



“FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y
NATURALES”

“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA”

“Tesina presentada para obtener el grado académico de
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE”

“DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PCBs EN SUELO Y VEGETACIÓN
EN LA LOCALIDAD DE QUEMU QUEMU, PROVINCIA DE LA PAMPA”

Autor: IVANA CELESTE ALONSO

“SANTA ROSA (LA PAMPA)”

“ARGENTINA”

2009

PREFACIO

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero En Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en el Departamento de Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa durante el período comprendido entre 27/12/2005 y el 09/10/2009, bajo la dirección del Lic. Omar David DEL PONTI.

Fecha:

Firma

Departamento Académico: Recursos Naturales

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

AGRADECIMIENTOS

A mi director, Cacho Del Ponti, por todas sus enseñanzas y por su valioso tiempo de dedicación.

Al jurado.

A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa.

A la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos, Crédito y Provisión de Quemú Quemú Limitada –COSYPRO Ltda.-.

A la Municipalidad del Pueblo de Quemú Quemú.

Al Club de Pesca de Quemú Quemú por permitirme tomar las muestras en la laguna.

A la Ingeniera Carla Moscardi por guiarme en los comienzos de esta investigación.

A la Lic. Graciela Alfonso, al Dr. Ernesto Morici y a la Dra. Carla Suarez.

A la Ingeniera Verónica Salvador.

A Silvia Stachiotti por su asistencia en la metodología de laboratorio y por facilitarme los recipientes para las muestras.

Al Ing. Arístides Bouza, al Sr. Martín Guarido y al Sr. Roberto Paesani.

A la Subsecretaría de Ecología de la Provincia por suministrarme imágenes satelitales de la zona de la localidad de Quemú Quemú.

A Lucas, Délmar, Mónica y Andrés por su colaboración en la toma de muestras y por ser comodines en lo que necesité...

A mi familia por su apoyo incondicional....A Andrés por acompañarme en todo momento...

A mis compañeras y amigas de la Facultad...y de la vida.

Y a todos los que colaboraron e hicieron posible la finalización de esta tesina.

RESUMEN

Los Bifenilos Policlorados (PCBs) son contaminantes orgánicos persistentes de origen antropogénico, que por capacidad aislante y naturaleza retardante de la llama, son ampliamente utilizados en transformadores y otros equipos eléctricos.

Debido a sus propiedades de persistencia y bioacumulación, estos compuestos, se transfieren a lo largo de las cadenas alimentarias terrestres y acuáticas, generando desequilibrios ecológicos. Tanto el suelo como la vegetación los acumulan por un tiempo variable por lo que son utilizados para la identificación de sitios contaminados.

En la localidad de Quemú Quemú, existen transformadores eléctricos en la zona urbana y suburbana que están en contacto directo, con el suelo y la vegetación, e indirecto con el agua superficial de una laguna aledaña.

El objetivo de este proyecto fue comprobar si existen PCBs en los compartimientos suelo, vegetación y agua superficial, de la zona urbana de la localidad de Quemú Quemú, provincia de La Pampa.

En el año 2007 y 2008, se tomaron muestras de suelo y vegetación, en el área adyacente a seis transformadores eléctricos del ejido urbano, y en el agua, suelo y vegetación del área de desagüe de la localidad, que comunica con la laguna "Lamper". Las determinaciones y cuantificaciones de PCBs se realizaron a través de la técnica de cromatografía gaseosa.

La presencia de PCBs, en concentraciones variables, tanto en el suelo como en la vegetación, confirma que los equipos eléctricos que operan en el área urbana, lo liberaron accidentalmente. Debido a la persistencia y características bioacumulables de estos compuestos, se sugiere monitoreos más exhaustivos.

ABSTRACT

Polychlorinated biphenyls (PCBs) are persistent organic pollutants of anthropogenic origin, that by insulating capacity and nature retardant of the flame, widely is used in electrical transformers and other equipment.

Due to their properties of persistence and bioaccumulation, these compounds, are transferred throughout the terrestrial and aquatic nourishing chains, generating imbalances ecological. As much the soil as the vegetation accumulates them by a variable time reason why they are used for the identification of contaminated sites.

In the locality of Quemú Quemú, exist electrical transformers in the zone urban and suburban that is in direct bonding, with the soil and the vegetation, and indirect with the superficial water of a bordering lagoon.

The objective of this project was to verify if they exist PCBs in the compartments soil, vegetation and superficial water, of the urban zone of the locality of Quemú Quemú, province of La Pampa.

In 2007 and 2008, samples were taken from soil and vegetation, in the adjacent area to six electrical transformers of urban area, and in, the water, soil and vegetation of the area of water-drainage of the locality, that communicates with the lagoon "Lamper". The determinations and quantifications of PCBs were realised through the technique of gaseous chromatography.

The presence of PCBs, in variable concentrations, as much in the soil as in the vegetation, confirms that the electrical equipment that operate in the urban area, released it accidentally. Due to the persistence and bioaccumulable characteristics of these compounds, one suggests more exhaustive monitorings.

INDICE

PREFACIO

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INDICE

1-INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 HIPOTESIS.....	6
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	6
1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
2-MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1 AREA DE ESTUDIO.....	7
2.2 BREVE HISTORIA DEL ALUMBRADO ELÉCTRICO EN QUEMÚ	
QUEMÚ.....	9
2.3 METODOLOGÍA DE MUESTREO.....	10
2.3.1 TOMA DE MUESTRAS DE SUELO.....	11
2.3.2 TOMA DE MUESTRAS DE VEGETACIÓN.....	12
2.3.3 TOMA DE MUESTRAS DE AGUA, SUELO Y VEGETACIÓN	
EN LA LAGUNA “LAMPER”	13
2.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	14
3- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
3.1 COMPARTIMIENTO SUELO DEL AREA URBANA DE LA	
LOCALIDAD.....	16
3.1.a) ANÁLISIS DE LOS VALORES DETECTADOS DE PCBS	
PARA LOS DOS RADIOS CONSIDERADOS.....	19
3.1.b) COMPARACIÓN DE MEDIAS EN LOS DISTINTOS RADIOS	
CONSIDERADOS.....	20
3.2 COMPARTIMIENTO VEGETACIÓN DEL AREA URBANA DE LA	
LOCALIDAD.....	24
3.2.a) ANÁLISIS DE LOS VALORES DETECTADOS DE PCBS	
PARA LA MATRIZ VEGETACIÓN.....	25

3.3 LAGUNA LAMPER: COMPARTIMIENTO AGUA, VEGETACIÓN Y SUELO.....	29
4- <u>CONCLUSION</u>.....	30
4.1 CONSIDERACIONES FINALES.....	31
5- <u>BIBLIOGRAFIA</u>.....	32
6- <u>ANEXO</u>.....	38

1- INTRODUCCIÓN

Es difícil concebir alguna actividad en la sociedad moderna en la cual no intervenga o hayan intervenido sustancias químicas, tanto en el hogar, como en los lugares de trabajo e incluso en las actividades de recreación. Dichas actividades antrópicas han dejado secuelas por las altas concentraciones de contaminantes orgánicos persistentes (COP) liberados al medio ambiente (agua, suelo, sedimentos, biota, alimentos), ya que su pasivo ambiental sigue presente en los sitios donde han sido utilizados o generados.

Pero una vez liberados en el mundo, persisten en el medio ambiente durante años, viajan miles de km desde el lugar en que se utilizaron teniendo consecuencias ecológicas que nunca se previeron o desearon (PNUMA, 2005).

Los COP son sustancias orgánicas de origen natural o antropogénico que resisten a la degradación fotolítica, química y biológica. Se caracterizan por su escasa solubilidad en agua y por su elevada solubilidad en lípidos, que da lugar a la bioacumulación en los tejidos adiposos de los organismos vivos, el agua, el aire, el suelo, las plantas y también en las personas poniendo en riesgo la integridad de los ecosistemas y la salud humana (Angelini y Seigneur, 1992; Orciari y Leonard, 1990; De Boer y Wells, 1997; IOMIC, 2000; PNUMA, 2002; PNUMA, 2005; CCME, 1986).

Por definición estos compuestos químicos son altamente tóxicos, persistentes y tienen una duración de años, incluso décadas antes de degradarse en formas menos peligrosas; se evaporan y desplazan largas distancias a través del aire y el agua (PNUMA, 2005).

La evidencia sobre los riesgos de muchos de los contaminantes orgánicos persistentes (COP) que hoy componen la **“Docena Sucia”** ha venido documentándose en algunos casos desde los años 30, como es el de los Bifenilos Policlorados (PCBs) (PNUMA, 1998; PNUMA, 2002).

Dadas sus propiedades de persistencia y bioacumulación, los PCBs se transfieren a lo largo de las cadenas alimentarias terrestres y acuáticas, perturbando el Sistema Inmunológico, Endócrino, Nervioso y Reproductivo de aves, peces y mamíferos, generando así desequilibrios ecológicos.

Los PCBs comprenden 209 compuestos químicos estructuralmente relacionados, denominados también congéneres, que dependen del número de átomos de cloro presentes en la molécula (de 1 a 10) y de su posición en los dos anillos bencénicos (Del Grande *et al.*, 2003; Flynn, 1991).

Los mecanismos de dispersión de estos compuestos en el medio ambiente al igual que su persistencia y toxicidad son determinados por la estructura y la posición de los átomos de cloro en la molécula, como así también por el número de átomos de cloro presentes. Los congéneres con una elevada cloración poseen mayor capacidad de adsorción en suelos y sedimentos, disminuyendo así los procesos de lixiviación en el suelo y las pérdidas por evaporación desde la superficie del mismo (FAO, 2000; CCME, 1999).

Estos compuestos se caracterizan por ser un líquido viscoso, transparente, ligeramente amarillento y de olor característico comparable a los compuestos clorados, de gran estabilidad, no corrosivos y a temperaturas altas desprenden productos de descomposición (Walker *et al.*, 1997; Res. MT y SS 0369/1991; CCME, 1986).

Debido a su notable capacidad aislante y su naturaleza retardante de la llama se han utilizado ampliamente en todo el mundo en transformadores y otros equipos eléctricos (PNUMA, 2002; CCME, 1986; Chen *et al.*, 2006; Wyrzykowska *et al.*, 2006).

Existen dos fuentes de liberación al medio ambiente, la primera, intencional, mediante la fabricación y elaboración de mezclas en actividades industriales en el pasado; la segunda, no intencional, como productos liberados en procesos de combustión (Chen *et al.*, 2006; Ley Nacional N° 26.011; PNUMA, 2002).

La preocupación acerca de la presencia de PCBs en el ambiente comenzó alrededor de 1966 cuando investigaciones en Suecia revelaron la presencia de PCBs en muestras del ambiente. Estudios posteriores confirmaron que la tasa de biodegradación (o descomposición natural) era muy lenta para algunos de los congéneres de PCBs (Flynn, 1991).

Viejas emisiones y depositaciones de estos compuestos pueden experimentar remisiones desde suelos, vegetación, cuerpos de agua y recircular en el ambiente. La recirculación está gobernada por factores como la temperatura del ambiente, el contenido de materia orgánica en la matriz de depositación y las propiedades físico-químicas del contaminante (Ockenden *et al.*, 2003). En general, compuestos de baja cloración tienden a ser más volátiles que los que presentan alta cloración (CCME, 1999).

Hace años se prohibió y/o restringió la comercialización de algunos productos en muchos países del Hemisferio Norte, pero aún existen muchos otros que se siguen utilizando o se encuentran almacenados en varios países de América del Sur (PNUMA, 1998; PNUMA, 2002).

Los PCBs son considerados ahora como contaminantes ambientales ubicuos (Atlas y Giam, 1981; PNUMA, 2002; PNUMA, 2005).

Hoy en día pueden ser emitidos al ambiente desde sitios de disposición de residuos peligrosos, desde sitios de disposición inapropiada o ilegal de residuos industriales y urbanos, por pérdidas de transformadores eléctricos que contienen o contuvieron PCBs y durante la combustión de algunos residuos en incineradores (PNUMA, 2002).

