

# Caracterización mineralógica y elemental de sedimentos sólidos de la laguna de Yantac, departamento de Junín, provincia de Yauli, distrito de Marcapomacocha, por difracción y fluorescencia de rayos X

Mineralogical characterization and elementary sediment solid lake Yantac department Junín, province Yauli, Marcapomacocha district xy ray diffraction by x-ray fluorescence

Biviano Miramira<sup>1</sup>, Luis Vilcapoma<sup>1</sup> y Javier Jacay<sup>2</sup>

RECIBIDO: 23/09/2016 - APROBADO: 21/10/2016

## RESUMEN

Las muestras en estudio fueron extraídas a lo largo de la ribera de la laguna de Yantac-Junín, siendo uno de los objetivos identificar los minerales contaminantes procedentes de la actividad humana (ganadera, agrícola, etc.) y otros. Los resultados obtenidos por el análisis de difractogramas de rayos X (DRX), efectuado en el laboratorio de rayos X de la UNMSM, muestran la presencia de fases de minerales de procedencia del entorno (sedimentos naturales no contaminantes) como carbonato de calcio, óxido de silicio, montmorillonita, calcita, dolomita, cuarzo. El análisis por fluorescencia de rayos X (FRX), efectuado en el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), determinó la presencia de elementos como Al, Si, K, Ca, Fe en mayor porcentaje (%).

**Palabras clave:** Sedimentos, laguna, minerales, DRX, FRX.

## ABSTRACT

The samples were taken along the shores of Lake Junín Yantac - being one of the objectives identified mineral pollutants from human activities (livestock, agriculture, etc.), and others. According to the results obtained by analysis of X-ray diffractograms (XRD) made in the laboratory X-ray of, San Marcos, show the presence of phases of minerals from which the environment (clean natural sediments) and are calcium carbonate, silicon oxide, montmorillonite, calcite, dolomite, quartz, and analysis by X-ray fluorescence (XRF), made in the Peruvian Institute of Nuclear Energy (IPEN) determined the presence of elements such as Al, Si, K, Ca, Fe higher percentage (%).

**Keywords:** Sediment, lake, minerals, XRD, XRF.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela Cd. 34 s/n, Lima 1 - Perú. (bmiramirat@unmsm.edu.pe)

<sup>2</sup> EAP Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela Cd. 34 s/n. Ciudad Universitaria, Lima-Perú. (jjacayh@unmsm.edu.pe)

## I. INTRODUCCIÓN

En nuestros tiempos es común la contaminación de ríos y lagunas, fuentes naturales de reservas de agua, por actividad humana (agricultura, ganadería y, sobre todo, minería). Muchas reservas de agua han ido desapareciendo, una de ellas, las lagunas, ya sea por efectos de la naturaleza (sequía) o la actividad minera –contaminación con relaves procedentes de la minería legal e ilegal (Cerón, 2001).

Hoy, es necesario hacer un estudio e identificar las posibles causas de la contaminación de las pocas lagunas que todavía mantienen su pureza (limpia) y prevenir a los pobladores que esa fuente es una de las más preciadas porque garantiza la supervivencia de muchas especies biológicas que subsisten de ella (Rossi, 2010). Por esa razón, el estudio de los sedimentos de la laguna de Yantac, que se ubica en el sector oriental de la cordillera occidental, con dominio de terrenos del Cretáceo superior Paleogeno (Cobbing et al, 1996), laguna que se ubica al pie del poblado de Yantac, con una extensión aproximada de 3 km de longitud a una altura de 4300 m s.n.m., cerca de la cordillera de La Viuda y el nevado de Mishipañahuín, como se muestra en las Figuras 1, 2 y 3.



Figura N° 1. Poblado y laguna de Yantac.



Figura N° 2. Laguna de Yantac.

