contacto de la leche, tanto en los establos como en las queserías, con recipientes y utillaje metálicos que no tengan un comportamiento totalmente inerte.⁷⁷

⁷⁷, ⁷⁷ *La Calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: calidad química. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Reynosa, México Año: 1998.*

2.8.10. EFECTO DEL pH EN LA LECHE

Un descenso de pH de la leche, de 6,7 a 6 por ejemplo, disminuye el tiempo de coagulación y conlleva la formación de un gel que se endurece más rápidamente. Este fenómeno es consecuencia de la influencia del pH a la vez sobre la actividad del cuajo, máxima a pH 5,5, y sobre la estabilidad de las micelas, que decrece con el pH por neutralización de las cargas negativas y liberación de iones Ca^{+2} .⁷⁸



⁷⁸ *La Calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: calidad química. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Reynosa, México Año: 1998.*

CAPÍTULO III



MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Para realizar el trabajo de investigación, se seleccionaron 12 puntos de muestreo, tomando como sector de muestreo la bahía de Cohana ubicada en la península del Lago menor del Titicaca actualmente productora de leche y quesos para la venta en ciudad de La Paz.

Figura 3.1. Lago Menor del Titicaca vista desde Google Earth, mostrando la densa concentración de hidrofitas (Hydrocotyle y Lemna).



Tabla 3.1. Puntos Geo referenciales de la toma de muestras de aguas, suelos, sedimentos, forraje, leche y queso.

Lugar de muestreo	Código de Muestra	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Posición U.T.M.	Altura
Tacachi	T-1	12/05/2014	12:04:11	19K 0535393 UTM 8189940	3820 msnm
Tacachi	T-2	12/05/2014	12:40:09	19K 0535645 UTM 8189941	3823 msnm
Tacachi	T-3	12/05/2014	13:21:21	19K 0535961 UTM 8189980	3821 msnm
Pampa Cohana	PC-1	12/05/2014	14:10:34	19K 0537227 UTM 8189685	3819 msnm
Pampa Cohana	PC-2	12/05/2014	14:50:34	19K 0537191 UTM 8189477	3827 msnm
Pampa Cohana	PC-3	12/05/2014	15:10:55	19K 0537190 UTM 8189733	3827 msnm
San Pedro	SP-1	12/05/2014	15:45:12	19K 0537208 UTM 8190122	3826 msnm
San Pedro	SP-2	12/05/2014	16:12:11	19K 0537485 UTM 8190183	3826 msnm
San Pedro	SP-3	12/05/2014	16:36:41	19K 0537620 UTM 8190272	3818 msnm
Pakollo	P-1	12/05/2014	16:57:43	19K 0537909 UTM 8190457	3828 msnm
Pakollo	P-2	12/05/2014	17:10:24	19K 0537983 UTM 8190516	3828 msnm
Pakollo	P-3	12/05/2014	17:26:32	19K 0538252 UTM 8190656	3819 msnm

Fuente: Elaboración propia.

Punto de toma de muestras nro. 1 localidad de Tacachi (Pto. 1)

Las muestras para el punto T1 fueron colectadas en la localidad de Tacachi con el límite de Pajchiri de la península de Cohana. La muestra de agua observada *insitu* presenta color marrón de característica turbia con presencia de materia orgánica en estado de descomposición en sus orillas. En este punto se realizó el muestreo de aguas suelos, sedimentos, forraje, leche y queso. También en el área de muestreo se observó la presencia de ganado con producción lechera y queso para su comercialización y venta.

Punto de toma de muestras nro. 2 localidad de Tacachi (Pto. 2)

La toma de muestras se determinó en el punto medio de la localidad de Tacachi, las aguas del lugar son turbias de color marrón con presencia de vegetales y partículas en suspensión características de la zona litoral. Se realizó el muestreo de aguas suelos, sedimentos, forraje, leche y queso. En este punto de muestreo se observó presencia de ganado ovino que produce leche y queso para la venta.

Punto de toma de muestras nro. 3 localidad de Tacachi (Pto. 3)

Este punto de muestreo se determinó entre el límite de la localidad de Tacachi y la localidad de San Pedro. Se realizó el muestreo de aguas suelos, sedimentos, forraje, leche y queso. Las muestras de aguas son turbias de color marrón con partículas en suspensión; en este punto de muestreo se evidenció actividad ganadera con producción lechera y queso para su posterior venta.

Punto de toma de muestras nro. 4 localidad de Pampa Cohana (Pto. 4)

Para este punto se determinó realizar la toma de muestras en la localidad de Pampa Cohana. Se realizó el muestreo de aguas suelos, sedimentos, forraje, leche y queso. Las aguas que presentó este punto contiene muchos sólidos suspendidos debido a que estas aguas corresponden a una de las corrientes provenientes de los desechos urbanos y que desemboca hacia la bahía de Cohana; en este punto de muestreo existe actividad ganadera.

Punto de toma de muestras nro. 5 localidad de Pampa Cohana (Pto. 5)

En el quinto punto de toma de muestras se realizó el muestreo en medio de la localidad de Pampa Cohana. Se realizó el muestreo de aguas suelos, sedimentos, forraje, leche y queso. La muestra colectada de agua es turbia con sólidos en suspensión con poca presencia de espuma; en este punto de muestreo existe actividad ganadera.

Punto de toma de muestras nro. 6 localidad de Pampa Cohana (Pto. 6)

Para realizar el muestreo se determinó colectar las muestras en medio de la región Pampa Cohana, en donde se encontró un efluente de agua turbia con arrastre de material sólido e inorgánico. Se realizó el muestreo de aguas suelos, sedimentos, forraje, leche y queso. La muestra colectada presenta sólidos en suspensión con color marrón, baja presencia de espuma y materia orgánica en descomposición; en este punto de muestreo existe actividad ganadera con producción de leche y queso para la venta.

Punto de toma de muestras nro. 7 localidad de San Pedro (Pto. 7)

El punto de muestreo siete se sitúa entre el límite entre de la localidad de Tacachi y San Pedro. Se realizó el muestreo de aguas suelos, sedimentos, forraje, leche y queso. La muestra de agua colectada tiene un color marrón oscuro, contiene partículas en suspensión oscuro y olor a materia orgánica en descomposición; en este lugar se constató la presencia de ganado ovino la misma que produce queso y leche para su comercialización.

Punto de toma de muestras nro. 8 localidad de San Pedro (Pto. 8)

El siguiente punto de muestreo se realizó en medio de la localidad de San Pedro, en este lugar existe presencia de ganado ovino, mismas que producen leche para la venta, también se produce leche para su comercialización. Se realizó el muestreo de aguas suelos, sedimentos, forraje, leche y queso. La muestra de agua

colectada muestra sólidos en suspensión de color marrón y restos de materia orgánica en descomposición.

Punto de toma de muestras nro. 9 localidad de San Pedro (Pto. 9)

Para este punto de toma de muestras se ubicó entre el límite de la localidad San Pedro y Pakollo, se realizó el muestreo de aguas, suelos, sedimentos y forraje. La muestra de agua tiene un color marrón con sólidos en suspensión, en este lugar se produce leche y queso para su posterior venta.

Punto de toma de muestras nro. 10 localidad de Pakollo (Pto. 10)

Se determinó realizar el muestreo en la localidad de Pakollo en la cual producen leche y queso para su venta y consumo, se realizó el muestreo de aguas suelos, sedimentos, forraje, leche y queso. La muestra de agua contiene sólidos en suspensión y materia orgánica en descomposición.

Punto de toma de muestras nro. 11 localidad de Pakollo (Pto. 11)

La toma de muestras para este punto se realizó en medio de la localidad de Pakollo, el mismo lugar se utiliza pastoreo de ganado con producción leche y queso para la venta, en este punto se observó que las aguas de este lugar tiene un olor a sulfuros con materia orgánica en descomposición. Se realizó el muestreo de aguas suelos, sedimentos, forraje, leche y queso, la muestra de agua colectada presenta sólidos en suspensión y un color marrón.

Punto de toma de muestras nro. 12 localidad de Pakollo (Pto. 12)

El último punto de muestreo se efectuó al otro extremo de la localidad de Pakollo, en este lugar las aguas presentan un olor a sulfuros. Se realizó el muestreo de aguas suelos, sedimentos, forraje, leche y queso. La muestra de agua contiene sólidos en suspensión con cantidades de materia orgánica. En la zona existe actividad ganadera, se produce leche y queso para su comercialización y consumo.

3.2. TÉCNICAS DE MUESTREO

3.2.1. MUESTREO DE AGUAS

La toma de muestras de aguas se realizó en recipientes de polietileno de alta densidad, tratados previamente en el laboratorio con detergente líquido (mucosol) libre de fosforo y metales pesados, previo la toma de muestras se enjuagó el frasco tres veces con agua del punto de muestreo antes de la toma de la muestra, el volumen colectado fue de 1000 ml para análisis fisicoquímicos y 500 ml para análisis de metales pesados aplicando el método de muestreo correspondiente (Anexo Nro. 1).

Las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés (U.M.S.A.) para su inmediato análisis químico y físico-químico.

Figura 3.2. Ubicación del punto de muestreo.



Figura 3.3. Lavado del frasco de plástico para el muestreo.



Figura 3.4. Muestra colectada.



3.2.2. MUESTREO DE SUELOS

Para el muestreo de suelos se ubicó a una distancia aproximada de 4 metros desde la orilla del agua contaminada y a la misma altura donde se realizó el muestreo de aguas. Se limpió la capa superficial del suelo y con la ayuda de una pala se hizo un corte transversal de aproximadamente 80 cm de profundidad, en la cual para la colecta de la muestra se tomó la última capa inferior de aproximadamente 30 cm de espesor (Anexo nro. 2), se colectó en bolsas ziploc una masa de aproximadamente 80 gr de muestra de suelo y se codificó teniendo en cuenta el lugar, fecha y hora de muestreo.

Las muestras fueron transferidas al Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) para su inmediato análisis químico y físico-químico.

Figura 3.5. Corte del suelo para el muestreo.

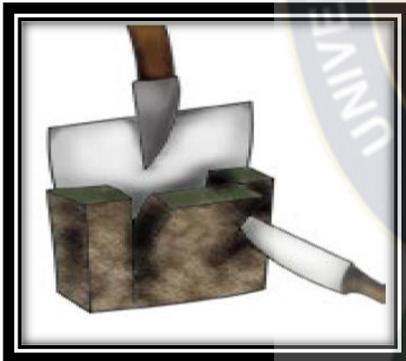


Figura 3.6. Toma de muestra de suelos.



3.2.3. MUESTREO DE SEDIMENTOS

El muestreo de sedimentos se realizó a la misma altura donde se tomó la muestra de agua con una profundidad aproximada de 10 cm, para la toma de muestra de sedimentos no se requirió utilizar equipos puesto que el sedimento del lugar no se encontraba a gran profundidad y se empleó un envase hecho de material pet con orificios en su base para filtrar el agua que contiene, se colectó aproximadamente 50 gr de sedimento, posteriormente fue trasvasado a una bolsa ziploc con su respectiva codificación de la muestra colectada.

Figura 3.7. Elección del punto de muestreo.



Figura 3.8. Muestra de sedimento con agua.



Figura 3.9. Muestra de sedimento exento de agua.



Figura 3.10. Trasvase de sedimento a bolsas ziploc.



Figura 3.11. Muestra de sedimentos colectada.



3.2.4. MUESTREO DE FORRAJE

Las muestras de forraje se tomaron en el mismo punto donde se realizó el muestreo de suelos y sedimentos, la muestra de forraje colectada es la que se utiliza para alimento del ganado la misma que se pretende determinar la bioacumulación de metales pesados para verificar sus efectos en la leche que se produce en el lugar, la cual está a disposición para la venta. Se colectó una muestra de aproximadamente 100 gr y se guardó en bolsas ziploc debidamente codificadas. El instrumento utilizado fue debidamente esterilizado para evitar contaminación a la muestra.

Las muestras colectadas fueron trasladadas al Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) para su inmediato análisis químico y físico-químico.

Figura 3.12. Ubicación de punto de muestreo de forraje.



Figura 3.13. Preparación de la muestra de forraje obtenida.



Figura 3.14. Muestra de forraje colectada.



3.2.5. MUESTREO DE LECHE

Se tomaron las muestras de leche de ganado vacuno en diferentes zonas de la bahía de Cohana, se recolectó leche fresca (recién ordeñada). Se tomó una muestra de 400 ml aproximadamente y se guardó en frascos estériles debidamente tratados, cada muestra se identificó con un código con las siguientes características: nombre del lugar de muestreo, código de muestra, fecha (Día, Mes, Año) y hora de muestreo.

Las muestras fueron refrigeradas y colocadas en recipientes con hielo para su transporte y análisis en el Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) de la Universidad Mayor de San Andrés.

Figura 3.15. Muestras de leche colectadas.



3.2.6. MUESTREO DE QUESO

Se tomaron las muestras de queso en diferentes zonas de la bahía de Cohana, se recolectó queso fresco (recién elaborado). Se tomó una muestra por cada punto de muestreo georeferenciado, se colectó una muestra de aproximadamente 400 gr se almacenó en frascos estériles, cada muestra se identificó con un código con las siguientes características: nombre del lugar de muestreo, código de muestra, fecha (Día, Mes, Año) y hora de muestreo. Las muestras fueron refrigeradas y colocadas en recipientes con hielo para su transporte y análisis en el Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) de la Universidad Mayor de San Andrés.

3.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS EN CAMPO

3.3.1. DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS EN CAMPO

3.3.1.1. CONDUCTIVIDAD

En los puntos de muestreo: Tacachi, Pampa Cohana, San Pedro y Pakollo, además de la colecta de muestras se determinó *insitu* la conductividad eléctrica del agua en campo utilizando un conductímetro de marca WTW Multi 3430 (Equipo multiparamétrico), con rango de $1\mu\text{S}$ a $5000\mu\text{S}$. Se aplicó el método EPA 120.1 (Método Electrométrico).

Figura 3.16. Medición de la conductividad en campo.



3.3.1.2. pH

La lectura de pH se efectuó con un pH-metro digital marca WTW Multi 3430 (Equipo multiparamétrico), el cual fue calibrado con los estándares de calibración y lavado con agua ultrapura.

Los análisis de pH se realizaron en muestras de aguas, suelos y sedimentos. Los métodos se detallan a continuación:

- **Aguas.**

Para la determinación de pH en aguas se empleó el método EPA 150.1 (Método Electrométrico). Para el análisis de este parámetro se realizó directamente en los frascos de muestreo y se registró los valores obtenidos.

Figura 3.17. Estándares de calibración para la lectura de pH.



Figura 3.18. Análisis de pH en campo para muestras de aguas.



3.3.1.3. TEMPERATURA

La lectura de temperatura se tomó *insitu* en cada punto de muestreo, este parámetro es importante porque está en función a la disminución del oxígeno al aumentar la temperatura y la aceleración de los procesos de putrefacción. La temperatura se midió al mismo tiempo que se midió el pH utilizando el instrumento WTW Multi 3430.

3.3.1.4. COLOR

Se hizo una evaluación *insitu* del color aparente de las muestras de aguas recolectadas y presentan un color gris, que va pasando a oscuro e incluso negro.

Figura 3.19. Color gris del agua en la Bahía de Cohana



3.3.1.5. OLOR

El olor se determinó *insitu* de forma cualitativa a través de sentido del olfato que nos indica la presencia de descomposición de materia orgánica y sulfuros. Esta evaluación se hizo en los diferentes puntos de muestreos siendo los olores percibidos a materia orgánica en descomposición y a sulfuro de hidrógeno.

3.4. DETERMINACIONES ANALÍTICAS EN LABORATORIO

3.4.1. DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS EN LABORATORIO

El análisis químico se realizó en el Laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología de la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz-Bolivia.

Figura 3.20. Laboratorio de Calidad Ambiental de la U.M.S.A.



Figura 3.21. Analistas químicos del Laboratorio de Calidad Ambiental de la U.M.S.A.



3.4.1.1. CONDUCTIVIDAD

○ Suelos y sedimentos

Para la lectura de conductividad en muestras de suelos y sedimentos se realizó en laboratorio aplicando el método ASPT 6 (Método Electrométrico) detallado a continuación:

- 1) Secar y tamizar las muestras de suelos y sedimentos.
- 2) Pesar 20 gr de muestra en frascos de plástico.
- 3) Añadir 50 ml de agua bidestilada.
- 4) Agitar durante 2 horas con un agitador recíproco A-AI-031 de marca Gerhardt.
- 5) Leer con el conductímetro marca WTW modelo multi 350i.

3.4.1.2. pH

○ Suelos y sedimentos en laboratorio.

Para la lectura de pH en suelos y sedimentos se utilizó el método ISRIC 4 (Método Electrométrico), el procedimiento se describe a continuación:

- 1) Secar y tamizar las muestras de suelos y sedimentos.
- 2) Pesar 20 gr de muestra en frascos de polietileno.
- 3) Añadir 50 ml de agua bidestilada.
- 4) Agitar durante 2 horas.
- 5) Leer con el pH-metro marca WTW modelo Multi 350i.

3.4.1.3. SÓLIDOS TOTALES EN AGUAS

Para la determinación de sólidos totales en laboratorio se determinó por el método EPA 160.3 que es un método gravimétrico.

El procedimiento para determinar los sólidos totales se detallan a continuación:

- 1) Pesar las cápsulas de cerámica.
- 2) Medir 100 ml de muestra y trasvasarlo a las cápsulas.
- 3) Dejar las cápsulas en baño María hasta que las cápsulas estén secas.

- 4) Llevar a estufa a 100°C.
- 5) Enfriar en el desecador.
- 6) Pesar las cápsulas.

Figura 3.22. Adición de los volúmenes de muestra de aguas a las cápsulas pesadas.



Figura 3.23. Secado de las cápsulas con muestra de agua en el equipo de baño María.



3.4.1.4. NITRÓGENO TOTAL

La determinación de nitrógeno total se realizó en muestras de aguas, suelos, sedimentos y forraje. Los métodos empleados se describen a continuación:

- **Aguas.**

Para la determinación del nitrógeno total en muestras de aguas se utilizó el método EPA 351.1 (Método titulométrico). El procedimiento se detalla a continuación:

- 1) Agitar la muestra y tomar un volumen de 50 ml.
- 2) Agregar 5 ml de ácido sulfúrico concentrado y catalizador de Selenio.
- 3) Digerir durante 2 horas en una rampa de temperatura comprendida de 140 °C a 370 °C.
- 4) Destilar en el equipo Kjeldahl y recibir el destilado en matraces Erlenmeyer de 300 ml con indicador mixto.
- 5) Valorar con ácido sulfúrico 0,01206 N.
- 6) Registrar el volumen gastado de ácido sulfúrico.
- 7) Realizar los cálculos correspondientes.

Las reacciones que se llevan a cabo en la determinación de nitrógeno total son:

- **Digestión**

Catalizadores →



Proteína calor →

- **Neutralización y destilación**



- **Titulación:** la titulación se lleva a cabo con H2SO4 estandarizado.

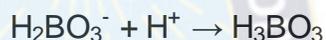


Figura 3.24. Preparación de muestras para el análisis de nitrógeno total.



Figura 3.25. Adición de ácido sulfúrico en las muestras.



Figura 3.26. Digestión de las muestras para su posterior destilación.



Figura 3.27. Destilación en el equipo Kjeldahl.



Figura 3.28. Muestras destiladas preparadas para su valoración con ácido sulfúrico.



Figura 3.29. Muestras valoradas en el punto final de viraje a lavanda con ácido sulfúrico 0,012 N.



○ **Suelos y sedimentos.**

En el análisis de nitrógeno total en suelos y sedimentos se empleó el método ISRIC 6 (Método titulométrico). La metodología se detalla a continuación:

- 1) Pesar 1 gr de muestra y colocar en los tubos de digestión.
- 2) Adicionar catalizador Selenio.
- 3) Añadir 5 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- 4) Digerir la muestra durante 2 horas en una rampa de temperatura comprendida de 140 °C a 370 °C.
- 5) Destilar la muestra digerida y recibir el destilado en matraces de 300 ml.
- 6) Valorar con ácido sulfúrico 0,012 N.

Figura 3.30. Pesaje de muestras de suelos y sedimentos.



Figura 3.31. Destilación en el equipo Kjeldahl.

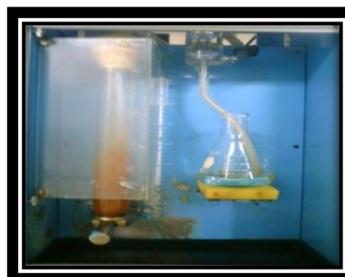


Figura 3.32. Valoración de las muestras de suelos y sedimentos destilados con ácido sulfúrico 0,12 N.



○ **Materia orgánica (forraje).**

En la determinación de nitrógeno total en forraje se aplicó el método ASPT-88 (Método titulométrico). El método se detalla a continuación:

- 1) Secar las muestras en liofilizador y moler.
- 2) Pesar 0,5 gr de muestra y vaciar en los tubos de digestión.
- 3) Adicionar el catalizador Selenio.
- 4) Llevar a digestión en una rampa comprendida entre 140 °C a 370 °C durante 2 horas.
- 5) Añadir 20 ml de agua mili Q y destilar.
- 6) Recibir el destilado en matraces de 300 ml con indicador mixto.
- 7) Valorar con ácido sulfúrico 0,0992 N.

Figura 3.33. Pesado de muestras de forraje.



Figura 3.34. Digestión de las muestras de Forraje.



Figura 3.35. Destilado de Nitrógeno en el equipo Kjeldahl en muestras de Forraje.



Figura 3.36. Valoración del destilado de nitrógeno con ácido sulfúrico 0,0992 N.



3.4.1.5. FÓSFORO TOTAL

El análisis de fósforo total se realizó en muestras de aguas, suelos, sedimentos y forraje. Los procedimientos empleados se detallan a continuación:

- **Aguas.**

Para la determinación de fósforo total en aguas se aplicó el método EPA 365.2 (Método Molibdavanadato). Los procedimientos llevados a cabo son:

- 1) Tomar una alícuota de 100 ml de muestra sin filtrar y colocar en un matraz Erlenmeyer de 300 ml, añadir 1 ml de ácido sulfúrico concentrado y 5 ml de ácido nítrico concentrado.
- 2) Calentar en baño de arena hasta que desprenda vapores blancos.
- 3) Lavar con un poco de agua bidestilada y añadir gotas de indicador fenoftaleina y neutralizar con hidróxido de sodio 10 N hasta color rosado.
- 4) Acidificar con ácido sulfúrico 5 N hasta desaparecer el color rosado.
- 5) Filtrar (papel filtro 0,45 µm) y trasvasar a matraces aforados de 50 ml.
- 6) Añadir 8 ml de solución reveladora a los aforados y completar el aforo.
- 7) Preparar la curva patrón de 1 ppm, 2ppm, 3ppm, 4ppm 5ppm y 6 ppm.
- 8) Esperar 10 min para que la solución tome un color azul y leer en el equipo espectrofotométrico UV/VIS a 720 nm.

La reacción que se llevan a cabo en la determinación de fósforo total es:

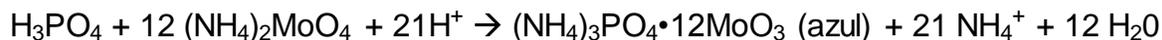


Figura 3.37. Preparación de las muestras de aguas.



Figura 3.38. Deseccación de las muestras en baño de arena.



Figura 3.39. Aforo a 50 ml de muestras tratadas con ácido sulfúrico y ácido nítrico concentrado.



Figura 3.40. Adición de la solución reveladora a cada muestra aforada para la lectura de fósforo total.



Figura 3.41. Preparación y revelación (color azul) de la curva de calibración de fósforo.



Figura 3.42. Lectura de fósforo total en el equipo de espectroscopia UV/VIS.



- **Suelos y sedimentos.**

En el análisis de fósforo disponible en suelos y sedimentos se utilizó el método ISRIC 14-3 (Método Molibdovanadato). A continuación se describe la metodología empleada.

- 1) Pesar 2,5 gr de muestra en frascos de polietileno de 100 ml.
- 2) Añadir 50 ml de bicarbonato de sodio 0,5 N (pH 8,5).
- 3) Agitar durante 30 min y filtrar en recipientes de polietileno de 50 ml.
- 4) Tomar una alícuota de 5 ml del filtrado y poner en frascos falcon de 45 ml.
- 5) Preparar la curva patrón de 0,5 ppm, 1,0 ppm, 1,5 ppm y 2,0 ppm y añadir la solución reveladora.
- 6) Añadir 5 ml de solución reveladora a las muestras y dejar reaccionar durante 1 hora.
- 7) Leer en el equipo espectrofotométrico UV/VIS a 720 nm.

Figura 3.43. Pesado de suelos y sedimentos.



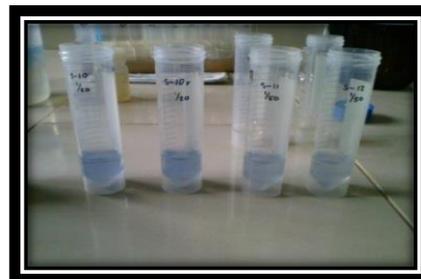
Figura 3.44. Adición de solución reveladora a muestras filtradas.



Figura 3.45. Muestras con solución reveladora.



Figura 3.46. Dilución de muestras para lectura.



○ **Materia orgánica (forraje).**

Para el análisis de fósforo total en forraje se aplicó el método de calcinación ASP 91 (Método Molibdovanadato). El procedimiento realizado es el siguiente:

- 1) Pesar 0,3 gr de muestra de forraje en crisoles.
- 2) Calcinar en mufla a 550 °C durante 3 horas.
- 3) Agregar 1 ml de ácido clorhídrico 1:1 y secar en baño de arena hasta sequedad.
- 4) Añadir 10 ml de ácido clorhídrico 0,2 M.
- 5) Aaforar a 50 ml lavando el crisol con agua mili Q.
- 6) Preparar la curva patrón de 0,5 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm, 5 ppm, 6 ppm, 7 ppm y 8 ppm.
- 7) Añadir 1 ml de muestra, 3 ml de mezcla reactiva y 2 ml ac. Bórico.
- 8) Dejar reaccionar durante 1 hora y leer en el equipo.
- 9) Leer en el equipo espectrofotométrico UV/VIS a 882 nm.

Figura 3.47. Pesaje de muestras de forraje.



Figura 3.48. Calcinación a 550°C de muestras en mufla.



Figura 3.49. Secado de muestras y adición de ácido clorhídrico 1:1.



Figura 3.50. Muestras preparadas para adicionar la solución reveladora.



Figura 3.51. Muestras reveladas listas para su lectura.



Figura 3.52. Lectura de muestras en el equipo espectrofotométrico UV/VIS.



3.4.1.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO-5

El análisis de la demanda bioquímica de oxígeno se realizó en muestras de aguas, se analizó por el método EPA 405.1 (Método Oxígeno inicial – oxígeno final Winkler test de 5 días). La metodología se detalla a continuación:

- 1) Añadir al frasco winkler un volumen de 50 ml a 100 ml (según la turbidez) de muestra sin filtrar.
- 2) Preparar 2 litros de agua potable de grifo y otra botella que contenga agua de río hacer burbujear durante 1 hora para retener el oxígeno.
- 3) Adicionar 2 ml de Cloruro de Bario, 2 ml de Cloruro Férrico, 2 ml de Sulfato de Magnesio, 2 ml de Buffer y 10 ml de agua de río a un matraz de 2 litros.
- 4) Agregar la mezcla preparada a los frascos winkler.
- 5) Leer con el equipo multiparamétrico el oxígeno inicial, completar el volumen hasta el rebalse y tapar.
- 6) Llevar los frascos winkler a la incubadora marca Ecocell a una temperatura de 20 °C.
- 7) Volver a leer los valores de oxígeno final después de cinco días.

Las reacciones que ocurren se muestran más adelante, si el material orgánico está en exceso estequiométrico de la cantidad de oxígeno requerido, como lo indica

la ecuación (1) al término de la prueba no hay oxígeno disuelto que se pueda medir y no es posible evaluar la Demanda de Oxígeno.

La ecuación (2) es la deseable, ya que de esta manera si se puede determinar la cantidad de oxígeno consumido, restando el oxígeno disuelto al final de la prueba con el oxígeno inicialmente presente.

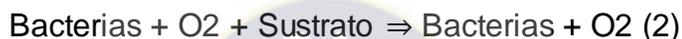
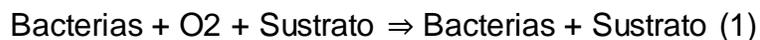


Figura 3.53. Burbujeo con la bomba del agua de río y el agua de la pila para captar el oxígeno.



Figura 3.54. Frascos winkler preparados para la adición de muestra.



Figura 3.55. Lectura de oxígeno inicial con el oxímetro.



Figura 3.56. Incubación de muestras a 20 °C.



3.4.1.7. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Para el análisis de la demanda química de oxígeno se realizó en muestras de aguas, el método empleado es SM 5220-C (Método titulométrico). El procedimiento se describe a continuación:

- 1) Medir 2,5 ml de muestra filtrada y ponerlos en tubos de 10 ml.
- 2) Añadir 1,5 ml de reactivo de dicromato de potasio 0,2085 N (sulfato de mercurio, dicromato de potasio y ácido sulfúrico).
- 3) Agregar 3,5 ml de sulfato de plata al 1%.
- 4) Digerir durante 2 horas a 150 °C.
- 5) Añadir ml de indicador
- 6) Valorar con sulfato ferroso 0,025 N.

La reacción que se lleva a cabo en la determinación de DQO es:

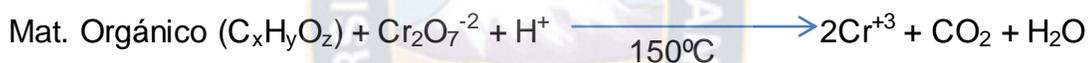


Figura 3.57. Digestión de muestras a 150 °C.

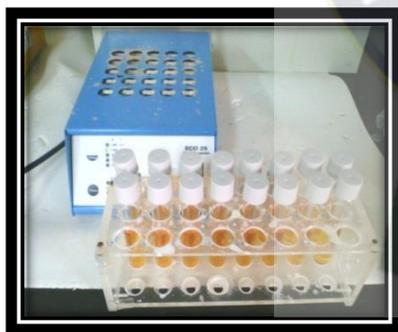


Figura 3.58. Valoración con sulfato ferroso 0,025 N.



3.4.1.8. DETERMINACIÓN DE NITRATOS (NO₃⁻)

El análisis de nitratos se realizó en muestras de aguas, se aplicó el método SM 4500-NO₃-B (Método Espectrofotométrico UV/VIS). El procedimiento de análisis se detalla a continuación:

- 1) Preparar la curva patrón de Concentraciones: 0,5 ppm, 2,5 ppm, 5,0 ppm, 10,0 ppm y 15,0 ppm.
- 2) De las muestras filtradas sacar alícuotas de 10 ml y llevar a los matraces aforados de 10 ml.
- 3) Añadir 0,2 ml de ácido clorhídrico 1N.
- 4) Llenar en cubetas de cuarzo previamente lavadas en solución sulfocrómica.
- 5) Leer en el equipo de espectrofotométrico UV/VIS marca Cary 1E a 220 nm.

Las reacciones que ocurren para la formación de nitratos consisten en la transformación de la materia orgánica influenciada por la acción de bacterias y microbios que son transformadas en albúminas para luego formar aminoácidos, posteriormente en amonio (NH₄⁺), luego en nitritos (NO₂⁻) y al final en nitratos (NO₃⁻).