Se estima que estos compuestos tienen una vida media que va de 3 semanas a 2 años en el aire, de más de 6 años en suelos y sedimentos aeróbicos, de más de 10 años en peces adultos y de 21 días a 2 años en aguas (PNUMA, 2002; FAO y PNUMA, 1992).

La Normativa actual sobre los Límites Máximos Permisibles de contaminación en suelos establece que suelos con uso agrícola pueden contener 0,5 mg/kg de PCBs, suelos con utilización residencial/parques 5 mg/kg de PCBs, y suelos de uso industrial/comercial 25 mg/kg de PCBs, cuantificados en base seca y con la sumatoria de todos los congéneres de PCBs detectados (Ley Nacional N° 24051/92, Decreto N° 831/93; Ley Provincial N° 1466, Decreto N° 2454). El Nivel Guía de Calidad de Agua para la protección de la vida acuática en agua dulce superficial es de 0,01 µg/l y para agua salada superficial es de 0,03 µg/l (Ley Provincial N° 1466, Decreto N° 2454).

La Guía de Calidad de Suelos para la protección del medio ambiente y la salud humana del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME, 1999), establece para suelos con uso agrícola y con uso residencial/parques los mismos valores que los establecidos por la legislación Argentina, siendo el valor para suelos con uso industrial/comercial de 50 mg/kg de PCBs.

Los PCBs, debido a las propiedades ya mencionadas, poseen la capacidad de adsorción en suelos, sedimentos, acuíferos, llegando a formar complejos con éstos.

Los suelos son sumideros naturales de compuestos persistentes y lipofílicos por lo que resulta una matriz típica de acumulación con larga memoria.

El suelo recibe los contaminantes desde la atmósfera o directamente a través de derrames o residuos contaminados; volatilizándose de ésta matriz de acuerdo a las condiciones ambientales imperantes (Ockenden *et al.*, 2003). Claramente concentraciones elevadas de PCBs en suelos se debe a la proximidad de una fuente puntual de contaminación (Wilcke *et al.*, 2006).

Según Backe *et al.* (2004) las mayores concentraciones de difeniles policlorados fueron halladas en suelos arenosos y en aquellos dónde el contenido de carbono orgánico era elevado.

Los patrones de distribución de estos compuestos son fuertemente modificados por las entradas de los mismos, por la alteración mediante biodegradación o por la

redistribución que sufren en el suelo. Adicionalmente los compuestos pueden revolatilizarse desde el suelo, dependiendo de su concentración tanto en el suelo como en el aire de un sitio en particular (Krauss and Wilcke, 2003).

La materia orgánica contenida en el suelo gobierna el comportamiento de los PCBs porque hay una fuerte afinidad con el carbono orgánico (Ockenden *et al.*, 2003; Krauss *et al.*, 2000).

El movimiento de los PCBs en el perfil del suelo es directamente proporcional a la solubilidad del mismo e inversamente proporcional al contenido de materia orgánica que presenta el suelo (CCME, 1999).

En los suelos forestales, por ejemplo, estos compuestos están sujetos a procesos de redistribución y transformación. La bioturbación y lixiviación dan como resultado el transporte de PCB desde los horizontes orgánicos al horizonte mineral superficial (A) (Krauss *et al.*, 2000).

Si la acumulación de PCBs es más grande que las pérdidas por lixiviación o degradación va a haber mayor concentración de contaminantes en los agregados exteriores del suelo que en los interiores (Wilcke *et al.*, 2006).

Las concentraciones en suelos urbanos están sujetas a una gran heterogeneidad de factores como el contenido de materia orgánica, el uso de la tierra y la presencia de organismos (Ockenden *et al.*, 2003).

Se demostró que las concentraciones de PCBs disminuyen a lo largo de una transecta urbano-rural (Krauss and Wilcke, 2003).

La degradación de estos compuestos en el suelo es muy lenta, del orden de los 10 años (Ockenden *et al.*, 2003). Pueden sufrir de cloración natural lentamente (remoción de átomos de cloro) fundamentalmente los átomos de cloro más expuestos a fotólisis y a la degradación microbiana, dando lugar a la eliminación de los mismos, o simplemente su reordenamiento en una molécula de PCB diferente (SAyDS, 2006).

El suelo no solamente está expuesto a los contaminantes como los PCBs, sino que la vegetación que se desarrolla en él también lo está.

La acumulación de PCBs en los tejidos vegetales es resultado de la asimilación directa de las raíces desde suelos contaminados, por movimientos localizados de suelos contaminados, o directamente por depositación atmosférica de estos compuestos en la superficie de las hojas y los tallos (CCME, 1999).

Los mecanismos de secuestro de contaminantes desde el aire por medio de la vegetación es de uso común en el monitoreo de la distribución de PCBs a escala local y

global (Chen *et al.*, 2006; Thomas *et al.*, 1998; Wyrzykowska *et al.*, 2006). La familia *Pinus*, al distribuirse en todo el mundo, es normalmente utilizada en investigaciones con el fin de monitorear las concentraciones de PCBs a escala global (Wyrzykowska *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2006). La fuente primaria de PCBs en hojas y tallos es atribuída a estos mecanismos (CCME, 1999).

Las hojas de estas especies secretan sustancias ceras sobre la superficie externa cuya función es un mecanismo de protección siendo éste un lugar ideal para la depositación del contaminante acumulándose en los tejidos vegetales, trasladándose así través de la cadena alimentaria (PNUMA, 2000). Las hojas asimilan y se enriquecen de contaminantes presentes en el aire, especialmente compuestos volátiles no polares, como los PCBs (Chen *et al.*, 2006; Thomas *et al.*, 1998).

En cuanto a investigaciones recientes mostraron que en aquellos ejemplares más antiguos fue detectada la mayor concentración de PCBs (Hellström *et al.*, 2004); mientras que en otras publicaciones se detectó que la mayor concentración de PCBs se da en el primer año de vida (Wyrzykowska *et al.*, 2006).

Factores ambientales como temperatura, precipitación y concentración de contaminantes lipofílicos en el aire juegan un importante rol en el proceso de acumulación de los compuestos desde el aire a las hojas de las plantas. Las mismas poseen una elevada capacidad hidrofóbica a elevadas temperaturas, lo que puede causar una mayor asimilación de contaminantes hidrofóbicos durante el verano al compararlo con los meses de invierno (Wyrzykowska *et al.*, 2006).

Las raíces tienden a acumular más PCBs que hojas y tallos si la contaminación consiste en la adsorción de estos compuestos en la superficie de las mismas. Los congéneres de baja cloración son inmediatamente asimilados por las plantas como resultado de su mayor movilidad en suelos (CCME, 1999).

La vegetación (Chen *et al.*, 2006; Hellström *et al.*, 2004; Thomas *et al.*, 1998; Wyrzykowska *et al.*, 2006) y el suelo (Backe *et al.*, 2004; Krauss and Wilcke, 2003; Krauss *et al.*, 2000; Ockenden *et al.*, 2003; Wilcke *et al.*, 2006) han sido extensamente utilizados en todo el mundo para la identificación de sitios contaminados con PCBs.

En la localidad de Quemú Quemú, como en todas las localidades de la provincia de La Pampa, existen (o existieron) transformadores eléctricos en la zona urbana y suburbana que están en contacto directo con la vegetación y con el suelo, y por ende con la población misma.

1.1-HIPOTESIS

El suelo y la vegetación aledaña a los transformadores eléctricos que operan en la zona urbana de la localidad de Quemú Quemú presentan ciertas concentraciones de PCBs.

1.2- OBJETIVO GENERAL

Comprobar si existen PCBs en los compartimientos suelo, vegetación y agua superficial, de la zona urbana de la localidad de Quemú Quemú, provincia de La Pampa.

1.3- OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Determinar la presencia y concentración de PCBs en los compartimientos suelo y vegetación, donde se encuentran insertos los transformadores eléctricos, en la zona urbana de la localidad de Quemú Quemú, provincia de La Pampa.
- 2) Establecer si existe algún gradiente de concentración de PCBs a una distancia radial del transformador de 1,40 m y 5 m respectivamente.
- 3) Determinar la presencia y concentración de PCBs en el agua, suelo y vegetación en el área de desagüe de la localidad que comunica con la Laguna “Lamper”.

2- MATERIALES Y MÉTODOS

2.1- Área de estudio

El área de estudio se centró en la localidad de Quemú Quemú, Provincia de La Pampa, situada entre los 36° y 38° de latitud Sur y entre los 62° y 64° de longitud Oeste (Sección II, Fracción B, Lote 7). La misma es cabeza del departamento homónimo, ubicado en el centro-este de la provincia, limitando al Norte con el departamento Maracó, al Sur con Catriló, al Oeste con Conhelo y Capital, al Este con la Provincia de Buenos Aires (Ramos de Minig, 2008).

La superficie total de la localidad es de 141 ha 12 áreas, contando con 3850 habitantes, abarcando el radio urbano 400 viviendas y el rural 100 (Municipalidad de Quemú Quemú, Com. Per., 2008).

Se localiza en la Región Oriental, y dentro de esta se corresponde con la Subregión de las planicies medanosas, donde los perfiles muestran capas arenosas y de cenizas volcánica coincidentes con períodos morfogenéticos activos; intercalados con paleosuelos o paleohorizontes que corresponden a períodos edafogenéticos predominantes (Cano *et al.*, 1980).

La localidad, al igual que la provincia de La Pampa, se caracteriza por poseer un tipo de clima templado, siendo la temperatura media anual de 15,6°C, presentando veranos templados-cálidos, alcanzando registros de hasta 44,4°C e inviernos fríos con importantes heladas y temperaturas extremas de hasta – 11,5°C (Cano *et al.*, 1980; Ramos de Minig, 2008).

Otro elemento importante del clima de alta relevancia para la zona es la precipitación. El total de lluvia promedio anual actual es de alrededor de 830 mm, siendo el semestre cálido (de octubre a marzo) el que recibe el 72% del total de lluvias anuales. De acuerdo a la serie histórica de precipitaciones (1914-2007) se presentaron períodos de sequías y otros de abundantes lluvias que generaron incluso, problemas de inundación (Ramos de Minig, 2008).

El viento ha jugado y juega un papel importante tanto en la fisonomía del paisaje como en los aspectos productivos. Son constantes los movimientos de masas de aire en diversos sentidos y raras las calmas. Las direcciones predominantes son las Nor-noreste y Sur-Suroeste. Las mayores intensidades se registran entre los meses de agosto a enero, en tanto que las menores se observan en el otoño (Cano *et al.*, 1980; Ramos de Minig, 2008).

El actual modelado que se observa, es fundamentalmente el resultado de procesos hídricos que elaboraron una superficie calcárea con pendiente regional al Este, sobre la cual la acción eólica acumuló un manto arenoso de espesor variable (Cano *et al.*, 1980).

El paisaje se presenta con ondulaciones arenosas con sentido N-S y de médanos aislados, existiendo en las áreas deprimidas o bajos de estas planicies arenosas lagunas temporarias (Cano *et al.*, 1980).

Los suelos se caracterizan por integrar una asociación, teniendo poca evolución genética, clasificándose como Molisoles, siendo estos los más evolucionados dentro de la Provincia, presentando un sencillo perfil del tipo A-AC-C. El suelo superficial, es decir la capa arable, tiene buen espesor con alto contenido de materia orgánica, presentando una textura franco-arenosa-fina. La permeabilidad es rápida, excesivamente drenado y asociado a médanos hoy estabilizados, que en su mayoría se aran. El régimen de humedad que presentan estos suelos es ústico, de temperatura térmica y su clase de tamaño de partícula es arenosa (Cano *et al.*, 1980).

Las limitaciones de estas tierras derivan de la textura del material parental, con suelos de baja capacidad de retención de la humedad, del clima, por sequías estacionales que aumentan la susceptibilidad a la erosión eólica, y de la actividad antrópica como el laboreo y excesivo pastoreo (Ramos de Minig, 2008; Cano *et al.*, 1980).