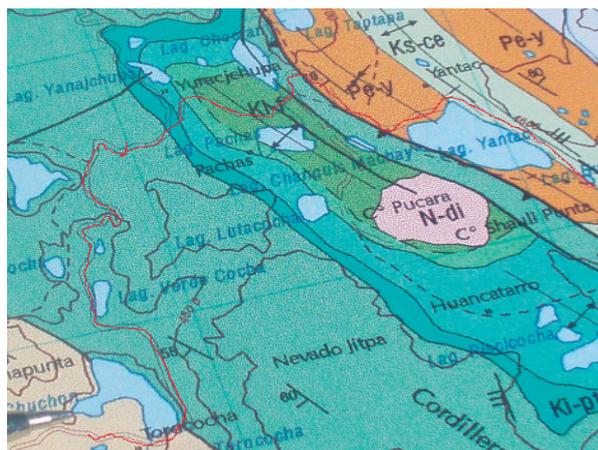


Figura N° 3. Ubicación geográfica de la laguna de Yantac.

Las técnicas usadas para el análisis de los sedimentos sólidos fueron DRX (Gonzales y Osorio, 2011) (Nima y Bravo, 2011) y FRX, útiles para identificar algunos minerales y elementos que podrían estar contaminando la fuente de reserva natural de agua.

En el presente trabajo las muestras fueron extraídas a lo largo de la ribera de la laguna (longitud aproximada de 3 km) en forma de sedimentos sólidos, agosto del 2009.

## II. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1. Difracción de rayos X (DRX)

La difracción de rayos X es uno de los fenómenos físicos que se producen al interaccionar un haz de rayos X, de una determinada longitud de onda, con una sustancia cristalina. La difracción de rayos X se basa en la dispersión coherente del haz de rayos X por parte de la materia (se mantiene la longitud de onda de la radiación) y en la interferencia constructiva de las ondas que están en fase y que se dispersan en determinadas direcciones del espacio (Moore, 1997).

Las muestras fueron secadas en una mufla a 60°, trituradas con un mortero hasta obtener partículas finas, luego tamizadas con malla de 53 micrones. Se procedió a preparar la muestra haciendo uso de un portamuestra (muestra pura sin ningún aglutinante) Figura N° 4, para luego ser pasada por el equipo de rayos X, marca Bruker, con tubo de cobre a 40 Kv y 40 mA, con paso de cuenta de 0.02/s, ángulo de barrido de 4° a 70° (Figura N°5) (Martínez et al, 2006).

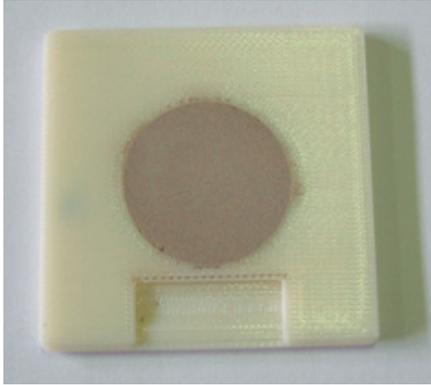


Figura N° 4. Portamuestra.



Figura N° 5. Equipo de rayos X.

## 2.2. Fluorescencia de rayos X (FRX)

La fluorescencia de rayos X (XRF, sigla en inglés) consiste en emisión de rayos X secundarios (o fluorescentes), característicos de un material que ha sido excitado al ser «bombardeado» con rayos X de alta energía o rayos gamma. Este fenómeno es muy utilizado para análisis elemental y análisis químico, particularmente en la investigación de metales, vidrios, cerámicos y materiales de construcción, así como en geoquímica, ciencia forense y arqueología.

La técnica consiste en someter una muestra a un flujo de radiación gamma, de rayos X o de partículas aceleradas para excitar los elementos que en ella se encuentran, para luego identificarlos y cuantificarlos mediante los rayos X característicos producidos. Con esta técnica, es posible determinar la concentración de elementos que están comprendidos entre el sodio ( $z = 11$ ) y el uranio ( $z = 92$ ), no se pueden determinar elementos livianos como hidrógeno, oxígeno, carbono, nitrógeno debido a la baja energía de sus rayos X característicos y a su bajo rendimiento de fluorescencia. Se aplica a muestras sólidas o líquidas, orgánicas o inorgánicas (Grieken and Markowitz 2002) (Douglas and Leary 2004).

Las muestras tamizadas a 53 micrones fueron irradiadas directamente, sin previa preparación (con otros componentes), sobre un laminar de mylar, con fuente de excitación cadmio-109 y tubo de RX (Gd), Figuras N° 6 y 7.