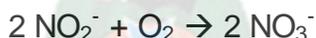
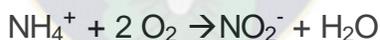


Figura 3.59. Aforo de muestras filtradas a 10 ml para la lectura de nitratos.



Figura 3.60. Trasvase de muestras en cubetas de cuarzo para la lectura de nitratos.



Figura 3.61. Lectura de nitratos en el equipo espectrofotométrico UV/VIS.



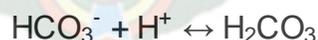
3.4.1.9. DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD TOTAL (CO₂, CO₃²⁻ y HCO₃⁻)

Para el análisis de alcalinidad total se aplicó el método EPA 310.1 (Método titulométrico). El procedimiento desarrollado se describe a continuación:

- 1) Medir 50 ml de muestra de agua sin filtrar e introducir en matraces erlenmeyer de 300 ml.
- 2) Adicionar 1 ml de indicador mixto (verde de bromocresol y rojo de metilo) y controlar el pH, si el pH está por encima de 7 existe alcalinidad caso contrario solo existe acidez.
- 3) Valorar con ácido clorhídrico 0,01 N.

Las reacciones que se llevan a cabo en la determinación de Alcalinidad son:

- ✓ Reacción de valoración del anión bicarbonato con ácido clorhídrico.



- ✓ Acido carbónico formado en equilibrio.

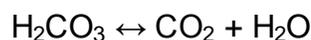


Figura 3.64. Adición de 20 ml de muestra y 20 ml de agua mili-Q.



Figura 3.65. Sulfato de bario que se añade al matraz erlenmeyer.



Figura 3.66. Muestra de agua agitada con sulfato de Bario trasvasada en la cubeta de cuarzo para su posterior lectura.



Figura 3.67. Lectura de sulfatos en muestras de aguas en el turbidímetro con el sulfato de bario formado en la cubeta de cuarzo.



3.4.2. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

El presente estudio de investigación ha determinado evaluar la presencia de metales pesados: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Cromo trivalente (Cr^{+3}) para controlar la concentración de metales en aguas utilizadas para riego y ganadería así como también los nutrientes: Hierro (Fe), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg).

La determinación del contenido de metales pesados se ha determinado por la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica a llama y horno de grafito, para niveles traza. Es necesario hacer tratamiento de materiales mediante técnicas ultra limpias para obtener materiales libre de contaminantes, por lo cual la limpieza de materiales consiste en el lavado con detergente líquido libre de fósforo (mucosol)

para luego ser tratado en baños con ácido nítrico diluido al 10% dejando 24 horas el material sumergido y eliminar posibles trazas metálicas, seguidamente son enjuagadas con agua destilada tres veces y por último enjuagar con agua mili-Q antes de su uso.

Para la preparación de la recta de calibración de Arsénico, Cadmio, Plomo, Cromo, Hierro, Calcio y Magnesio se parte de soluciones madre de concentración 1000 mg/l para cada elemento en estudio, se preparan curvas patrón de distintas Concentraciones para cada uno de los metales. Todas las soluciones patrón son preparadas con ácido nítrico al 0,2%, las muestras son tratadas con ácido nítrico concentrado y clorhídrico concentrado de acuerdo al tipo de muestras.

Las muestras fueron tratadas de distinta forma según el tipo de muestra, el procedimiento realizado se describe a continuación:

- **Aguas.**

Para el análisis de metales pesados en muestras de aguas se toman 14 ml de muestras filtradas por una membrana de nitrato de celulosa de 0,45 micras de porosidad, se llevan a tubos de 14 ml y se estabilizan al 1% con ácido nítrico para su posterior lectura en el equipo de Absorción Atómica en horno de grafito marca Perkin Elmer modelo AAnalyst 700 para Arsénico y para los otros metales en Absorción Atómica a llama marca Perkin Elmer modelo 3110.

- **Suelos y sedimentos.**

En la preparación de las muestras de suelos y sedimentos las muestras son tratadas de la siguiente manera:

- 1) Secar a temperatura ambiente, moler y tamizar malla 0.2 mm.
- 2) Pesar 0,5 gr de muestra y vaciar en el tubo de digestión.
- 3) Añadir 3 ml de ácido nítrico concentrado y 3 ml de ácido clorhídrico concentrado.

- 4) Digerir durante 2 horas a 100 °C en digestión abierta en el equipo Microdigestor Kjeldahl marca Quimis.
- 5) Filtrar y aforar a 14 ml con agua mili-Q.
- 6) Leer en el equipo de Absorción Atómica en horno de grafito marca Perkin Elmer modelo AAnalyst 700 para Arsénico y para los demás metales leer en Absorción Atómica a llama marca Perkin Elmer modelo 3110.

○ **Materia orgánica (forraje).**

Las muestras orgánicas en este caso forraje son procesadas de distinta manera, la cual se describe a continuación:

- 1) Realizar el secado con el equipo liofilizador marca Labconco.
- 2) Moler con el equipo molino ultrafino marca IKA modelo A11B.
- 3) Pesar 0,5 gr de muestra y vaciar en el tubo teflón de digestión.
- 4) Añadir 5 ml de ácido nítrico.
- 5) Digerir durante 2 horas a 150 °C en horno microondas marca Anton Para modelo Multiwave 3000.
- 6) Aaforar a 14 ml con agua mili-Q.
- 7) Leer en el equipo de Absorción Atómica en horno de grafito marca Perkin Elmer modelo AAnalyst 700 para Arsénico y para los demás metales leer en Absorción Atómica a llama marca Perkin Elmer modelo 3110.

3.4.2.1. DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO

Para la determinación Arsénico se preparó una recta de calibración de 10 ppb, 20 ppb, 40 ppb, 80 ppb y 100 ppb y se aplicó el método EPA 206.2 (Método Espectrofotométrico). El procedimiento se detalla a continuación:

- 1) Encender el equipo de Absorción Atómica de horno grafito.
- 2) Abrir las válvulas de los gases de Argón y Oxígeno.
- 3) Abrir el programa del equipo Winlab 32 for AA.
- 4) Esperar a que el programa reconozca el equipo.
- 5) Elegir el Worksapace del metal, en este caso Arsénico.
- 6) Encender la lámpara de alta intensidad de descarga sin electrodo de Arsénico y esperar a que el nivel de energía suba a 50 %. La lámpara es de tipo C-EDL.
- 7) Poner en los cups de 1,2 ml el blanco de reactivo, la curva patrón de Arsénico, el blanco de digestión, las muestras, la referencia y los modificadores de Plomo y molibdato de Magnesio.
- 8) Realizar la curva, si la curva obtiene tres nueves en el valor de coeficiente de correlación se acepta en caso contrario volver a repetir la curva.
- 9) Leer las muestras con su blanco de digestión y su respectiva referencia. Para la atomización de las muestras en horno grafito la temperatura llega a 2200 °C.
- 10) Con los resultados obtenidos realizar los cálculos correspondientes.

3.4.2.2. DETERMINACIÓN DE CADMIO

En el análisis de Cadmio se preparó una recta de calibración de 0.1 mg/L, 0.2 mg/L, 0.3 mg/L, 0.4 mg/L y 0.5 mg/L y se utilizó el método EPA 213.1 (Método Espectrofotométrico). La metodología se describe a continuación:

- 1) Encender el equipo de Absorción Atómica a llama.
- 2) Abrir las válvulas de los gases de Acetileno y Oxígeno.
- 3) Abrir el programa del equipo AA Winlab Analyst.
- 4) Esperar a que el programa reconozca el equipo.
- 5) Elegir el Workspace del metal, en este caso Cadmio.
- 6) Encender la lámpara de cátodo hueco de Cadmio. La lámpara es de tipo HCL.
- 7) Ajustar la alineación de la lámpara con las perillas del equipo hasta que el nivel de energía suba a 50 %.
- 8) En Continuous Graphics ajustar la absorbancia a cero.
- 9) Realizar la línea base con el blanco de reactivo (ácido nítrico 0,2%).
- 10) Realizar la curva, si la curva obtiene tres nueves en el valor de coeficiente de correlación se acepta en caso contrario volver a repetir la curva.
- 11) Leer las muestras directamente en los tubos de 14 ml con el blanco de digestión y su respectiva referencia. Para la atomización de las muestras en llama la temperatura llega a 3600 °C.
- 12) Con los resultados obtenidos realizar los cálculos correspondientes.

3.4.2.3. DETERMINACIÓN DE PLOMO

Para la determinación de Plomo se realizó una recta de calibración de 0.5 mg/L, 1 mg/L, 1.5 mg/L y 2 mg/L y se empleó el método EPA 239.2 (Método Espectrofotométrico) los pasos que se siguieron son los siguientes:

- 1) Encender el equipo de Absorción Atómica a llama.
- 2) Abrir las válvulas de los gases de Acetileno y Oxígeno.
- 3) Abrir el programa del equipo AA Winlab Analyst.
- 4) Esperar a que el programa reconozca el equipo.
- 5) Elegir el Workspace del metal, en este caso Plomo.
- 6) Encender la lámpara de cátodo hueco de Plomo. La lámpara es de tipo HCL.
- 7) Ajustar la alineación de la lámpara con las perillas del equipo hasta que el nivel de energía suba a 50 %.
- 8) En Continuous Graphics ajustar la absorbancia a cero.
- 9) Realizar la línea base con el blanco de reactivo (ácido nítrico 0,2%).
- 10) Realizar la curva, si la curva obtiene tres nueves en el valor de coeficiente de correlación se acepta en caso contrario volver a repetir la curva.
- 11) Leer las muestras directamente en los tubos de 14 ml con su blanco de digestión y su respectiva referencia. Para la atomización de las muestras en llama la temperatura llega a 3600 °C.
- 12) Con los resultados obtenidos realizar los cálculos correspondientes.

3.4.2.4. DETERMINACIÓN DE CROMO TRIVALENTE

En el análisis de Cromo trivalente (Cr^{+3}) se realizó una recta de calibración de 0.5 mg/L, 1 mg/L, 2 mg/L y 3 mg/L y se empleó el método EPA 7190 (Método Espectrofotométrico), la técnica se explica a continuación:

- 1) Encender el equipo de Absorción Atómica a llama.
- 2) Abrir las válvulas de los gases de Acetileno y Oxígeno.
- 3) Abrir el programa del equipo AA Winlab Analyst.
- 4) Esperar a que el programa reconozca el equipo.
- 5) Elegir el Worksapace del metal, en este caso Cromo.
- 6) Encender la lámpara de cátodo hueco de Cromo. La lámpara es de tipo HCL.
- 7) Ajustar la alineación de la lámpara con las perillas del equipo hasta que el nivel de energía suba a 50 %.
- 8) Ajustar la llama reductora (llama de color verde) con las perillas de Fuel y Oxidant.
- 9) En Continuous Graphics ajustar la absorbancia a cero.
- 10) Realizar la línea base con el blanco de reactivo (ácido nítrico 0,2%).
- 11) Realizar la curva, si la curva obtiene tres nueves en el valor de coeficiente de correlación se acepta en caso contrario volver a repetir la curva.
- 12) Leer las muestras directamente en los tubos de 14 ml con su blanco de digestión y su respectiva referencia. Para la atomización de las muestras en llama la temperatura llega a 3600 °C.
- 13) Con los resultados obtenidos realizar los cálculos correspondientes.

3.4.3. DETERMINACIÓN DE METALES COMO NUTRIENTES

3.4.3.1. DETERMINACIÓN DE CALCIO

Para el análisis de este metal se realizó una recta de calibración de 1 mg/L, 2 mg/L, 3 mg/L, 4 mg/L y 5 mg/L y utilizó el método EPA 215.1 (Método Espectrofotométrico) que consiste en los siguientes pasos:

- 1) Encender el equipo de Absorción Atómica a llama.
- 2) Abrir las válvulas de los gases de Acetileno y Oxígeno.
- 3) Abrir el programa del equipo AA Winlab Analyst.
- 4) Esperar a que el programa reconozca el equipo.
- 5) Elegir el Worksapace del metal, en este caso Calcio.
- 6) Encender la lámpara de cátodo hueco de Calcio. La lámpara es de tipo HCL.
- 7) Ajustar la alineación de la lámpara con las perillas del equipo hasta que el nivel de energía suba a 50 %.
- 8) En Continuous Graphics ajustar la absorbancia a cero.
- 9) Realizar la línea base con el blanco de reactivo (óxido de lantano al 10%).
- 10) Realizar la curva, si la curva obtiene tres nueves en el valor de coeficiente de correlación se acepta en caso contrario volver a repetir la curva.
- 11) Realizar una dilución 1/10 con óxido de lantano concentración a las muestras para eliminar interferencias químicas y aaforar con agua mili-Q.
- 12) Leer las muestras preparadas directamente en los tubos de 14 ml con su blanco de digestión y su respectiva referencia. Para la atomización de las muestras en llama la temperatura llega a 3600 °C.
- 13) Con los resultados obtenidos realizar los cálculos correspondientes.

3.4.3.2. DETERMINACIÓN DE MAGNESIO

Para la determinación de este metal se realizó una recta de calibración de 0.25 mg/L, 0.50 mg/L, 0.75 mg/L, 1.0 mg/L, 1.25 mg/L y 1.50 mg/L y se aplicó el método EPA 242.1 (Método Espectrofotométrico). El procedimiento ejecutado se describe a continuación:

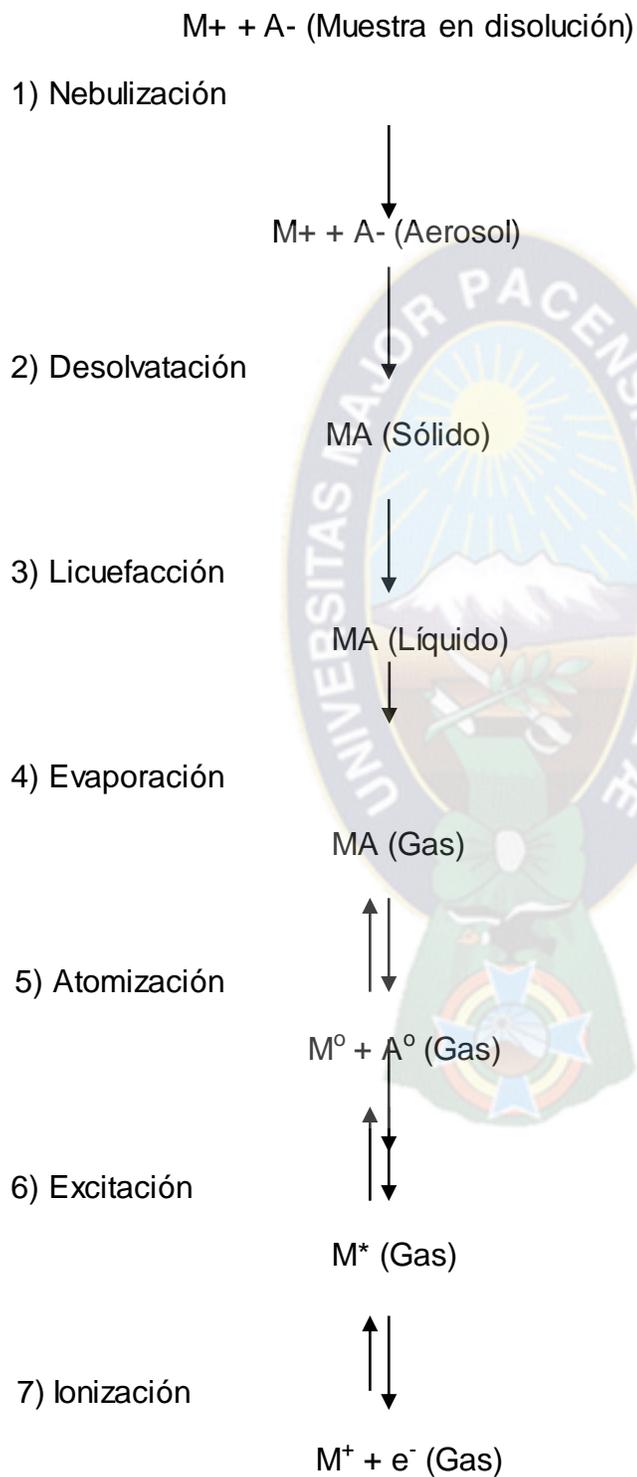
- 1) Encender el equipo de Absorción Atómica a llama.
- 2) Abrir las válvulas de los gases de Acetileno y Oxígeno.
- 3) Abrir el programa del equipo AA Winlab Analyst.
- 4) Esperar a que el programa reconozca el equipo.
- 5) Elegir el Workspace del metal, en este caso Magnesio.
- 6) Encender la lámpara de cátodo hueco de Magnesio. La lámpara es de tipo HCL.
- 7) Ajustar la alineación de la lámpara con las perillas del equipo hasta que el nivel de energía suba a 50 %.
- 8) En Continuous Graphics ajustar la absorbancia a cero.
- 9) Realizar la línea base con el blanco de reactivo (óxido de lantano al 10%).
- 10) Realizar la curva, si la curva obtiene tres nueves en el valor de coeficiente de correlación se acepta en caso contrario volver a repetir la curva.
- 11) Realizar una dilución 1/10 con óxido de lantano concentración a las muestras para eliminar interferencias químicas y aforar con agua mili-Q.
- 12) Leer las muestras preparadas directamente en los tubos de 14 ml con su blanco de digestión y su respectiva referencia. Para la atomización de las muestras en llama la temperatura llega a 3600 °C.
- 13) Con los resultados obtenidos realizar los cálculos correspondientes.

3.4.3.3. DETERMINACIÓN DE HIERRO

En la determinación del metal Hierro se preparó una recta de calibración de 0.10 mg/L, 0.25 mg/L, 0.50 mg/L, 0.75 mg/L, 1.00 mg/L, 1.25 mg/L, 1.50 mg/L para aguas y 1 mg/L, 2 mg/L, 3 mg/L, 4 mg/L, 5 mg/L para suelos. Para el análisis de este metal se utilizó el método EPA 7381 (Método Espectrofotométrico). A continuación se detalla los pasos de la metodología empleada:

- 1) Encender el equipo de Absorción Atómica a llama.
- 2) Abrir las válvulas de los gases de Acetileno y Oxígeno.
- 3) Abrir el programa del equipo AA Winlab Analyst.
- 4) Esperar a que el programa reconozca el equipo.
- 5) Elegir el Workspace del metal, en este caso Hierro.
- 6) Encender la lámpara de cátodo hueco de Hierro. La lámpara es de tipo HCL.
- 7) Ajustar la alineación de la lámpara con las perillas del equipo hasta que el nivel de energía suba a 50 %.
- 8) En Continuous Graphics ajustar la absorbancia a cero.
- 9) Realizar la línea base con el blanco de reactivo (ácido nítrico 0,2%).
- 10) Realizar la curva, si la curva obtiene tres nueves en el valor de coeficiente de correlación se acepta en caso contrario volver a repetir la curva.
- 11) Leer las muestras directamente en los tubos de 14 ml con su blanco de digestión y su respectiva referencia. Para la atomización de las muestras en llama la temperatura llega a 3600 °C.
- 12) Con los resultados obtenidos realizar los cálculos correspondientes.

Las etapas y procesos de la atomización que se llevan a cabo en la determinación de metales pesados por espectroscopia de absorción atómica a llama se detallan a continuación:



CAPÍTULO IV



DATOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PARÁMETROS QUÍMICOS

4.1.1. AGUAS

4.1.1.1. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

➤ Arsénico (As)

Curva patrón



Longitud de onda = 193,7 nm

Corriente de Lámpara = 380 mA

Slit = 0,7

Energía = 36 %

Coefficiente de correlación de la curva patrón = 0,9997

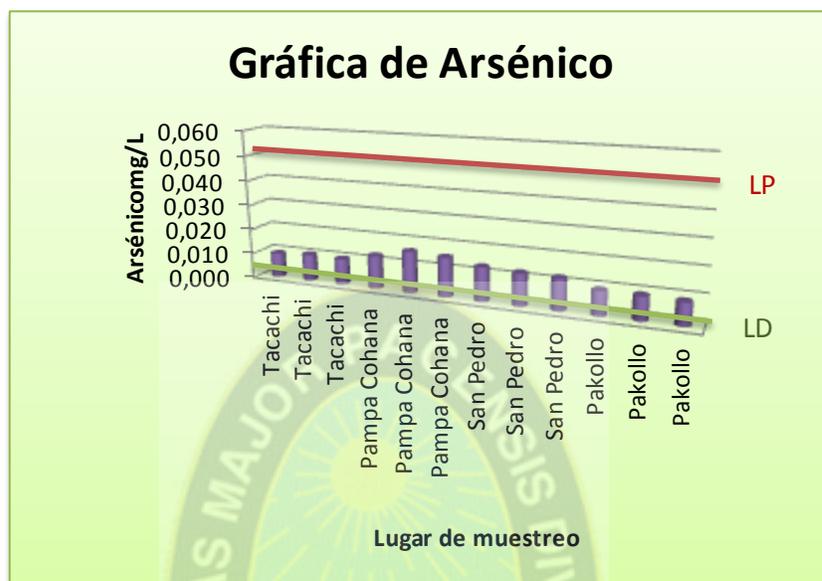
Los resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en aguas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.1. Resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en muestras de aguas.

L.D. = 1,0 µg/L

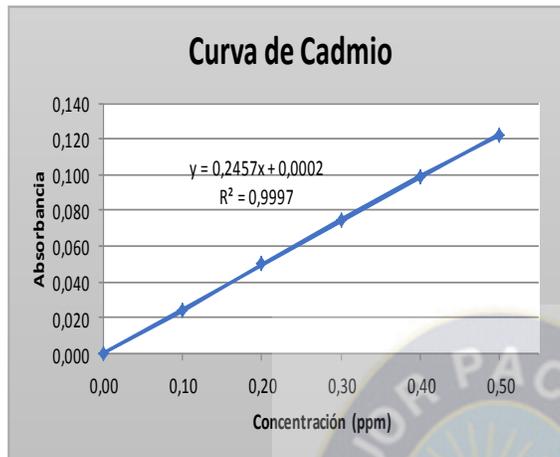
Lugar	Arsénico µg/L
Tacachi	10
Tacachi	11
Tacachi	10
Pampa Cohana	13
Pampa Cohana	16
Pampa Cohana	16
San Pedro	13
San Pedro	13
San Pedro	12
Pakollo	9,4
Pakollo	9,5
Pakollo	9,0

Figura 4.1. Descripción del comportamiento de Arsénico en muestras de aguas.



En la figura 4.1 se observa Concentraciones obtenidas en cada punto de las localidades de muestreo con Concentraciones que van de 9,0 $\mu\text{g/L}$ a 16 $\mu\text{g/L}$. La concentración más elevada de Arsénico es 16 $\mu\text{g/L}$ se encuentra en la población de Pampa Cohana, esto se debe a efluentes provenientes de descargas residuales e industriales de la ciudad dEl Alto, los valores de Arsénico se encuentran por debajo del límite permisible (0,050 mg/L = 50 $\mu\text{g/L}$) correspondiente a la clase A (aguas de consumo) en cuerpos de agua establecido por la norma boliviana ley de Medio Ambiente 1333.figura

➤ **Cadmio (Cd)**
Curva patrón



Longitud de onda = 228,8 nm

Corriente de Lámpara = 6 mA

Slit = 0,7

Energía = 53 %

Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9997

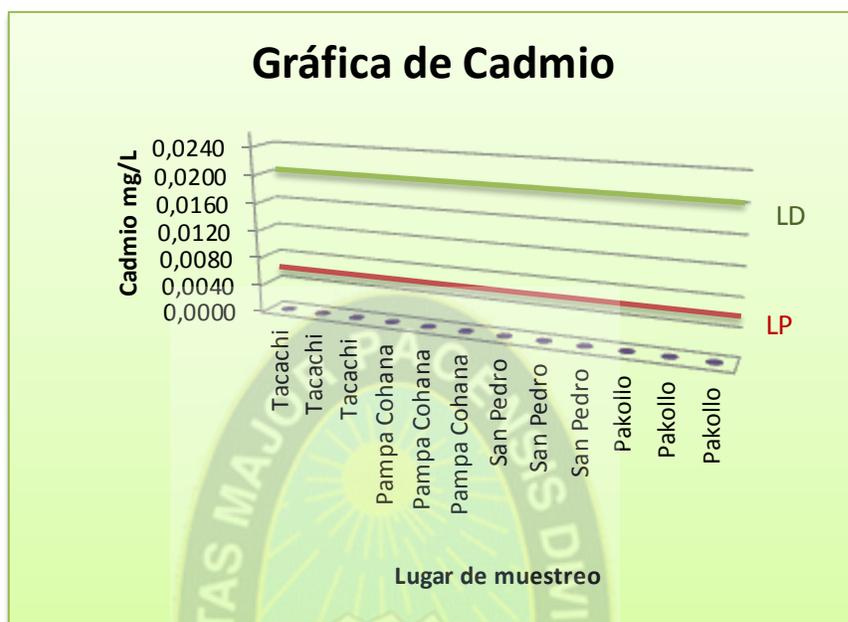
Los resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en aguas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.2. Resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de aguas.

L.D. = 0,020 mg/L

Lugar	Cadmio mg/L
Tacachi	< 0,020
Tacachi	< 0,020
Tacachi	< 0,020
Pampa Cohana	< 0,020
Pampa Cohana	< 0,020
Pampa Cohana	< 0,020
San Pedro	< 0,020
San Pedro	< 0,020
San Pedro	< 0,020
Pakollo	< 0,020
Pakollo	< 0,020
Pakollo	< 0,020

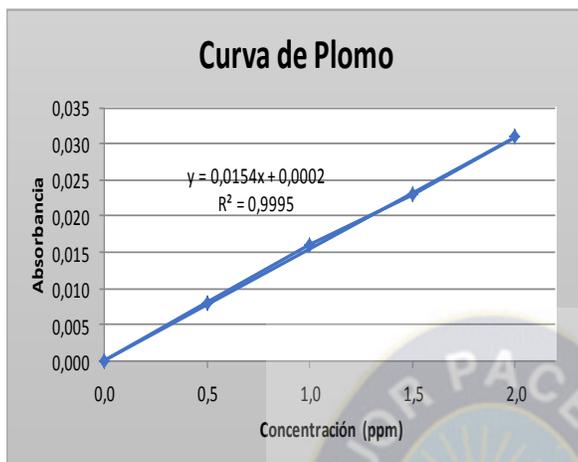
Figura 4.2. Descripción del comportamiento de Cadmio en muestras de aguas.



En la figura 4.2 se observa que los valores analizados para Cadmio están por debajo del límite de detección 0,020 mg/L con la técnica de espectrofotometría de absorción a llama en todas las localidades de muestreo, por tanto se concluye que las Concentraciones registradas de Cadmio son muy bajas y no son significativas en las muestras analizadas.

Los valores de Cadmio se encuentran por debajo del límite permisible (0,0050 mg/L) correspondiente a la clase A (aguas de consumo) en cuerpos de agua establecido por la norma boliviana ley de Medio Ambiente 1333.

➤ **Plomo (Pb)**
Curva patrón



Longitud de onda = 283,3 nm

Corriente de Lámpara = 10 mA

Slit = 0,7

Energía = 54 %

Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9995

Los resultados obtenidos en el análisis de Plomo en aguas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.3. Resultados obtenidos en el análisis de Plomo en muestras de aguas.

L.D. = 0,050 mg/L

Lugar	Plomo mg/L
Tacachi	< 0,050
Tacachi	< 0,050
Tacachi	< 0,050
Pampa Cohana	< 0,050
Pampa Cohana	< 0,050
Pampa Cohana	< 0,050
San Pedro	< 0,050
San Pedro	< 0,050
San Pedro	< 0,050
Pakollo	< 0,050
Pakollo	< 0,050
Pakollo	< 0,050

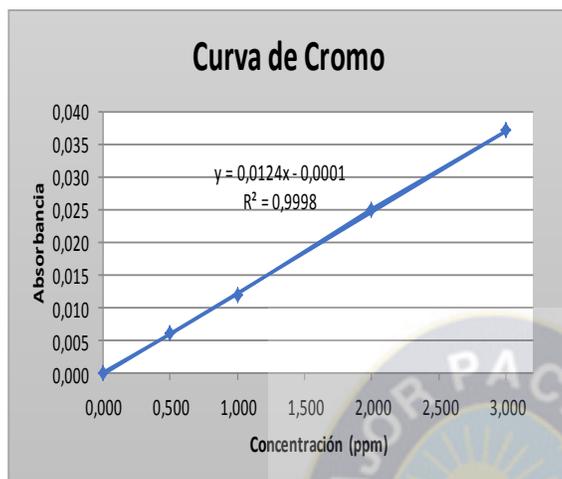
Figura 4.3. Descripción del comportamiento de Plomo en muestras de aguas.



En la figura 4.3 se observa que en todas las localidades de muestreo se obtuvieron valores por debajo del límite de detección 0,050 mg/L con la técnica de espectrofotometría de absorción a llama, concluyendo de esta manera que las Concentraciones registradas de Plomo no son detectadas en las muestras de aguas analizadas.

Los valores de Plomo se encuentran por debajo del límite permisible (0,0050 mg/L) correspondiente a la clase C (aguas residuales) en cuerpos de agua establecido por la norma boliviana ley de Medio Ambiente 1333.

➤ **Cromo (Cr³⁺)**
Curva patrón



Longitud de onda = 357,9 nm

Corriente de Lámpara = 27 mA

Slit = 0,70

Energía = 61 %

Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9998

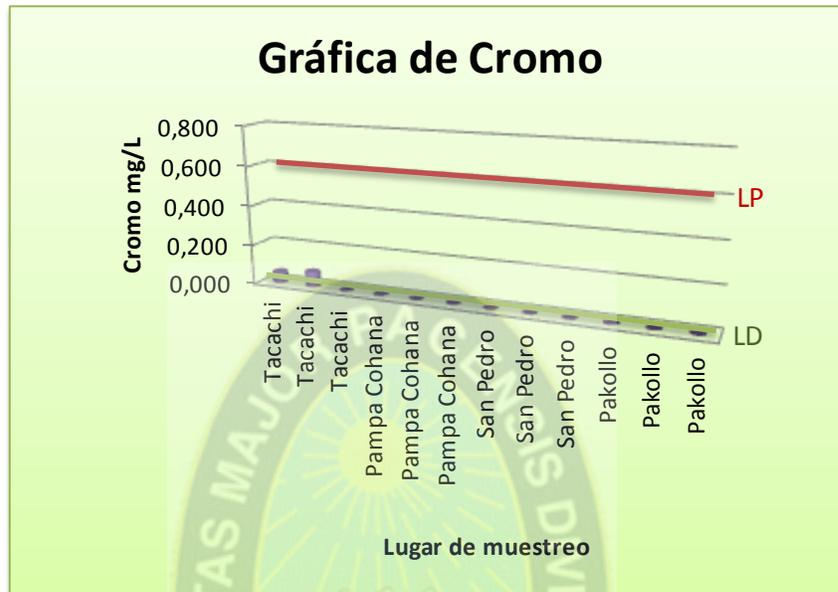
Los resultados obtenidos en el análisis de Cromo en aguas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.4. Resultados obtenidos en el análisis de Cromo (Cr³⁺) en muestras de aguas.