Los suelos de los bajos y zonas cercanas a las lagunas, por lo general presentan menor fertilidad asociada a niveles variables de salinidad. La vegetación de estas áreas son especies adaptadas a suelos salinos (halófitas) o las que se desarrollan sumergidas o semisumergidas en las lagunas (palustres) (Cano *et al.*, 1980).

En otros casos, en áreas deprimidas o bañados existen praderas bajas en las que se intercalan gramíneas como *Stipa papposa*, *Pappophorum caespitosum*, *Cynodon hirsutus*, *Paspalum sp.* y *Poa lanuginosa*, con especies rastreras como pueden ser *Lipedum bonariense*, *Melilotus indicus*, *Juncus sp.* entre otras (Cano *et al.*, 1980).

El escurrimiento superficial del pueblo circula a través de una canalización realizada ad hoc, hasta el nivel de base natural que conforma una laguna, denominada de “Lamper”.

Los parámetros morfométricos de esta laguna fueron estimados por Pratts (2007), siendo los mismos:

- Ubicación: Departamento Quemú Quemú
- Georeferencias: 36° 02'24”S - 63° 34'03”W
- Longitud máxima: 1.666 m.

- Ancho máximo: 521,06 m.
- Superficie estimada: 70,95 ha.
- Perímetro: 3.744,08 m.

La utilización actual de este cuerpo de agua es de tipo recreativo con limitaciones, no recomendándose su uso como balneario (Pratts, 2007).

La vegetación predominante en este ambiente es la familia de las *Cyperaceas*, con la especie *Cyperus alternifolius*. Estas son plantas anuales o perennes acuáticas que crecen en aguas tranquilas de hasta 0,5 m de profundidad.

En la zona urbana de la localidad la gramínea *Cynodon hirsutus* (gramilla rastrera) se caracteriza por ser predominante en los jardines y en las banquetas de las calles. Esta especie es originaria de Africa, naturalizada en la Región Central de la Argentina. Se caracteriza por formar céspedes, ser muy baja, estolonífera, con nudos enraizantes, de ciclo perenne, estival; rebrotando en primavera, floreciendo y fructificando en verano y otoño (Cano, 1988).

2.2- Breve historia del alumbrado eléctrico en Quemú Quemú

En 1915 comienza a funcionar en la localidad el primer servicio eléctrico. En los años posteriores cuando las necesidades fueron mayores, se debió recurrir a motores de mayor potencia y ampliación de la red de cables.

En el año 1953 se agudiza el problema energético, que finaliza con la fundación de la flamante Cooperativa Eléctrica en 1954.

En 1966 había comenzado el tendido de la línea de alta tensión entre General Pico y Quemú Quemú. Concluído en 1967 el servicio eléctrico queda ligado directamente a las Redes de la Empresa Nacional de Agua y Energía. En el año 1978 se instalan los primeros transformadores en algunos sectores del pueblo. En el primer tiempo la cooperativa local toma energía de esta línea a 33.000 volts y la distribuye al usuario final a 220 volts; pero al poco tiempo este servicio de distribución también pasó a depender de la Empresa Nacional de Agua y Energía; por lo tanto la histórica Cooperativa Limitada de Electricidad de Quemú Quemú dejaba de cumplir sus funciones específicas. Surge así la idea de que la misma siguiera prestando otro tipo de asistencia a los habitantes. El servicio de agua potable comienza a ser administrado por la misma; constituyendo el primer paso hacia lo que es hoy la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos, Crédito y Provisión de Quemú Quemú Limitada –COSYPRO Limitada-.

Al seguir incrementándose la población, en el año 1994, se recurre a la instalación de una subestación de rebaje a media tensión, dependiente de la Administración Provincial de Energía (APE), en la cuál el voltaje es rebajado de 33.000 volts a 13.000 volts. De este modo, se hace factible sectorizar la distribución mediante transformadores, que atiendan distintas Sub-zonas urbanas en las cuales se efectúa una nueva transformación de 13.200 volts a 220 volts para ser distribuída a los domicilios. Dicha estrategia de distribución permitió minimizar la extensión de los problemas ante una falla ya que mantiene acotados los mismos a las mencionada Sub-zonas.

Actualmente, en esta sección urbana, están en funcionamiento 14 transformadores pertenecientes a la Cooperativa COSYPRO Ltda., la cual se encarga del funcionamiento y mantenimiento de los mismos. Algunas de las características específicas para cada transformador se detallan en el Cuadro N° 1 (Anexo).

2.3- Metodología de muestreo

Para la selección de los puntos a muestrear sólo se tuvieron en cuenta los transformadores que presentaron en su inserción suelo y vegetación, descartándose aquellos insertos en piso de hormigón y/o asfalto (caso de los transformadores N° 8, N° 9 y N°10). Dicha selección se realizó al azar abarcando los rangos de potencia y edad.

En el verano del año 2007 se relevaron los transformadores N° 2, N° 3, N° 4, N° 7, N° 11 y N° 13, detallándose en la Figura N° 1 del ejido urbano la ubicación de los mismos:

Luego se procedió a colocar la totalidad de las muestras en una bolsa de polietileno negro para evitar el contacto con la luz, conservándose a una temperatura no superior a los 35° C para su posterior análisis en el laboratorio (Norma IRAM, 1999).

2.3.2 Toma de Muestras de Vegetación

La especie *Cynodom hirsutus* por ser dominante en el área urbana de la localidad, como así en el área donde se encuentran emplazados los transformadores eléctricos, fue la especie considerada para la determinación y cuantificación de PCBs.

Las muestras de vegetación en cada área seleccionada se tomaron a una distancia radial de 1.40 m al centro del equipo eléctrico. En el área de los transformadores, no se pudo completar el perímetro de muestreo, dado que la especie no se puede desarrollar por la presencia de calles asfaltadas y calles de tierra. De igual modo se extrajeron las cuatro muestras pero a una menor distancia completando así el medio perímetro de muestreo. En esta situación la distancia entre un punto de muestreo y otro fue de aproximadamente 1,10 m.

Una vez que se contó con las mismas se realizó un pool, para obtener así la muestra representativa correspondiente a la distancia radial mencionada.

Cada muestra representativa, constó de 150 gramos de *Cynodom hirsutus* extraída con una pala manual (Hellström *et al.*, 2004).

Cada muestra de vegetación fue colocada individualmente en bolsas de polietileno, en las que se adjuntó los datos del muestreo y el número de transformador que le correspondía. Para cada muestra se siguió el mencionado protocolo (Norma IRAM 2948-1, 1999).

Una vez concluido el relevamiento, las seis muestras, correspondientes a la vegetación extraída en el área de los seis transformadores, se colocaron en su totalidad en un recipiente de polietileno negro para evitar el contacto con la luz y se llevaron al refrigerador hasta ser extraídas para su posterior estudio. (Chen *et al.*, 2006; Hellström *et al.*, 2004)

2.3.3 Toma de Muestras de Agua, Suelo y Vegetación en la laguna “Lamper”

En una segunda etapa de muestreo (realizada durante el año 2008), se efectuó el relevamiento del área de desagüe del pueblo que comunica con la Laguna “Lamper”. Esta laguna que supera los cien años de antigüedad, pues su existencia se registra desde el asentamiento de los primeros pobladores del pueblo (Calles, 1998; Ramos de Minig, 1978), se ubica a 2 km de distancia al norte de la localidad de Quemú-Quemú.

En la *Figura N° 2* se observa una imagen satelital Landast 5 con fecha del 25/02/2009 donde se visualiza el área urbana de la localidad y la ubicación de la “Laguna Lamper”.__

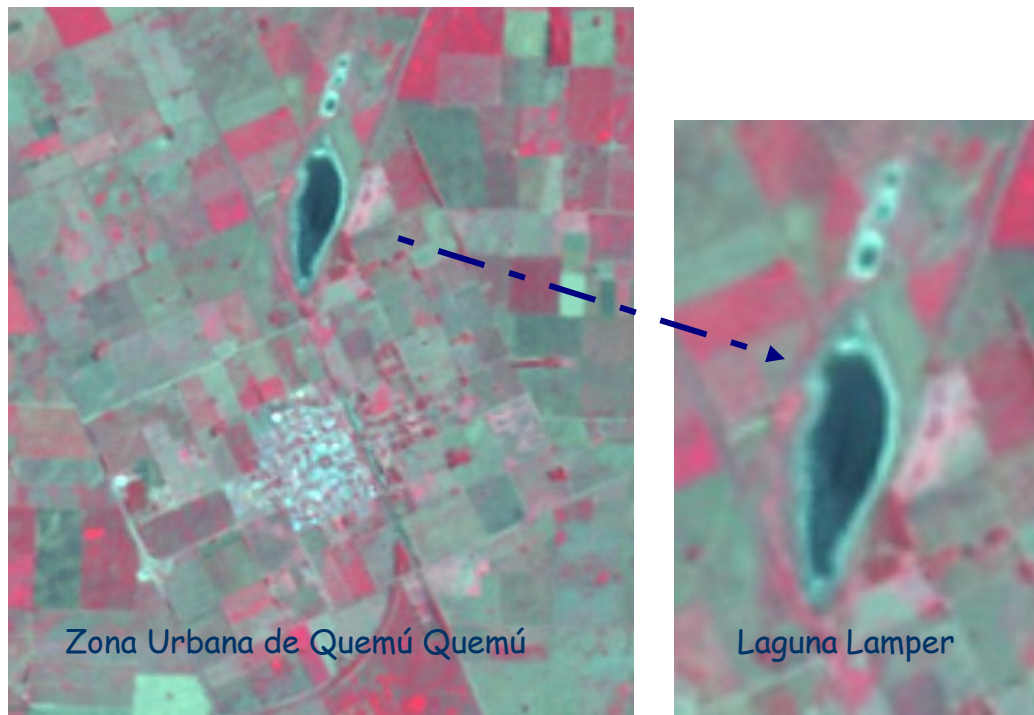


Figura N° 2: Imagen Satelital de la Zona urbana de la localidad de Quemú Quemú y ubicación de la “Laguna Lamper”.

Para determinar si existe la presencia de PCBs en agua, suelo y vegetación del área de desagüe (prelaguna), se tomaron las muestras correspondientes a cada matriz.

Si bien el área de desagüe aludida en el pasado formaba parte de la laguna, debido a las condiciones climáticas imperantes durante los últimos años, en la actualidad se encuentra sin agua.

Para las muestras de suelo se realizaron 10 hoyos con pala manual, extrayéndose una porción de suelo entre 0 y 15 cm de profundidad a lo largo de una transecta de 10 m. Una vez que se contó con las mismas se realizó un pool, obteniéndose para el área de desagüe la muestra representativa de la matriz suelo.

La especie *Cyperus alternifolius* por ser dominante en el área de estudio, fue utilizada para la determinación y cuantificación de PCBs.

Las muestras de vegetación se tomaron en el área circundante de la prelaguna (área de desagüe) abarcando el perímetro de la misma. Una vez que se contó con las mismas se realizó un pool para obtener la muestra representativa (150 grs) de la matriz vegetación.

El procedimiento en la toma de muestras de suelo y de vegetación, como así también, el almacenamiento y condiciones para el traslado al laboratorio para su posterior análisis fueron similares a las detalladas para en muestreo de vegetación y de suelo del área urbana de la localidad.

Para la toma de la muestra de agua se siguió las recomendaciones de la USEPA (1985). Se utilizó una botella de vidrio de un litro de capacidad, previamente lavada con agua destilada. La muestra fue tomada directamente desde el canal introduciendo el recipiente horizontalmente dejando que el agua corra hacia el interior completando la capacidad de la botella. La misma se cerró herméticamente, se etiquetó y se colocó en bolsas de polietileno negro para evitar el contacto directo con la luz solar. Luego fue llevada al refrigerador a 4° C aproximadamente (USEPA, 1984 a) hasta ser extraída para su posterior análisis.

2.4 Análisis de Laboratorio

La determinación y cuantificación de los PCBs en suelo, vegetación y agua, fue realizada por el laboratorio “La Pampa Agrícola”.