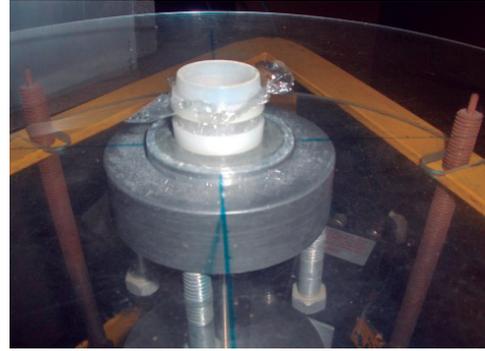


Figura N° 6. Muestra en fuente de FRX.



Figura N° 7. Equipo de FRX.

## 2.3. Proceso de obtención de la muestra

Se obtuvo las muestras en sedimentos húmedos en 5 lugares a lo largo de la ribera de la laguna, en promedio de 2 kilos por muestra (Figuras N° 8 y 9) secadas y tamizadas con malla de 53 micras (muestra en polvo); no se obtuvo muestra de la zona P (Figura N° 8) debido a la poca accesibilidad.



Figura N° 8. Puntos de muestreo.

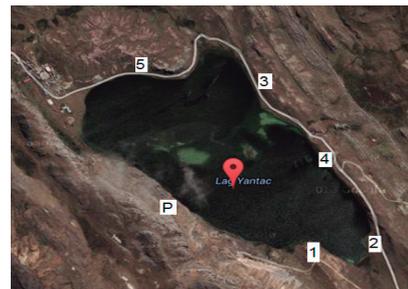


Figura N° 9. Muestreo de sedimentos.

Las muestras en polvo fueron tratadas con la técnica de difracción de rayos X en el Laboratorio de Rayos X de la UNMSM y fluorescencia de rayos X en el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

## 2.4. Características físicas del material

Muestra Yantac-1, color gris claro con restos de arbustos y trozos de rocas del lugar. Extensión de muestreo aprox. 50 metros de longitud.

Muestra Yantac-2, color gris con tendencia oscura, restos de grano fino en mayor proporción que la muestra MY-1.

Muestra Yantac-3, color gris con tendencia oscura, restos de grano fino en menor proporción, con olor característico con tendencia fétida.

Muestra Yantac-4, color gris con tendencia a ser más clara que la muestra MY - 1, con restos de piedra.

Muestra Yantac - 5, color gris oscuro, restos de material inorgánico (plásticos), olor fétido o putrefacto<sup>10</sup>

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Difracción de rayos X

Los resultados obtenidos por DRX muestran la presencia de fases de minerales de procedencia del entorno (sedimentos naturales no contaminantes) como son carbonato de calcio, óxido de silicio, montmorillonita, calcita, dolomita, cuarzo (Klug y Alexander, 1974) (Murray, 2007).

Los resultados son de los análisis realizados en cinco muestras clasificadas con el nombre de Yantac-1, Yantac-2, Yantac -3, Yantac - 4 y Yantac - 5, respectivamente.

A continuación se muestran los espectros de cada muestra (Figura N° 10 y Tabla N° 1).