L.D. = 0,050 mg/L

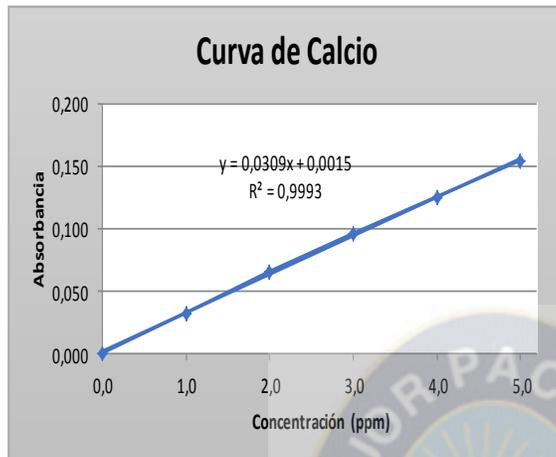
Lugar	Cromo mg/L
Tacachi	0,056
Tacachi	0,075
Tacachi	< 0,050
Pampa Cohana	< 0,050
Pampa Cohana	< 0,050
Pampa Cohana	< 0,050
San Pedro	< 0,050
San Pedro	< 0,050
San Pedro	< 0,050
Pakollo	< 0,050
Pakollo	< 0,050
Pakollo	< 0,050

Figura 4.4. Descripción del comportamiento de Cromo (Cr^{+3}) en muestras de aguas.



En la figura 4.4 se puede observar que existe presencia de Cromo trivalente en dos puntos de muestreo con Concentraciones de 0,056 mg/L y 0,075 mg/L en la localidad en Tacachi. En los demás puntos las Concentraciones obtenidas se encuentran por debajo del límite de detección (0,050 mg/L) utilizando el método de espectroscopía de absorción a llama. Los valores de Cromo trivalente se encuentran por debajo del límite permisible (0,60 mg/L) correspondiente a la clase C (aguas residuales) en cuerpos de agua establecido por la norma boliviana ley de Medio Ambiente 1333.

➤ **Calcio**
Curva patrón



Longitud de onda = 422,7 nm

Corriente de Lámpara = 12 mA

Slit = 0,7

Energía = 52 %

Coefficiente de correlación de la curva patrón = 0,9993

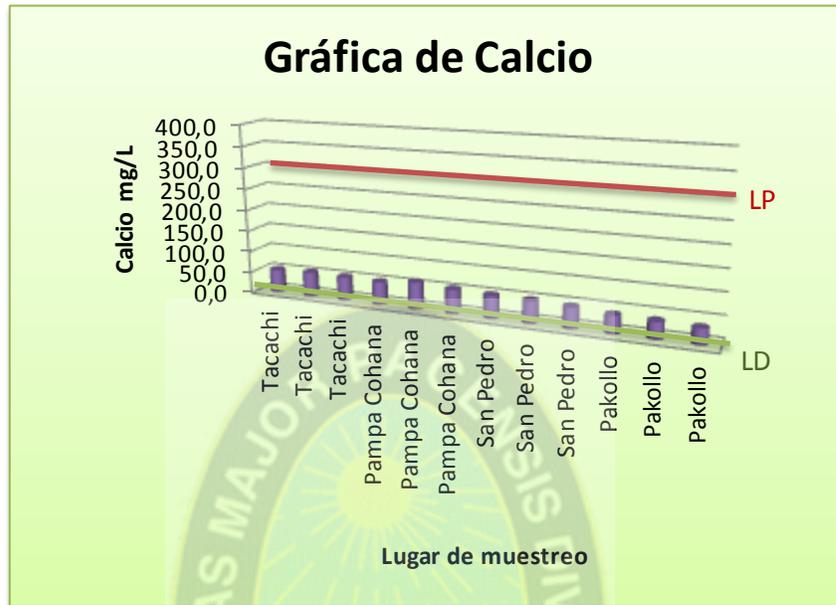
Los resultados obtenidos en el análisis de Calcio en aguas se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 4.5. Resultados obtenidos en el análisis de Calcio en muestras de aguas.

Lugar	Calcio mg/L
Tacachi	54
Tacachi	56
Tacachi	55
Pampa Cohana	53
Pampa Cohana	63
Pampa Cohana	56
San Pedro	52
San Pedro	51
San Pedro	48
Pakollo	41
Pakollo	39
Pakollo	36

L.D. = 0,32 mg/L

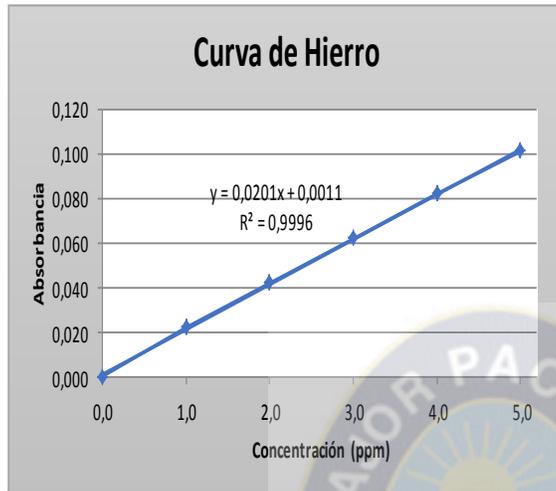
Figura 4.5. Descripción del comportamiento de Calcio en aguas.



En la figura 4.5 se puede observar que existe presencia de Calcio en aguas en todos los puntos de muestreo, teniendo un rango comprendido entre 36 mg/L a 63 mg/L. La concentración más elevada de Calcio se encuentra en la localidad de Pampa Cohana con un valor máximo de 63 mg/L. Todas las Concentraciones obtenidas se encuentran por encima del límite de detección (0,32 mg/L) determinado por la técnica de espectroscopía de absorción a llama. Estas Concentraciones de Calcio encontradas como nutrientes son buenas no causan daño a la salud pero si contribuyen al crecimiento de materia orgánica contribuyendo así a la eutrofización.

Se realizó una comparación de las Concentraciones obtenidas con el límite permisible (300 mg/L) correspondiente a la clase C (aguas residuales) en cuerpos de agua establecido por la norma boliviana ley de Medio Ambiente 1333 por lo que se concluye que no sobrepasan el límite establecido.

➤ **Hierro**
Curva patrón



Longitud de onda = 248,0 nm
Corriente de Lámpara = 30 mA
Slit = 0,2
Energía = 48 %
Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9996

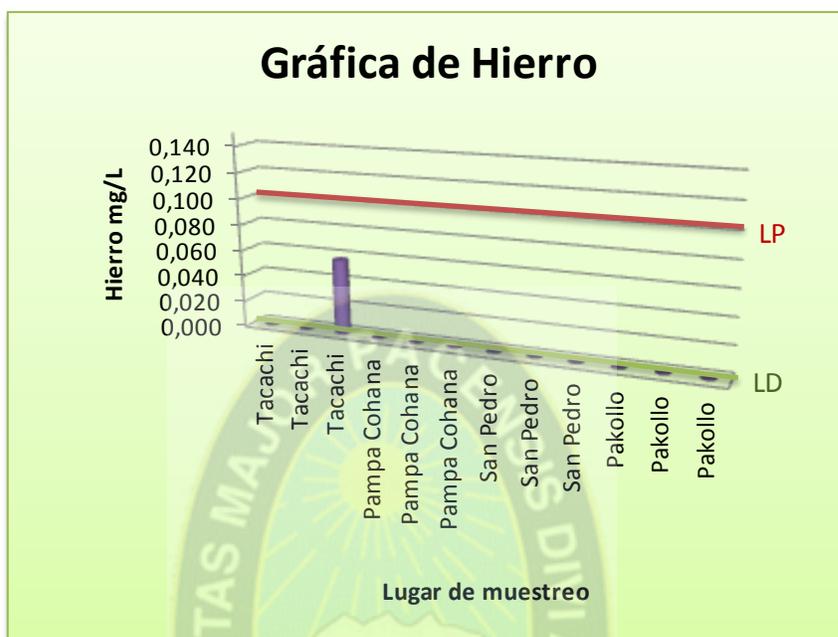
Los resultados obtenidos en el análisis de Hierro se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.6. Resultados obtenidos en el análisis de Hierro en muestras de aguas.

L.D. = 0,050 mg/L

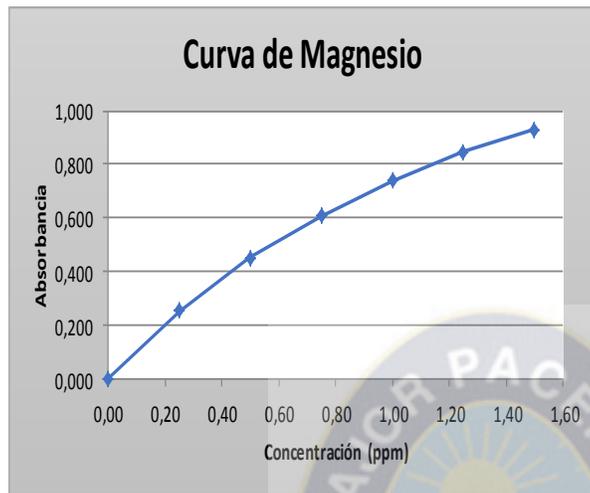
Lugar	Hierro mg/L
Tacachi	< 0,050
Tacachi	< 0,050
Tacachi	0,057
Pampa Cohana	< 0,050
Pampa Cohana	< 0,050
Pampa Cohana	< 0,050
San Pedro	< 0,050
San Pedro	< 0,050
San Pedro	< 0,050
Pakollo	< 0,050
Pakollo	< 0,050
Pakollo	< 0,050

Figura 4.6. Descripción del comportamiento de Hierro en muestras de aguas.



En la figura 4.6 se observa la presencia de Hierro en un punto de muestreo con una concentración de 0,057 mg/L, en los demás puntos de muestreo se obtuvieron valores por debajo del límite de detección (0,050 mg/L) determinado para el equipo de absorción atómica a llama. La concentración obtenida de Hierro no sobrepasa el límite permisible (1,0 mg/L) correspondiente a la clase C (aguas residuales) establecido por la norma boliviana ley de Medio Ambiente 1333.

➤ **Magnesio**
Curva patrón



Longitud de onda = 285,2 nm

Corriente de Lámpara = 10 mA

Slit = 0,7

Energía = 60 %

Coefficiente de correlación de la curva patrón = 0,9999

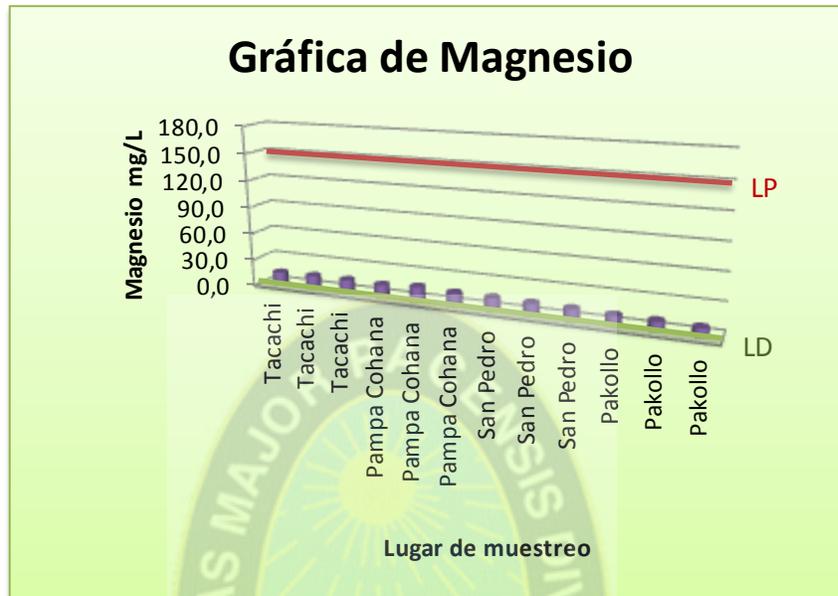
Los resultados obtenidos en el análisis de Magnesio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.7. Resultados obtenidos en el análisis de Magnesio en muestras de aguas.

Lugar	Magnesio mg/L
Tacachi	14,2
Tacachi	14,8
Tacachi	14,7
Pampa Cohana	13,8
Pampa Cohana	16,5
Pampa Cohana	14,6
San Pedro	14,0
San Pedro	13,6
San Pedro	12,9
Pakollo	11,3
Pakollo	10,7
Pakollo	9,5

L.D. = 0,18 mg/L

Figura 4.7. Descripción del comportamiento de Magnesio en aguas.



En la figura 4.7 se puede observar que existen Concentraciones de Magnesio en muestras de aguas en todos los puntos de muestreo, teniendo un rango comprendido entre 9,5 mg/L a 16,5 mg/L. El valor más elevado se encuentra en la localidad de Pampa Cohana con un valor de 16,5 mg/L debido a que en este lugar se encuentra una de las corrientes de entrada hacia la bahía de Cohana.

Las Concentraciones obtenidas de Magnesio están por encima del límite de detección (0,18 mg/L) y se encuentran por debajo del límite permisible (150 mg/L) correspondiente a la clase C (aguas residuales) establecido por la norma boliviana ley de Medio Ambiente 1333.

Los valores de concentración de Magnesio no representan riesgo para la salud pero si contribuyen al crecimiento de materia orgánica en cuerpos de agua como ser la eutrofización.

A continuación en la tabla 4.8 se resumen todos los resultados de metales pesados obtenidos en muestras de aguas en la siguiente tabla:

Tabla 4.8. Resultados obtenidos de metales pesados en aguas para los 12 puntos de estudio.

Metal	Concentraciones obtenidos en laboratorio	Límite permisible (ley 1333)
Arsénico (As)	0,0090 mg/L a 0,016 mg/L	0,050 mg/L
Cadmio (Cd)	< 0,020 mg/L	0,0050 mg/L
Plomo (Pb)	< 0,050 mg/L	0,0050 mg/L
Cromo (Cr⁺³)	0,056 mg/L a 0,075 mg/L	0,60 mg/L
Nutriente	Concentraciones obtenidos en laboratorio	Límite permisible (ley 1333)
Calcio (Ca)	36 mg/L a 63 mg/L	300 mg/L
Hierro (Fe)	0,057 mg/L	1,0 mg/L
Magnesio (Mg)	9,5 mg/L a 16,5 mg/L	150 mg/L

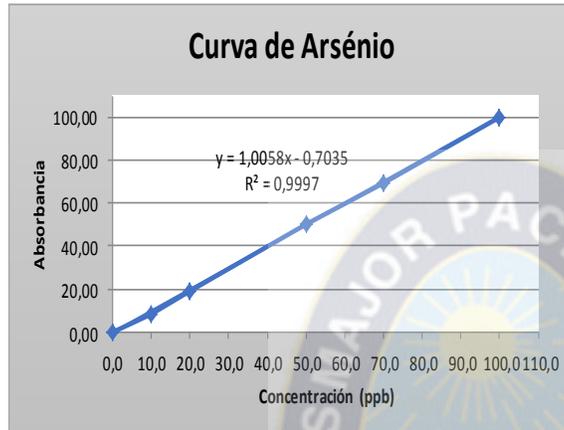
Según los resultados obtenidos de la tabla 4.8 y comparando con los límites permisibles por la ley boliviana de Medio Ambiente 1333, se concluye que **los valores de los metales pesados para estas muestras de aguas están por debajo de los límites establecidos.**

4.1.2. SUELOS

4.1.2.1. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

➤ Arsénico (As)

Curva patrón



Longitud de onda = 193,7 nm

Corriente de Lámpara = 380 mA

Slit = 0,7

Energía = 36 %

Coefficiente de correlación de la curva patrón = 0,9997

Los resultados obtenidos en el análisis de Arsénico se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.9. Resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en muestras de suelos.

Lugar	Arsénico mg/kg
Tacachi	4,8
Tacachi	19
Tacachi	8,8
Pampa Cohana	25
Pampa Cohana	17
Pampa Cohana	30
San Pedro	19
San Pedro	25
San Pedro	16
Pakollo	14
Pakollo	15
Pakollo	22

L.D. = 0,10 mg/kg

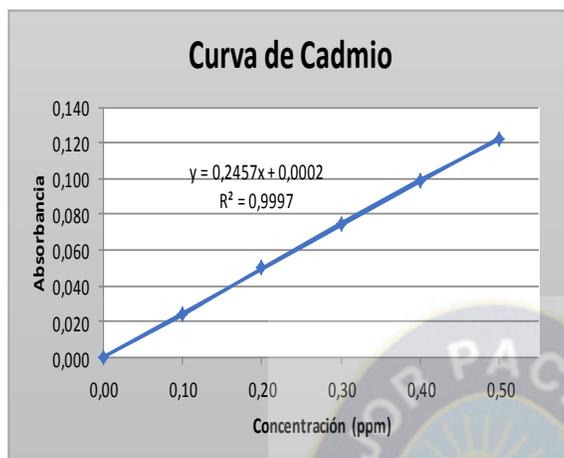
Figura 4.8. Descripción del comportamiento de Arsénico en muestras de suelos.



En la figura 4.8 se observa Concentraciones obtenidas de Arsénico en cada punto de muestreo, teniendo un rango comprendido entre 4,8 mg/kg a 29 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la población de Pampa Cohana con un valor de 29 mg/kg. Estos valores de concentración se encuentran por encima del límite de detección (0,10 mg/L) determinado para el equipo de absorción atómica con horno de grafito. Las Concentraciones obtenidas de Arsénico si sobrepasa el límite permisible (20 mg/kg) establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) norma de Estados Unidos.

➤ **Cadmio (Cd)**

Curva patrón



Longitud de onda = 228,8 nm

Corriente de Lámpara = 6 mA

Slit = 0,7

Energía = 53 %

Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9997

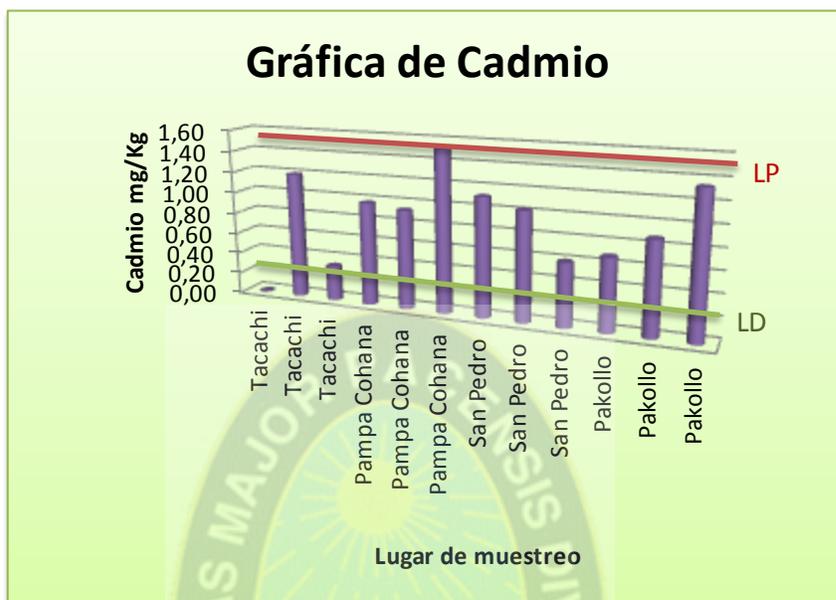
Los resultados obtenidos en el análisis de Cadmio se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 4.10. Resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de suelos.

Lugar	Cadmio mg/kg
Tacachi	< 0,20
Tacachi	1,2
Tacachi	0,33
Pampa Cohana	1,0
Pampa Cohana	0,94
Pampa Cohana	1,5
San Pedro	1,1
San Pedro	1,0
San Pedro	0,60
Pakollo	0,69
Pakollo	0,88
Pakollo	1,3

L.D. = 0,20 mg/kg

Figura 4.9. Descripción del comportamiento de Cadmio en suelos.

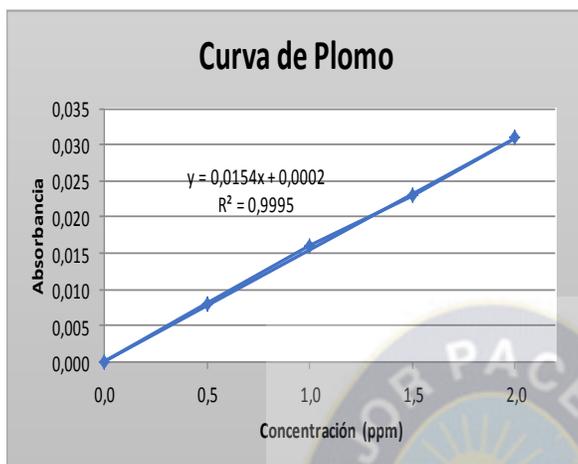


En la figura 4.9 se puede observar que existen Concentraciones de Cadmio en todas las localidades, teniendo un rango comprendido entre 0,13 mg/kg a 1,5 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de Pampa Cohana debido a que en esta población se encuentra una de los efluentes de entrada hacia la bahía de Cohana con un valor de 1,5 mg/kg.

Se obtuvo un solo valor que está por debajo del límite de detección (0,20 mg/kg) del equipo de absorción atómica a llama. Las Concentraciones obtenidas se encuentran por debajo del límite permisible (1,5 mg/kg) establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) norma de Estados Unidos.

➤ **Plomo (Pb)**

Curva patrón



Longitud de onda = 283,3 nm

Corriente de Lámpara = 10 mA

Slit = 0,7

Energía = 54 %

Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9995

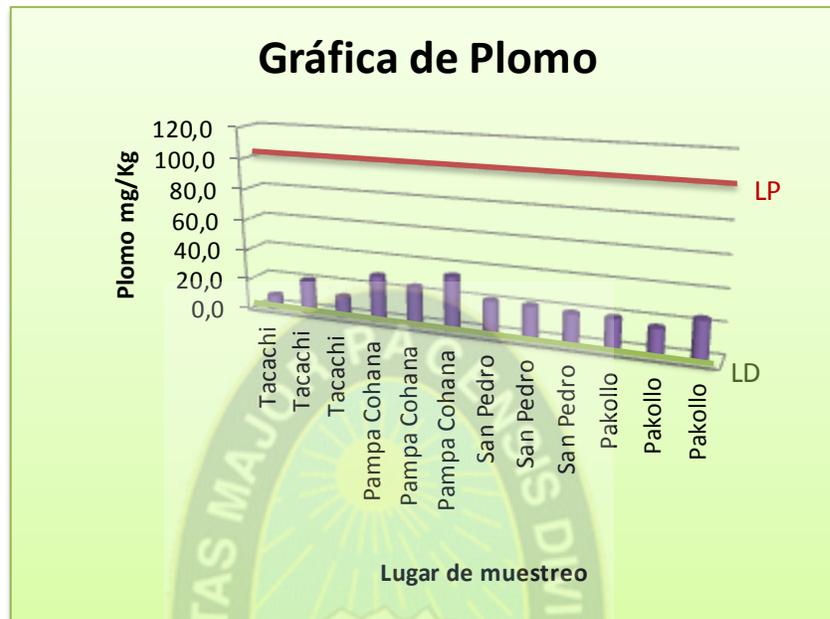
Los resultados obtenidos en el análisis de Plomo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.11. Resultados obtenidos en el análisis de Plomo en muestras de suelos.

L.D. = 0,25 mg/kg

Lugar	Plomo mg/kg
Tacachi	8,4
Tacachi	21
Tacachi	13
Pampa Cohana	30
Pampa Cohana	25
Pampa Cohana	35
San Pedro	22
San Pedro	21
San Pedro	19
Pakollo	20
Pakollo	17
Pakollo	25

Figura 4.10. Descripción del comportamiento de Plomo.

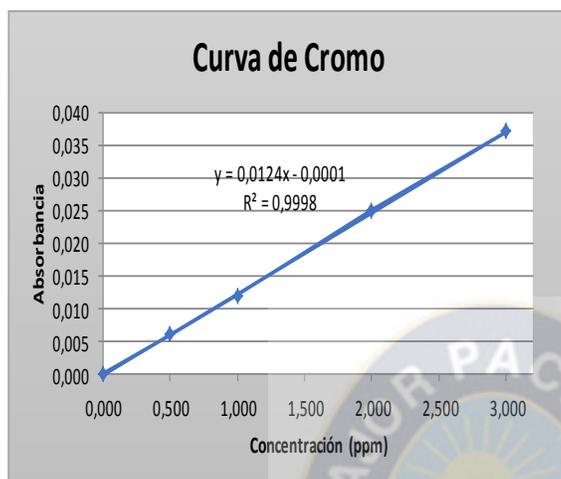


En la figura 4.10 se puede observar que existen Concentraciones de Plomo en muestras de suelos en todos los puntos de muestreo con un rango comprendido entre 8,4 mg/kg a 35 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de Pampa Cohana debido a que en esta población se encuentra una de los efluentes de entrada hacia la bahía de Cohana con un valor de 35 mg/kg.

Todas las Concentraciones obtenidas están por encima del límite de detección (0,25 mg/kg) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama, estos valores obtenidos se encuentran por debajo del límite permisible (100 mg/kg) establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) norma de Estados Unidos.

➤ **Cromo (Cr³⁺)**

Curva patrón



Longitud de onda = 357,9 nm

Corriente de Lámpara = 27 mA

Slit = 0,7

Energía = 61 %

Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9998

Los resultados obtenidos en el análisis de Cromo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.12. Resultados obtenidos en el análisis de Cromo (Cr³⁺) en suelos.

L.D. = 0,50 mg/kg

Lugar	Cromo mg/kg
Tacachi	10
Tacachi	32
Tacachi	13
Pampa Cohana	37
Pampa Cohana	24
Pampa Cohana	39
San Pedro	35
San Pedro	48
San Pedro	50
Pakollo	48
Pakollo	44
Pakollo	55

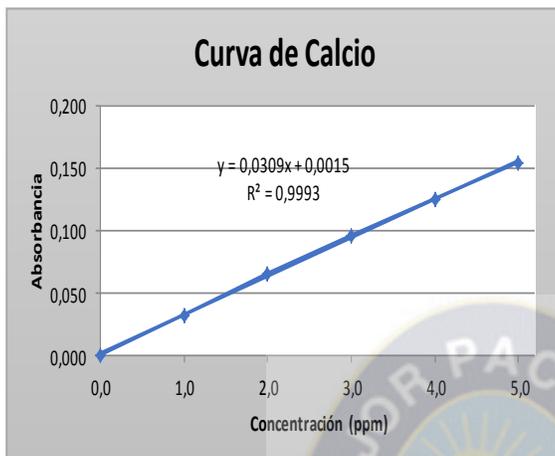
Figura 4.11. Descripción del comportamiento de Cromo (Cr^{+3}) en suelos.



En la figura 4.11 se observa Concentraciones obtenida de Cromo trivalente en muestras de suelos en todos los puntos de muestreo con un rango comprendido entre 10 mg/kg a 55 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de Pakollo debido a que en este lugar se encuentra aguas estancadas provenientes de los desechos de la ciudad El Alto, teniendo un valor de 55 mg/kg.

Los valores de concentración de Cromo trivalente obtenidos se encuentran por encima del límite de detección (0,050 mg/kg) correspondiente a la metodología de absorción atómica a llama. No se encontraron límites permisibles establecidos para este metal en suelos.

➤ **Calcio (Ca)**
Curva patrón



Longitud de onda = 422,7 nm
Corriente de Lámpara = 12 mA
Slit = 0,7
Energía = 52 %
Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9993

Los resultados obtenidos en el análisis de Calcio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.13. Resultados obtenidos en el análisis de Calcio en muestras de suelos.

L.D. = 8,0 mg/kg

Lugar	Calcio mg/kg
Tacachi	1165
Tacachi	30621
Tacachi	5108
Pampa Cohana	1464
Pampa Cohana	4954
Pampa Cohana	1830
San Pedro	3707
San Pedro	3453
San Pedro	7801
Pakollo	9209
Pakollo	17025
Pakollo	9958

Figura 4.12. Descripción del comportamiento de Calcio en muestra de suelos.

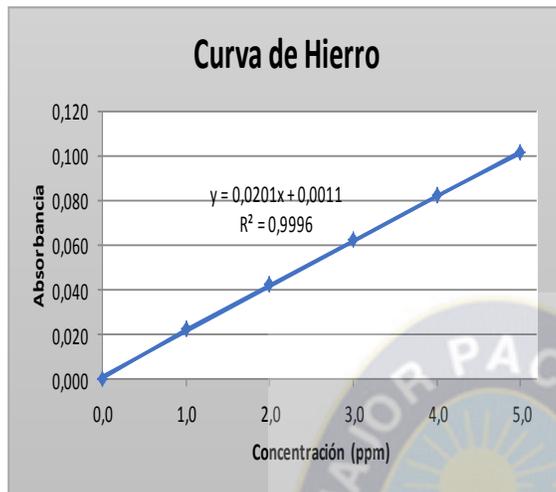


En la figura 4.12 se puede observar que existen Concentraciones de Calcio en muestras de suelos en todos los puntos de muestreo, teniendo un rango comprendido entre 1165 mg/kg a 30621 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de Tacachi, teniendo un valor de 30621 mg/kg.

Las Concentraciones de Calcio obtenidas están por encima del límite de detección el cual tiene un valor de 0,32 mg/kg, no se encontraron límites permisibles para este metal en muestras de suelos, estos valores elevados son normales ya que las cantidades de Ca^{+2} presentes en los suelos exceden las necesidades de los cultivos debido a que este es un macronutriente esencial para las plantas.

➤ **Hierro (Fe)**

Curva patrón



Longitud de onda = 248,0 nm

Corriente de Lámpara = 30 mA

Slit = 0,2

Energía = 48 %

Coefficiente de correlación de la curva patrón = 0,9996

Los resultados obtenidos en el análisis de Hierro se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.14. Resultados obtenidos en el análisis de Hierro en muestras de suelos.

Lugar	Hierro mg/kg
Tacachi	15374
Tacachi	14753
Tacachi	16318
Pampa Cohana	28786
Pampa Cohana	24526
Pampa Cohana	33861
San Pedro	26568
San Pedro	37707
San Pedro	24780
Pakollo	21195
Pakollo	15082
Pakollo	28373

L.D. = 0,10 mg/kg

Figura 4.13. Descripción del comportamiento de Hierro en muestras de suelos.

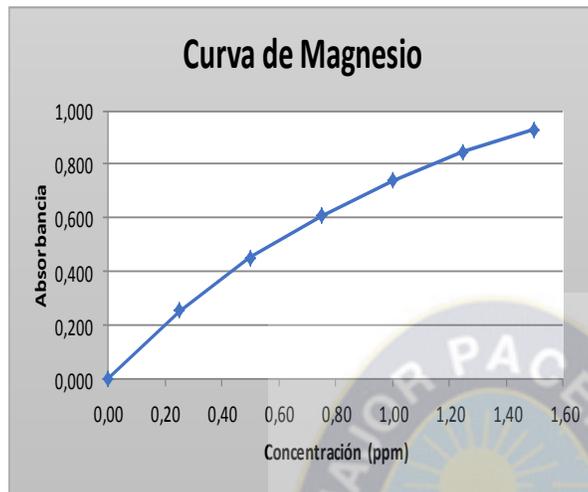


En la figura 4.13 se puede observar que existe concentración de Hierro en muestras de suelos en todos los puntos de muestreo, teniendo un rango comprendido entre 14753 mg/kg a 37706 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de San Pedro teniendo un valor de 37706 mg/kg debido a que en este lugar se encuentran aguas de color rojizas lo que indica que este metal puede encontrarse retenido en los suelos, sin embargo el Hierro (Fe) se encuentra en alta concentración en todos los suelos, pero el nivel disponible para las plantas se encuentra tan bajo que no produce efectos tóxicos.