Las técnicas fueron desarrolladas según Norma ISO 9001-RI 9000 – 509 ajustada a la siguiente rutina.

Los procedimientos tanto en suelo como en vegetación incluyeron extracción, clean up y corrida cromatográfica.

Para la extracción se pesaron 20 g de suelo/vegetación en un matraz de 250 ml; luego se le agregó 40 g Na₂SO₄ sólido con espátula y se mezcló hasta obtener un polvo fino y que fluyera. Seguidamente se agregó 60 ml de hexano, se agitó y se colocó en ultrasonido por 10 minutos, agitándolo ocasionalmente. Se filtró a través de papel de filtro,

enjuagando el matraz con hexano, recogiendo en un balón de 500 ml. Se repitió la extracción dos veces con 60 ml de hexano cada vez, y luego se juntaron todos los extractos en el balón de 500 ml. Se evaporó a sequedad en un evaporador rotatorio por vacío a 30° C y se resuspendió el extracto en 20 ml de hexano. Inmediatamente se volvió a evaporar a 30°C y se resuspendió en 10 ml de hexano. Finalmente se pasó a un tubo de vidrio.

Para el clean-up se tomaron 5 ml del extracto en hexano y se transfirieron a un tubo de vidrio de 10 ml. Se le adicionó 2 ml de ácido sulfúrico concentrado, se agitó en vortex por un minuto y se dejó que las fases se separaran. Si la capa de hexano resultase límpida, se envía 1 ml de la capa de hexano (superior). Si la capa de hexano resultase turbia o coloreada, traspasar los 5 ml de hexano a otro tubo de 10 ml. Luego se le agrega 2 ml de solución al 5 % de permanganato de potasio, para luego agitar en vortex por un minuto, para que las fases se separen nuevamente.

Para la corrida cromatográfica inyectar el extracto en el cromatógrafo según el método PCB-SG8.M (Stachiotti, Silvia, Com. Per., 2009).

El equipo empleado para la determinación de PCBs es un cromatógrafo gaseoso marca Hewlett Packard series 6890 acoplado a un espectrómetro de masas Hewlett Packard 5972A.

El procedimiento para el análisis de agua incluye extracción, método en fase sólida y cromatografía gaseosa.

Para la extracción se transvasó 600 ml de la muestra en una ampolla de decantación, luego se extrajo con 30 ml de éter de petróleo, mezclando bien, y dejar separar las fases. Seguidamente se filtró la fase orgánica a través de Na₂SO₄, recogéndolo en un balón esmerilado de 250 ml. Los pasos, desde la extracción con 30 ml de éter de petróleo, se deben repetir dos veces. Luego la muestra se evaporó a sequedad en un evaporador rotatorio por vacío a 30° C y se resuspendió el extracto en 20 ml de hexano. Inmediatamente se volvió a evaporar a 30°C y se resuspendió en 1 ml de hexano. Al obtener un extracto claro y sin presencia de impurezas se procedió a inyectar el mismo en el cromatógrafo según el método PCB-SG8.M. El equipo empleado para la determinación de PCBs en agua es el mismo descrito para la determinación en suelo/vegetación.

El método en fase sólida se aplica en los casos en que la muestra se presente con impurezas.

3- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1) Compartimiento Suelo del Area Urbana de la Localidad

El *Cuadro N° 2* muestra las concentraciones halladas de PCBs (ppm) en el compartimiento ambiental suelo para los dos radios considerados en las áreas estudiadas de los distintos transformadores. (en el *Anexo* se presenta la *Tabla N° 1* con los resultados de los análisis de laboratorio).

Transformado r N°	Distancia a 1,4 m	Distancia a 5 m
2	0 ppm	0 ppm
3	3,34 ppm	0,07 ppm
4	0,11 ppm	0,05 ppm
7	0,10 ppm	0,15 ppm
11	1,10 ppm	0,53 ppm
13	0 ppm	0 ppm

Cuadro N° 2:

PCBs halladas en el compartimiento suelo para los dos radios considerados.

Concentraciones de

A fin de lograr un mayor efecto visual, a continuación se presentan los valores registrados de manera gráfica (*Figura N° 3 y Figura N° 4*).

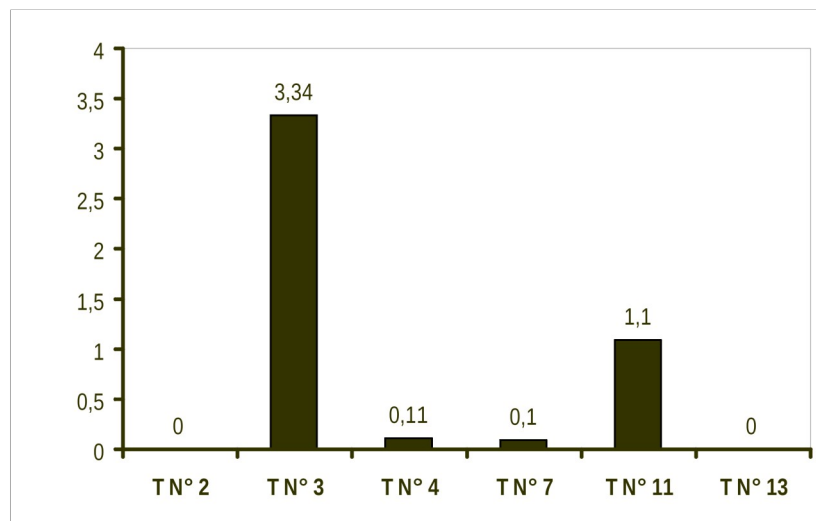


Figura N° 3: *Concentraciones de PCBs en Suelo para el radio a 1,4 m al centro del equipo.*

(TN° significa Transformador Número)

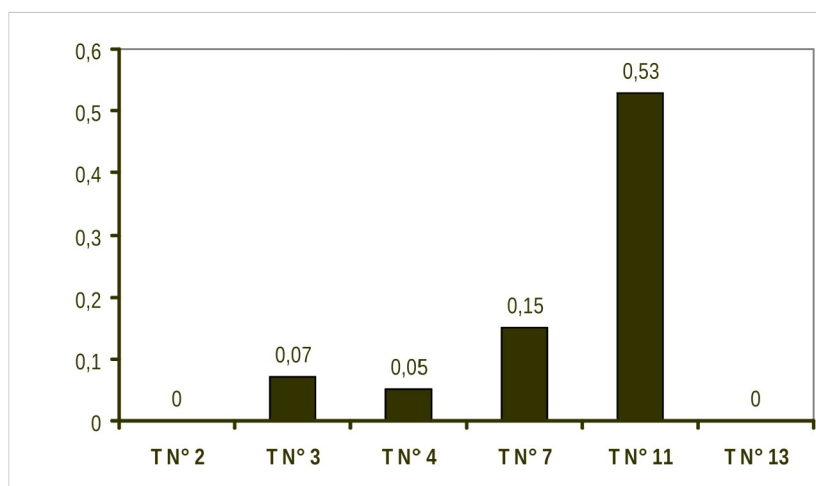


Figura N° 4: Concentraciones de PCBs en Suelo para el radio a 5 m al centro del equipo.
(TN° significa Transformador Número)

Se detectó PCBs en 8 de los 12 puntos de muestreo efectuados (Transformadores N° 3, N° 4, N° 7 y N° 11), mientras que en los 4 restantes, los valores fueron menores al límite de detección, que para el instrumental utilizado fue de 0,05 ppm (Transformadores N° 2 y N° 13). Sin embargo, se aclara que este resultado no dice que el suelo no posea PCB, sólo indica que el aparato no es capaz de determinar concentraciones más bajas que la referencia. Resulta apropiado mencionar que, los PCBs al tratarse de “Sustancias Xenobióticas” no deberían estar presentes en los compartimientos analizados, por lo que al detectarse un mínimo de estos, es indicio suficiente de contaminación, independientemente de que si las concentraciones halladas se encuentren dentro de los Límites Máximos Permisibles establecidos por la Legislación vigente.

La antigüedad de los aparatos (N° 2 y 13) es de 30 años y 13 años respectivamente, funcionando a una potencia de 300 KW y 250 Kw.

Las concentraciones de PCBs encontradas a una distancia radial de 1,4 m al centro del equipo eléctrico, variaron en un rango de 0 ppm a 3,34 ppm. El rango de variación para una distancia radial de 5 m al centro del equipo, fue de 0 ppm a 0,53 ppm.

El suelo del transformador que más concentración de PCBs registró fue el N° 3 con 3,34 ppm. La antigüedad del mismo es de 30 años y funciona a una potencia de 500 Kw. Este equipo eléctrico, que se encuentra aledaño al ejido urbano asfaltado más densamente poblado, está inserto en un ambiente con menor presión antrópica (*Figura N° 1*).

El transformador N° 11 con 1,10 ppm de PCBs presentes en el suelo, registró el segundo valor más alto. Este opera a una potencia de 160 KW y la antigüedad del mismo es de 4 años. Este equipo, fue reemplazado, debido a que se detectó una concentración de

PCBs en el aceite de 30 ppm (COSYPRO Cooperativa Ltd., Com. Per., 2007). Contrariamente al emplazamiento descrito para el transformador N° 3, el aparato N° 11 se encuentra inserto en ejido urbano asfaltado de mayor concentración poblacional.

Backe *et al.*, 2004, realizaron mediciones de PCBs en Suecia en sitios con distintos usos de suelos. En este trabajo las concentraciones de PCBs variaron en un rango de 0,003 ppm a 0,986 ppm, asemejándose el extremo máximo a la concentración detectada en el área del transformador N° 11 (1,10 ppm), de Quemú Quemú. En contraste, los valores detectados en los transformadores N° 3 y 11 (3,34 ppm y 1, 10 ppm) son muy superiores a los encontrados en suelos urbanos de Alemania (Krauss and Wilcke, 2003) y en suelos urbanos de Moscú (Wilcke *et al.*, 2006).

El amplio rango entre las concentraciones de PCBs de suelos de un mismo ambiente, como las encontradas en el presente trabajo, han sido atribuidas a las propiedades del suelo (tipo, textura y contenido de MO), la proximidad a fuentes contaminantes y la dirección del viento (Backe *et al.*, 2004). En un trabajo que involucró el estudio de áreas de distinta intensidad de presión antrópica Backe *et al.*, 2004, detectaron las más altas concentraciones (0,332 ppm) en un sitio costero con muy baja presión antrópica y las menores (0,0026 ppm) en un sitio urbano donde la presión es más fuerte.

Una gran variación en la concentración de PCBs también fue hallada por Creaser and Fernandez (1986) en locaciones rurales y urbanas de Gran Bretaña. Las mismas oscilaron en rangos de 0,0023 a 0,44 ppm. La mayoría de las concentraciones en este estudio fueron por debajo de 0,02 ppm (Backe *et al.*, 2004).

Así mismo, Krauss and Wilcke (2003) realizaron determinaciones de PCBs en Bayreuth (Alemania) en suelos de distintos sitios y con distintos usos (área urbana, área rural, sitios con industrias, jardines de casas, rutas, etc). Para el área urbana los valores oscilaron en un rango de 0,00082 a 0,158 ppm, con una media de 0,013 ppm, cuyo valor es considerado bajo por los autores. Las mayores concentraciones fueron detectadas en los jardines de casas (rango de 0,0028 a 0,158 ppm, con una media de 0,0148 ppm) y en sitios con industrias (rango de 0,0023 a 0,0702 ppm, con una media de 0,0219 ppm). El extremo máximo encontrado por estos autores, es similar al detectado para el área aledaña al transformador N° 7 a una distancia a 5 m del centro del equipo. Asimismo, es importante señalar que las medias de las concentraciones en Alemania fueron similares en el centro de la ciudad y en las partes más alejadas, mientras que las concentraciones en las áreas rurales fueron 5 veces más bajas.

En todos los casos las referencias citadas siempre fueron inferiores al límite máximo registrado para el área urbana de Quemú Quemú, y en algunos casos, fueron semejantes al valor mínimo detectado en nuestra área de estudio.