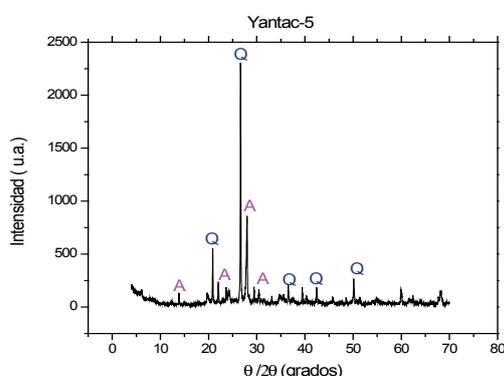
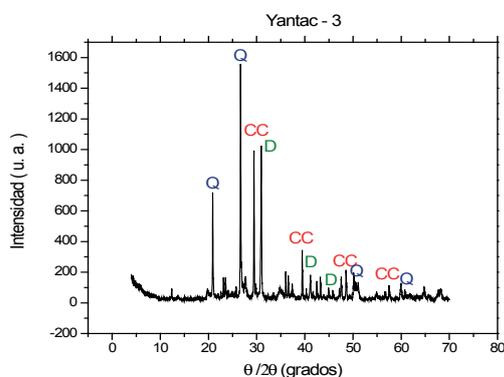
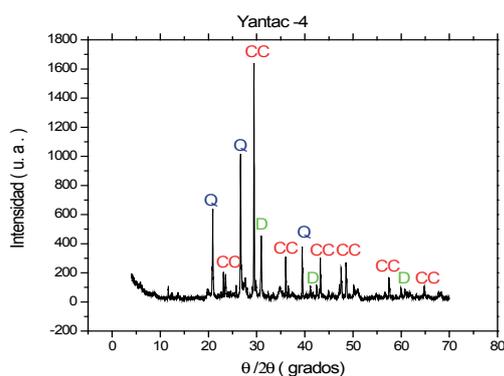
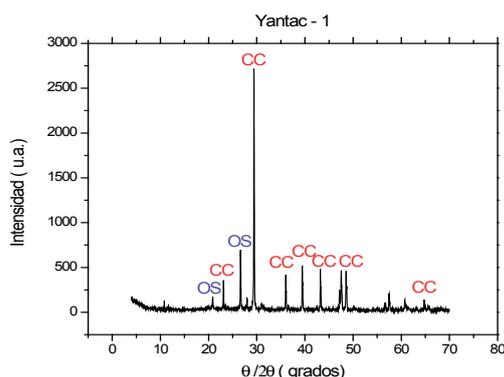
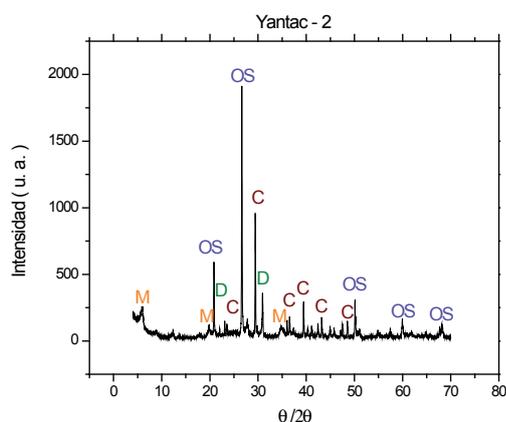


Figura N° 10. Difractogramas de las 5 muestras.

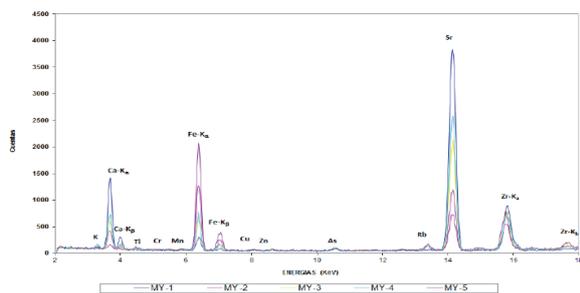
**Tabla N° 1.** Resultados de los espectros de DRX.

Muestra	Fase	Fórmula
Yantac-1	Carbonato de calcio (CC)	CaCO <sub>3</sub>
	Óxido de silicio (OS)	SiO <sub>2</sub>
Yantac-2	Óxido de silicio (OS)	SiO <sub>2</sub>
	Montmorillonita (M)	
Yantac-3	Calcita(C)	Ca(CO <sub>3</sub> )
	Dolomita (D)	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Yantac-4	Cuarzo (Q)	SiO <sub>2</sub>
	Carbonato de calcio (CC)	CaCO <sub>3</sub>
	Dolomita (D)	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Yantac-5	Albita(A)	(NaC <sub>2</sub> )Al(SiAl) <sub>3</sub> O <sub>3</sub>
	Cuarzo (Q)	SiO <sub>2</sub>

**3.2. Fluorescencia de rayos X (FRX) (efectuadas en el IPEN)**

Según los resultados de FRX, se observa en mayor proporción la presencia en todas las muestras de Al, Si, K, Ca y Fe en porcentaje por (%), y Ti, Cr, Mn, Sr y Zr en ppm, y en menor proporción de Pb, Zn, Cu, As y Ba (Figura N° 11 y Tabla N° 2).