Todos los valores de concentración de Hierro están por encima del límite de detección cuyo valor es 0,050 mg/kg. El caso del

➤ **Magnesio**

Curva patrón



Longitud de onda = 285,2 nm

Corriente de Lámpara = 10 mA

Slit = 0,7

Energía = 60 %

Coefficiente de correlación de la curva patrón = 0,9999

Los resultados obtenidos en el análisis de Magnesio se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 4.15. Resultados obtenidos en el análisis de Magnesio en muestras de suelos.

L.D. = 8,0 mg/kg

Lugar	Magnesio mg/kg
Tacachi	816
Tacachi	5339
Tacachi	1788
Pampa Cohana	5202
Pampa Cohana	2260
Pampa Cohana	8046
San Pedro	2899
San Pedro	2969
San Pedro	2865
Pakollo	2902
Pakollo	2977
Pakollo	3491

Figura 4.14. Descripción del comportamiento de Magnesio en muestras de suelos.



En la figura 4.14 se obtuvo Concentraciones de Magnesio en muestras de suelos en los puntos de muestreo, con un rango comprendido entre 816 mg/kg a 8046 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de Pampa Cohana debido a que en este lugar se encuentra una de los efluentes de entrada hacia la bahía de Cohana teniendo un valor de 8046 mg/kg pudiendo retener el metal Magnesio en los suelos en todo su trayecto. Estas cantidades son normales debido a que este es un macronutriente esencial para las plantas.

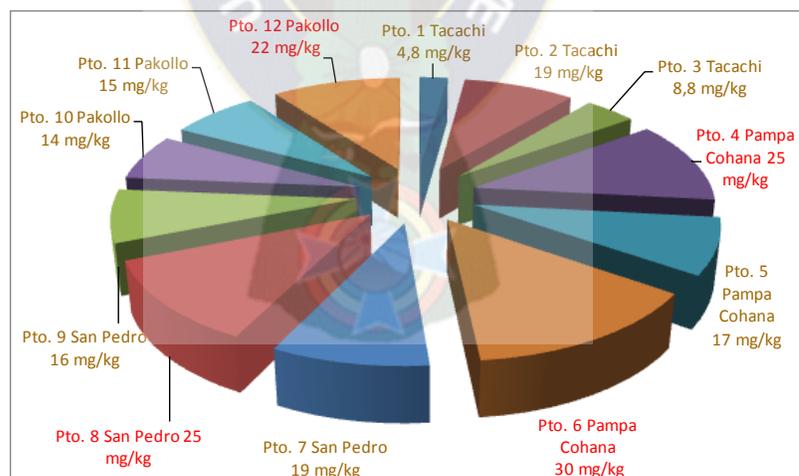
Las Concentraciones de Magnesio que se obtuvieron están por encima del límite de detección de valor 8,0 mg/kg, no se encontraron límites permisibles para este metal.

A continuación en la tabla 4.16 se resumen todos los resultados de metales pesados obtenidos en muestras de suelos en la siguiente tabla:

Tabla 4.16. Resultados obtenidos de metales pesados en suelos para los 12 puntos de estudio.

Metal	Concentraciones obtenidos en laboratorio	Límite permisible (EPA)
Arsénico (As)	5 mg/kg a 30 mg/kg	20 mg/kg
Cadmio (Cd)	0,10 mg/kg a 1,5 mg/kg	1,5 mg/kg
Plomo (Pb)	8 mg/kg a 35 mg/kg	100 mg/kg
Cromo (Cr⁺³)	10 mg/kg a 55 mg/kg	-
Nutriente	Concentraciones obtenidos en laboratorio	Límite permisible (EPA)
Calcio (Ca)	1165 mg/kg a 30621 mg/kg	-
Hierro (Fe)	14753 mg/kg a 37706 mg/kg	-
Magnesio (Mg)	816 mg/kg a 8046 mg/kg	-

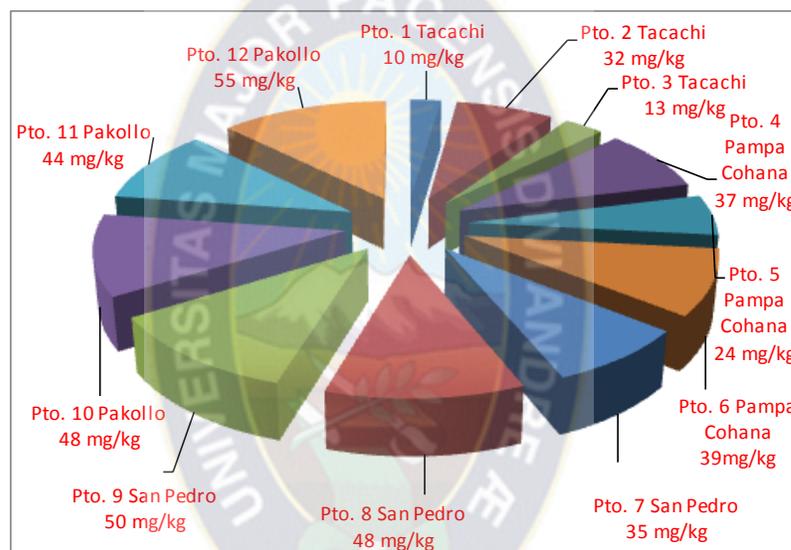
Figura 4.15. Concentraciones de Arsénico que están por encima del límite permisible en suelos para los 12 puntos de estudio.



Según los resultados obtenidos y conociendo los límites permisibles de referencia se concluye que en **las muestras de suelos si se encontraron valores de Arsénico que sobrepasan el límite máximo permisible (color rojo) establecidos por la Norma de Estados Unidos Agencia de Protección Ambiental (EPA)**, los puntos que sobrepasaron el límite permisible de Arsénico son: pto. 4 (localidad de

Pampa Cohana), pto. 6 (localidad de Pampa Cohana), pto. 8 (localidad de San Pedro) y pto 12 (localidad de Pakollo). **Las Concentraciones de Cadmio y Plomo no sobrepasan los límites permisibles establecidos por el EPA**, en cambio **se evidenció Concentraciones elevadas de Cromo trivalente en suelos**, la posible fuente de este metal se debe a curtiembres de la ciudad de El Alto que evacúa sus desechos al río Katari y estos son captados en los suelos.

Figura 4.17. Valores de concentración de Cromo trivalente presente en suelos para los 12 puntos de estudio.



No se encontró límite permisible para el Cromo trivalente por lo que se concluye que no debería existir presencia de este metal en suelos, lo cual su presencia es preocupante tomando en cuenta que este metal es tóxico. En cuanto a **los valores de nutrientes como Calcio, Hierro y Magnesio no se encontraron límites permisibles establecidos** por la Organización Mundial de la Salud, Agencia de Protección Ambiental o la norma boliviana de Medio Ambiente ley 1333 estos elementos presentan valores muy elevados, a pesar de ello no tienen efecto dañino a la salud.

4.1.3. SEDIMENTOS

4.1.3.1. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

➤ Arsénico (As)

Curva patrón



Longitud de onda = 193,7 nm

Corriente de Lámpara = 380 mA

Slit = 0,7

Energía = 36 %

Coefficiente de correlación de la curva patrón = 0,9997

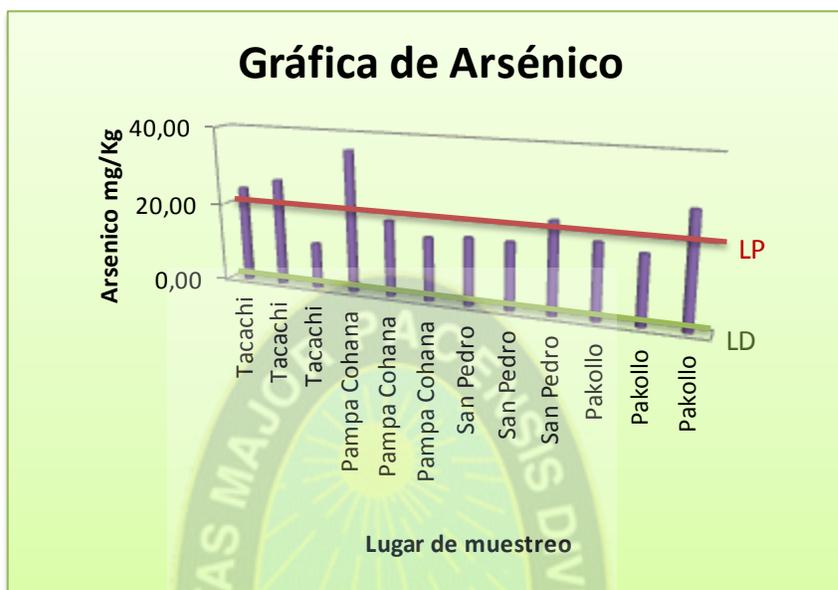
Los resultados obtenidos en el análisis de Arsénico se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.17. Resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en sedimentos.

L.D. = 0,10 mg/kg

Lugar	Arsénico mg/kg
Tacachi	24
Tacachi	27
Tacachi	11
Pampa Cohana	36
Pampa Cohana	19
Pampa Cohana	16
San Pedro	17
San Pedro	17
San Pedro	23
Pakollo	19
Pakollo	17
Pakollo	28

Figura 4.18. Descripción del comportamiento de Arsénico en muestras de sedimentos.

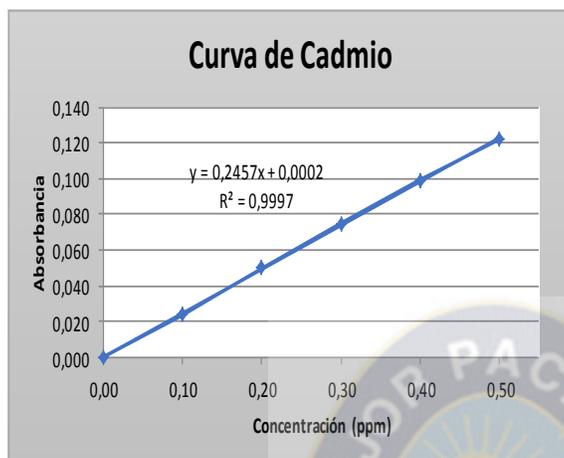


En la figura 4.15 se puede observar Concentraciones obtenidas de Arsénico en todos los puntos de muestreo, teniendo un rango comprendido entre 11 mg/kg a 36 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de Pampa Cohana con un valor de 36 mg/kg. Todas las Concentraciones obtenidas están dentro del límite de detección que tiene un valor de 1,0 mg/kg.

En algunos puntos de muestreo las Concentraciones obtenidas de Arsénico en muestras de aguas sobrepasan el límite permisible (20 mg/kg) establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) norma de Estados Unidos.

➤ **Cadmio (Cd)**

Curva patrón



Longitud de onda = 228,8 nm

Corriente de Lámpara = 6 mA

Slit = 0,7

Energía = 53 %

Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9997

Los resultados obtenidos en el análisis de Cadmio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.18. Resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de sedimentos.

Lugar	Cadmio mg/Kg
Tacachi	0,89
Tacachi	1,1
Tacachi	0,63
Pampa Cohana	1,4
Pampa Cohana	0,77
Pampa Cohana	2,0
San Pedro	0,87
San Pedro	0,69
San Pedro	0,76
Pakollo	1,0
Pakollo	0,67
Pakollo	1,3

L.D. = 0,20 mg/kg

Figura 4.19. Descripción del comportamiento de Cadmio en muestras de sedimentos.

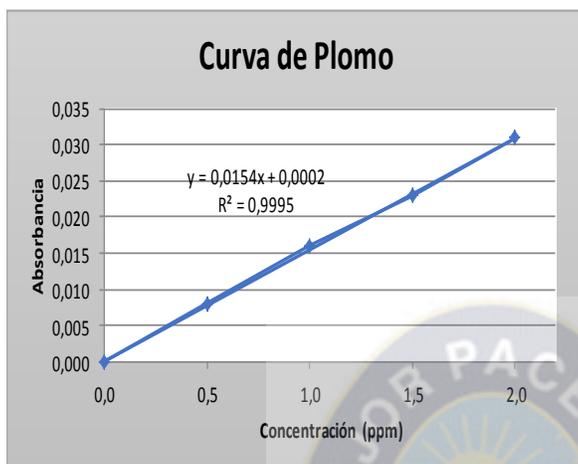


En la figura 4.16 se puede observar que existen Concentraciones de Cadmio en todos los puntos de muestreo con un rango comprendido entre 0,67 mg/kg a 1,9 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de Pampa Cohana debido a que en esta población se encuentra una de los efluentes de entrada hacia la bahía de Cohana con un valor de 1,9 mg/kg. Los valores de concentración obtenidos se encuentran por encima del límite de detección correspondiente al equipo de absorción atómica a llama cuyo valor es 0,020 mg/kg.

Se obtuvo un valor de 1,9 mg/kg en la localidad de Pampa Cohana que sobrepasa el límite permisible (1,5 mg/kg) establecido por establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) norma de Estados Unidos.

➤ **Plomo (Pb)**

Curva patrón



Longitud de onda = 283,3 nm

Corriente de Lámpara = 10 mA

Slit = 0,7

Energía = 54 %

Coefficiente de correlación de la curva patrón = 0,9995

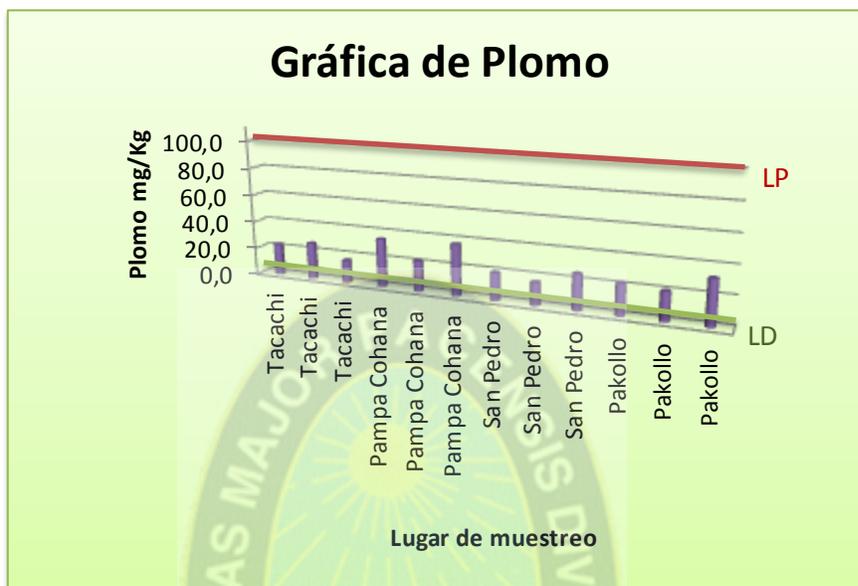
Los resultados obtenidos en el análisis de Plomo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.19. Resultados obtenidos en el análisis de Plomo en muestras de sedimentos.

Lugar	Plomo mg/Kg
Tacachi	23
Tacachi	26
Tacachi	16
Pampa Cohana	35
Pampa Cohana	22
Pampa Cohana	37
San Pedro	20
San Pedro	16
San Pedro	26
Pakollo	22
Pakollo	20
Pakollo	32

L.D. = 0,25 mg/kg

Figura 4.20. Descripción del comportamiento de Plomo en muestras de sedimentos.

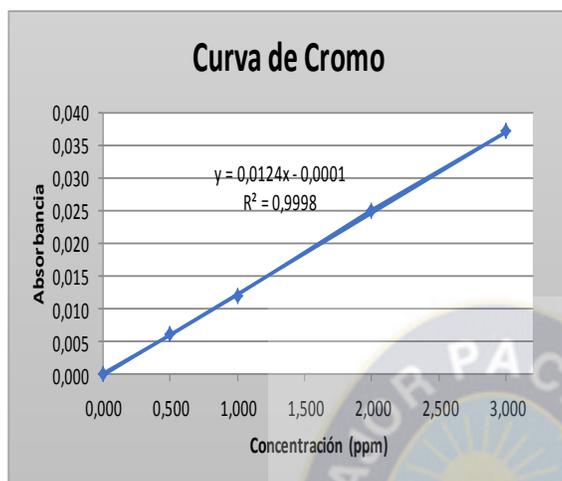


En la figura 4.17 se puede observar que existe presencia de Plomo en todos los puntos de muestreo con Concentraciones por encima del límite de detección (0,25 mg/kg) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama, teniendo un rango comprendido entre 16,4 mg/kg a 37,1 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de Pampa Cohana debido a que en este lugar se encuentra uno de los efluentes de entrada hacia la bahía de Cohana con un valor de 37,1 mg/kg.

Las Concentraciones obtenidas de Plomo en muestras de sedimentos no sobrepasan el límite permisible (100 mg/kg) establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) norma de Estados Unidos.

➤ **Cromo (Cr³⁺)**

Curva patrón



Longitud de onda = 357,9 nm

Corriente de Lámpara = 27 mA

Slit = 0,7

Energía = 61 %

Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9998

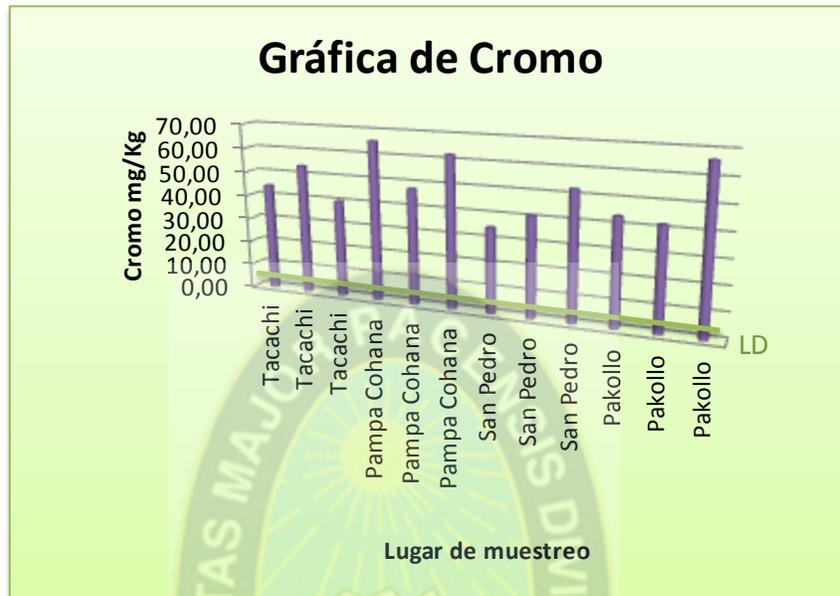
Los resultados obtenidos en el análisis de Cromo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.20. Resultados obtenidos en el análisis de Cromo (Cr³⁺) en muestras de sedimentos.

Lugar	Cromo mg/Kg
Tacachi	44
Tacachi	54
Tacachi	40
Pampa Cohana	66
Pampa Cohana	48
Pampa Cohana	62
San Pedro	35
San Pedro	41
San Pedro	52
Pakollo	44
Pakollo	42
Pakollo	66

L.D. = 0,50 mg/kg

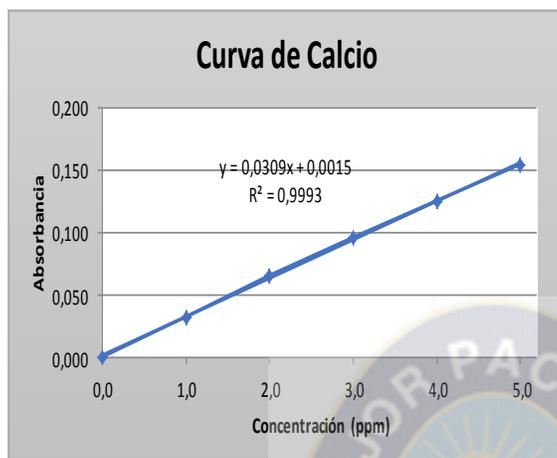
Figura 4.21. Descripción del comportamiento de Cromo (Cr^{+3}) en muestras de sedimentos.



En la figura 4.18 se puede observar que existe concentración de Cromo trivalente en todos los puntos de muestreo, con un rango comprendido entre 40 mg/kg a 66 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de Pakollo debido a que en este lugar se encuentran aguas estancadas provenientes de los desechos de la ciudad de El Alto, teniendo un valor de 66 mg/kg.

Todas las Concentraciones obtenidas de Cromo trivalente en muestras de sedimentos están por encima del límite de detección (0,50 mg/kg) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama.

➤ **Calcio (Ca)**
Curva patrón



Longitud de onda = 422,7 nm
Corriente de Lámpara = 12 mA
Slit = 0,7
Energía = 52 %
Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9993

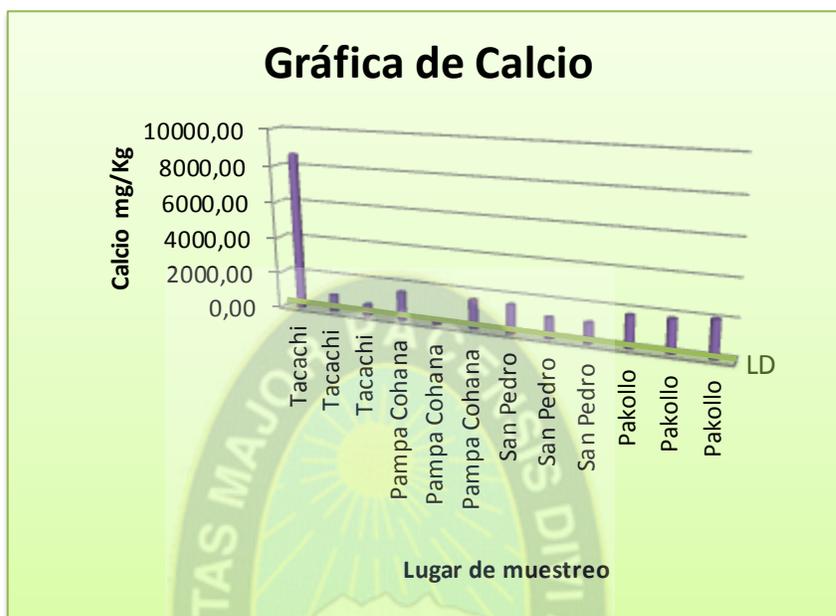
Los resultados obtenidos en el análisis de Calcio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.21. Resultados obtenidos en el análisis de Calcio en muestras de sedimentos.

Lugar	Calcio mg/kg
Tacachi	8668
Tacachi	927
Tacachi	629
Pampa Cohana	1558
Pampa Cohana	196
Pampa Cohana	1603
San Pedro	1575
San Pedro	1131
San Pedro	1106
Pakollo	1757
Pakollo	1817
Pakollo	2038

L.D. = 8,0 mg/kg

Figura 4.22. Descripción del comportamiento de Calcio en muestras de sedimentos.

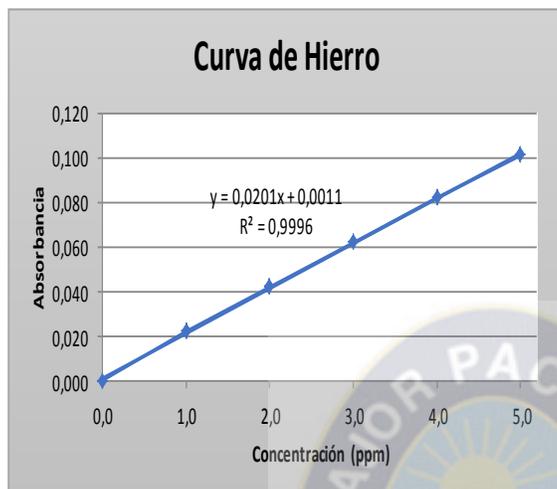


En la figura 4.19 se puede observar que existen Concentraciones de Calcio en muestras de sedimentos en todos los puntos de muestreo, con un rango comprendido entre 196 mg/kg a 8668 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la población de Tacachi debido a que en esta población se encuentran presencia de plantas de acuáticas en sus orillas lo que justifica las Concentraciones elevadas de Calcio y que son retenidas en los sedimentos del lugar, teniendo un valor de 8668 mg/kg.

Todos los valores se encuentran por encima del límite de detección (8,0 mg/kg) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama. No se encontraron límites permisibles de este metal en sedimentos. Estos valores elevados son normales ya que el Ca^{+2} es un macronutriente esencial para las plantas.

➤ **Hierro (Fe)**

Curva patrón



Longitud de onda = 248,0 nm

Corriente de Lámpara = 30 mA

Slit = 0,2

Energía = 48 %

Coefficiente de correlación de la curva patrón = 0,9996

Los resultados obtenidos en el análisis de Hierro se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.22. Resultados obtenidos en el análisis de Hierro en muestras de sedimentos.

L.D. = 0,10 mg/kg

Lugar	Hierro mg/kg
Tacachi	18256
Tacachi	27186
Tacachi	18194
Pampa Cohana	36356
Pampa Cohana	23710
Pampa Cohana	37357
San Pedro	21634
San Pedro	24982
San Pedro	28865
Pakollo	25246
Pakollo	22246
Pakollo	40394

Figura 4.23. Descripción del comportamiento de Hierro en muestras de sedimentos.

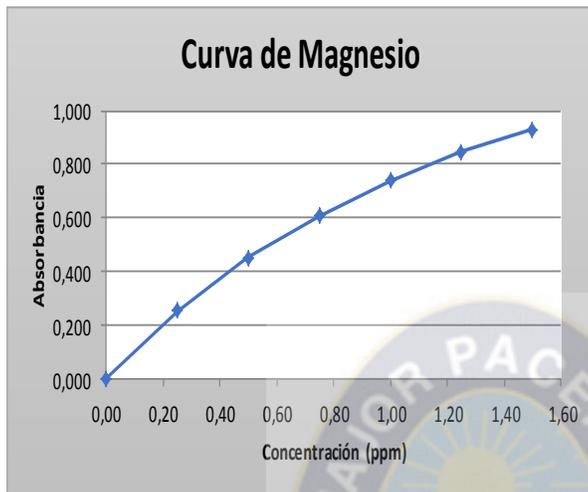


En la figura 4.20 se puede observar Concentraciones elevadas de Hierro en todos los puntos de muestreo, teniendo un rango comprendido entre 18193 mg/kg a 40393 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de San Pedro debido a que en este lugar se encuentran aguas de color rojo, lo que indica que este metal puede encontrarse retenido en los sedimentos del lugar, teniendo un valor máximo de 40393 mg/kg, sin embargo el Hierro se encuentra en alta concentración en todos los sedimentos, pero el nivel disponible para las plantas se encuentra tan bajo que no produce efectos tóxicos.

Las Concentraciones obtenidas están por encima del límite de detección (0,10 mg/kg) que establece la metodología de absorción atómica a llama, no se encontraron límites permisibles de Hierro en sedimentos.

➤ **Magnesio (Mg)**

Curva patrón



Longitud de onda = 285,2 nm

Corriente de Lámpara = 10 mA

Slit = 0,7

Energía = 60 %

Coefficiente de correlación de la curva patrón = 0,9999

Los resultados obtenidos en el análisis de Magnesio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.23. Resultados obtenidos en el análisis de Magnesio en muestras de sedimentos.

Lugar	Magnesio mg/Kg
Tacachi	3030
Tacachi	191
Tacachi	2532
Pampa Cohana	6313
Pampa Cohana	5598
Pampa Cohana	7449
San Pedro	2436
San Pedro	2718
San Pedro	4065
Pakollo	3666
Pakollo	3397
Pakollo	5646

L.D. = 8,0 mg/kg

Figura 4.24. Descripción del comportamiento de Magnesio en muestras de sedimentos.



En la figura 4.21 se puede observar Concentraciones obtenidas de Magnesio en todos los puntos de muestreo, con un rango de 191 mg/kg a 7449 mg/kg. La concentración más elevada de 7449 mg/kg se encuentra en la localidad de Pampa Cohana debido a que en este lugar se encuentran efluentes de entrada hacia la bahía de Cohana pudiendo retener el Magnesio en los sedimentos en todo su trayecto. Estas cantidades son normales debido a que este es un macronutriente esencial para las plantas.

Las Concentraciones obtenidas se encuentran por encima de límite detección (8,0 mg/kg) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama. No se encontraron límites permisibles de Magnesio en sedimentos.

A continuación en la tabla 4.24 se resumen todos los resultados de metales pesados obtenidos en muestras de sedimentos en la siguiente tabla:

Tabla 4.24. Resultados obtenidos de metales pesados en sedimentos para los 12 puntos de estudio.

Metal	Concentraciones obtenidos en laboratorio	Límite permisible (EPA)
Arsénico (As)	11 mg/kg a 36 mg/kg	20 mg/kg
Cadmio (Cd)	0,6 mg/kg a 2,0 mg/kg	1,5 mg/kg
Plomo (Pb)	16 mg/kg a 37 mg/kg	100 mg/kg
Cromo (Cr⁺³)	35 mg/kg a 66 mg/kg	-
Nutriente	Concentraciones obtenidos en laboratorio	Límite permisible (EPA)
Calcio (Ca)	196 mg/kg a 8668 mg/kg	-
Hierro (Fe)	18194 mg/kg a 40394 mg/kg	-
Magnesio (Mg)	191 mg/kg a 7449 mg/kg	-

Figura 4.25. Concentraciones de Arsénico que están por encima del límite permisible en sedimentos para los 12 puntos de estudio.

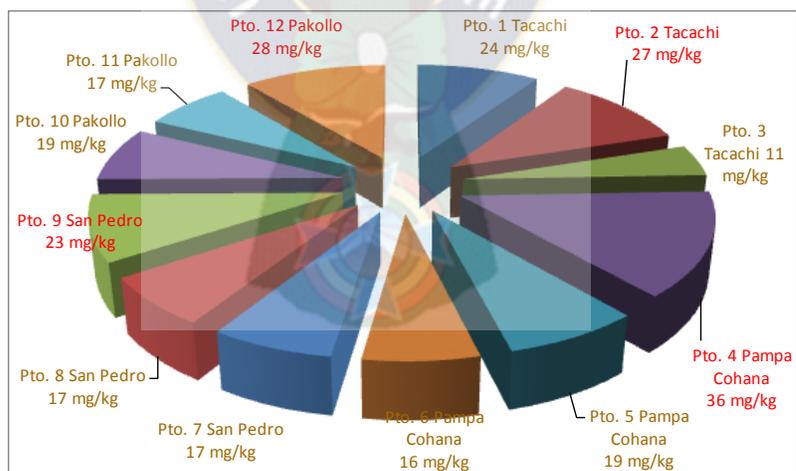
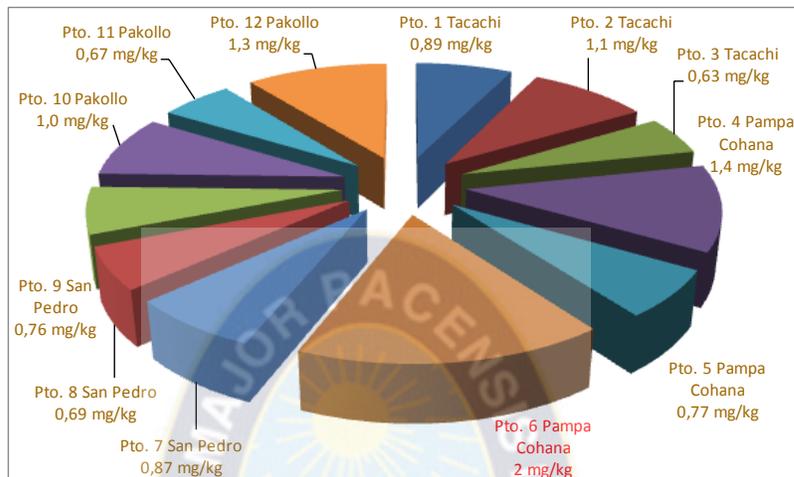
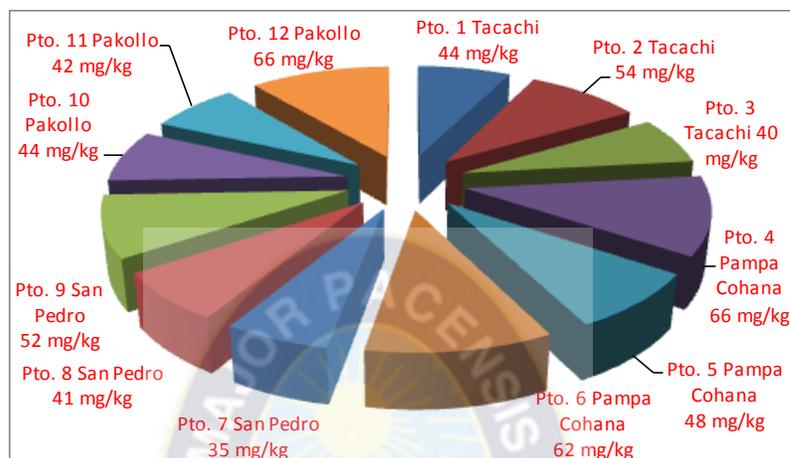


Figura 4.26. Concentración de Cadmio que está por encima del límite permisible en sedimentos para los 12 puntos de estudio.