3.1.a) Análisis de los valores detectados de PCBs para los dos radios considerados

Para las muestras tomadas a una distancia de 1,4 m al centro del equipo la media de los datos es de 0,775 y el desvío estándar de 1,32. La media correspondiente a la distancia radial a 5 m al centro del equipo es de 0,133 y el desvío estándar de 0,202.

Wilcke *et al.* (2006) para poder determinar un gradiente de concentración urbano-rural en Moscú, realizaron su estudio tomando muestras en áreas con distintos usos de suelo (sitios con forestaciones, sitios con vegetación herbácea) y a distintas distancias del centro de la ciudad. Las concentraciones medias halladas de PCBs estuvieron comprendidas en un rango que fue de 0,005 a 0,03 ppm. Las concentraciones medias para suelos con pastos (como las del presente trabajo) fluctuaron de 0,005 a 0,027 ppm. Las mayores concentraciones de PCBs se dieron en suelos con uso forestal.

Las concentraciones medias registradas en Quemú Quemú para los radios considerados son mayores a las encontradas en Moscú por Wilcke *et al.* (2006).

Las concentraciones detectadas en las áreas de los transformadores N° 3, N° 4 y N° 11 registraron valores más elevados a 1,4 m que a 5 m de distancia al centro del equipo, siendo la excepción el área del transformador N° 7. La concentración hallada a una distancia de 5 m al centro del equipo fue de 0,15 ppm, mientras que la cuantificada a 1,4 m de distancia fue de 0,10 ppm.

El emplazamiento de este equipo data desde hace 13 años, operando a una potencia de 200 KW, y en su historial consigna que sufrió pérdidas de aceite entre los años 1990 y 1995 (COSYPRO Cooperativa Ltda, Com. Per., 2009). Un factor de vital importancia es la intensa actividad antrópica que se genera en estos ambientes, modificando constantemente el entorno urbano, por lo que se dificulta más el análisis histórico de datos y puede colaborar en la obtención de valores como los detectados en el área del transformador N° 7.

El aceite de los equipos eléctricos generalmente contiene congéneres de PCBs dominados por 5 a 8 átomos de cloro (Backe *et al.*, 2004), por lo que cabría esperar un alto

porcentaje de congéneres pesados en el suelo si se han producido derrames accidentales, explosiones, o contaminación de materiales que estuvieron en contacto con esta sustancia. Sin embargo el presente estudio no involucró determinaciones de congéneres de PCBs que pudieran corroborar lo expuesto por estos autores, debido a los costos que implican estas técnicas.

3.1.b) Comparación de medias en los distintos radios considerados

Si bien la media de concentración estimada para el conjunto de datos correspondientes al primer radio es mayor que la media estimada para el segundo radio (Figura N° 5), los datos presentan mucha dispersión, exhibiendo un desvío estándar mucho mayor a la media. Esto hace difícil encontrar algún patrón de dispersión, tanto dentro de un mismo radio o entre los distintos radios considerados.

Si consideramos las medias estimadas en cada radio (Figura N° 5), se registró una disminución de 0,642 ppm en los 3,60 m de distancia que separa la toma de muestras, es decir de radio a radio, por lo que en promedio disminuye 0,17833 ppm por metro lineal de área a área.

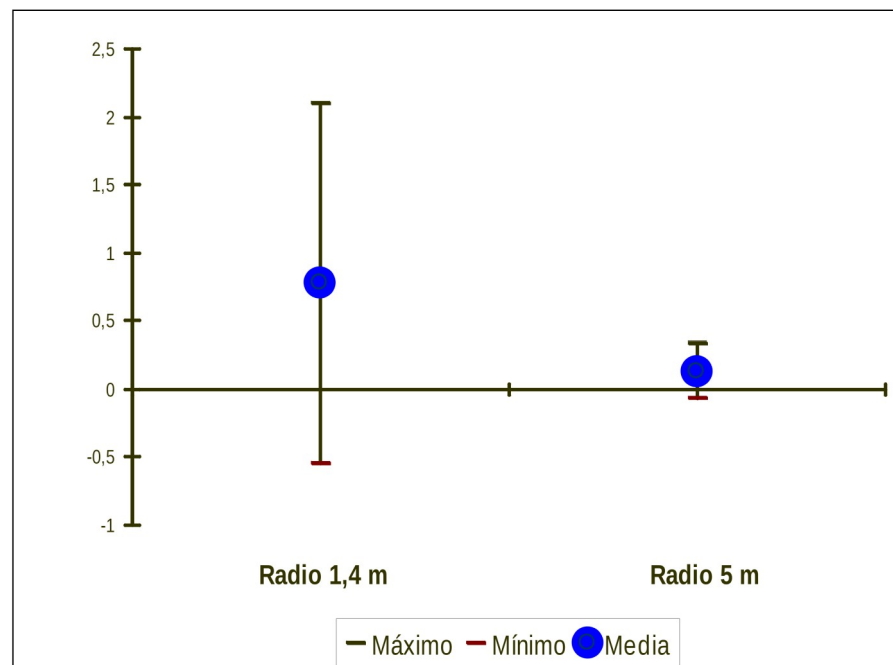


Figura N° 5: Media y desvío estándar de los datos correspondientes al primer radio (1,4 m) y al segundo radio (5 m) para el compartimiento ambiental suelo.

Wilcke *et al.*, 2006 y Krauss and Wilcke, 2003 concluyeron que la concentración detectada de PCBs en suelos disminuye a lo largo de una transecta urbano-rural estando en función directa de la existencia de sitios con fuentes específicas de emisión de estos compuestos.

Para determinar si existe algún grado de relación entre las variables concentraciones de PCBs en las diferentes áreas de los transformadores considerados se confrontaron las mismas con las variables potencia (KW) y edad de emplazamiento (años) de los equipos eléctricos (*Gráficos N° 1, N° 2, N° 3 y N° 4*).

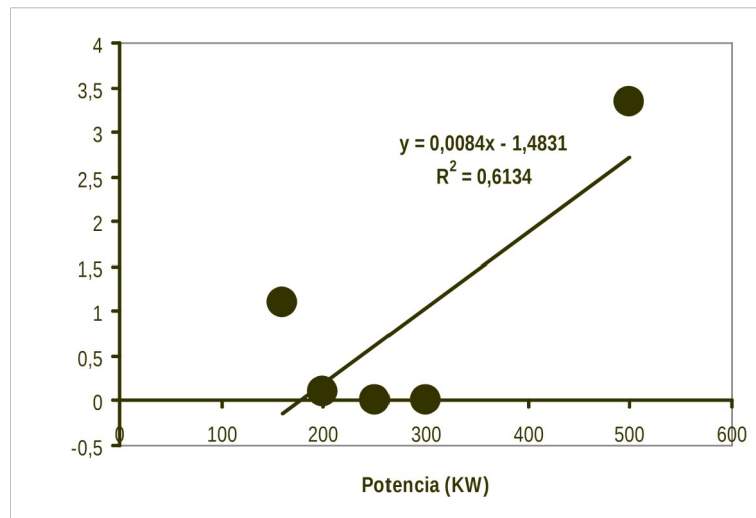


Gráfico N° 1: Relación entre ppm de PCBs en suelo y potencia (KW) de los equipos para el radio a 1,4 m.

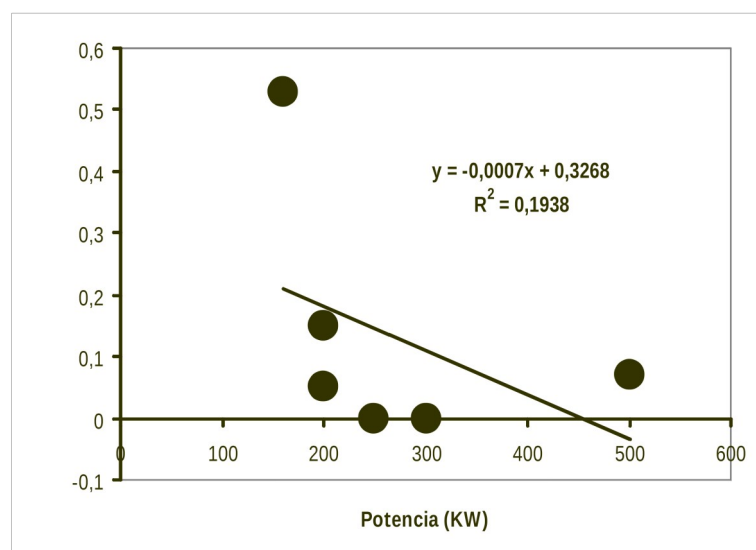


Gráfico N° 2: Relación entre ppm de PCBs en suelo y potencia (KW) de los equipos para el radio a 5 m.

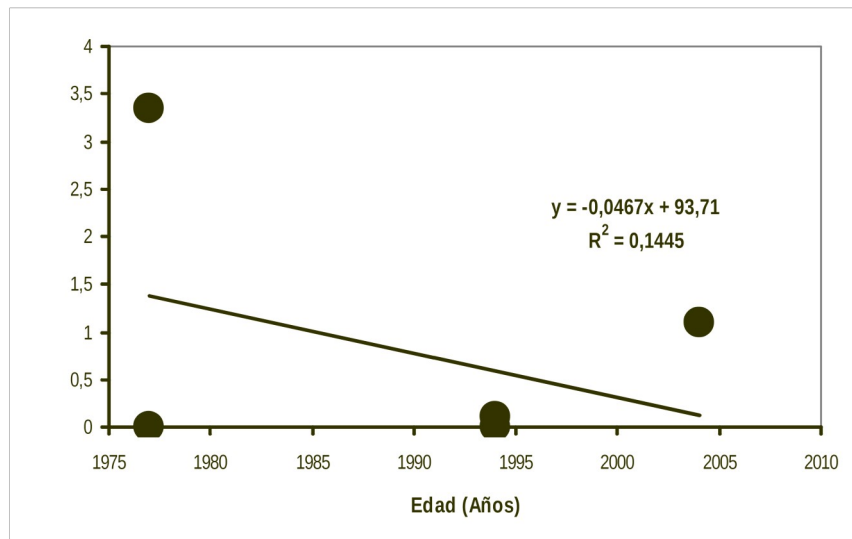


Gráfico N° 3: Relación entre ppm de PCBs en suelo y años de emplazamiento de los equipos para el radio a 1,4 m.

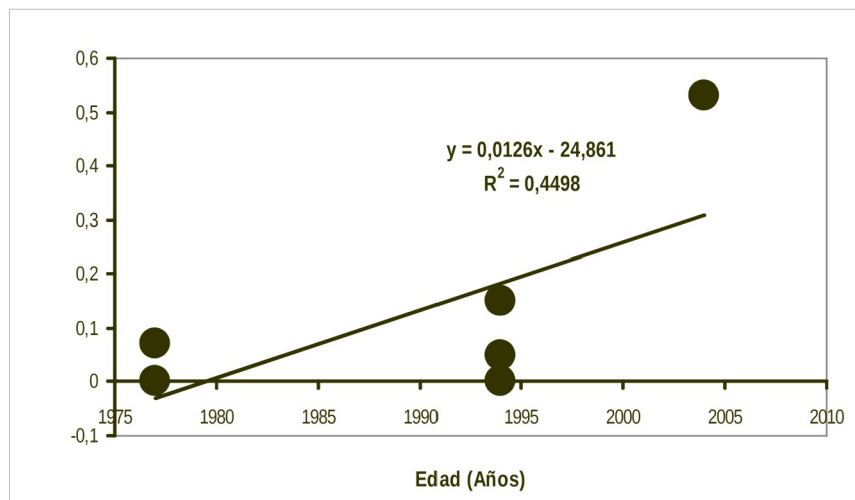


Gráfico N° 4: Relación entre ppm de PCBs en suelo y años de emplazamiento de los equipos para el radio a 5 m.