Espectro de Fluorescencia de rayos X irradiado con Cd-109 de 5 muestras solidas en polvo.



**Figura N° 11.** Espectro FRX de las cinco muestras.

**Tabla N° 2.** Resultados de los espectros de FRX.

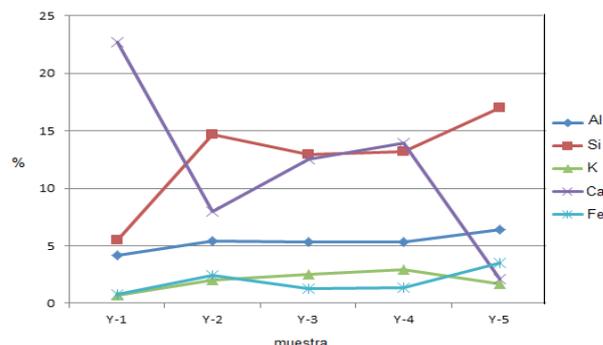
Análisis semicuantitativo

Elemento	MY-1	MY-2	MY-3	MY-4	MY-5
Al (%)	4.2 ± 0.0	5.4 ± 0.1	5.3 ± 0.3	5.3 ± 0.6	6.4 ± 0.2
Si (%)	5.5 ± 0.9	14.7 ± 2.8	12.9 ± 1.4	13.2 ± 0.7	17.0 ± 2.8
S (ppm)	10186 ± 729	889 ± 97	1668 ± 182	8906 ± 263	694 ± 44
K (%)	0.7 ± 0.0	2 ± 0.1	2.5 ± 0.3	2.9 ± 0.0	1.7 ± 0.1
Ca (%)	22.7 ± 0.1	8 ± 0.4	12.5 ± 0.2	13.9 ± 0.0	2.1 ± 0.1
Ti (ppm)	2287 ± 3	2950 ± 2	2641 ± 6	2642 ± 8	3783 ± 38
Cr (ppm)	299 ± 16	266 ± 3	277 ± 17	265 ± 17	261 ± 3
Mn (ppm)	398 ± 5	748 ± 11	678 ± 17	506 ± 11	564 ± 9
Fe (%)	0.8 ± 0.0	2.4 ± 0.0	1.3 ± 0.2	1.4 ± 0.0	3.5 ± 0.1
Cu (ppm)	18 ± 0	24 ± 1	20 ± 2	17 ± 1	22 ± 2
Zn (ppm)	138 ± 2	124 ± 3	105 ± 5	164 ± 1	124 ± 2
As (ppm)	57 ± 1	134 ± 3	87 ± 7	137 ± 1	50 ± 4
Rb (ppm)	30 ± 3	105 ± 8	96 ± 7	112 ± 8	95 ± 7
Sr (ppm)	6140 ± 427	1175 ± 82	2286 ± 159	3315 ± 231	592 ± 41
Zr (ppm)	496 ± 11	274 ± 8	242 ± 3	205 ± 2	2048 ± 140
Ba (ppm)	147 ± 2	382 ± 2	305 ± 2	282 ± 8	516 ± 3
Pb (ppm)	120 ± 4	53 ± 2	99 ± 2	84 ± 1	35 ± 6
Matriz AEDSP	55.76	81.2	75.4	67.73	89.91
Tiempo de irradiación	4000 s	4000 s	4000 s	4000 s	4000 s

Los resultados por DRX determinaron la existencia de fases –minerales, para el espectro de Yantac 1: la presencia de carbonato de calcio y óxido de silicio; en el espectro de Yantac 2, la fase de calcita, dolomita, montmorillonita, óxido de silicio; en el espectro de Yantac 3, las fases de

cuarzo, carbonato de calcio y dolomita; espectro Yantac 4 las fases de cuarzo, carbonato de calcio, dolomita; y espectro de Yantac 5, las fases albita y cuarzo.