Analizando los resultados obtenidos y conociendo los límites permisibles establecidos por la Norma de Estados Unidos se concluye que **en las muestras de sedimentos los valores de Arsénico y Cadmio sobrepasan el límite máximo permisible (color rojo) establecido por la norma de Estados Unidos**, los puntos son: pto. 1 (localidad de Tacachi), pto. 2 (localidad de Tacachi), pto. 4 (localidad de Pampa Cohana), pto. 9 (localidad de Pakollo) y pto. 12 (localidad de Pakollo). **En cuanto la concentración de Plomo no sobrepasa el límite permisible.**

Figura 4.27. Valores de concentración de Cromo trivalente presente en sedimentos para los 12 puntos de estudio.



Se obtuvo Concentraciones elevadas de Cromo trivalente en sedimentos la causa de estas Concentraciones se deben a los desechos emitidos de las curtiembres existentes en El Alto. No se encontró límite permisible para este metal concluyendo de esta manera que no debería existir presencia de este metal en sedimentos. **Para los valores de nutrientes como Calcio, Hierro y Magnesio no se encontraron límites permisibles** establecidos por la Organización Mundial de la Salud, Agencia de Protección Ambiental o la ley boliviana de Medio Ambiente Nro. 1333 los cuales presentan valores muy elevados debido a que son macronutrientes esenciales para las plantas.

4.1.4. FORRAJE (TOTORA)

4.1.4.1. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

➤ Arsénico (As)

Curva patrón



Longitud de onda = 193,7 nm

Corriente de Lámpara = 380 mA

Slit = 0,7

Energía = 36 %

Coefficiente de correlación de la curva patrón = 0,9997

Los resultados obtenidos en el análisis de Arsénico se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 4.25. Resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en muestras de forraje.

Lugar	Arsénico mg/kg
Tacachi	< 0,14
Tacachi	< 0,14
Tacachi	0,23
Pampa Cohana	0,80
Pampa Cohana	< 0,14
Pampa Cohana	< 0,14
San Pedro	< 0,14
San Pedro	< 0,14
San Pedro	< 0,14
Pakollo	0,83
Pakollo	< 0,14
Pakollo	< 0,14

L.D. = 0,14 mg/kg

Figura 4.28. Descripción del comportamiento de Arsénico en muestras de forraje.

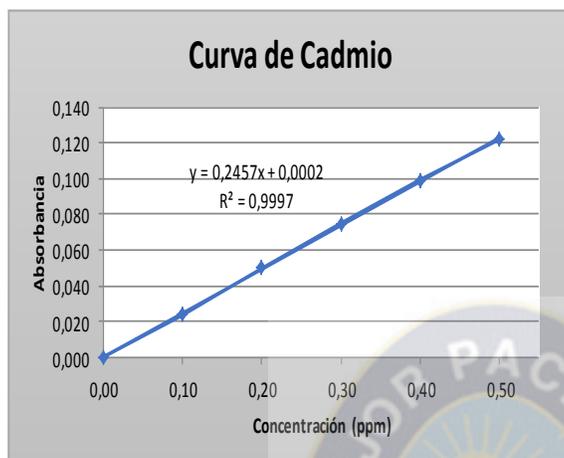


En la figura 4.22 se puede observar Concentraciones obtenidas de Arsénico en algunos puntos de muestreo, con un rango comprendido entre 0,23 mg/kg a 0,83 mg/kg, Las Concentraciones obtenidas están por encima del límite de detección (0,14 mg/kg). El valor más alto se encuentra en la localidad de Pakollo con un valor de 0,83 mg/kg.

En los puntos de muestreo cuyas Concentraciones están dentro del límite de detección los valores obtenidos de Arsénico en muestras de forraje sobrepasan el límite permisible (0,020 mg/kg) establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) norma de Estados Unidos, se desconoce la causa de la presencia de este metal en el forraje porque este alimento es adquirido de otros lugares cuyas condiciones ambientales son desconocidas.

➤ **Cadmio (Cd)**

Curva patrón



Longitud de onda = 228,8 nm

Corriente de Lámpara = 6 mA

Slit = 0,7

Energía = 53 %

Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9997

Los resultados obtenidos en el análisis de Cadmio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.26. Resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de forraje.

Lugar	Cadmio mg/kg
Tacachi	0,11
Tacachi	0,29
Tacachi	0,35
Pampa Cohana	0,48
Pampa Cohana	0,26
Pampa Cohana	0,27
San Pedro	0,27
San Pedro	0,44
San Pedro	0,26
Pakollo	0,44
Pakollo	0,45
Pakollo	0,39

L.D. = 0,028 mg/kg

Figura 4.29. Descripción del comportamiento de Cadmio en muestras de forraje.

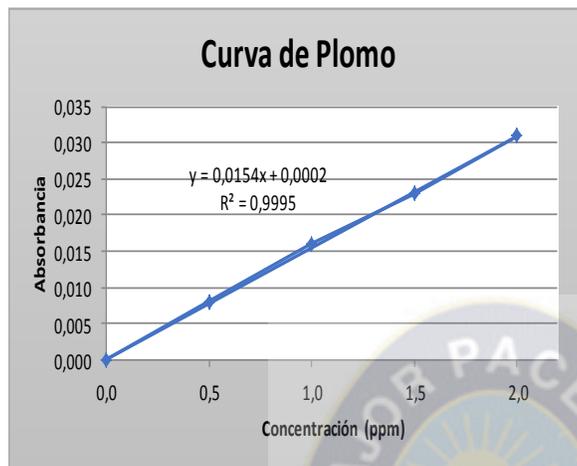


En la figura 4.23 se puede observar que existe presencia de Cadmio en todas los puntos de muestreo, con un rango comprendido de 0,11 mg/kg a 0,48 mg/kg. Todas las Concentraciones obtenidas están por encima del límite de detección (0,020 mg/kg) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de Pampa Cohana, las Concentraciones obtenidas son muy variables debido a que los pobladores del lugar traen el forraje de distintos lugares buscando forraje en mejor condición, se desconocen las condiciones ambientales de los lugares de procedencia de este forraje, de esta manera no se puede asegurar la causa de la presencia irregular de este metal en el forraje.

Las Concentraciones obtenidas de Cadmio en forraje sobrepasan el límite permisible (0,0050 mg/kg) establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) norma de Estados Unidos.

➤ **Plomo (Pb)**

Curva patrón



Longitud de onda = 283,3 nm

Corriente de Lámpara = 10 mA

Slit = 0,7

Energía = 54 %

Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9995

Los resultados obtenidos en el análisis de Plomo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.27. Resultados obtenidos en el análisis de Plomo en muestras de forraje.

L.D. = 0,26 mg/kg

Lugar	Plomo mg/kg
Tacachi	0,35
Tacachi	0,75
Tacachi	1,6
Pampa Cohana	3,6
Pampa Cohana	1,5
Pampa Cohana	1,1
San Pedro	0,70
San Pedro	0,49
San Pedro	0,30
Pakollo	0,40
Pakollo	1,0
Pakollo	0,96

Figura 4.30. Descripción del comportamiento de Plomo en muestras de forraje.

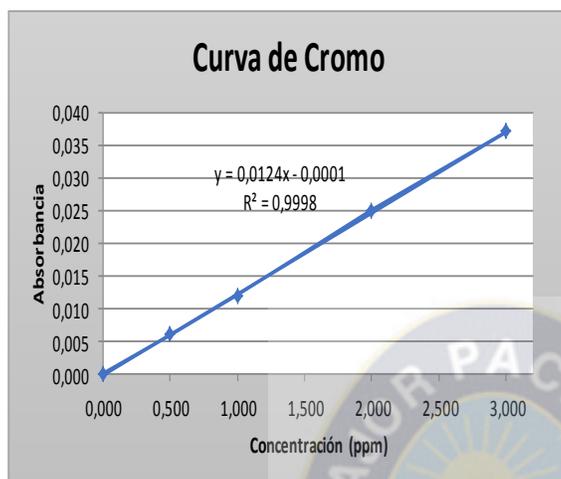


En la figura 4.24 se puede observar una concentración obtenida de Plomo en todas los puntos de muestreo, los cuales están por encima del límite de detección (0,050 mg/kg) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama. Las Concentraciones obtenidas tienen un rango comprendido entre 0,35 mg/kg a 3,6 mg/kg, estos valores irregulares de concentración se atribuye a que el forraje es transferido desde diferentes lugares donde se desconoce las condiciones en las que se encuentran.

La concentración más elevada de Plomo se encuentra en la población de Pampa Cohana con un valor de 3,6 mg/kg. Se realizó una comparación de las Concentraciones obtenidas con el límite permisible (0,020 mg/kg) establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) norma de Estados Unidos y se concluye que las Concentraciones de Plomo en forraje sobrepasan el límite permisible.

➤ **Cromo (Cr³⁺)**

Curva patrón



Longitud de onda = 357,9 nm

Corriente de Lámpara = 27 mA

Slit = 0,7

Energía = 61 %

Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9998

Los resultados obtenidos en el análisis de Cromo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.28. Resultados obtenidos en el análisis de Cromo (Cr³⁺) en muestras de forraje.

Lugar	Cromo mg/Kg
Tacachi	4,7
Tacachi	5,0
Tacachi	7,4
Pampa Cohana	13
Pampa Cohana	4,5
Pampa Cohana	4,1
San Pedro	3,6
San Pedro	4,1
San Pedro	3,5
Pakollo	5,3
Pakollo	6,0
Pakollo	5,5

L.D. = 0,11 mg/kg

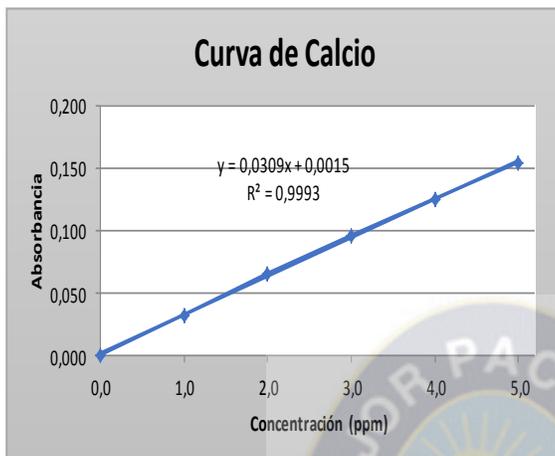
Figura 4.31. Descripción del comportamiento de Cromo (Cr^{+3}) en muestras de forraje.



En la figura 4.25 se puede observar que existe Concentraciones significativas de Cromo trivalente en todos los puntos de muestreo, teniendo un rango comprendido entre 3,5 mg/kg a 13 mg/kg, los cuales se encuentran por encima del límite de detección (0,11 mg/kg) que corresponde a la metodología de absorción atómica a llama. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de Pampa Cohana teniendo un valor de 13 mg/kg, los valores irregulares de concentración se debe a que los pobladores adquieren el forraje de otros lugares porque el forraje que utilizaban de este lugar se encuentra afectado a causa de la contaminación existente en el lugar.

Se desconoce el estado ambiental en la que se encuentran estos lugares de acopio de forraje. No se encontraron límites permisibles establecidos por instituciones de Bolivia o de otros países para este metal en forraje, por lo que se concluye que no debería existir la presencia de este metal en el forraje.

➤ **Calcio (Ca)**
Curva patrón



Longitud de onda = 422,7 nm
Corriente de Lámpara = 12 mA
Slit = 0,7
Energía = 52 %
Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9993

Los resultados obtenidos en el análisis de Calcio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.29. Resultados obtenidos en el análisis de Calcio en muestras de forraje.

L.D. = 8,0 mg/kg

Lugar	Calcio mg/kg
Tacachi	665
Tacachi	1386
Tacachi	2605
Pampa Cohana	10167
Pampa Cohana	5378
Pampa Cohana	2401
San Pedro	2406
San Pedro	2697
San Pedro	864
Pakollo	1390
Pakollo	1777
Pakollo	1881

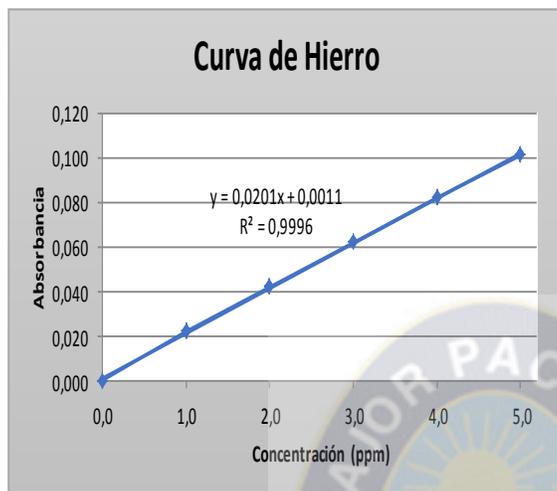
Figura 4.32. Descripción del comportamiento de Calcio en muestras de forraje.



En la figura 4.26 se puede observar que existen Concentraciones obtenidas de Calcio en todos los puntos de muestreo, con un rango comprendido entre 665 mg/kg a 10116 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la localidad de Pampa Cohana con un valor de 10116 mg/kg. Estos valores elevados son normales ya que el Ca^{+2} es un macronutriente esencial para las plantas.

Todas las Concentraciones obtenidas de Calcio se encuentran por encima del límite de detección (8,0 mg/kg) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama. Los valores irregulares en las Concentraciones de Calcio se deben a que el forraje recolectado proviene de diferentes lugares porque el forraje que existe en el lugar se vio afectado por la contaminación. Los valores obtenidos se encuentran por encima del límite permisible (611 mg/kg) establecido por el Instituto de Investigación Nutricional (México), el exceso de este nutriente no es dañino para salud.

➤ **Hierro (Fe)**
Curva patrón



Longitud de onda = 248,0 nm
Corriente de Lámpara = 30 mA
Slit = 0,2
Energía = 48 %
Coeficiente de correlación de la curva patrón = 0,9996

Los resultados obtenidos en el análisis de Hierro se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 4.30. Resultados obtenidos en el análisis de Hierro en muestra de forraje.

L.D. = 0,10 mg/kg

Lugar	Hierro mg/kg
Tacachi	79
Tacachi	203
Tacachi	372
Pampa Cohana	1124
Pampa Cohana	198
Pampa Cohana	707
San Pedro	78
San Pedro	388
San Pedro	205
Pakollo	76
Pakollo	160
Pakollo	679

Figura 4.33. Descripción del comportamiento de Hierro en muestras de forraje.

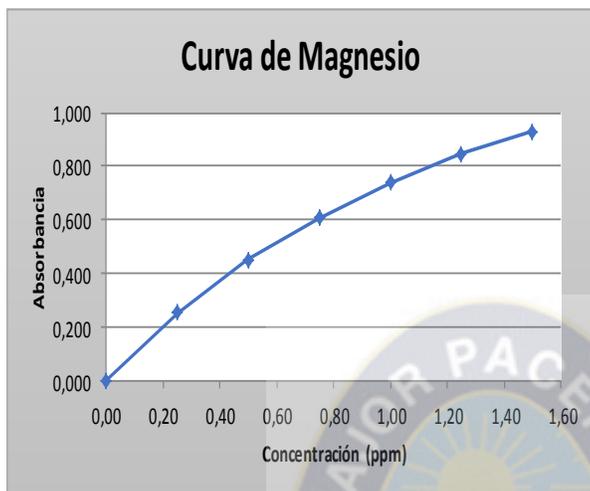


En la figura 4.27 se puede observar que existen Concentraciones elevadas de Hierro en todos los puntos de muestreo, teniendo un rango comprendido entre 76 mg/kg a 1124 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la población de Pampa Cohana con un valor de 1124 mg/kg. Estas Concentraciones son favorables porque de tener deficiencia de Hierro provoca disminución del crecimiento, anorexia y anemia.

Las Concentraciones de Hierro obtenidas están por encima del límite de detección (0,10 mg/kg) establecido por la metodología de espectroscopia de absorción a llama y sobrepasan el límite permisible (4,6 mg/kg) establecido por el Instituto de Investigación Nutricional (México). Sin embargo, el exceso de este metal no es dañino para la salud.

➤ **Magnesio (Mg)**

Curva patrón



Longitud de onda = 285,2 nm

Corriente de Lámpara = 10 mA

Slit = 0,7

Energía = 60 %

Coefficiente de correlación de la curva patrón = 0,9999

Los resultados obtenidos en el análisis de Magnesio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.31. Resultados obtenidos en el análisis de Magnesio en muestras de forraje.

Lugar	Magnesio mg/kg
Tacachi	829
Tacachi	990
Tacachi	1767
Pampa Cohana	2816
Pampa Cohana	2100
Pampa Cohana	1406
San Pedro	1515
San Pedro	1471
San Pedro	952
Pakollo	981
Pakollo	1741
Pakollo	1514

L.D. = 8,0 mg/kg

Figura 4.34. Descripción del comportamiento de Magnesio en muestras de forraje.



En la figura 4.28 se puede observar Concentraciones elevadas de Magnesio en todos los puntos de muestreo con un rango comprendido entre 829 mg/kg a 2816 mg/kg. La concentración más elevada se encuentra en la población de Pampa Cohana con un valor de 2816 mg/kg. Estas Concentraciones son normales debido a que este es un macronutriente esencial para las plantas.

Las Concentraciones obtenidas de este metal están por encima del límite de detección (8,0 mg/kg) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama. No se encontraron límites permisibles de Magnesio en Forraje establecidos por ninguna institución en Bolivia u otros países.

A continuación en la tabla 4.32 se resumen todos los resultados de metales pesados obtenidos en muestras de forraje en la siguiente tabla:

Tabla 4.32. Resultados obtenidos de metales pesados en forraje para los 12 puntos de estudio.

Metal	Concentraciones obtenidos en laboratorio	Límite permisible (EPA)
Arsénico (As)	0,23 mg/kg a 0,83 mg/kg	0,020 mg/kg
Cadmio (Cd)	0,1 mg/kg a 0,5 mg/kg	0,0050 mg/kg
Plomo (Pb)	0,3 mg/kg a 4,0 mg/kg	0,020 mg/kg
Cromo (Cr⁺³)	3,5 mg/kg a 13,3 mg/kg	-
Nutriente	Concentraciones obtenidos en laboratorio	Límite permisible (EPA)
Calcio (Ca)	665 mg/kg a 10116 mg/kg	611,2 mg/kg
Hierro (Fe)	76 mg/kg a 1124 mg/kg	4,57 mg/kg
Magnesio (Mg)	829 mg/kg a 2816 mg/kg	-

Figura 4.35. Concentraciones de Arsénico que están por encima del límite permisible en forraje para los 12 puntos de estudio.

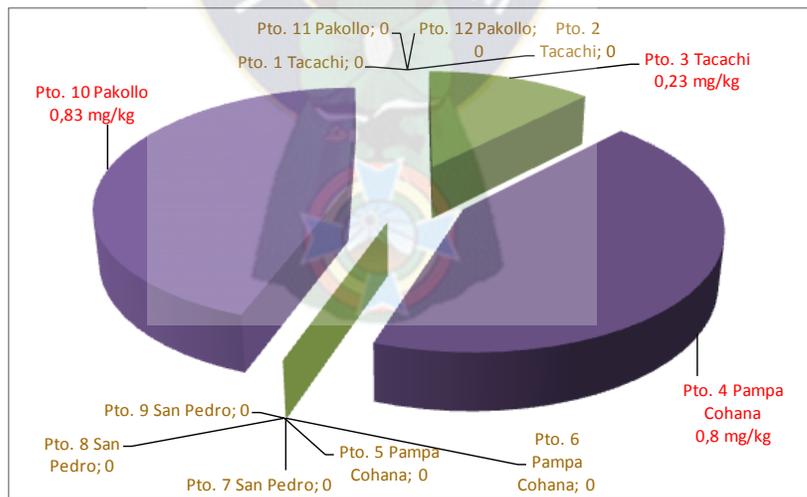


Figura 4.35. Concentración de Cadmio que está por encima del límite permisible en forraje para los 12 puntos de estudio.

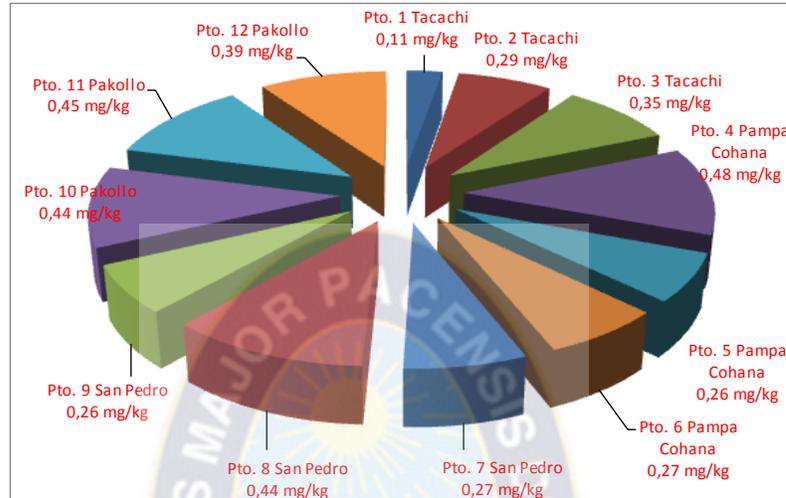
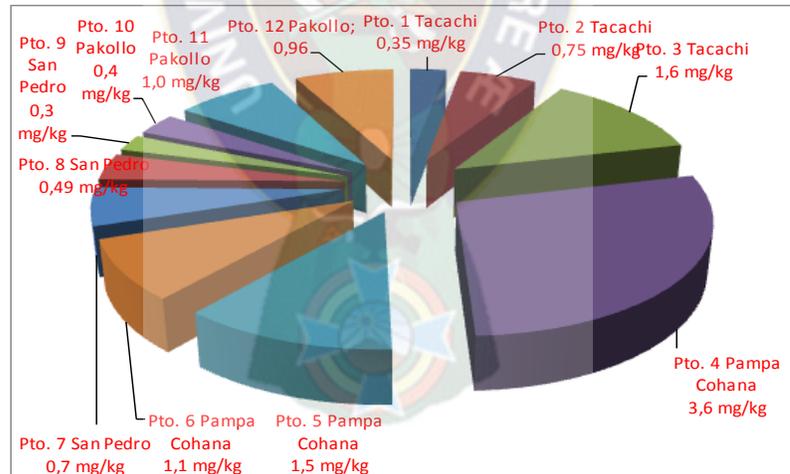


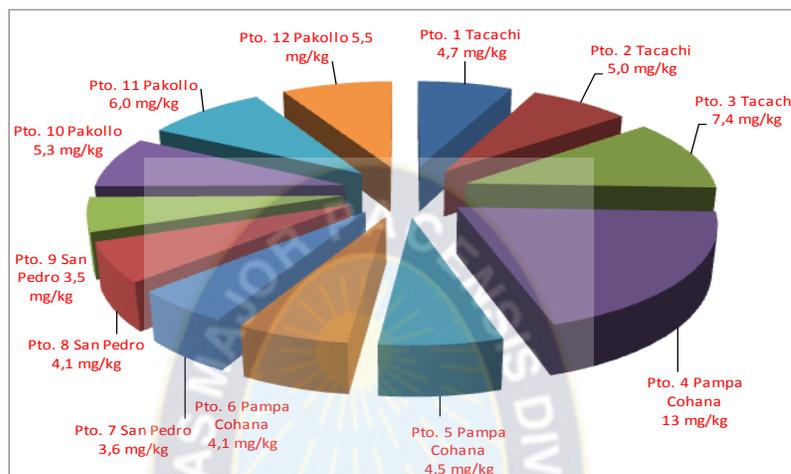
Figura 4.36. Concentración de Plomo que está por encima del límite permisible en forraje para los 12 puntos de estudio.



Según los resultados obtenidos y conociendo los límites permisibles se concluye que en **las muestras de forraje los valores de Arsénico, Cadmio y Plomo sobrepasan el valor de límite permisible (color rojo) establecido por Estados Unidos**, los puntos que sobrepasan el límite permisible de Arsénico son: pto. 3 (localidad de Tacachi), pto. 4 (localidad de Pampa Cohana) y pto. 10 (localidad de

Pakollo). Las Concentraciones que sobrepasan el límite permisible de Plomo y Cadmio corresponden a los doce puntos de muestreo.

Figura 4.37. Valores de concentración de Cromo trivalente presente en forraje para los 12 puntos de estudio.



La concentración de Cromo es significativa, para la cual no existe límite permisible con que comparar, por tanto se deduce que no debería existir presencia de este metal en forraje. En cuanto a **los valores de nutrientes como Calcio y Hierro sobrepasan los límites permisibles establecidos por el Instituto de Investigación Nutricional (México)** teniendo un exceso de más del 90% en Hierro y Calcio, estos nutrientes no tienen efecto dañino para la salud. **En cuanto al metal Magnesio no se encontraron límites permisibles** establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Organización Mundial de la Salud, Agencia de Protección Ambiental o la ley boliviana de Medio Ambiente Nro. 1333 los cuales presentan valores muy elevados.

4.1.5. LECHE

4.1.5.1. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

➤ Arsénico (As)

Tabla 4.33. Resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en leche.

Lugar	Arsénico mg/L
Tacachi	< 0,0010
Tacachi	< 0,0010
Tacachi	< 0,0010
Pampa Cohana	< 0,0010
Pampa Cohana	< 0,0010
Pampa Cohana	< 0,0010
San Pedro	< 0,0010
San Pedro	< 0,0010
San Pedro	< 0,0010
Pakollo	< 0,0010
Pakollo	< 0,0010
Pakollo	< 0,0010

L.D. = 0,0010 mg/L

Figura 4.38. Descripción del comportamiento de Arsénico en muestras de leche.



En la figura 4.29 se observa que no existe presencia de Arsénico en muestras de leche, las Concentraciones obtenidas se encuentran por debajo del límite de detección (0,0010 mg/L) correspondiente al equipo de absorción atómica a horno grafito y del límite permisible (0,020 mg/L) establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) norma de Estados Unidos.

➤ **Cadmio (Cd)**

Tabla 4.34. Resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de leche.

L.D. = 0,020 mg/L

Lugar	Cadmio mg/L
Tacachi	< 0,020
Tacachi	< 0,020
Tacachi	< 0,020
Pampa Cohana	< 0,020
Pampa Cohana	< 0,020
Pampa Cohana	< 0,020
San Pedro	< 0,020
San Pedro	< 0,020
San Pedro	< 0,020
Pakollo	< 0,020
Pakollo	< 0,020
Pakollo	< 0,020

Figura 4.39. Descripción del comportamiento de Cadmio en muestras de leche.



En la figura 4.30 se observa que no hay presencia de Cadmio en las muestras de leche ya que las Concentraciones obtenidas fueron negativas, por tanto se encuentran por debajo del límite permisible (0,005 mg/L) establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) norma de Estados Unidos y del límite de detección (0,020 mg/L) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama.

➤ **Plomo**

Tabla 4.35. Resultados obtenidos en el análisis de Plomo en muestras de leche.

L.D. = 0,0050 mg/L

Lugar	Plomo mg/L
Tacachi	< 0,0050
Tacachi	< 0,0050
Tacachi	< 0,0050
Pampa Cohana	< 0,0050
Pampa Cohana	< 0,0050
Pampa Cohana	< 0,0050
San Pedro	< 0,0050
San Pedro	< 0,0050
San Pedro	< 0,0050
Pakollo	< 0,0050
Pakollo	< 0,0050
Pakollo	< 0,0050

Figura 4.40. Descripción del comportamiento de Plomo en muestras de leche.



En la figura 4.31 se observa que no existen Concentraciones presentes de Plomo en la leche. Todos los valores obtenidos son negativos, por tanto están por debajo del límite de detección (0,0050 mg/L) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama y del límite permisible (0,020 mg/L) establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) norma de Estados Unidos.

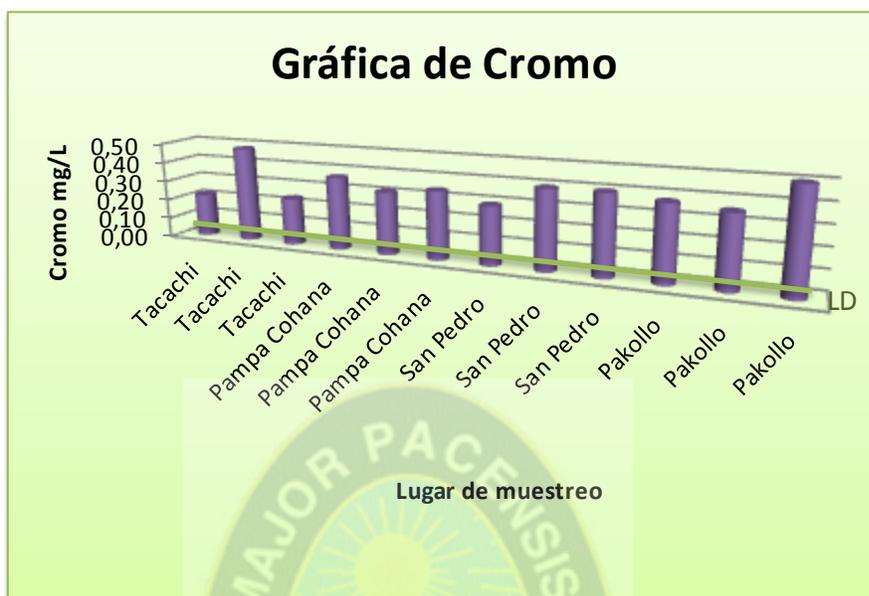
➤ **Cromo (Cr⁺³)**

Tabla 4.36. Resultados obtenidos en el análisis de Cromo (Cr⁺³) en la leche.