La concentración de PCBs detectada en el suelo no puede atribuirse a la potencia a la que operan los transformadores por ser variable en todos ellos (160 KW, 200 KW, 250 KW, 300 KW y 500 KW).

En relación a lo comentado, resulta apropiado mencionar, que para el radio a 1,4 m el suelo del transformador N° 3 que opera a 500 KW midió 3,34 ppm de PCBs, mientras que el suelo del equipo N° 11 que opera a 160 KW registró 1,10 ppm. Sin embargo, en los

transformadores N° 4 y N° 7 que operan a 200 KW, se cuantificó 0,11 y 0,10 ppm de PCBs.

Asimismo, en las muestras de suelo de los equipos N° 2 y N° 13 no se cuantificó el compuesto, operando estos a 300 KW y 250 KW respectivamente.

Al analizar los niveles detectados para el segundo radio (5m), surge que, en el área del transformador N° 3, el suelo concentró 0,07 ppm de PCBs, operando este a 500 KW, mientras que, el suelo del área del equipo N° 11 que opera a 160 KW registró 0,53 ppm.

Complementando a lo manifestado, hay que tener presente que, otros factores (ambientales, antrópicos), pueden modificar las concentraciones de estos compuestos en el compartimiento suelo.

De igual modo, se cuantificó PCBs en las áreas de los equipos eléctricos más añejos como en el área del más nuevo. Resultaría acertado suponer que, en las áreas de los equipos más antiguos, las concentraciones detectadas fueran mínimas, debido a que los PCBs con el paso del tiempo han sufrido procesos como degradación, movilización o volatilización. En cambio, para aquellos equipos de menor edad, las concentraciones debieran ser mayores. Sin embargo, los patrones de distribución de estos compuestos en ambientes urbanos, están sujetos a modificaciones constantes, debido a la gran heterogeneidad de factores antrópicos que pueden actuar sobre estos, como así también, las propiedades específicas de los compuestos en cuestión.

Para el caso particular del transformador N° 11, se justificaría lo expresado anteriormente, dado que, el mismo fue reemplazado por la Cooperativa de Electricidad, ya que, el transformador que operaba anteriormente contenía en su aceite refrigerante 30 ppm de PCBs. Surge aquí la inquietud de que, si la concentración cuantificada en la actualidad se le puede atribuir al equipo nuevo o puede provenir de las pérdidas que pudo haber sufrido el equipo anterior. Sin embargo, el equipo eléctrico N° 3, que data desde hace 30 años, fue el que registró la mayor concentración de PCBs (3,34 ppm), por lo que, o bien este aparato ha tenido pérdidas recientes del compuesto, o bien, los congéneres liberados años atrás, al presentar una elevada cloración, han contribuido a que queden inmovilizados en el suelo, no pudiendo degradarse o volatilizarse.

Por todo lo expuesto, no podemos atribuir que, la variable edad de emplazamiento de los equipos eléctricos, esté en función directa de los niveles de PCBs detectados en el compartimiento suelo.

Al correlacionar las concentraciones halladas con los los Niveles Guía de Calidad de Suelos establecidos por Ley Nacional N° 24051/92 y su Decreto N° 831/93, por Ley

Provincial N° 1466 y su Decreto N° 2454, y por los Niveles Guía de Calidad para la Protección del Medio Ambiente y la Salud Humana establecidos por CCME (1999) (suelos con utilización residencial/parques concentración de 5 mg/kg de PCBs), las mismas se encuentran por debajo de los valores permisibles.

Atendiendo a que, para estos compuestos, la vida media en suelos es de 6 años (PNUMA, 2002; FAO y PNUMA; 1992), es de suponer que, en las áreas de los transformadores N° 3, N° 4 y N° 7, las pérdidas de PCBs ocurrieron en el lapso de tiempo comprendido entre los años 2001 y 2007, y que para el área del transformador N° 11, entre los años 2004 y 2007.

3.2) Compartimiento Vegetación del Area Urbana de la Localidad

Las concentraciones halladas de PCBs (mg/kg) en la matriz vegetación (*Cynodon hirsutus*) para el radio considerado se detallan en el Cuadro N° 3 (en el Anexo se presenta la Tabla N° 1 con los resultados de los análisis de laboratorio).

Transformador N°	Distancia a 1,4 m
2	0,07 mg/kg
3	0,09 mg/kg
4	0,01 mg/kg
7	0,03 mg/kg
11	0,45 mg/kg
13	0,08 mg/kg

Cuadro N° 3: Concentraciones de PCBs halladas en *Cynodon hirsutus* a una distancia de 1,4 m del transformador eléctrico.

A continuación se presentan los valores registrados de manera gráfica (Figura N° 6).

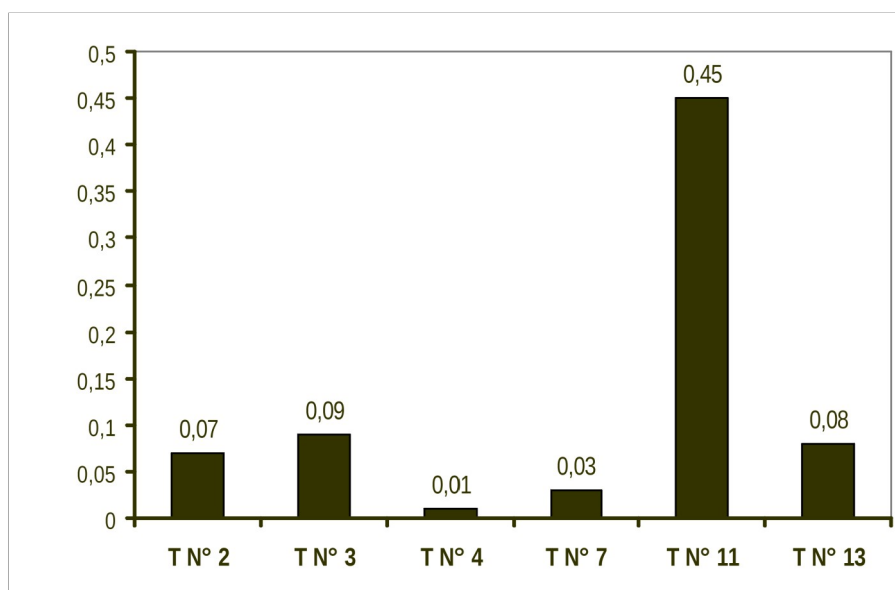


Figura N° 6: Concentraciones de PCBs en Vegetación para el radio a 1,4 m al centro del equipo.
(TN° significa Transformador Número)

Se registró PCBs en la totalidad de los puntos de muestreo efectuados (6).

Los niveles cuantificados de PCBs oscilaron en un rango de 0,01 mg/kg a 0,45 mg/kg. La vegetación circundante al transformador N° 11 fue la que registró el valor máximo (0,45 mg/kg) y la vegetación del transformador N° 4 la que registró el valor mínimo (0,01 mg/kg). Ambos equipos se encuentran en el ejido urbano más densamente poblado, en un ambiente con mayor presión antrópica (*Figura N° 1*).

En el área del transformador N° 2 *Cynodon hirsutus* registró 0,07 mg/kg de PCBs, siendo este valor similar al extremo máximo detectado por Wyrzykowska *et al.* (2006), en ejemplares de *Pinus thunbergii* Parl. y *Pinus densiflora* Sieb y Zucc, en el área urbana de Tokio. En este lugar las concentraciones variaron en un rango de 0,005 mg/kg a 0,073 mg/kg, detectándose los mayores registros en áreas densamente pobladas.

3.2. a) Análisis de los valores detectados de PCBs para la matriz vegetación.

A una distancia de 1,4 m al centro del equipo la media de los datos es de 0,12 y el desvío estándar de 0,16. En el *Figura N° 7* se visualizan los valores mencionados anteriormente.

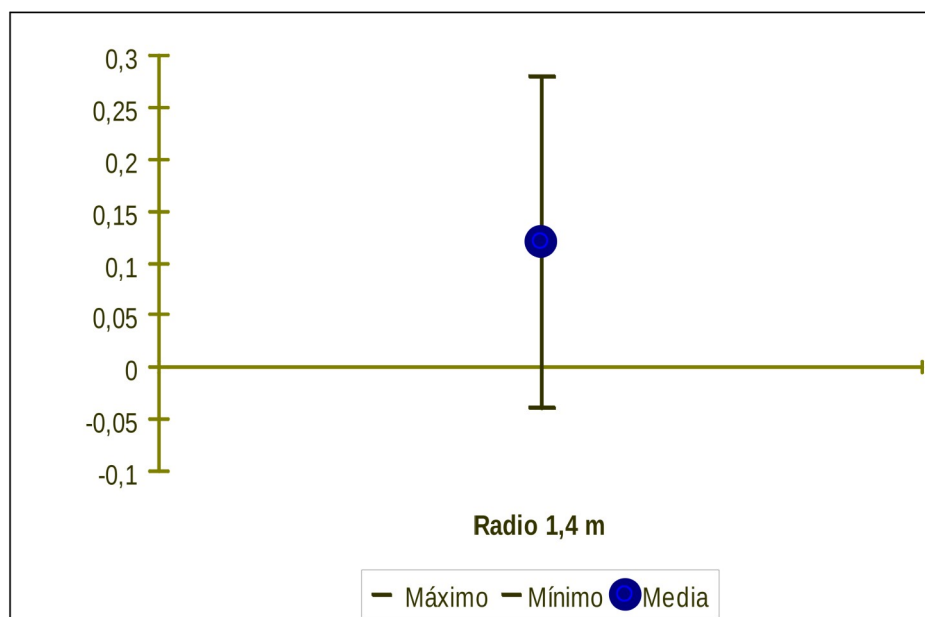


Figura N° 7: Media y desvío estándar de los datos correspondientes al radio de 1,4 m para el compartimiento ambiental vegetación.

Para las áreas de los transformadores N° 3, N° 4, N° 7 y N° 11 se registró PCBs tanto en vegetación como en suelo. El máximo valor detectado en vegetación (0,45 mg/kg) fue el transformador N° 11, que a su vez, es el segundo valor más alto (1,10 ppm) registrado para el compartimiento suelo. Sin embargo, para el máximo valor presente en suelo (3,34 ppm), en la vegetación la concentración fue de 0,09 mg/kg (Transformador N° 3).

Esto estaría indicando que, independientemente de las entradas directas de estos compuestos al suelo (derrames puntuales), las concentraciones de PCBs provenientes de la descomposición vegetal, pueden aumentar la carga de PCBs en el suelo (Backe *et al.*, 2004).

De todos modos, hay que tener presente, que la acumulación de PCBs en tejidos vegetales, puede resultar de la asimilación de las raíces de las plantas desde suelos contaminados o por movimientos localizados de suelos contaminados (CCME, 1999).

A pesar de lo comentado en el párrafo anterior, si bien se registró cierta concentración de PCBs en la vegetación aledaña a los transformadores N° 2 y N° 13, se hubiese esperado un nivel de concentración en el compartimiento suelo, situación que no ocurrió. Estos hallazgos parecieran demostrar que la vegetación está acumulando estos compuestos a partir de niveles presentes en la atmósfera (Chen *et al.*, 2006), y que aún no han sido incorporados al suelo. Se evidencia así que, en las áreas de los equipos N° 2 y N°

13, estos compuestos no están siendo acumulados en el suelo, y que, de haber estado allí, han sido sometidos a procesos de degradación, lixiviación o volatilización.

Los PCBs depositados y retenidos en el suelo por la descomposición vegetal probablemente son los de mayor peso molecular, mientras que, los de menor peso molecular serían sometidos a procesos de volatilización (Backe *et al.*, 2004; CCME, 1999; FAO, 2000).

Reafirmando lo mencionado, Thomas *et al.*, 1998, manifiestan que, el camino fase gaseosa- hoja de la planta, demuestra que es la mejor ruta de transferencia de los PCBs a las hierbas.