Los resultados por FRX determinaron la existencia en mayor proporción, en todas las muestras, en porcentaje (%), de Al, Si, K, Ca y Fe (Figura N°12). Ti, Cr, Mn, Sr y Zr en ppm, y en menor proporción Pb, Zn, Cu, As y Ba (Tabla 2)(Chui et al, 2009) (Miramira y Zeballos, 2008).



**Figura N° 12.** Gráfica de porcentaje vs. elementos en muestra.

**IV. CONCLUSIONES**

- Según los resultados de la Tabla N° 1, se puede señalar, de acuerdo a la muestra, los minerales que existen en el entorno o el medio, como son cuarzo, carbonato de calcio, dolomita, albita, óxido de silicio, montmorillonita.
- Según la Tabla N° 2, los elementos de mayor concentración, en porcentaje, son hierro, calcio, potasio, silicio, aluminio, y los elementos pesados en ppm como son cromo, titanio, cobre, arsénico, zinc, bario, plomo, azufre, manganeso. Lo cual no representa la contaminación, sino parte de los componentes del medio. Finalmente, según los resultados generales, la laguna de Yantac no se encuentra contaminada con elementos pesados. Se podrían realizar otros análisis complementarios, como los bioquímicos.

**V. AGRADECIMIENTOS**

Los autores del presente trabajo dejan su agradecimiento al Dr. Bravo y al laboratorio de suelos de la UNMSM, por las facilidades en la ejecución del presente trabajo, así mismo a los revisores anónimos que han ayudado a la buena presentación de este trabajo.

**VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Cerón M. L. (2001). Caracterización de suelos agrícolas. Tesis Facultad de Ciencias Físicas UNMSM, Lima. pp. 132.
- Cobbing, J., Quispesivana, L. & Paz, M. (1996). Geología de los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, N° 77, pp. 238.
- Chui, B., Miramira, B., Olivera, L. y Jacay, J.(2009). Determinación de metales pesados en sedimentos del río Chillón mediante la técnica de fluorescencia

- de rayos X. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química. Vol. 12 N° 2: 9-14.
- [4] Douglas, S. y Leary, J. (2004). Análisis instrumental (4ta edición). España: McGraw-Hill,
- [5] Gonzales, J. C. G. y Osorio, A. (2011). Monitoreo de la síntesis del YBa<sub>2</sub> Cu<sub>3</sub> O<sub>7</sub> mediante la difracción de rayos X en polvo. Revista de la Sociedad Química del Perú; 77(4): 249-258.
- [6] Grieken, R. E. y Markowitz, A. (2002). Handbook of X-Ray Spectrometry 2nd Ed. Marcel Dekker Inc.: New York, Vol. 29.693 p.
- [7] Jiménez Salas, J. A. y De Justo Alpañes, J. L.(1975) Geotécnica y cimientos Vol. I Propiedades de los suelos y de las rocas, 2da edición. 466 p.
- [8] Klug, H.P. and Alexander L.E. (1974) Ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous-Materials John Wiley - Sons USA.992 p.
- [9] López, M.A. y Olivera de Lescano, P. (2007). Caracterización de pigmentos aplicados en material arqueológico de la cultura Chíncha por fluorescencia de rayos X y microscopía electrónica de transmisión. Revista de la Sociedad Química del Perú., 73, N° 1 (3-17).
- [10] Martínez, D., Gil, O. y Barón, A. (2006). Espectrometría de fluorescencia de rayos X. Revista Colombiana de Física; V. 38, N°. 2: 790-793.
- [11] Miramira, B. y Zeballos, E. (2008). Informe Cient. Tec. IPEN: 41-46.
- [12] Moore, D.M. (1997). *X-Ray Diffraction and the identification and analysis of clay minerals*. Oxford: Oxford University Press.
- [13] Murray, H.(2007). *Applied Clay Mineralogy*. Elsevier, Amsterdam.
- [14] Nima, F., Bravo Mejía, M.(2011). Caracterización mineralógica de la fracción arcillosa de vertisols de la parcela de la Universidad Nacional de Piura, San Lorenzo. Revista de Investigación de Física. 14, 111401404: 1-3.
- [15] Rossi M. G. (2010). Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú, Fondo Nacional del Ambiente-Perú, Diciembre del 2010. 37 p.