L.D. = 0,050 mg/L

Lugar	Cromo mg/L
Tacachi	0,22
Tacachi	0,48
Tacachi	0,24
Pampa Cohana	0,37
Pampa Cohana	0,32
Pampa Cohana	0,34
San Pedro	0,29
San Pedro	0,40
San Pedro	0,40
Pakollo	0,38
Pakollo	0,36
Pakollo	0,62

Figura 4.41. Descripción del comportamiento de Cromo (Cr^{+3}) en la leche.



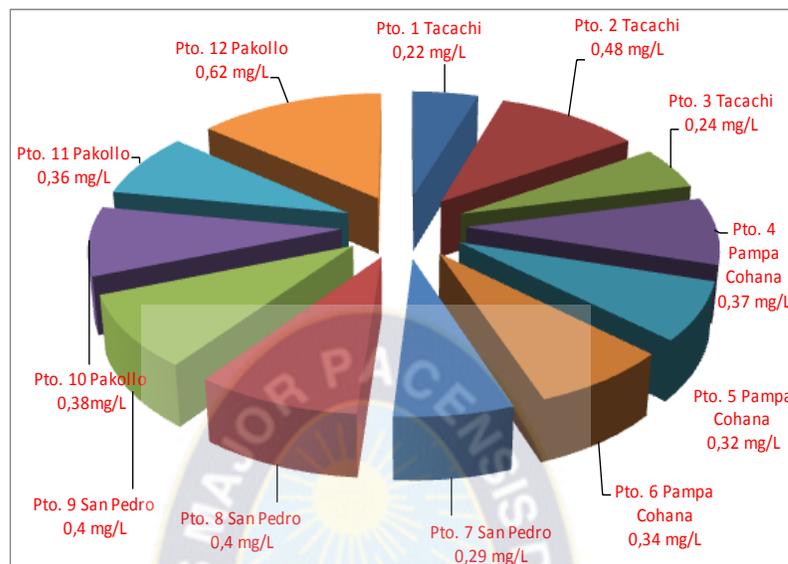
En la figura 4.32 se observa que existen Concentraciones de Cromo trivalente en muestras de leche teniendo un rango comprendido entre 0,22 mg/L a 0,62 mg/L. La concentración más elevada de Cromo se encuentra en la localidad de Pakollo con un valor de 0,62 mg/L. Todas las Concentraciones obtenidas están por encima de límite de detección (0,050 mg/L) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama. No se encontraron límites permisibles para este metal en la leche. Sin embargo su presencia es preocupante para la salud.

A continuación en la tabla 4.37 se resumen todos los resultados de metales pesados obtenidos en muestras de leche en la siguiente tabla:

Tabla 4.37. Resultados obtenidos de metales pesados en leche para los 12 puntos de estudio.

Metal	Concentraciones obtenidos en laboratorio	Límite permisible (EPA)
Arsénico (As)	< 0,0010 mg/L	0,020 mg/L
Cadmio (Cd)	< 0,020 mg/L	0,005 mg/L
Plomo (Pb)	< 0,0050 mg/L	0,020 mg/L
Cromo (Cr^{+3})	0,22 mg/L a 0,62 mg/L	-

Figura 4.42. Valores de concentración de Cromo trivalente presente en muestras de leche para los 12 puntos de estudio.



Analizando los resultados obtenidos y conociendo los límites permisibles se concluye que **en las muestras de leche no se encontraron valores de metales pesados, en cuanto al metal Cromo trivalente se evidencia una presencia significativa** pero no se encontraron límites permisibles establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Organización Mundial de la Salud, Agencia de Protección Ambiental o la ley boliviana de Medio Ambiente Nro. 1333. Por tanto se deduce que la leche no debería contener Concentraciones de Cromo y su presencia en la leche es preocupante.

4.1.6. QUESO

4.1.6.1. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

➤ Arsénico (As)

Tabla 4.38. Resultados obtenidos en el análisis de Arsénico en queso.

Lugar	Arsénico mg/kg
Tacachi	< 0,25
Tacachi	< 0,25
Tacachi	< 0,25
Pampa Cohana	< 0,25
Pampa Cohana	< 0,25
Pampa Cohana	< 0,25
San Pedro	< 0,25
San Pedro	< 0,25
San Pedro	< 0,25
Pakollo	< 0,25
Pakollo	< 0,25
Pakollo	< 0,25

L.D. = 0,25 mg/kg

Figura 4.43. Descripción del comportamiento de Arsénico en queso.



En la figura 4.33 se observa que no existen Concentraciones de Arsénico en muestras de queso. Los valores obtenidos de Arsénico son negativos y están por debajo del límite de detección (0,25 mg/kg), no se encontró límite permisible para este metal en quesos.

➤ Cadmio (Cd)

Tabla 4.39. Resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de queso.

Lugar	Cadmio mg/kg
Tacachi	< 0,059
Tacachi	< 0,059
Tacachi	< 0,059
Pampa Cohana	< 0,059
Pampa Cohana	< 0,059
Pampa Cohana	< 0,059
San Pedro	< 0,059
San Pedro	< 0,059
San Pedro	< 0,059
Pakollo	< 0,059
Pakollo	< 0,059
Pakollo	< 0,059

L.D. = 0,059 mg/kg

Figura 4.44. Descripción del comportamiento de Cadmio en muestras de queso.



En la figura 4.34 se observa que no existe Concentraciones de Cadmio en muestras de queso, todos los valores de Cadmio están por debajo del límite de detección (0,059 mg/kg) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama. No se encontraron límites permisibles para Cadmio en muestras de queso.

➤ **Plomo (Pb)**

Tabla 4.40. Resultados obtenidos en el análisis de Plomo en muestras de queso.

Lugar	Plomo mg/kg
Tacachi	< 0,30
Tacachi	< 0,30
Tacachi	< 0,30
Pampa Cohana	< 0,30
Pampa Cohana	< 0,30
Pampa Cohana	< 0,30
San Pedro	< 0,30
San Pedro	< 0,30
San Pedro	< 0,30
Pakollo	< 0,30
Pakollo	< 0,30
Pakollo	< 0,30

L.D. = 0,30 mg/kg

Figura 4.45. Descripción del comportamiento de Plomo en muestras de queso.



En la figura 4.35 se observa que no existe presencia de Plomo en muestras de queso, las Concentraciones obtenidas son negativas y por lo tanto se encuentran por debajo del límite de detección (0,30 mg/kg) correspondiente al equipo de absorción atómica a llama. No se encontró límite permisible de Plomo para muestras de queso.

➤ Cromo (Cr^{+3}).

Tabla 4.41. Resultados obtenidos en el análisis de Cromo (Cr^{+3}) en queso.

Lugar	Cromo mg/kg
Tacachi	< 0,50
Tacachi	< 0,50
Tacachi	< 0,50
Pampa Cohana	< 0,50
Pampa Cohana	< 0,50
Pampa Cohana	< 0,50
San Pedro	< 0,50
San Pedro	< 0,50
San Pedro	< 0,50
Pakollo	< 0,50
Pakollo	< 0,50
Pakollo	< 0,50

L.D. = 0,50 mg/kg

Figura 4.46. Descripción del comportamiento de Cromo (Cr^{+3}) en queso.



En la figura 4.36 se observa que no existe Concentraciones de Cromo trivalente en muestras de queso, todos los valores obtenidos son negativos por tanto están por debajo del límite de detección (0,50 mg/kg) correspondiente al equipo de absorción

atómica a llama. No se encontraron límites permisibles de Cromo trivalente en muestras de queso.

A continuación se resumen todos los resultados de metales pesados obtenidos en muestras de queso en la siguiente tabla:

Tabla 4.42. Resultados obtenidos de metales pesados en queso para los 12 puntos de estudio.

Metal	Concentraciones obtenidos en laboratorio	Límite permisible
Arsénico (As)	< 0,25 mg/kg	-
Cadmio (Cd)	< 0,059 mg/kg	-
Plomo (Pb)	< 0,30 mg/kg	-
Cromo (Cr ⁺³)	< 0,50 mg/kg	-

Según los resultados obtenidos y conociendo los límites permisibles se concluye que **en la muestras de queso no se encontraron valores de metales pesados** teniendo en cuenta que todos los valores obtenidos se encontraron debajo del límite de detección. No se encontraron límites permisibles para estos metales en quesos establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Organización Mundial de la Salud, Agencia de Protección Ambiental o la ley boliviana de Medio Ambiente Nro. 1333.

4.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

4.2.1. CONDUCTIVIDAD

➤ Aguas

Tabla 4.43. Resultados obtenidos en el análisis de Conductividad eléctrica en muestras de aguas.

Lugar	Conductividad $\mu\text{S/cm}$
Tacachi	876
Tacachi	882
Tacachi	893
Pampa Cohana	864
Pampa Cohana	1076
Pampa Cohana	864
San Pedro	837
San Pedro	803
San Pedro	762
Pakollo	648
Pakollo	629
Pakollo	553

L.D. = 1,0 $\mu\text{S/cm}$

Figura 4.47. Descripción del comportamiento de Conductividad eléctrica en muestras de aguas.



En la figura 4.37 se puede observar los valores elevados de Conductividad en todas las localidades con un rango comprendido entre 553 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1076 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores más elevados se encuentran en las poblaciones de Tacachi con un valor de 893 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y Pampa Cohana con un valor de 1076 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Los valores altos de Conductividad se deben a la presencia de sales en Concentraciones elevadas que dan lugar a iones disueltos en el agua del lugar. Todos los valores se encuentran por encima del límite de detección (1.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$) correspondiente al equipo multiparamétrico WTW Multi 3430. Según la conductividad se puede clasificar estas aguas como aguas duras.

➤ **Suelos**

Tabla 4.44. Resultados obtenidos en el análisis de Conductividad eléctrica en muestras de suelos.

L.D. = 1,0 mg/kg

Lugar	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$
Tacachi	1087
Tacachi	4610
Tacachi	878
Pampa Cohana	457
Pampa Cohana	313
Pampa Cohana	943
San Pedro	876
San Pedro	681
San Pedro	1575
Pakollo	1610
Pakollo	2520
Pakollo	3320

Figura 4.48. Descripción del comportamiento de Conductividad eléctrica en muestras de suelos.



En la figura 4.38 se puede observar que existe un valor elevado de Conductividad en el segundo punto de la localidad de Tacachi, los valores son muy irregulares las conductividades más bajas se encuentran en la localidad de Pampa Cohana y los valores intermedios están en la localidad de San Pedro y la localidad de Pakollo cuenta con un comportamiento ascendente en sus valores de conductividad.

El rango de Conductividad se encuentra entre 313 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 4610 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estos valores obtenidos se evaluarán en las conclusiones tomando en cuenta el límite permisible. Todos los valores obtenidos de Conductividad se encuentran por encima del límite de detección (1.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$) correspondiente al equipo multiparamétrico WTW Multi 3430.

➤ **Sedimentos**

Tabla 4.45. Resultados obtenidos en el análisis de Conductividad eléctrica en muestras de sedimentos.

Lugar	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$
Tacachi	800
Tacachi	380
Tacachi	406
Pampa Cohana	656
Pampa Cohana	809
Pampa Cohana	761
San Pedro	830
San Pedro	456
San Pedro	705
Pakollo	685
Pakollo	468
Pakollo	429

L.D. = 1,0 mg/kg

Figura 4.49. Descripción del comportamiento de Conductividad eléctrica en muestras de sedimentos.



En la figura 4.39 se puede observar que existe valores elevados de Conductividad en todas las localidades con un rango comprendido entre 380 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 830 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los valores varían de acuerdo a su ubicación, en la localidad de Pampa Cohana se encuentra uno de los efluentes de entrada hacia la bahía de Cohana

llevando en ellas Concentraciones elevadas de sales disueltas en aguas y retenidas en los sedimentos, lo que contribuye a una salinidad elevada a los sedimentos.

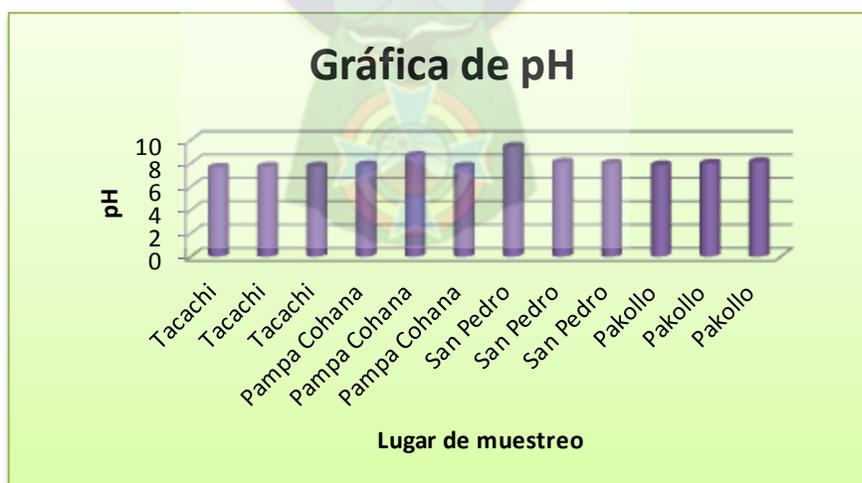
4.2.2. pH

➤ Aguas

Tabla 4.46. Resultados obtenidos en el análisis de pH en muestras de aguas.

Lugar	pH
Tacachi	7,6
Tacachi	7,7
Tacachi	7,7
Pampa Cohana	7,8
Pampa Cohana	8,6
Pampa Cohana	7,7
San Pedro	9,4
San Pedro	8,1
San Pedro	8,0
Pakollo	7,8
Pakollo	8,0
Pakollo	8,1

Figura 4.50. Descripción del comportamiento de pH en muestras de aguas.



En la figura 4.40 se puede observar una variación de pH en las muestras de aguas en todas las localidades, teniendo un rango comprendido entre 8 a 9, los valores

varían de acuerdo a la ubicación de las poblaciones, en la población de Pampa Cohana se encuentra una de las corrientes de agua de entrada hacia la bahía de Cohana que tiene un pH básico.

➤ **Suelos**

Tabla 4.47. Resultados obtenidos en el análisis de pH en muestras de suelos.

Lugar	pH
Tacachi	6,9
Tacachi	7,0
Tacachi	8,2
Pampa Cohana	7,6
Pampa Cohana	7,7
Pampa Cohana	8,0
San Pedro	7,8
San Pedro	7,9
San Pedro	7,7
Pakollo	7,7
Pakollo	7,2
Pakollo	7,0

Figura 4.51. Descripción del comportamiento de pH en muestras de suelos.



En la figura 4.41 se puede observar una variación de pH en muestras de suelos en todas las localidades de muestreo, teniendo un rango comprendido entre 7 a 8, los valores varían de acuerdo a la ubicación de las poblaciones en la localidad de Pampa

Cohana se encuentra uno de los valores más elevados de pH debido a que en ese punto se encuentra uno de los efluentes de entrada hacia la bahía de Cohana, en las demás localidades los valores de pH no presentan grandes variaciones. Los valores de pH están en función a su cercanía a una de las corrientes de aguas contaminadas provenientes de la ciudad de El Alto que tiene un pH básico, lo que contribuye al comportamiento básico en los suelos.

➤ **Sedimentos**

Tabla 4.48. Resultados obtenidos en el análisis de pH en muestras de sedimentos.

Lugar	pH
Tacachi	6,0
Tacachi	6,7
Tacachi	5,9
Pampa Cohana	6,5
Pampa Cohana	8,0
Pampa Cohana	7,9
San Pedro	6,5
San Pedro	6,1
San Pedro	6,2
Pakollo	6,2
Pakollo	6,1
Pakollo	6,4

Figura 4.52. Descripción del comportamiento de pH en muestras de sedimentos.



En la figura 4.42 se puede observar una variación de pH en todas las localidades, teniendo un rango comprendido entre 6 a 8, los valores varían de acuerdo a la ubicación de las localidades en la cual en la población de Pampa Cohana se encuentra uno de los valores más elevados de pH debido a que en este lugar se encuentra una corriente de entrada de las aguas contaminadas hacia la bahía de Cohana, en las demás localidades los valores de pH se presentan uniformemente según su cercanía a una de las corrientes de aguas contaminadas provenientes de la ciudad de El Alto que tienen un pH básico, lo que contribuye a la alcalinidad de muestras de sedimentos.

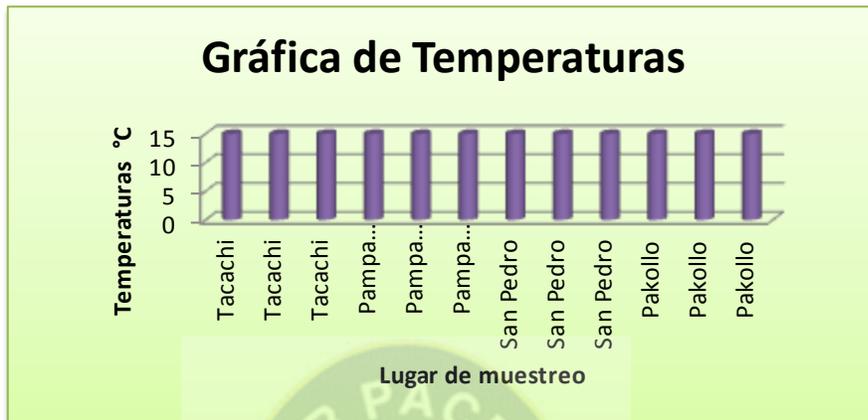
4.2.3. TEMPERATURA

➤ Aguas

Tabla 4.49. Resultados obtenidos en el análisis de temperatura en aguas.

Lugar	T °C
Tacachi	15,3
Tacachi	15,4
Tacachi	15,1
Pampa Cohana	15,1
Pampa Cohana	15,2
Pampa Cohana	15,1
San Pedro	15,3
San Pedro	15,3
San Pedro	15,1
Pakollo	15,1
Pakollo	15,4
Pakollo	15,2

Figura 4.53. Descripción del comportamiento de temperatura en aguas.



En la figura se puede observar un comportamiento regular de temperaturas en todas las localidades con un valor de 15 °C.

4.2.4. COLOR

➤ Aguas

Figura 4.54. Color del agua observada en la toma de muestras.



Se realizó un análisis de color aparente en campo y las aguas observadas corresponden a un color gris oscuro.

4.2.5. OLOR

➤ Aguas

Figura 4.55. Olor del agua percibida en la toma de muestras.



En las aguas que se muestrearon se pudo evidenciar que tenía un fuerte olor a sulfuros y un olor correspondiente a la descomposición de materia orgánica.

4.2.6. SÓLIDOS TOTALES

➤ Aguas

Tabla 4.50. Resultados obtenidos en el análisis de sólidos totales en muestras de aguas.

L.D. = 10 mg/L

Lugar	Sólidos Totales mg/L
Tacachi	556,5
Tacachi	540,0
Tacachi	659,0
Pampa Cohana	590,0
Pampa Cohana	670,0
Pampa Cohana	609,0
San Pedro	544,0
San Pedro	544,0
San Pedro	434,0
Pakollo	494,0
Pakollo	408,0
Pakollo	368,0

Figura 4.56. Descripción del comportamiento de Sólidos Totales en muestras de aguas.



En la figura se observa un variación de los sólidos totales presentes en muestras tomadas de aguas, teniendo un rango comprendido entre 368,0 mg/L a 670,0 mg/L, dichos sólidos corresponden a partículas de sílice y otras partículas desconocidas suspendidas en el agua proveniente de la contaminación existente en esta bahía.

La mayor concentración de sólidos totales se encuentra en la localidad de Pampa Cohana con un valor de 670,0 mg/L debido a que en este punto se encuentra mayor arrastre de partículas de suelos en su recorrido hacia la bahía de Cohana. Todos los valores obtenidos se encuentran por encima del límite de detección (10 mg/L) correspondiente al método EPA 160.3. Los valores de Conductividad se encuentran dentro del límite permisible (1500 mg/L) correspondiente a la clase C (agua residual) establecido por la norma boliviana ley 1333 de Medio Ambiente.

4.2.7. NITRÓGENO TOTAL

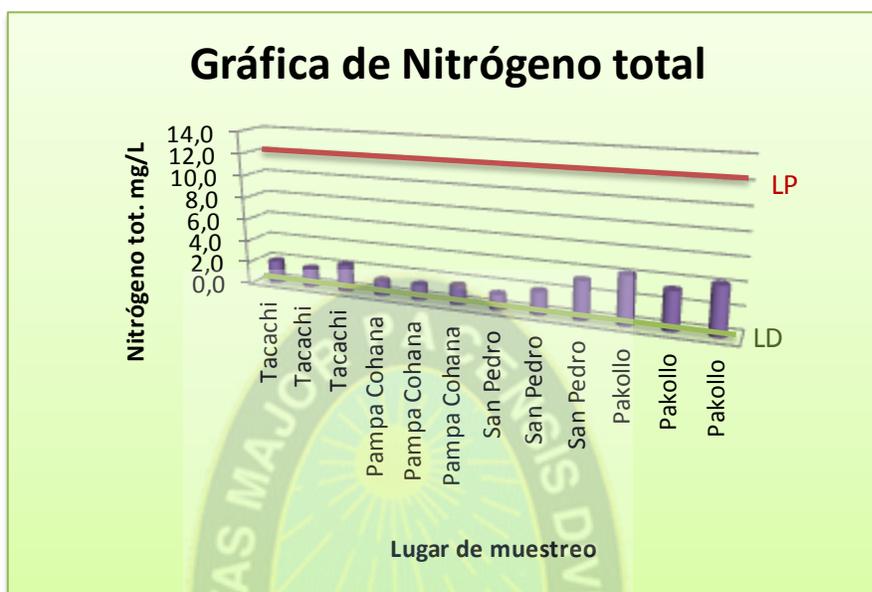
➤ Aguas

Tabla 4.51. Resultados obtenidos en el análisis de Nitrógeno total en muestras de aguas.

L.D. = 0,30 mg/L

Lugar	Nitrógeno total mg/L
Tacachi	2,0
Tacachi	1,7
Tacachi	2,4
Pampa Cohana	1,4
Pampa Cohana	1,4
Pampa Cohana	1,7
San Pedro	1,4
San Pedro	2,0
San Pedro	3,4
Pakollo	4,2
Pakollo	3,4
Pakollo	4,2

Figura 4.57. Descripción del comportamiento de Nitrógeno total en muestras de aguas.



En la figura 4.47 se puede observar un comportamiento irregular de Nitrógeno total en muestras de aguas, teniendo un rango comprendido entre 1,4 mg/L a 4,2 mg/L, los valores varían de acuerdo a la ubicación de las poblaciones, en la población de Pakollo se encuentra uno de los valores más elevados de Nitrógeno total con un valor de 4,2 mg/L, esto debido a que en ese punto se concentran las aguas provenientes de los desechos de la ciudad de El Alto, en las demás poblaciones los valores de Nitrógeno total son distribuidos irregularmente según a su cercanía a una de las corrientes de aguas contaminadas provenientes de la ciudad de El Alto.

Todos los valores obtenidos se encuentran por encima del límite de detección (0,30 mg/L) correspondiente al método EPA 351.1. Según el límite permisible (12 mg/L) correspondiente a cuerpos de agua clase C (aguas residuales) establecido por la norma boliviana ley 1333 no sobrepasan este límite determinado.

➤ **Suelos**

Tabla 4.52. Resultados obtenidos en el análisis de Nitrógeno total en muestras de suelos.

Lugar	mg N/Kg
Tacachi	0,9
Tacachi	11,8
Tacachi	1,2
Pampa Cohana	1,5
Pampa Cohana	0,9
Pampa Cohana	1,2
San Pedro	3,5
San Pedro	2,0
San Pedro	1,9
Pakollo	3,8
Pakollo	9,5
Pakollo	5,1

L.D. = 0,14 mg/kg

Figura 4.58. Descripción del comportamiento de Nitrógeno total en muestras de suelos.



En la figura 4.48 se puede observar un comportamiento irregular de Nitrógeno total en todas las localidades, teniendo un rango comprendido entre 0,9 mg/kg a 11,8

mg/kg, todas las Concentraciones están por encima del límite de detección que tiene un valor de 0,14 mg/kg.

Las Concentraciones varían de acuerdo a la ubicación de las localidades en la cual en Tacachi se encuentra uno de los valores más elevados de Nitrógeno total debido a que en ese punto se evidenció presencia de desechos orgánicos provenientes del ganado existente en este punto, en las demás localidades las Concentraciones de Nitrógeno total son distribuidas irregularmente según su cercanía a una de las corrientes de aguas contaminadas provenientes de la ciudad de El Alto. Todos los valores se encuentran por encima del límite de detección correspondiente al método ISRIC 6. No se encontraron límites permisibles de Nitrógeno total en suelos.

➤ **Sedimentos**

Tabla 4.53. Resultados obtenidos en el análisis de Nitrógeno total en muestras de sedimentos.

Lugar	mg N/Kg
Tacachi	8,4
Tacachi	4,2
Tacachi	1,0
Pampa Cohana	1,5
Pampa Cohana	0,5
Pampa Cohana	1,1
San Pedro	2,9
San Pedro	1,3
San Pedro	1,7
Pakollo	2,4
Pakollo	2,4
Pakollo	1,8

L.D. = 0,14 mg/kg

Figura 4.59. Descripción del comportamiento de Nitrógeno total en muestras de sedimentos.



En la figura 4.49 se puede observar un comportamiento irregular de Nitrógeno total en muestras de sedimentos, todos los valores se encuentran arriba del límite permisible de valor 0,14 mg/kg correspondiente al método ISRIC 6, teniendo un rango comprendido entre 0,5 mg/kg a 8,4 mg/kg.

Los valores varían de acuerdo a la ubicación de las localidades, en Tacachi se encuentra uno de los valores más elevados de Nitrógeno total con un valor de 8,4 mg/kg, en las demás poblaciones las Concentraciones de Nitrógeno total son distribuidas irregularmente según a su cercanía a una de las corrientes de aguas contaminadas provenientes de la ciudad de El Alto. No se encontraron límites permisibles de Nitrógeno total en sedimentos.

➤ Forraje (Tatora, tallo)

Tabla 4.54. Resultados obtenidos en el análisis de Nitrógeno total.

Lugar	mg N /Kg
Tacachi	8,3
Tacachi	8,7
Tacachi	9,0
Pampa Cohana	9,2
Pampa Cohana	9,3
Pampa Cohana	9,3
San Pedro	10
San Pedro	9,4
San Pedro	8,5
Pakollo	9,4
Pakollo	13
Pakollo	11

L.D. = 0,30 mg/kg

Figura 4.60. Descripción del comportamiento de Nitrógeno total.



En la figura 4.50 se puede observar Concentraciones obtenidas de Nitrógeno total en todas las localidades, teniendo un rango comprendido entre 8,3 mg/kg a 12,6 mg/kg.

Todas las Concentraciones se encuentran por encima del límite de detección de valor 0,30 mg/kg, los valores varían de acuerdo a la ubicación de las poblaciones, en la localidad de Tacachi se encuentra una de las Concentraciones más elevadas de Nitrógeno total debido a que las plantas existentes en este punto absorben nutrientes de manera eficaz de los suelos y aguas. No se encontraron límites permisibles de Nitrógeno total para el forraje.

4.2.8. FÓSFORO TOTAL

➤ Aguas

Tabla 4.55. Resultados obtenidos en el análisis de Fósforo total en muestras de aguas.

L.D. = 0,010 mg/L

Lugar	mg P total/L
Tacachi	1,5
Tacachi	1,2
Tacachi	1,5
Pampa Cohana	1,6
Pampa Cohana	1,3
Pampa Cohana	1,7
San Pedro	1,9
San Pedro	1,9
San Pedro	2,2
Pakollo	1,3
Pakollo	1,0
Pakollo	0,70

Figura 4.61. Descripción del comportamiento de Fósforo total en muestras de aguas.



En la figura 4.51 se puede observar un comportamiento irregular en las Concentraciones obtenidas de Fósforo total en todas las localidades, teniendo un rango comprendido entre 0,7 mg/L a 2,2 mg/L. Todos los valores se encuentran por encima del límite de detección (0,010 mg/L) correspondiente al método EPA 365.2.

Los valores varían de acuerdo a la ubicación de las localidades, en San Pedro se encuentra uno de los valores más elevados de Fósforo total con un valor de 2,2 mg/L debido a que las aguas provenientes de los desechos de la ciudad de El Alto se concentran en este punto, en las demás poblaciones los valores de Fósforo total son distribuidos irregularmente según su cercanía a una de las corrientes de aguas contaminadas provenientes de la ciudad de El Alto. Las Concentraciones obtenidas de Fósforo total se encuentran por encima el límite permisible (1,0 mg/L) correspondiente a cuerpos de agua de clase C (agua residual) establecido por la norma boliviana ley 1333.

➤ Suelos

Tabla 4.56. Resultados obtenidos en el análisis de Fósforo disponible en muestras de suelos.

Lugar	mg P disp./Kg
Tacachi	52,4
Tacachi	722,3
Tacachi	47,0
Pampa Cohana	65,3
Pampa Cohana	56,4
Pampa Cohana	67,1
San Pedro	17,0
San Pedro	9,4
San Pedro	120,0
Pakollo	233,7
Pakollo	371,9
Pakollo	261,9

L.D. = 1,5 mg/kg

Figura 4.62. Descripción del comportamiento de Fósforo disponible en muestras de suelos.



En la figura 4.52 se puede observar un comportamiento muy irregular en la Concentraciones obtenidas de Fósforo disponible en muestras de suelos, todas las Concentraciones obtenidas se encuentran por encima del límite de detección (1,5

mg/kg) correspondiente al método ISRIC 14-3, teniendo un rango comprendido entre 9,4 mg/kg a 722,3 mg/kg.

El valor más elevado de Fósforo disponible se encuentra en Tacachi debido a que en este punto los suelos están combinados con los desechos del ganado ovino del lugar, lo que contribuye a la concentración de Fósforo total.

➤ **Sedimentos**

Tabla 4.57. Resultados obtenidos en el análisis de Fósforo disponible en muestras de sedimentos.

L.D. = 1,5 mg/kg

Lugar	mg P disp./Kg
Tacachi	49,6
Tacachi	8,8
Tacachi	7,5
Pampa Cohana	67,9
Pampa Cohana	75,8
Pampa Cohana	62,4
San Pedro	9,6
San Pedro	56,5
San Pedro	9,7
Pakollo	10,5
Pakollo	8,2
Pakollo	77,7

Figura 4.63. Descripción del comportamiento de Fósforo disponible en muestras de sedimentos.



En la figura 4.53 se puede observar un comportamiento muy irregular en las Concentraciones obtenidas de Fósforo disponible en muestras de sedimentos con un rango comprendido entre 7,5 mg/kg a 77,7 mg/kg, todas las concentraciones de Fósforo disponible se encuentran por encima del límite de detección correspondiente al método ISRIC 14-3.

Los valores varían de acuerdo a la ubicación de las poblaciones, en las localidades de Pakollo y Pampa Cohana se encuentran los valores más elevados de Fósforo disponible debido a que los sedimentos de este lugar captan con mayor facilidad las Concentraciones de Fósforo que se encuentran en la corriente de agua que circula por este lugar, en las demás localidades las Concentraciones de Fósforo disponible son distribuidas irregularmente según su ubicación geográfica con respecto a la descomposición de materia orgánica en las profundidades de cada punto y las Concentraciones de Fósforo que llevan las aguas, parte de las cuales son retenidas en los sedimentos. No se encontraron límites permisibles en sedimentos para este parámetro.

➤ Forraje (Totora, tallo)

Tabla 4.58. Resultados obtenidos en el análisis de Fósforo total en muestras de forraje.