Por otro lado, al igual que en el área de estudio de Quemú Quemú, en todas las muestras analizadas de *Pinus Sylvestris* de Polonia (Wyrzykowska *et al.*, 2006) se cuantificó PCBs. Los niveles presentes en las agujas de pinos variaron en un rango de 0,0028 mg/kg a 0,05 mg/kg, manifestándose los máximos cerca de centros urbanos con usos pasados o actuales de esta sustancia.

En el área urbana de Dalian, China, los valores mínimos detectados en *Cedrus Deodara*, son del orden de 1×10^{-7} mg/kg y los máximos de 5×10^{-7} mg/kg (Chen *et al.*, 2006). Los registros para *Cynodon hirsutus* en Quemú Quemú están por encima de los cuantificados en China.

Para determinar si existe algún grado de relación entre las variables concentraciones de PCBs en las diferentes áreas de los transformadores considerados se confrontaron las mismas con las variables potencia (KW) y edad de emplazamiento (años) de los equipos eléctricos (*Gráficos N° 5 y N° 6*).

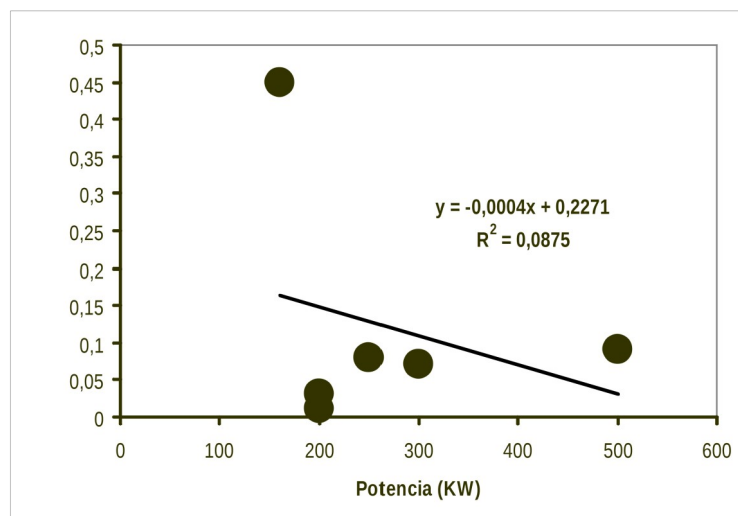


Gráfico N° 5: Relación entre ppm de PCBs en vegetación y potencia (KW) de los equipos para el radio a 1,4 m.

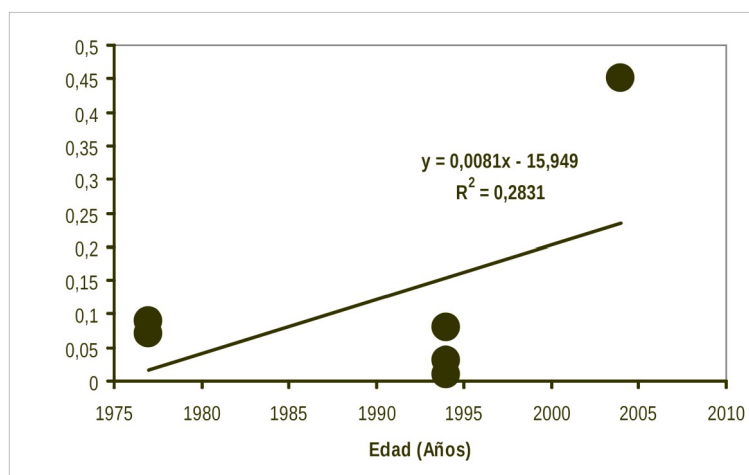


Gráfico N° 6: Relación entre ppm de PCBs en vegetación y años de emplazamiento de los equipos para el radio a 1,4 m.

Al analizar los niveles de estos compuestos en la vegetación con la potencia a la que operan los equipos, no se puede establecer una relación directa, dado que, para todas las potencias consideradas (160 KW, 200 KW, 250 KW, 300 KW y 500 KW) se cuantificó cierto nivel de PCBs. La vegetación del área del equipo eléctrico N° 11, registró 0,45 mg/kg, operando el mismo a 160 KW, mientras que, la vegetación aledaña al transformador N° 3, que opera a 500 KW, midió 0,09 mg/kg de PCBs. En relación a los equipos N° 4 y N° 7, que ambos trabajan a una potencia de 200 KW, los registros indican concentraciones de 0,01 mg/kg y 0,03 mg/kg.

Como la variable potencia no es constante, no podemos atribuir a que las concentraciones detectadas se correspondan directamente con una determinada potencia en particular. Adicionando a lo observado, hay que tener presente que otros factores (ambientales, antrópicos), pueden modificar las concentraciones de estos compuestos en la vegetación.

Por otro lado al considerar la variable años de emplazamiento de los equipos con los valores detectados, en líneas generales, es de suponer que, en aquellos equipos de mayor antigüedad, las concentraciones detectadas en la actualidad sean mínimas, atendiendo a que, los compuestos con el pasar de los años pueden haber sufrido procesos que modifiquen sus concentraciones (degradación, volatilización). Sin embargo, no hay que descartar la posibilidad de que en tiempos recientes, se hayan incorporando estos compuestos a la vegetación, lo que puede aumentar los niveles presentes en la matriz

analizada. Atendiendo a esto, para los equipos eléctricos que datan desde hace 30 años (N° 2 y N° 3), la sp *Cynodon hirsutus* acumuló 0,07 mg/kg y 0,09 mg/kg, para los equipos de 13 años (N° 4, N° 7 y N° 13), los niveles registrados fueron de 0,01 mg/kg, 0,03 mg/kg y 0,08 mg/kg, mientras que, para el equipo que data desde hace 3 años (N° 11), la concentración fue de 0,45 mg/kg.

En relación a lo expresado para el equipo N° 11, surge el interrogante si lo que acumuló la vegetación proviene de las pérdidas del equipo que funcionaba anteriormente a este, o bien, se le puede atribuir al equipo nuevo (N° 11).

Si bien se cuantificó PCBs en la totalidad de las muestras de vegetación, no se puede indicar que la variable edad de emplazamiento de los equipos condicione los niveles de estos compuestos en el compartimiento analizado, ya que factores independientes a las características de los equipos, pueden modificar los patrones de distribución de estos compuestos en la matriz analizada.

En su conclusión Wyrzykowska et al., 2006, revelan que, la detección de PCBs en el ambiente es suficiente evidencia de que en un pasado se han fabricado, almacenado o utilizado formulaciones de estos compuestos.

3.3- Laguna Lamper: Compartimiento Agua, Vegetación y Suelo

Las determinaciones realizadas en suelo, en vegetación y en agua en el área de desagüe de la laguna Lamper, para los tres casos los valores estuvieron por debajo del límite de detección (0,05 ppm, 0,05 ppm y 2,5 ppb respectivamente) (en el Anexo se presenta la Tabla N° 1 con los resultados de los análisis de laboratorio). Estos valores no implican necesariamente que el ambiente estudiado no esté contaminado con PCBs.

Al no detectarse PCBs en el área de desagüe, estaría indicando que no existe actualmente el desplazamiento de los mismos desde la zona urbana hacia el área de la laguna. Sin embargo, esto no asegura que, pueda haber movilización de los mismos, cuando las condiciones climáticas actuales se modifiquen.

4- CONCLUSION

Si bien los valores hallados en el compartimiento suelo se encuentran por debajo de los Niveles Guía de Calidad de Suelos (residencial/parques concentración de 5 mg/kg de PCBs), su presencia indica la entrada de PCBs al ambiente.

Sin embargo, por definición las “Sustancias Xenobióticas” son compuestos que no se encuentran en forma natural en el medio ambiente. Considerando que, los PCBs, son formulaciones cuya existencia se debe únicamente a la actividad antrópica, al ser detectados en el suelo y en la vegetación aledaña a los transformadores eléctricos que operan en el área urbana de la localidad de Quemú Quemú, se confirma la hipótesis planteada en esta investigación.

Por detectarse PCBs solamente en el área urbana, es factible que los congéneres de PCBs que fueron cuantificados en las áreas de los transformadores N° 3, N° 4, N° 7 y N° 11 sean los que presenten alta cloración lo que les confiere la propiedad de quedar inmovilizados en el suelo (FAO, 2000; CCME, 1999). Los congéneres de bajo grado de cloración, por las características de los mismos, si han estado o están presentes en el ambiente pueden haber sufrido procesos de volatilización desde la superficie del suelo o haberse lixiviado a través del mismo, por lo que no es factible detectarlos en este compartimiento (CCME, 1999). Este razonamiento podría explicar el caso puntual de los equipos eléctricos N° 2 y N° 13, donde no se cuantificó PCBs en el compartimiento suelo, pero sí en la vegetación aledaña. Por otro lado, independientemente de que el suelo presente cierta concentración de PCBs, las hojas y los tallos pueden enriquecerse de estos por estar presentes en la atmósfera.

La FAO (2000) recomienda que cuando las concentraciones halladas son inferiores a las previstas, o por defecto, cuando son superiores se debiera proceder nuevamente a la toma de las muestras y su posterior cuantificación, ya que los resultados de una única muestra solo se consideran fiables si han sido confirmados por los resultados de una segunda muestra. Dado los costos de las determinaciones y cuantificaciones de estos compuestos, resultó económicamente inviable aplicar esta recomendación de la FAO. No obstante las cuantificaciones realizadas sirven de base para futuras investigaciones con similares líneas de estudio.

El ambiente urbano se caracteriza por estar sujeto a cambios impredecibles que pueden influenciar los niveles presentes de esta sustancia en los compartimentos analizados. Las propias características físico-químicas de los PCBs del mismo modo

pueden afectar el comportamiento de estos compuestos en el ambiente. Pero en última instancia lo que determina que, tanto en el suelo y como en la vegetación, estos compuestos sean detectados, son los derrames accidentales de estas sustancias desde los transformadores eléctricos (fuentes puntuales de emisión) (Wilcke *et al.*, 2006; Krauss and Wilcke, 2003).

Atendiendo a esta observación, al detectarse PCBs tanto en el suelo como en la vegetación, se confirma que los equipos eléctricos que operan en el área urbana han liberado accidentalmente PCBs, y que, debido a las propiedades de persistencia y bioacumulación, al presente son cuantificables.

4.1 Consideraciones Finales

En base a los resultados obtenidos en este trabajo se recomienda a las dependencias ambientales gubernamentales la implementación de programas más exhaustivos de evaluación de fuentes de sustancias tóxicas persistentes, ya que se ha prestado muy poca atención a la identificación y cuantificación de las mismas.

Otro aspecto que requiere atención en el futuro, son las evaluaciones toxicológicas y ecotoxicológicas de estas sustancias, como así también, se debería fortalecer el desarrollo e implementación de tecnologías para el debido almacenamiento y destrucción final tanto a nivel nacional como provincial de Sustancias Tóxicas Persistentes.

5- BIBLIOGRAFIA

- * Angelini, N y Siegneur, G. (1992). *Investigación de residuos de sustancias organocloradas en peces del río Uruguay*. Publicaciones de la Comisión Administradora del Río Uruguay. Serie Técnico-Científica, 1: 36-42.
- * Atlas, E., C. S. Giam. (1981). *Global transport of organic pollutants: ambient concentrations in remote marine atmosphere*. Science, 211:163.
- * Backe, C., I. T. Cousin, P. Larsson. (2004). *PCB in soils and estimated soil-air exchange fluxes of selected PCB congeners in the South of Sweden*. Environmental Pollution, 128: 59-72.
- * CCME. (Agust 1986). Canadian Council of Resource and Environment Ministers. *The PCB Story*. 60 Bloor Street West. Suite 701. Toronto, Ontario. M4W3B8.
- * CCME. (1999). Canadian Council of Ministers of the Environment. *Canadian Soil Quality Guidelines por the Protection of Environmental and Human Health. Polychlorinated Biphenyls (Total)*.
- * Calles, José M. (1998). *Quemú Quemú algo más de un siglo*. Talleres Gráficos “IMPACTO”, Sarmiento 452, Quemú Quemú, La Pampa.
- *Cano, E., Casagrande, G., Conti, H. A., Salazar Lea Plaza, J. C., Peña Zubiate, C. A., Martinez, H., Hevia, R., Scoppa, C. O., Fernandez, B., Montes, M. A., Maldonado Pinedo, D., Musto, J. C., Pittaluga, A. (1980). *INVENTARIO INTEGRADO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA. Clima, Geomorfología, Suelo y Vegetación*. INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. PROVINCIA DE LA PAMPA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA. Talleres del Instituto Salesiano de Artes Gráficas (ISAG). Don Bosco 4053. Buenos Aires.