L.D. = 0,40 mg/kg

Lugar	mg P total/kg
Tacachi	100,3
Tacachi	124,7
Tacachi	146,8
Pampa Cohana	131,0
Pampa Cohana	116,5
Pampa Cohana	132,1
San Pedro	123,5
San Pedro	112,0
San Pedro	82,1
Pakollo	99,6
Pakollo	147,8
Pakollo	82,2

Figura 4.64. Descripción del comportamiento de Fósforo total en muestras de forraje.



En la figura 4.54 se puede observar un comportamiento irregular en las Concentraciones de Fósforo total respecto a los diferentes puntos de muestreo teniendo

un rango comprendido entre 82,2 mg/kg a 147,8 mg/kg, los valores varían de acuerdo a la ubicación de las localidades, en las poblaciones de Tacachi y Pakollo se encuentran los valores más elevados de Fósforo total lo cual es un nutriente favorable en el alimento del ganado ovino.

El forraje que existe en el lugar es adquirido desde otros lugares puesto que en la bahía de Cohana el forraje que existe se encuentra afectado debido a la contaminación del lugar, los totorales contienen grasa en su superficie son pequeños y delgados, por esta razón el forraje se adquiere de otros lugares.

Todos los valores de Fósforo total en forraje se encuentran por encima del límite de detección (0,40 mg/kg) correspondiente al método de calcinación/ASPT 91. No se encontraron límites permisibles de Fósforo total para forraje.

4.2.9. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO-5)

➤ Aguas

Tabla 4.59. Resultados obtenidos en el análisis de DBO-5 en muestras de aguas.

Lugar	mg O ₂ /L
Tacachi	18,0
Tacachi	18,4
Tacachi	18,3
Pampa Cohana	19,0
Pampa Cohana	17,6
Pampa Cohana	19,5
San Pedro	18,6
San Pedro	18,5
San Pedro	17,5
Pakollo	32,2
Pakollo	32,2
Pakollo	13,6

L.D. = 0,20 mg/L

Figura 4.65. Descripción del comportamiento de DBO-5 en muestras de aguas.



En la figura 4.55 se puede observar un comportamiento irregular en las Concentraciones de oxígeno para la Demanda Bioquímica de Oxígeno en muestras de aguas teniendo un rango comprendido entre 13,6 mg/L a 32,2 mg/L.

Los valores varían de acuerdo a la ubicación de las poblaciones, en la población de Pakollo se encuentra uno de los valores más elevados de Demanda Bioquímica de Oxígeno debido a en este lugar existiría microorganismos presentes en el agua que consumirían el oxígeno, esto significa que el requerimiento de oxígeno es alto para la degradación de bioquímica de la materia orgánica en las aguas industriales y en general residuales.

Todos los valores obtenidos están por encima del límite de detección (0,20 mg/L) correspondiente al método EPA 405.1. Existe dos puntos de muestreo en los cuales sobrepasa el límite permisible (20 mg/L) en cuerpos de aguas de clase C (aguas residuales) establecido por la norma boliviana ley 1333.

4.2.10. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

➤ Aguas

Tabla 4.60. Resultados obtenidos en el análisis de DQO en muestras de aguas.

Lugar	mg O ₂ /L
Tacachi	30,5
Tacachi	24,4
Tacachi	42,2
Pampa Cohana	27,6
Pampa Cohana	21,1
Pampa Cohana	47,9
San Pedro	18,7
San Pedro	18,7
San Pedro	50,4
Pakollo	109,7
Pakollo	65,0
Pakollo	101,6

L.D. = 5,0 mg/L

Figura 4.66. Descripción del comportamiento de DQO en muestras de aguas.



En la figura 4.56 se puede observar un comportamiento muy irregular en las Concentraciones de oxígeno para la DQO en muestras de aguas, teniendo un rango comprendido entre 18,7 mg/L a 109,7 mg/L, todos los valores registrados se encuentran dentro del límite de detección correspondiente al método SM 5220-C.

Los valores varían de acuerdo a la ubicación de las poblaciones, en la población de Pakollo se encuentra uno de los valores más elevados de concentración de oxígeno lo cual significa que existe una mayor demanda de oxígeno necesario para la degradación de la materia orgánica, en las demás poblaciones los las Concentraciones de oxígeno para la DQO son distribuidos según su ubicación geográfica y la actividad de microorganismos para la degradación de la materia orgánica.

Se observa que en algunos puntos de muestreo los valores de DQO sobrepasan el límite permisible (40 mg/L) correspondiente a cuerpos de agua de clase C (aguas residuales) establecido por la norma boliviana ley 1333.

4.2.11. SULFATOS (SO_4^-)

➤ Aguas

Tabla 4.61. Resultados obtenidos en el análisis de SO_4^- en muestras de aguas.

Lugar	SO_4 mg/L
Tacachi	25,0
Tacachi	41,4
Tacachi	47,3
Pampa Cohana	70,0
Pampa Cohana	92,3
Pampa Cohana	78,2
San Pedro	77,0
San Pedro	70,0
San Pedro	73,5
Pakollo	58,2
Pakollo	53,5
Pakollo	49,2

L.D. = 1,0 mg/L

Figura 4.67. Descripción del comportamiento de $\text{SO}_4^{=}$ en muestras de aguas.



En la figura 4.57 se puede observar una variación en las Concentraciones de sulfatos en muestras de aguas, teniendo un rango comprendido entre 25,0 mg/L a 92,3 mg/L, todos los valores están por encima del límite de detección correspondiente al método SM 4500-S04=E. Los valores varían de acuerdo a la ubicación de las poblaciones, en la población de Pampa Cohana se encuentran uno de los valores más elevados de sulfatos lo que significa que en esta localidad existe una gran fuente de oxígeno para que las bacterias reduzcan el sulfato en presencia de oxígeno en H_2S .

Las Concentraciones obtenidas de sulfatos en muestras de aguas no sobrepasan el límite permisible (400 mg/L) correspondiente a cuerpos de agua de clase C (aguas residuales) establecidos por la norma boliviana ley 1333.

4.2.12. NITRATOS (NO₃⁻)

➤ Aguas

Tabla 4.62. Resultados obtenidos en el análisis de NO₃⁻ en muestras de aguas.

Lugar	NO ₃ mg/L
Tacachi	3,2
Tacachi	29
Tacachi	39
Pampa Cohana	21
Pampa Cohana	50
Pampa Cohana	11
San Pedro	33
San Pedro	16
San Pedro	30
Pakollo	22
Pakollo	22
Pakollo	15

L.D. = 0,30 mg/L

Figura 4.68. Descripción del comportamiento de NO₃⁻ en muestras de aguas.



En la figura 4.58 se puede observar un comportamiento muy irregular en las Concentraciones de nitratos en todas las poblaciones, teniendo un rango comprendido entre 3,2 mg/L a 50,4 mg/L, todas las Concentraciones se encuentran por encima del límite de detección de valor 0,30 mg/L correspondiente al método SM 4500-NO3-B.

Los valores varían de acuerdo a la ubicación de las poblaciones, en la población de Pampa Cohana se encuentran uno de los valores más elevados de nitratos esto significa que existe una nitrificación aún incompleta lo que contribuiría a la eutrofización del lugar. Los valores obtenidos de Nitratos en muestras de aguas no sobrepasan el límite permisible (50mg/L) correspondiente a cuerpos de aguas de clase C (aguas residuales) establecido por la norma boliviana ley 1333.

4.2.13. ALCALINIDAD TOTAL (CO_2 , $\text{CO}_3^{=}$ y HCO_3^{-})

➤ Aguas

Tabla 4.63. Resultados obtenidos en el análisis de Alcalinidad total en muestras de aguas.

Lugar	Alcalinidad Total CaCO ₃ mg/L
Tacachi	155
Tacachi	163
Tacachi	163
Pampa Cohana	180
Pampa Cohana	178
Pampa Cohana	192
San Pedro	157
San Pedro	155
San Pedro	142
Pakollo	126
Pakollo	116
Pakollo	122

L.D. = 5,0 mg/L

Figura 4.69. Descripción del comportamiento de Alcalinidad total en muestras de aguas.



En la figura 4.59 se puede observar una variación en las Concentraciones de carbonato de calcio en muestras de aguas con un rango comprendido entre 116,4 mg/L a 192,1 mg/L, los valores obtenidos de Alcalinidad total se encuentran por encima del límite de detección (5,0 mg/L) correspondiente al método EPA 310.1.

Los valores varían de acuerdo a la ubicación de las poblaciones, en la población de Pampa Cohana se encuentra uno de los valores más elevados en concentración de carbonato de calcio lo que implica presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio y el sodio. Las Concentraciones de Alcalinidad total no sobrepasan el límite permisible (370mg/L) correspondiente a cuerpos de aguas de clase C (aguas residuales) establecido por la norma boliviana ley 1333.

A continuación en la tabla 4.64 se resumen los resultados obtenidos en los análisis realizados de parámetros fisicoquímicos como Conductividad, pH, Temperatura, Turbidez y sólidos totales, Nitrógeno total, Fósforo total, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Nitratos y Alcalinidad total en muestras de aguas.

Tabla 4.64. Resultados obtenidos de parámetros fisicoquímicos en muestras de aguas para los 12 puntos de estudio.

Parámetro	Conductividad (µs/cm)	pH	Turbidez y Sólidos Totales (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO-5 (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L)	Sulfatos SO ₄ (mg/L)	Nitratos NO ₃ (mg/L)	Alcalinidad Total Ca ₂ CO ₃ (mg/L)
Límite permisible aguas (ley 1333)	1500 mS/cm	6 a 9	1000 mg/L	40 mg/L	20 mg/L	20 mg/L	50 mg/L	250 mg/L	50 mg/L	370 mg/L
Aguas	553 µS/cm a 1076 µS/cm	8 a 9	368,0 mg/L a 670,0 mg/L	1,4 mg/L a 4,2 mg/L	0,7 mg/L a 2,2 mg/L	13,6 mg/L a 32,2 mg/L	18,7 mg/L a 109,7 mg/L	25,0 mg/L a 92,3 mg/L	3,2 mg/L a 50,4 mg/L	116,4 mg/L a 192,1 mg/L

Según los resultados obtenidos y conociendo los límites permisibles se concluye que *en la muestras de aguas los valores de Conductividad, pH no sobrepasan el límite permisible establecido por la norma boliviana de Medio Ambiente ley 1333.*

Los valores de sólidos totales, Nitrógeno total, Fósforo total y Alcalinidad total en muestras de aguas no sobrepasan los límites establecidos por la norma boliviana de Medio Ambiente ley 1333.

Las Concentraciones obtenidas de Sulfatos y Nitratos en aguas no sobrepasan los límites establecidos por la norma boliviana de Medio Ambiente ley 1333. En tanto los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno sobrepasan los límites establecidos por norma boliviana de Medio Ambiente ley 1333.

En la tabla 4.65 se resumen los resultados obtenidos en los análisis realizados de parámetros fisicoquímicos como Conductividad, pH, Nitrógeno total, Fósforo total y Fósforo disponible en muestras de suelos, sedimentos y forraje.

Tabla 4.65. Resultados obtenidos de parámetros químicos en muestras de suelos, sedimentos y forraje para los 12 puntos de estudio.

Parámetro	Conductividad (µS/cm)	pH	Nitrógeno total (mg/kg)	Fósforo total (mg/L)	Fósforo disponible (mg/kg)
Suelos	313 µS/cm a 4610 µS/cm	7 a 8	0,9 mg/kg a 11,8 mg/kg	-	9,4 mg/kg a 722,3 mg/kg
Sedimentos	380 µS/cm a 830 µS/cm	6 a 8	0,5 mg/kg a 8,4 mg/kg	-	7,5 mg/kg a 77,7 mg/kg
Forraje	-	-	8,3 mg/kg a 12,6 mg/kg	82,2 mg/kg a 147,8 mg/kg	-

Según los resultados obtenidos en muestras de suelos, sedimentos y forraje se concluye que en cuanto al valor de pH en suelos y sedimentos es básico, los valores de Conductividad son elevados lo que indica presencia de sales en los suelos, las Concentraciones de Nitrógeno total no soy elevadas, se realizó el análisis de Fósforo disponible para suelos y para el forraje se analizó Fósforo total.

No se encontraron límites permisibles para estos parámetros en suelos, sedimentos y forraje, sin embargo estos valores no son muy elevados.

CAPÍTULO V



CONCLUSIONES

5.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad la bahía de Cohana tiene niveles de contaminación proveniente de los desechos urbanos de El Alto y desechos de industrias medianas y pequeñas, esta contaminación tiene efectos nocivos en la salud, también afecta a la cosecha de cultivos, la actividad piscícola y la producción de leche. Es importante tomar medidas para detener la contaminación que cada año crece afectando a los comunarios del lugar y a las actividades agrícolas de subsistencia.

5.2. DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para la demostración de la hipótesis se ha realizado un previo análisis de las fuentes de contaminación hacia la bahía de Cohana las cuales se describen a continuación:

1. Contaminación urbana: debido a la inadecuada disposición de residuos sólidos y líquidos hacia los ríos.
2. Contaminación por Industrias: causado por descargas hacia los ríos sin previo tratamiento de sus desechos líquidos.
3. Contaminación por mataderos ilegales: producido por los desechos de sangre a los ríos.
4. Contaminación por curtiembres clandestinas: originado por efluentes contaminantes hacia los ríos sin tratamiento previo alguno.

Según los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos de las muestras de aguas, suelos, sedimentos, forraje (totora), leche y queso se concluye lo siguiente:

1. No se encontró presencia de metales pesados en muestras de aguas puesto que los resultados salieron negativos (ver tabla 4.8).
2. En las muestras de suelos se encontraron Concentraciones de Arsénico (22 mg/kg a 30 mg/kg) que sobrepasan el límite máximo permisible (20 mg/kg) establecidos por la Norma de Estados Unidos Agencia de Protección Ambiental

(EPA) están Concentraciones se encuentran en la localidad de Pampa Cohana y San Pedro. Las Concentraciones de Cadmio y Plomo en muestras de suelos no sobrepasan los límites permisibles establecidos por la EPA, se evidenció Concentraciones elevadas de Cromo trivalente (10 mg/kg a 55 mg/kg) en suelos para los cuales no se encontraron límites permisibles. En cuanto a los valores de nutrientes presentes en muestras de suelos como Calcio, Hierro y Magnesio son elevados y no se encontraron límites permisibles establecidos por ninguna institución (ver tabla 4.16).

3. En las muestras de sedimentos los valores de Arsénico (23 mg/kg a 36 mg/kg) sobrepasan el límite máximo permisible (20 mg/kg) establecido por la norma de Estados Unidos en las localidades de Tacachi, Pampa Cohana, San Pedro y Pakollo, las Concentraciones de Cadmio y Plomo no sobrepasan el límite permisible. Sin embargo se obtuvo Concentraciones elevadas de Cromo trivalente (35 mg/kg a 66 mg/kg) en sedimentos, para los cuales no se encontró límites permisibles y por tanto es preocupante la presencia de este metal en sedimentos porque este metal es tóxico. Las Concentraciones de nutrientes como Calcio, Hierro y Magnesio son elevadas, no se encontraron límites permisibles establecidos para estos elementos (ver tabla 4.26).
4. En las muestras de forraje los valores de Arsénico (0,23 mg/kg a 0,83 mg/kg), Cadmio (0,1 mg/kg a 0,5 mg/kg) y Plomo (0,3 mg/kg a 4,0 mg/kg) sobrepasan el valor de límite permisible Arsénico (0,020 mg/kg), Cadmio (0,0050 mg/kg) y Plomo (0,020 mg/kg) establecido por la EPA. La concentración de Cromo trivalente (3,5 mg/kg a 13,3 mg/kg) es significativa y preocupante, no existe límite permisible con que comparar. Los valores de nutrientes como Calcio (665 mg/kg a 10116 mg/kg) y Hierro (76 mg/kg a 1124 mg/kg) sobrepasan los límites permisibles Calcio (611,2 mg/kg) y Hierro (4,57 mg/kg) establecidos por el Instituto de Investigación Nutricional (México). En cuanto al metal Magnesio no se encontraron límites permisibles con que compararlos, sin embargo los valores de estos nutrientes no son nocivos para la salud (ver tabla 4.37).
5. En las muestras de leche no se encontraron valores de metales pesados, sin embargo existe una presencia significativa del metal Cromo trivalente en la leche lo cual es preocupante teniendo en cuenta que este metal es tóxico y nocivo para la salud (ver tabla 4.46).

6. No se encontraron Concentraciones de metales pesados en muestras de queso.
7. En cuanto a los análisis físico-químicos en muestras de aguas los valores de Conductividad, pH no sobrepasan el límite permisible establecido por la norma boliviana de Medio Ambiente ley 1333. Los valores de sólidos totales, Nitrógeno total, Fósforo total, Alcalinidad total, Sulfatos y Nitratos en muestras de aguas no sobrepasan los límites establecidos por la norma boliviana de Medio Ambiente ley 1333. En tanto los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (32,2 mg/L) y Demanda Química de Oxígeno (48 mg/L a 110 mg/L) sobrepasan los límites permisibles DBO-5 (< 20 mg/L) y DQO (< 40 mg/L) establecidos por norma boliviana de Medio Ambiente ley 1333.

Figura 4.70. Puntos críticos en muestras de aguas, suelos, sedimentos, forraje (totora) y leche donde se obtuvieron concentraciones de metales pesados.

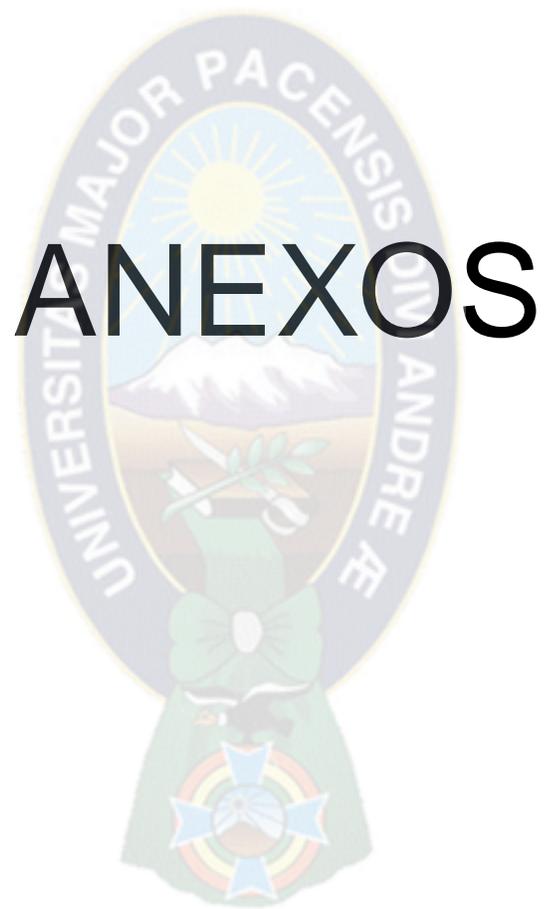


En la tabla 4.76 se observa presencia de Arsénico en suelos, sedimentos y forraje de color rojo en las localidades de Tacahi, Pampa Cohana, San Pedro y Pakollo. Cadmio en muestras de forraje de color violeta en las localidades de Tacahi, Pampa Cohana, San Pedro y Pakollo. Cromo trivalente en suelos, sedimentos, forraje y leche de color celeste en las localidades de Tacahi, Pampa Cohana, San Pedro y Pakollo.

5.3. RECOMENDACIONES

Con el propósito de reducir la contaminación existente en la bahía de Cohana se ha determinado proponer las siguientes recomendaciones:

1. Realizar capacitación a todos los funcionarios de las industrias medianas y pequeñas sobre las maneras de reducir el impacto contaminante de sus desechos reduciendo de esta manera la contaminación de los ríos que desembocan a la bahía de Cohana.
2. Realizar campañas para concientizar a la población de la ciudad de El Alto para evitar que sigan eliminando sus desechos a los ríos que desembocan a la bahía de Cohana y se tomen medidas preventivas de tratamiento de aguas.
3. Realizar limpieza exhaustiva en los ríos Pallina y Katari.
4. Implementar nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales en poblaciones cercanas al lago Menor del lago Titicaca, puesto que la planta actual de P'uchukollo no cumple a plenitud con el objetivo de realizar un tratamiento eficiente de aguas residuales.
5. Implementar un software de control para metales pesados en las plantas de tratamiento de aguas residuales para verificar las Concentraciones de metales que contienen.
6. Analizar metales pesados bioacumulables como el Arsénico, Cadmio, Plomo y Cromo trivalente que podrían concentrarse en la carne de ganado bovino.
7. Realizar un monitoreo de control para metales pesados en el trayecto de los ríos Pallina y Katari.
8. Se recomienda a las autoridades pertinentes de la región a comprometerse a la mejora de las aguas del lago Titicaca.
9. Realizar una investigación sobre límites permisibles de Cromo trivalente en suelos, sedimentos y forraje.



ANEXOS



ANEXO I
CAPÍTULO II

Anexo Nro.1 Tipos de Leche según el Sistema de Higienización.

Leche Pasteurizada:

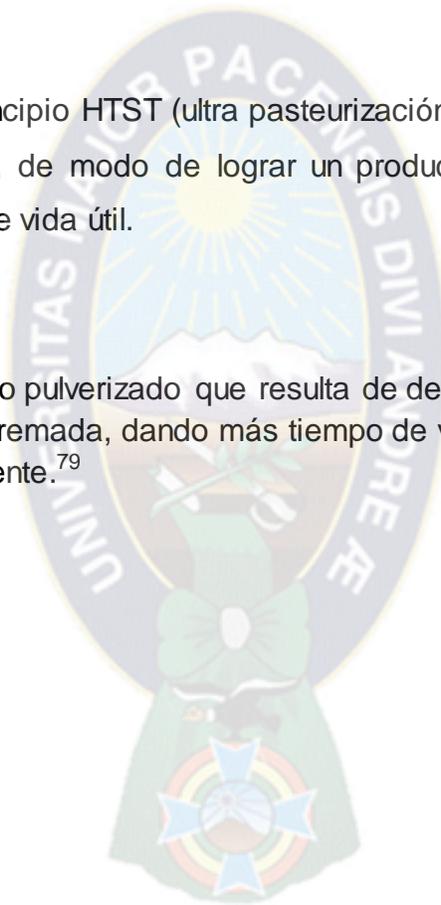
Es el producto entero, descremado o semidescremado sometido a un proceso tecnológico adecuado que asegura la destrucción de los gérmenes patógenos y la casi totalidad de la flora banal, sin que se modifique sensiblemente sus características fisicoquímicas ni sus cualidades nutritivas.

Leche UHT:

Se basa en el principio HTST (ultra pasteurización), se aplican temperaturas de 135° en 15 segundos, de modo de lograr un producto similar al pasteurizado pero con mayor tiempo de vida útil.

Leche en polvo:

Es el producto seco pulverizado que resulta de deshidratar la leche entera, total o parcialmente descremada, dando más tiempo de vida útil y conservación a temperatura medio ambiente.⁷⁹



⁷⁹ CALIDAD E INOCUIDAD DE LA LECHE Y PRODUCTOS LACTEOS Trina Vargas. Farmacéutica. Bromatóloga. MSc. Facultad de Ciencias Veterinarias, Departamento de Salud Pública.

Anexo Nro.2 Clasificación respecto al proceso tecnológico de los derivados lácteos.

a) Derivados lácteos obtenidos por separación de la materia grasa

Crema de leche

Es un producto rico en materias grasas separado de la leche. Esta separación puede ocurrir espontáneamente, al dejar la leche en reposo, o provocarse de manera artificial, mediante acción mecánica como la centrifugación o por otros mecanismos, como los cambios de temperatura. Las principales características físico-químicas de la crema de leche destinada al consumo directo son:

- Contenido mínimo de materia grasa de un 18% en peso. Las propiedades de la materia grasa corresponderán a las de la leche de origen.
- Ausencia de aspecto grumoso, filamentoso o coposo.
- Acidez máxima, expresada en ácido láctico, de 0,65g/100 ml.

Mantequilla

La mantequilla es el producto graso que resulta de la leche o crema de leche higienizadas tras aplicar un procedimiento mecánico. El método tradicional consiste en dejar reposar la crema después de extraerla para que sufra un proceso de acidificación y posteriormente se bate hasta transformarla en mantequilla. En la actualidad, después de proceder a la pasteurización de la crema, se refrigera y se bate. También es posible añadir fermentos lácteos puros que desencadenan su acidificación y aromatización. La acidificación, que sucede de forma espontánea al dejar la crema en reposo durante unas horas, facilita la elaboración de la mantequilla tras el batido y la dota de su aroma característico.

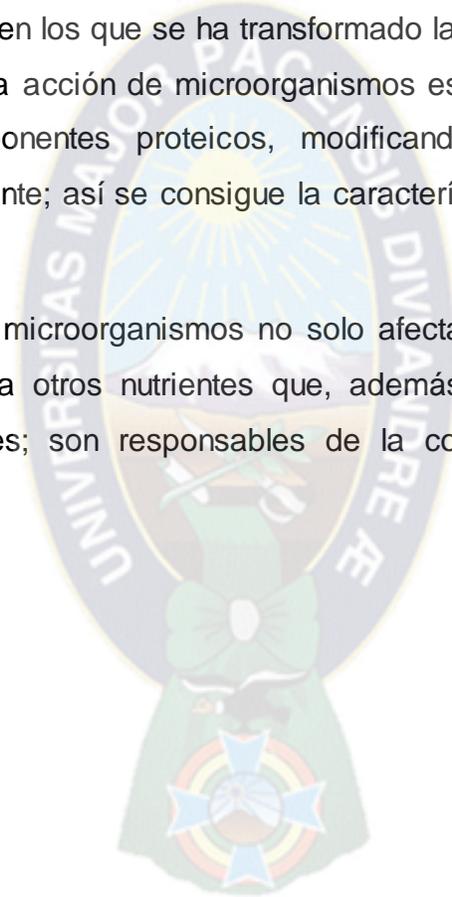
b) Derivados lácteos obtenidos por coagulación de las proteínas.

El producto más característico de este grupo es el queso en sus infinitas variedades, aunque se pueden obtener otros derivados, dependiendo de las transformaciones más o menos complejas que se realicen en la leche departida.

c) Derivados lácteos obtenidos por fermentación o acidificación

Con el término acidificación se remite a un conjunto de productos de consistencia semisólida en los que se ha transformado la lactosa en ácido láctico u otros compuestos, por la acción de microorganismos específicos. El ácido láctico actúa sobre los componentes proteicos, modificando su estado coloidal y coagulándolos parcialmente; así se consigue la característica consistencia final del producto.

La acción de los microorganismos no solo afecta a la fermentación de los glúcidos, sino también a otros nutrientes que, además de proporcionar ciertas propiedades nutricionales; son responsables de la consistencia, el gusto y el aroma específicos.



Anexo Nro.2 Descripción de microorganismos en la leche.

Los microorganismos más comunes en la leche fundamentalmente son: Enterobacteraerogenes, Bacilluscereus, Bacillus subtilis, Bacillus coagulans y Escherichia coli. Sin embargo, las especies de verdadera importancia en quesería (las más frecuentes utilizadas como cultivos iniciadores), Lactococcus lactis, Lactococcus cremoris, Lactococcus diacetylactis y Lactobacillus casei, cuando fueron sometidas a incubación prolongada (14 días a 32 °C) en presencia de DDT, g-HCH, aldrín, dieldrín, no actuaron significativamente sobre ninguno de estos compuestos.⁸⁰

Los pesticidas presentes en la leche son casi siempre de origen endógeno, de ahí que las medidas encaminadas a impedir su aparición se dirijan a eliminar los residuos de pesticidas de los alimentos (piensos, heno), del agua y del medio ambiente de los animales productores. Los pesticidas persistentes deben sustituirse por preparados menos estables y que se descompongan fácilmente en sustancias no tóxicas. Muchos trabajos demuestran que la cantidad de residuos es mucho mayor en la grasa de la leche que en el suero o en la porción magra. Es por esto que, en la actualidad, el desnatado es la medida más eficaz para eliminar los residuos de la leche.⁸¹

⁸⁰ KIM, S.C. y HARMON, L.C.(1970). Relationship between some Chlorinated Hydrocarbon Insecticides and Lactic Culture Organisms in milk. *J.DairySci.*

⁸¹ La Calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: calidad química. *Ciencia y Tecnología Alimentaria, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Reynosa, México Año: 1998.*



ANEXO II
CAPÍTULO III

Anexo Nro. 1 Métodos de muestreo de aguas

1. Técnica de muestreo.

Las muestras de agua pueden ser “simples”, “compuestas” o bien “en continuo”. La **muestra simple** proporciona información sobre la calidad en un punto y momento dado: puede ser importante a la hora de establecer las características del agua en un punto de la red de abastecimiento de una población.

La **muestra compuesta** se compone de varias alícuotas espaciadas temporalmente (con frecuencias variables, minutos, horas, días) que se adicionan al mismo recipiente.

Este tipo de muestras se aplica, por ejemplo, en el seguimiento de vertidos industriales cuya calidad puede variar mucho a lo largo de una jornada de trabajo.

Las **muestras en continuo** son imprescindibles en procesos a escala industrial, por ejemplo, la determinación de cloro residual libre en el agua potable a la salida de una potabilizadora.

Las **muestras integradas** en el tiempo se obtienen con bombeo a un flujo continuo de muestra que se adiciona en el mismo recipiente.

Respecto a los tipos de muestreos posibles en aguas naturales (ríos, embalses, zonas marinas) éstos pueden ser:

(a) *Muestreo aleatorio simple*, consiste en la toma al azar de muestras independientes temporales y espacialmente.

(b) *Muestreo estratificado*, consiste en dividir el curso de agua en varios tramos a los que se aplica un muestreo aleatorio simple.

(c) *Muestreo sistemático*, aquí se adopta una cadencia temporal repetitiva, con lo cual se obtienen series temporales de datos.

(d) *Muestreo sistemático estratificado*, que combina los dos anteriores, representando probablemente el tipo de muestreo más adecuado y completo para conocer comportamientos cíclicos de sistemas hidráulicos.

2. Equipos de muestreo.

Un equipo de muestreo puede ser tan simple como una botella de vidrio, metálica o de plástico provista de un tapón, que se llena con el agua objeto del posterior análisis: además, el tema se puede complicar mucho utilizando en muchos casos sofisticados equipos, cuya descripción se reseñará brevemente después.

Características comunes a cualquier equipo de muestreo son su robustez, comodidad en el manejo, facilidad en su transporte, capacidad adecuada de muestra que pueden contener y fácil limpieza una vez utilizados.

Botellas y cubos.

De uso manual, sirven para tomar muestras de aguas superficiales y de pozos que no dispongan de sistemas de bombeo. Se aconseja enjuagarlos varias veces con el agua a muestrear antes de su llenado definitivo (salvo en el caso de botellas estériles para análisis microbiológico). Cuando se van a determinar gases en la muestra tomada, las botellas deben poder cerrarse herméticamente, pudiendo también emplearse dos botellas unidas por una tubuladura o dos botellas introducidas una en la otra.

Se usan para obtener muestras de agua a profundidad variable. Para esto, la botella, unida a una cuerda y tapada, se introduce a la profundidad deseada abriéndose entonces y cerrándose cuando se haya llenado del agua a tomar, mediante un sistema adecuado.

Pueden ser tan complicados como se desee. En síntesis consisten en un tubo cilíndrico de 1 a 5 litros de capacidad, abierto por sus dos extremos y que mediante un sistema mecánico o eléctrico cierra sus dos bases cuando se alcanza el agua de profundidad deseada.

Anexo nro. 2 Método de muestreo de suelos

1. Técnica de muestreo.

Existen dos técnicas para realizar el muestreo de suelos estas son:

- **Muestreo superficial**

El muestreo se debe de realizar con una cuchara o espátula de acero inoxidable o plástico.

- **Muestreo vertical**

Para el muestreo vertical se pueden utilizar excavaciones, que permitan el acceso de la persona que toma la muestra, o se pueden utilizar perforaciones para el hincado de un muestreador manual o mecánico que obtenga un núcleo que permita muestrear el perfil del suelo. Se debe tener precaución de utilizar perforadoras en buen estado que no provoquen contaminación.

Para el muestreo de suelos Se debe garantizar que la muestra obtenida sea de un tamaño tal que una vez tamizada contenga por lo menos 250 g de residuo fino para su análisis y que facilite y permita, la preparación de muestras compuestas en el muestreo de detalle .

Se debe evitar que el equipo de muestreo provoque contaminación entre las diferentes muestras, para lo cual se deberá limpiar con una brocha o cepillo. En caso de que la limpieza no sea suficiente, será necesario lavar con agua, entre muestra y muestra, el equipo y los instrumentos de muestreo. Cuando se utilicen detergentes, éstos deben estar libres de fosfatos.

En el muestreo vertical, deben identificarse los diferentes horizontes que forman el suelo en función de su aspecto físico (color, textura, grado de compactación, entre otros). Para horizontes con espesor menor a 30 cm, debe tomarse una muestra de canal vertical abarcando todo el espesor del mismo. Para horizontes mayores a 30 cm deben tomarse tantas muestras de 30 cm como sean necesarias para cubrir el espesor

total. Para profundidades mayores a 2 m el intervalo de muestreo deberá ser definido con su justificación correspondiente.⁸²

Antes de sacar la muestra se tiene que eliminar la cobertura vegetal del punto de muestreo sin eliminar suelo.

Con la ayuda de una pala Se debe realizar un corte en el suelo en forma de “V”, arrojando su contenido a un costado. Luego se corta una tajada de 2-3 cm de espesor de uno de los lados de la “V”, a la profundidad de muestreo deseada. Una vez que se tiene la tajada del suelo en la pala, se eliminan los bordes mediante un corte con cuchillo hasta alcanzar unos 3 cm de ancho a lo largo de toda la profundidad.



⁸² MUESTREO DE SUELOS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y LA CUANTIFICACIÓN DE METALES Y METALOIDES, Y MANEJO DE LA MUESTRA Estados Unidos, Año: 2006

GLOSARIO

Metal pesado. Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para el ser humano.⁸³

Foco de infección. Concepto empleado en instancias de la salud pública, permite designar al núcleo bien delimitado desde el cual se irradia una infección.⁸⁴

Biocombustible. Es un tipo de combustible que consiste de una mezcla de sustancias orgánicas, conformadas a partir de átomos de hidrógeno y de carbono, y que principalmente es utilizado en aquellos motores conocidos como de combustión interna.⁸⁵

Lombricultura. Es la cría de lombrices, las cuales producen como desecho un abono de muy buena calidad que se denomina humus de lombriz, el cual es el resultado de la digestión de los desechos orgánicos que les sirven de alimento.⁸⁶

Fauna bentónica. Especies que viven en toda la columna de agua pero que tienen alguna relación con el fondo, principalmente para alimentarse.⁸⁷

Eutrofización. Proliferación desmedida de las algas o fitoplancton debido a la abundancia de sustancias nutritivas, constituyendo una amenaza para otras especies vegetales y para la vida animal.⁸⁸

Macrófitas. Son un tipo de plantas, más específicamente se trata de vegetación acuática.⁸⁹

Geogénico. Relativo a la parte de la geología que trata sobre el origen y la formación de la Tierra.⁹⁰

Antropogénica. Término que se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas.⁹¹

Compuestos biogénicos. Aquellos que son necesarios para originar la vida y constituyen la materia viva.⁹²

⁸³ http://enciclopedia.us.es/index.php/Metal_pesado

⁸⁴ <http://www.definicionabc.com/salud/foco-de-infeccion.php>

⁸⁵ <http://www.definicionabc.com/medio-ambiente/biocombustible.php>

⁸⁶ <https://fertil.lombriz.wordpress.com/category/definicion-de-lombricultura/>

⁸⁷ <http://www.ma.ieo.es/deeper/Otros/biodiversidad.htm>

⁸⁸ <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/eutrofizacion>

⁸⁹ <http://www.ecologiahoy.com/macrofita>

⁹⁰ <http://www.lahistoriaconmapas.com/historia/historia2/definicion-de-geogenico-ca/>

⁹¹ <http://www.significado-diccionario.com/Antropog%C3%A9nico>

⁹² <http://www.monografias.com/trabajos11/elembiog/elembiog.shtml>

Conductividad. Representa la concentración de los iones disueltos en disolución y una conductividad elevada se traduce en una salinidad elevada o de valores anómalos de pH, la unidad empleada es el Siemen (S), inverso al Ohmio: aguas muy mineralizadas en μS , se miden en celdas de un cm de espesor, expresándose por lo tanto en mS/cm y $\mu\text{S/cm}$.

Bioacumulables. El término bioacumulación hace referencia a la acumulación neta, con el paso del tiempo, de metales [u otras sustancias persistentes] en un organismo a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticas (suelo, aire y agua).⁹³

Polivirus. Es un virus perteneciente al género enterovirus, familia Picornaviridae. Es el agente causante de la poliomielitis en humanos.⁹⁴

Minerales silicatados. Los silicatos son el grupo de minerales de mayor abundancia, pues constituyen más del 95% de la corteza terrestre, además del grupo de más importancia geológica por ser petrogénicos, es decir, los minerales que forman las rocas.⁹⁵

Receptor geoquímico. Se refiere al suelo representa el receptor de la mayor parte de los residuos generados de origen antrópico, dando lugar a su contaminación.⁹⁶

Lixiviación. Lavado de una sustancia pulverizada para extraer las partes solubles.⁹⁷

Metalotioneínas. Constituyen una familia de proteínas ricas en cisteína, de bajo peso molecular (entre 6000 y 7000 Da). Se encuentran en el aparato de Golgi de las células. Las MTs tiene la capacidad de unirse a metales pesados tanto fisiológicos (zinc, cobre, selenio) como xenobióticos (como cadmio, mercurio, plata y arsénico), a través de los grupos tiol (-SH) de sus residuos de cisteína, que representan casi el 30% de aminoácidos.⁹⁸

Osteomalacia. Es una enfermedad caracterizada por la disminución del calcio en los huesos, sin que la masa ósea este reducida.⁹⁹

Osteoporosis. Enfermedad que hace que los huesos se debiliten y se rompan con facilidad. Las personas que tienen osteoporosis se rompen frecuentemente los huesos de la cadera, la columna y la muñeca.¹⁰⁰

⁹³ http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/es/glosario/abc/bioacumulacion-bioacumular.htm

⁹⁴ Ryan KJ; Ray CG (editors) (2004). Sherris Medical Microbiology (4th ed. edición). McGraw Hill.

⁹⁵ <https://es.wikipedia.org/wiki/Silicato>

⁹⁶ Mason, B., 1990. Principios de Geoquímica. Editorial Omega, Barcelona, España.

⁹⁷ <http://www.lixiviacion.com/pagina/lixiviacion-definicion>

⁹⁸ Sigel, A.; Sigel, H.; Sigel, R.K.O., ed. (2009). Metallothioneins and Related Chelators. Metal Ions in Life Sciences 5. Cambridge: RSC Publishing.

⁹⁹ <http://www.vitonica.com/enfermedades/osteomalacia-que-es-y-como-prevenir-la>

Cromitas. Es un Metal del grupo IV (óxidos) según la clasificación de Strunz. Debe su nombre al elemento cromo. Su fórmula es FeCr_2O_4 . A veces contiene magnesio, aluminio o titanio (entre otros). Algunos ejemplares son débilmente magnéticos.

Herbicidas. Producto químico o no que se utiliza para inhibir o interrumpir el desarrollo de plantas indeseadas, también conocidas como malas hierbas, en terrenos que han sido o van a ser cultivados.¹⁰¹

Carbamatos. Grupo de pesticidas artificiales desarrollados principalmente para controlar las poblaciones de insectos plaga.¹⁰²

Organoclorados. Compuestos orgánicos que contienen cloro. La mayoría de los plaguicidas son OC. Son relativamente persistentes y se acumulan en la cadena alimentaria; de algunos se sospecha que causan cáncer.¹⁰³

pH. El pH indica el comportamiento ácido o básico de una sustancia, es una propiedad de carácter químico, tiene influencia sobre determinados procesos químicos y biológicos, la naturaleza de las especies iónicas que se encuentran en su seno, el potencial redox en el caso del agua, el poder desinfectante del cloro, etc.

Color. El color en el agua representa la presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. Existen dos tipos de color: “color verdadero”, es el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad y el “color aparente” engloba no sólo el color debido a sustancias disueltas sino también a las materias en suspensión y se determina en la muestra original sin filtrarla o centrifugarla.

Nitrógeno total. Implica la suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas (proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc.) y el ion amonio NH_4^+ .

Fósforo. El fósforo es un elemento esencial para la vida, es un factor limitador de nutrientes, sin embargo contribuye junto al Nitrógeno a la eutrofización de lagos y otros cuerpos de agua.

¹⁰⁰ http://www.niams.nih.gov/Health_Info/Bone/espanol/Osteoporosis/osteoporosis_osteoartritis_ff_espanol.asp

¹⁰¹ <http://www.agroterra.com/blog/descubrir/herbicidas-clasificacion-y-uso/77614/>

¹⁰² HAYES, W.J. Jr. 1975.- Toxicology of pesticides. The Williams and Wilkins Company, USA.

¹⁰³ Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de España, Madrid, 1989. Tercera edición

Demanda Bioquímica de Oxígeno. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) indica la biodegradabilidad del material orgánico presente, es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales.

Demanda Química de Oxígeno. La Demanda Química de Oxígeno o DQO, es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente el material orgánico.

Nitratos. El Nitrato (NO_3^-) y nitrito (NO_2^-) son compuestos nitrogenados. El nitrato en Concentraciones mayores a los 10mg/L según la Agencia de Protección Ambiental (EPA), puede ser tóxico para muchos organismos.

Alcalinidad. La alcalinidad total es la suma total de los componentes en el agua que tienden a elevar el pH del agua por encima de 7 de pH (bases fuertes y sales de bases fuertes y ácidos débiles). La alcalinidad total en el agua tanto natural como tratada, usualmente es causada por la presencia de iones carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) y oxidrilos (OH^-), asociados con los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} . La medición de la alcalinidad, sirve para fijar los parámetros del tratamiento químico del agua.¹⁰⁴

Arsénico. El arsénico (As) es el tercer elemento en el grupo VA de la tabla periódica; tiene un número atómico de 33, un peso atómico de 74.92, y las valencias de 3 y 5, es conocido como uno de los minerales más tóxicos y su forma inorgánica es la más tóxica. La forma predominante entre pH 3 y pH 7 es H_2AsO_4 y entre pH 7 y pH 11 la está en forma de HAsO_4 .

Cadmio. El cadmio (Cd) es el segundo elemento en el grupo IIB de la tabla periódica, tiene un número atómico de 48, un peso atómico de 112.41, y una valencia de 2. La abundancia promedio de Cd se encuentra adentro de la tierra, concentración aproximada es de 0.16 ppm, en terrenos es de 0.1 a 0.5 ppm y en las aguas subterráneas está entre 1 a 10 g L.

Plomo. El plomo (Pb) es el quinto elemento en el grupo IVA de la tabla periódica, tiene un número atómico de 82, un peso atómico de 207.19, y las valencias de 2 y 4. La

¹⁰⁴ Catalán Lafuente, J. (1990). *Química del Agua*. Ed. Bellisco, Madrid.

abundancia promedio de Pb en la tierra es de 13 ppm, en las aguas subterráneas son generalmente < 0.1 mg/L. El plomo es obtenido principalmente de la galena (PbS), es usado en las baterías, la munición, la soldadura, el sistema de tuberías, los pigmentos, los insecticidas, y las aleaciones.

Cromo. El cromo (Cr) es el primer elemento en el grupo VIB de la tabla periódica, tiene un número atómico de 24, un peso atómico de 51.99, y las valencias de 1 a través de 6. La abundancia promedio de Cr en la corteza terrestre es 122 ppm, en terrenos se encuentra en un rango de 11 a 22 ppm, en aguas subterráneas generalmente está 1 µg/L. El cromo es encontrado principalmente dentro del mineral de hierro de cromo (FeO Cr₂O₃), el cromo es usado en aleaciones, en galvanizar, y en pigmentos.

Calcio. El calcio (Ca) es el tercer elemento en el grupo IIA de la tabla periódica, tiene un número atómico de 20, un peso atómico de 40.08, y una valencia de 2. La abundancia promedio de Ca adentro la tierra se encuentra en 4.9, en aguas subterráneas está entre 1 y > 500 mg/L.

Hierro. El hierro (Fe) es el primer elemento en el grupo VIII de la tabla periódica, tiene un número atómico de 26, un peso atómico de 55.85, y las valencias comunes de 2 y 3 (y ocasionalmente las valencias de 1, 4 y 6). La abundancia promedio de Fe en la corteza terrestre es 6.22 % y en agua subterránea es de 0.1 a 10 mg/L. El hierro es ampliamente usado en acero y en otras aleaciones.

Magnesio. El magnesio (Mg) es el segundo elemento en el grupo IIA de la tabla periódica, tiene un número atómico de 12, un peso atómico de 24.30, y una valencia de 2. La abundancia promedio de Mg en la corteza terrestre es 2.1 % y en aguas subterráneas es > 5 mg/L.

Transporte de la disolución. Es la etapa que implica el movimiento de la disolución desde el recipiente que la contiene hasta el nebulizador a través de un estrecho tubo de plástico.¹⁰⁵

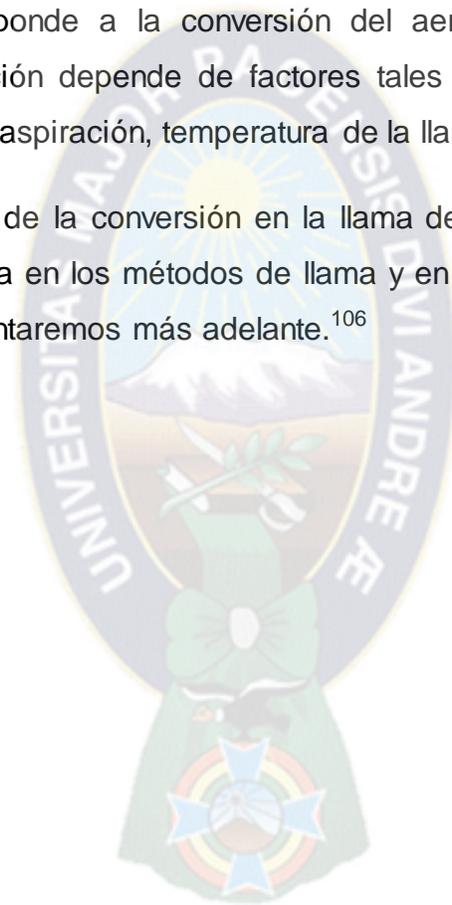
¹⁰⁵ *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-Copyright 1999 by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation*

Nebulización. Implica la conversión de la disolución en un fino aerosol (suspensión de partículas ultramicroscópicas de sólidos o líquidos en el aire u otro gas). El objetivo ideal es convertir la disolución en aerosol con una eficacia del 100%.

Transporte del aerosol. Es la etapa donde el aerosol es transportado hasta la llama a través de la cámara de mezcla. Esta cámara tiene una serie de componentes bola de impacto, deflectores que aseguran que sólo las partículas más pequeñas lleguen a la llama.

Desolvatación. Corresponde a la conversión del aerosol en partículas de sal. La velocidad de desolvatación depende de factores tales como el tamaño de las gotas, disolvente, velocidad de aspiración, temperatura de la llama, etc.

Vaporización. Se trata de la conversión en la llama de las partículas de sal en vapor. Esta es una etapa crítica en los métodos de llama y en ella pueden presentarse serias interferencias que comentaremos más adelante.¹⁰⁶



¹⁰⁶ Universidad de Alicante "Espectrometría de absorción atómica en horno de grafito. (GFAAS)".

ABREVIATURAS

LIDEMA Liga de Defensa del Medio Ambiente.

EPSAS Empresa Pública Social del Agua y Saneamiento.

UMSA Universidad Mayor de San Andrés.

USAID Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

PRODENA Asociación Pro Defensa de la Naturaleza.

PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

ALT Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico del Lago Titicaca.

IBTEN Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear.

LCA Laboratorio de Calidad Ambiental.

CEE Comunidad Económica Europea.

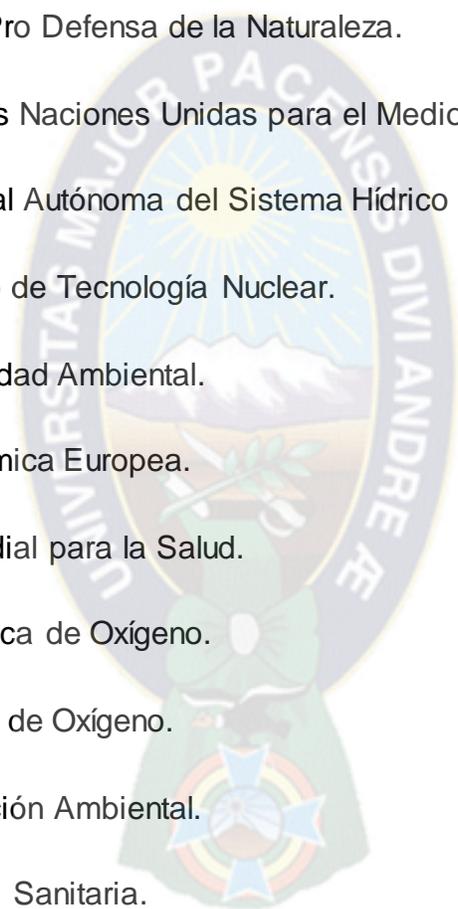
OMS Organización Mundial para la Salud.

DBO Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DQO Demanda Química de Oxígeno.

EPA Agencia de Protección Ambiental.

IIS Instituto de Ingeniería Sanitaria.



RESUMEN

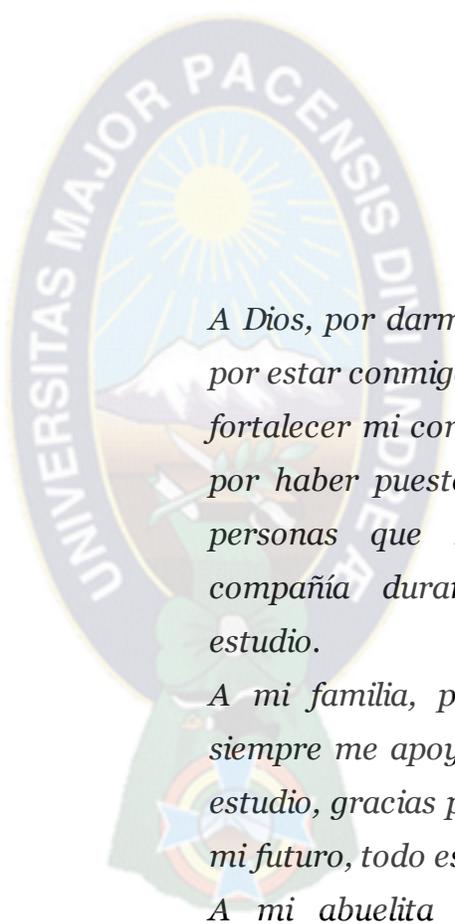
La bahía de Cohana es compartida con Perú en una superficie de 8.300 kilómetros cuadrados, y con una población circundante que supera los dos millones de habitantes en el vecino país y Bolivia. Esta bahía sufrió los efectos de la contaminación por los residuos mineros, aguas servidas, desechos y otros, la lenteja de agua, al ser una planta acuática flotante, tienen efectos destructores, razón por la cual debe ser limpiada constantemente.

Las actividades mineras, la filtración de aguas residuales de industrias y mataderos, además del vertido de residuos sólidos en los lechos de ríos provocan mayor contaminación en las cuencas de El Alto, situación que ocasiona serios focos de infección a las familias que habitan en sus riberas y a lo largo de los afluentes, que desembocan en la bahía de Cohana del Lago Titicaca.

El incremento de la demanda de alimentos inocuos, en especial sin sustancias químicas, ha ido en aumento a lo largo de estos años, teniendo en cuenta la importancia para la salud. Los peligros para la salud originados por los alimentos pueden derivar de las materias primas utilizadas, la manipulación y todas las fases de elaboración, transporte, almacenamiento y venta de los alimentos. Estos riesgos pueden deberse a un uso excesivo de agroquímicos, utilización de aditivos no autorizados, contaminación ambiental, y otros usos indebidos de los alimentos

Este trabajo de investigación analiza la contaminación que existe actualmente en la bahía de Cohana ubicada en el lago menor del Lago Titicaca en el Departamento de La Paz, con este estudio se pretende evidenciar el nivel de contaminación del agua por metales pesados y otros componentes químicos y su influencia en la calidad de la leche que se produce en esta bahía.

DEDICATORIA



A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi familia, por creer en mi y porque siempre me apoyaron en toda esta etapa de estudio, gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ustedes.

A mi abuelita Antonia Vasquez Méndez (Q.E.P.D.), por quererme y apoyarme siempre en todo momento.

A mis amigos que fuimos apoyándonos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Tecnología y Facultad de Ciencias Puras y Naturales, al Laboratorio de Calidad Ambiental (L.C.A.) dependiente del Instituto de Ecología de la carrera de Biología por brindarme apoyo para el desarrollo de la tesis de investigación.

A mis tutores Ing. Jaime Chincheros Paniagua, responsable del laboratorio y Lic. Franz Velasco Quintanilla, docente de la carrera Química Industrial; por su apoyo enseñanza, consejos y asesoramiento para el desarrollo de la tesis de investigación.

A los licenciados: Lic. Vania García responsable del módulo de Metales Pesados, Lic. Noelia Rendón responsable del módulo de Microbiología, Lic. Raúl Quispe responsable del módulo de Aguas y Lic. Marcel Estévez responsable del módulo de Suelos; por su apoyo, enseñanza, consejos y asesoramiento en los análisis químicos implementados en la tesis de investigación.

A todos mis amigos (as), compañeros (as) que me apoyaron.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS DE LIBROS

1. Taller IRD/COPEH-LAC "METALES, AMBIENTE Y SALUD CON ENFOQUE ECOSISTÉMICO" año: 2013
2. Libro: Toral-Férreo 1996 *Estudio comparativo de esquemas de especiación en muestras sólidas de interés medioambiental. Trabajo de Valladolid, España.*
3. Libro: *Contaminación de Suelos por Metales Pesados*, Autor: Galán y Romero, Año: 2008
4. Libro: *Beyersmann and Hartwig 2008; Smith et al. 2009; Berny et al. 2010; Guitart et al. 2010a, 2010b; Gundacker et al. 2010b; Nagajyoti et al. 2010; Soderland, et al. 2010*
5. Libro: *Bautista, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Universidad Autónoma de Yucatán, México. pp 22-35.*
6. Libro: *PROBLEMAS AMBIENTALES, PROBLEMAS HUMANOS* Autor: César Bordehore.
7. Libro: *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales* Autores: Antonio Rodríguez Fernández-Alba, Pedro Letón García, Roberto Rosal García, Miriam Dorado Valiño, Susana Villar Fernández, Juana M. Sanz García Depósito Legal: M-30985-2006 Comunidad Madrid
8. Libro: *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente* Autor: Girbau García. *Enfermería Comunitaria I. Salud Pública. Masón 2002*
9. Libro: *Contaminación y salud del suelo. Ed. UNL, Argentina. pp 9-14.*
10. Libro: *COMPORTAMIENTO DE LOS METALES PESADOS* Autores: Hernández Martínez y Domínguez Sánchez Año: 2012
11. *Rieuwerts 1998; Silveira, 2003; Basta, 2004*
12. *Rieuwerts, 1998; Lassat, 2001, Reichaman, 2002; Basta 2004*
13. *Elliot y Shields, 1988; Sims y Kline, 1991; Ma y Rao, 1997; Rieuwerts, 1998; Lassat, 2001; Silveira, 2003*
14. Libro: *MECANISMOS DE HIPERACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN PLANTAS* Autores: Fabiana Soares dos Santos¹, Nelson Moura Brasil do

Amaral Sobrinho², Sael SánchezElías³, Ramiro Valdés Carmenate⁴, Irene Blabín Arias⁴. Año:

15. Libro: *Arsenic in drinking water. Subcommittee on arsenic in drinking water. National Academic of Sciences. National Academic Press. Washington DC*
16. Libro: *Referencias Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR) 2007.*
17. Libro: *METALES PESADOS EN ALIMENTACIÓN ANIMAL Jesús Méndez Batán. 2001. XVII Curso de Especialización FEDNA COREN S.C.L.*
18. Libro: *ATSDR, 2007 ATSDR Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2007) Arsénico*
19. Libro: *EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LA CIÉNAGA LA SOLEDAD Y BAHÍA DE CISPATÁ, CUENCA DEL BAJO SINÚ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA. Investigador: JOSE LUIS MARRUGO NEGRETE Doctor Ciencias Químicas. Año: 2011*
20. Libro: *Cadmio in drinking water. Subcommittee on arsenic in drinking water. National Academic of Sciences. National Academic Press. Washington DC*
21. Libro: *Evaluation of certain food additives and contaminants. 33 report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives. Technical Report series 776 (WHO), Geneve.*
22. Libro: *Yacimientos Minerales Metálicos 4ta Edición de L.F. VASSALLO, PhD. año 2008 Centro de Geociencias, UNAM Querétaro, MEXICO.*
23. Reglamento CE 466/2001 de la Comisión por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. DOCE, 16 Marzo 2001 L77/1-13
24. INE, 2009 Instituto Nacional de Ecología (INE, 2009) Metales pesados.
25. Libro: *Calidad de Agua Potable, editorial Acribia, S.A – Zaragoza (España)*
26. Libro: *ESTUDIO DE LA FAO “Riego y Drenaje”.*
27. *Manual de normas de control de calidad de leche cruda. 6ª Revisión. Liconsa. Dirección de producción; 2007: 1-28.*

28. Libro: *Producción higiénica de la leche cruda. Una guía para la pequeña y mediana empresa.* 1ª ed. Guatemala, Guatemala: Producción y Servicios Incorporados S.A. 2001.
29. Libro: Spreer E. *Lactología industrial.* 2ª ed. Zaragoza, España: Acribia; 1991.
30. Libro: BhemerMLA. *Tecnología do leite.* 10ª ed. Sao Paulo, Brasil: Nobel; 1980.
31. Libro: LOS ALIMENTOS LACTEOS Y SUS LIMITACIONES Autor: YANETT PALENCIA M. Año: 2000
32. Libro: CALIDAD E INOCUIDAD DE LA LECHE Y PRODUCTOS LACTEOS Trina Vargas. Farmacéutica. Bromatóloga. MSc. Facultad de Ciencias Veterinarias, Departamento de Salud Pública.
33. Libro: *Especificaciones de la calidad de la leche cruda y métodos para su determinación* Ed. Acribia, Zaragoza. Autor: CERSOVSKY, H, SONTAG, S y JOHST, F. Año: 1982.
34. Libro: *La Calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: calidad química.* Ciencia y Tecnología Alimentaria, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Reynosa, México Año: 1998.
35. Libro: CERNA, E. PIEMANOVA, B. y JANICEK, J. (1982). *Residuos de sustancias extrañas en la leche* Ed. Acribia, Zaragoza.
36. Libro: Mubbasher Sabyr S., S. Waheed Khan and I. Hayat. 2003. *Effect of environmental pollution on quality of meat in district Bagh, Azad Kashmir.* Pakistan Journal of Nutrition. Vol. 2 No. 2: 98-101.
37. Libro: *Heavy metal's content in some food products.* Institute of Public Health ClujNapoca, Romania. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine ClujNapoca, Romania. autor. Muntean N., R. Laslo, R. Ghitulescu and E. Muntean. Año 2004
38. Libro: *Determinación de presencia y concentración de metales pesados en leche bronca.* Tesis de Licenciatura. Ingeniero en industrias Alimentarias. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 86p. autor: Rodríguez Sánchez, M. año: 2003.

39. Libro: *Determinación de presencia y concentración de metales pesados en leche bronca. Tesis de Licenciatura. Ingeniero en industrias Alimentarias. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 86p. Autor: Rodríguez Sánchez, M. Año: 2003.*
40. Libro: *La Calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: calidad química. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Reynosa, México Año: 1998.*

REFERENCIAS DE TESIS

41. Tesis: *“Contaminación del agua y la importancia en la salud” por Carolina Herrera.*

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

42. www.proflow.com.mx
43. <http://www.eabolivia.com/social/8218-contaminacion-de-cohana-tiene-su-mayor-fuente-en-el-alto.html>
44. <http://www.rlc.fao.org/es/inocuidad/codex/rla2904/pdf/lmpbol.pdf>
45. <http://www.lenntech.es/metales-pesados.html>
46. <http://www.aaps.gob.bo/?p=2501>
47. <http://www.fmbolivia.com.bo/noticia39333-analizan-contaminacion-de-la-bahia-de-cohana.html>
48. http://www.laprensa.com.bo/diario/actualidad/la-paz/20120610/buscan-reducir-la-contaminacion-en-bahia-de-cohana_27087_43273.html
49. http://www.eldiario.net/noticias/2012/2012_07/nt120704/nacional.php?n=40&-limpieza-de-la-bahia-cohana-costara-a-la-paz-bs-600-mil
50. <http://revistalaregion.wordpress.com/2012/09/24/obras-evitaran-contaminacion-del-lago-titicaca/>
51. <http://www.prodena.org/portal>
52. G:\ONU alerta contaminación en el lago Titicaca LaRepublica_pe.mht

53. http://www.lidema.org.bo/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=669:autoridades-aun-no-intervienen-en-la-contaminacion-de-cohana&catid=48:noticias
54. <http://www.simposiotiticaca.org/web/13rb-contenido-proyecto-limnoecotiticaca-estudio-imnoecol%C3%B3gico-de-la-bah%C3%ADa-de-cohana.html>
55. <http://www.eldiario.net/revistas>
56. <http://www.monografias.com/trabajos98/contaminacion-del-lago-titicaca-y-sus-implicancias/contaminacion-del-lago-titicaca-y-sus-implicancias2.shtml>
57. <http://www.buenastareas.com/ensayos/Efectos-De-Metales-Pesados-En-Las/26935265.html>
58. <http://www.Definición%20de%20nutrientes%2020Qué%20es,%20Significado%20y%20Concepto.html>
59. <http://www.forest.ula.ve/~rube nhg/nutricionmineral>
60. http://www.fertiberia.com/fertirrigacion/guia_de_abonado/recomendaciones/consejos_seleccion
61. <http://www.abcagro.com/fertilizantes/quelatos.asp>
62. http://www.fertiberia.com/fertirrigacion/guia_de_abonado/recomendaciones/consejos_seleccion
63. <http://www.alimentacionsana.org/PortalNuevo/actualizaciones/metalesalimentos.html>