- * Cano, E (1988). *Pastizales Naturales de La Pampa. Descripción de las Especies más importantes*. Tomo I. Convenio AACREA-Provincia de La Pampa. Zona Semiárida.
- * Chen, J., Zhao, H., Gao, L., Henkelmann, B., Werner Schramm, K. (2006). *Atmospheric PCDD/F and PCB levels implicated by pine (Cedrus deodara) needles at Dalian, China*. Environmental Pollution, 144: 510- 515.
- * Cooperativa de Obras y Servicios Públicos, Crédito y Provisión de Quemú Quemú Limitada –COSYPRO Ltda- (2007 y 2009). Comunicación Personal Sr. Bouza Aristides, Sr. Guarido Martín y Sr. Paesani Roberto.
- * Creaser, C. S. and Fernandez, A. R. (1986). *Background levels of polychlorinated biphenyls in British soils*. Chemosphere, 15: 499- 508.
- * Curtis, H y Barnes, N. S. (1999). *Biología Quinta Edición*. Editorial Medica Panamericana, Sección 5: 639-644.
- * De Boer, J. y Wells, D.E. (1997). *Chlorobiphenyls and Organochlorine Pesticides in Fish and Sediments – Three Years of QUASIMEME Laboratory Performance Studies*. Marine Pollution Bulletin,35: 52-63.
- * Del Grande, M., Oliveira Rezende, M., Rocha, O. (2003). *Distribution of organochlorine compounds in water and sediments from Pracicaba River Basin/SP – Brazil*. Quim. Nova, 26, N° 5: 678-686.
- * FAO y PNUMA. (Roma-Ginebra, 1992). Programa Conjunto FAO/PNUMA para la aplicación del principio de información y consentimiento previos. Aplicación del Procedimiento de Información y Consentimiento previos a las sustancias químicas prohibidas o severamente limitadas que circulan en el comercio internacional. *Documentos de Orientación en la toma de decisiones: Bifenilos Policlorados*.

- * FAO. (2000). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Evaluación de la Contaminación de Suelos: Manual de Referencia. Apéndice 4. Hoja de Datos sobre compuestos químicos: PCBs*. Depósito de Documentos de la FAO. Producido por en Departamento de Agricultura de la FAO. www.fao.org/index_es.htm.

- * Flynn, I.T. (1991). *Preocupación Sobre la Salud Pública Acerca de los Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ambiente*. American Council on Science and Health (ACSH) y la Fundación Argentina de Ecología Científica (FAEC).

- * Hellström, A, H. Klym, W. M. J, Strachan, S. Jensen. (2004). *Distribution of some organochlorine compounds in pine needles from Central and Northern Europe*. Environmental Pollution, 128: 29-49.

- * IOMIC. (Septiembre de 2000). Programa Interinstitucional para el Manejo adecuado de los Productos Químicos. Acuerdo de cooperación entre PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR, y OCDE. *FMAM: Evaluación en base regional de Sustancias Tóxicas Persistentes. Documento Guía para el acopio, la reunión y la evaluación de datos sobre fuentes, concentraciones ambientales y efectos de sustancias tóxicas persistentes*.

- * Krauss, M., Wilcke, W., Zech, W. (2000). *Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in forest soils: depth distribution as indicator of different fate*. Environmental Pollution, 110: 79-88.

- * Krauss, M. and Wilcke, W. (2003). *Polychlorinated naphthalenes in urban soils: analysis, concentrations, and relation to other persistent organic pollutants*. Environmental Pollution, 122: 75-89.

- * Ley Nacional N° 26.011. *Convenio de Estocolmo- Contaminantes Orgánicos Persistentes (POPs)*. Sancionada: 16/12/2004. Publicada en Boletín Oficial: 17/01/2005.

- * Ley Nacional N° 24.051. *Residuos Peligrosos*. Sancionada: 17/12/1991. Promulgada: 8/01/1992. Publicada en el Boletín Oficial: 17/01/1992. Decreto Reglamentario Nacional N° 831/1993. Reglamentación de la Ley Nacional N° 24.051. Publicado Boletín Oficial: 03/05/1993.
- * Ley Provincial N° 1466. *Residuos Peligrosos*. Decreto Reglamentario Provincial N° 2054. Reglamentación de la Ley Provincial N° 1466.
- * Municipalidad de Quemú Quemú. (2008). Comunicación Personal.
- * Norma IRAM 2948-1:1999. *Calidad Ambiental. Calidad del Suelo*. Muestreo Parte 1. Directivas para el diseño de programas de muestreo.
- * Norma IRAM 29401-1: 1999. *Calidad Ambiental. Calidad del Suelo*. Vocabulario. Parte 1: Términos y Definiciones relativos a la protección y a la contaminación del suelo.
- * Ockenden, W. A., Breivik, K., Meijer, S. N., Steinnes, E., Sweetmann, A. J., Jones, K. C. (2003). *The global re-cycling of persistent organic pollutants is strongly retarded by soils*. Environmental Pollution, 121: 75-80.
- * Orciari, R.D. y Leonard, G. H. (1990). *Catch- and- Release Management of a Trout Stream Contaminated with PCBs*. North American Journal of Fisheries Management, 10: 315-329.
- * Pratts, Pamela B. (2007). Segundo Congreso Pampeano del Agua. *Evaluación de la aptitud físico química del agua y barro de la laguna de Lamper (Departamento Quemú Quemú)*, 47-54. Diciembre de 2007.
- * Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (1998). *Comité Intergubernamental de Negociación de un Instrumento Internacional Jurídicamente vinculante para la aplicación de Medidas Internacionales respecto de ciertos contaminantes orgánicos persistentes*.

- * Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Productos Químicos (PNUMA). (Diciembre de 2002). *Evaluación Regional sobre Sustancias Tóxicas Persistentes. Sudamérica Oriental y Occidental. Informe Regional.*

- * Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2005). *Eliminando los COPs del Mundo: Guía del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes.* Producido por la Secretaría del Convenio de Estocolmo y la Unidad de Información para Convenio del PNUMA.

- * Ramos de Mining, Alicia. (1978). *Quemú Quemú Estudio de un geónimo pampeano.* Talleres Gráficos “EL PUEBLO”, Quemú Quemú, La Pampa.

- * Ramos de Mining, Alicia. (2008). *Quemú Quemú Fuentes para el estudio de un desafío en la pampa territorialiana.* Textos de: Ramos de Mining, A., Lassalle, Ana M., Casagrande, G. y Shimte, S. Talleres Gráficos de Imprenta Nexo/di Nápoli, Santa Rosa, La Pampa.

- * Res. MT y SS. (1991) Resolución del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social 0369/1991. Anales de Legislación Argentina N° LI-B 1991, 2 de Mayo de 1991, pp. 1994-2004. Citas Legales: Ley 19.587; Dec. 351/79.

- * SAyDS (2006). Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. *La Gestión de los PCBs en Argentina.* Disponible en www.ambiente.gov.ar . Sistema de Información Ambiental Nacional. (Consulta 10/2006).

- * Stachiotti, Silvia. (2009) Comunicación Personal. Laboratorio de análisis “La Pampa Agrícola”.

- * Thomas, G. O., Smith, K. E. C., Sweetman, A. J., Jones K. C. (1998). *Further studies of the air-pasture transfer of polychlorinated biphenyls.* Environmental Pollution, 102: 119-128.

- * United States Environmental Protection Agency (USEPA). (August 1985). *Verification of PCB spill cleanup by sampling and analysis*. Second Printing. Office of Toxic Substances.

- * Walker, C. H., S. P. Hopkin, R. M. Sibly y D. B. Peakal. (1997). *Principles of Ecotoxicology: Pollutants and their fate in ecosystems*. Taylor & Francis Publishers, 10-11.

- * Wilcke, W., Krauss, M., Safronov, G., Fokin, A. D., Kaupenjohann, M. (2006). *Polychlorinated biphenyls (PCBs) in soils of the Moscú region: Concentrations and small-scale distribution along an urban-rural transect*. *Environmental Pollution*, 141: 327-335.

- * Wyrzykowska, B., Bochentyn, I., Hanari, N., Orlikowska, A., Falandysz, J., Yuichi, H., Yamashita, N. (2006). *Source determination of highly chlorinated biphenyl isomers in pine needles- Comparison to several PCB preparations*. *Environmental Pollution*, 143: 46- 59.

ANEXO

Cuadro N° 1: Características específicas de los transformadores que operan en la zona urbana de la localidad de Quemú Quemú, Pcia de La Pampa.
(Información suministrada por COSYPRO Ltd., Sr. Guarido Martín, 2007)

<i>Transformado</i> <i>r</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Potenci</i> <i>a</i>	<i>Edad</i> <i>(años)</i>	<i>Presencia de Suelo y</i> <i>Vegetación</i>
1	Azcúenaga esq. Sara U. de Madero	63	13	Si
2	Balcarce entre Bortiri y Urquiza	300	30	Si
3	Balcarce entre Sara U. de Madero y Gdor. Duval	500	30	Si
4	French esq. Roca	200	13	Si
5	Roca esq. 25 de Mayo	100	13	Si
6	Roca entre 2 de Abril y Malvinas Argentinas	100	13	Si
7	Mansilla esq. Urquiza	200	13	Si
8	Sarmiento esq. Alberdi	250	13	No
9	Sarmiento entre 25 de Mayo y Las Heras	200	13	No
10	Malvinas Argentinas entre Berutti y Dr. A. Lorenzo	300	13	No
11	Alsina esq. Las Heras	160	3	Si
12	Alberdi esq. Alsina	250	13	Si
13	Alberdi esq. T. Irazábal	250	13	Si
14	Sarasate esq. Acceso T. S. Fraire	16	13	Si

Tabla N° 1: Resumen de los análisis de laboratorio donde se detallan las concentraciones de PCBs en cada uno de los compartimientos analizados durante las dos etapas de muestreo (año 2007 y año 2008).

COMPARTIMIENTO SUELO AREA URBANA		
	Radio a 1,4 m	Radio a 5 m
Transformador Eléctrico N° 2	0 ppm	0 ppm
Transformador Eléctrico N° 3	3,34 ppm	0,07 ppm
Transformador Eléctrico N° 4	0,11 ppm	0,05 ppm
Transformador Eléctrico N° 7	0,10 ppm	0,15 ppm
Transformador Eléctrico N° 11	1,10 ppm	0,53 ppm
Transformador Eléctrico N° 13	0 ppm	0 ppm
Los resultados 0 corresponden a valores menores al límite de detección (0,05 ppm)		
COMPARTIMIENTO VEGETACIÓN AREA URBANA		
	Radio a 1,4 m	
Transformador Eléctrico N° 2	0,07 mg/kg	
Transformador Eléctrico N° 3	0,09 mg/kg	
Transformador Eléctrico N° 4	0,01 mg/kg	
Transformador Eléctrico N° 7	0,03 mg/kg	
Transformador Eléctrico N° 11	0,45 mg/kg	
Transformador Eléctrico N° 13	0,08 mg/kg	
LAGUNA LAMPER COMPARTIMIENTO SUELO		
0 ppm		
Los resultados 0 corresponden a valores menores al límite de detección (0,05 ppm)		
LAGUNA LAMPER COMPARTIMIENTO VEGETACIÓN		
0 ppm		
Los resultados 0 corresponden a valores menores al límite de detección (0,05 ppm)		
LAGUNA LAMPER COMPARTIMIENTO AGUA		
0 ppb		
Los resultados 0 corresponden a valores menores a 2,5 ppb		