



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES EULA-CHILE

*“REGISTROS SEDIMENTARIOS LACUSTRES DE CONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA DERIVADA DE LOS PROCESOS DE COMBUSTIÓN EN
LA PROVINCIA DE CONCEPCIÓN – CHILE EN LOS ÚLTIMOS 500
AÑOS”*

Tesis para optar al grado de
Doctor en Ciencias Ambientales
presentada por:

Luis Ricardo Chirinos García

Comisión examinadora de la tesis de grado

Dr. Claudio Zaror Zaror Director de Tesis
Facultad de Ingeniería
Universidad de Concepción

Dr. Roberto Urrutia Pérez
Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile
Universidad de Concepción

Dr. Ricardo Barra Ríos
Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile
Universidad de Concepción

Examinador externo:

Dr. Ramón Ahumada Bermúdez
Facultad de Ciencias
Universidad Católica de la Santísima Concepción

OCTUBRE - 2005

RESUMEN

Las emisiones atmosféricas procedentes de los procesos de combustión de biomasa vegetal, y de combustibles fósiles (carbón y petróleo) han estado presentes en la provincia de Concepción - Región del Biobío - a lo largo de diferentes periodos durante los últimos 500 años. Estos procesos de combustión se intensificaron con la quema de biomasa vegetal, utilizada como agente modificador del paisaje durante el periodo colonizador (1550-1810). Posteriormente, en el periodo republicano, se inició el uso de combustibles fósiles con fines industriales. El primero de ellos fue el carbón, que a mediados del siglo XIX se utilizó en las actividades mineras e industriales desarrolladas en el pueblo de Lota, en la provincia de Concepción. Mientras que el segundo combustible fósil fue el petróleo, que a finales de la década de 1920 ingresó como combustible alternativo al carbón en la industria minera de la zona, y en la actualidad su uso, sumado al del carbón, constituyen componentes importantes en la estructura energética de la región.

A pesar que las emisiones gaseosas derivadas de dichos combustibles, se encuentran entre las más contaminantes debido a su toxicidad y persistencia en los compartimentos ambientales, son muy escasos los estudios relacionados con los efectos de dichas emisiones en la región. En tal sentido, este trabajo tuvo como objetivo principal, demostrar los niveles de alteración ambiental derivados de los procesos de combustión de la biomasa vegetal y de los combustibles fósiles (carbón y petróleo).

Para establecer la evidencia de la contaminación derivada de los procesos de combustión antes mencionados, se escogió el lago Laguna Chica de San Pedro – ubicado en la provincia de Concepción – debido al proceso de ocupación que tuvo lugar, al sur del río Biobío, desde la llegada de los conquistadores españoles. Proceso que continuó intensificándose producto del desarrollo industrial y urbano, acaecido a lo largo de los últimos 150 años. Adicionalmente, con el propósito de establecer la influencia transfronteriza y/o regional de la contaminación por el uso de combustibles fósiles se consideró el lago Galletué, un cuerpo de agua dulce alto andino relativamente prístino – ubicado en la provincia de Malleco, Región de la Araucanía – sin influencia antrópica local proveniente de la actividad industrial relacionada con el consumo intensivo de energía.

Las aptitudes de los estratos sedimentarios, para la detección de la contaminación atmosférica y el establecimiento de la geocronología, se reconocieron a través de las condiciones de la matriz sedimentaria en cada uno de los lagos. Los resultados de los análisis de materia orgánica total, carbono inorgánico, y granulometría en ambos lagos, indicaron que hubo poca variabilidad en los respectivos procesos de sedimentación. Las laminaciones detectadas en los núcleos sedimentarios, a través de las imágenes de rayos X, corroboraron la ausencia de procesos de movilización posteriores a la sedimentación.

Con el propósito de definir la distribución temporal de la contaminación por el uso de combustibles fósiles, fue necesario el establecimiento de registros geocronológicos en testigos sedimentarios de los dos lagos. En ambos casos se utilizó el método de plomo-210, que estimó un periodo de 120 años para el lago Laguna Chica de San

Pedro (1880-2003), y un periodo de 90 años para el lago Galletué (1915-2002). Para completar la escala temporal propuesta en el estudio, se extrapolaron las edades de plomo-210 establecidas en el estratos sedimentarios de Laguna Chica de San Pedro, hasta completar los últimos 500 años. Esto fue necesario en vista de la ausencia de restos biológicos de micro y macro fósiles necesarios para la datación con radiocarbono.

Sobre la base de la geocronología definida en ambos lagos, se determinaron los perfiles de concentración de partículas carbonosas esféricas, indicadores de la contaminación ambiental por el uso de combustibles fósiles, considerando las características morfológicas de las partículas. La ausencia de partículas carbonosas esféricas en los sedimentos del lago Galletué, refleja que las emisiones atmosféricas derivadas del uso de combustibles fósiles provenientes de fuentes transfronterizas y/o regionales no afectan los sistemas lacustres cordilleranos en la cuenca del Biobío. Lo anterior, sumado a las concomitancias entre el perfil de concentración de partículas carbonosas y el consumo regional de combustibles fósiles, fundamentalmente carbón, comprueba que se trata de una contaminación atmosférica de origen local. Las principales fuentes de esta contaminación estarían en la actividad industrial presente en cinco de los nueve sub-sectores con consumos intensivos de energía presentes en la región.

El perfil de partículas carbonosas esféricas presentó tres características, las que son concomitantes con la evolución de la actividad industrial asociada al uso de combustibles fósiles (carbón y petróleo) en la región. Estas particularidades son (i) Inicio del perfil ($\sim 300 \text{ g PS}^{-1}$); (ii) Máxima tasa de concentración y máxima concentración ($\sim 8000 \text{ g PS}^{-1}$); y (iii) reducción en la concentración de partículas ($4000 - 8000 \text{ g PS}^{-1}$). La primera de ellas tuvo lugar durante el periodo 1915-1937, y su origen está vinculado con los procesos de combustión de carbón desarrollados en la industria de porcelana y en la planta termoeléctrica del pueblo de Lota. La segunda característica refleja el vertiginoso crecimiento de la producción de harina de pescado a lo largo de la segunda mitad de la década de 1980-1990. Esto sumado al desarrollo industrial alcanzado en otros sectores vinculados al consumo de estos combustibles queda reflejado en la máxima concentración de partículas carbonosas esféricas registradas para el periodo 1990-1992. La última particularidad del perfil, que corresponde a la reducción de la concentración de las partículas, refleja las medidas ambientales de control y mitigación de la contaminación atmosférica derivada de uso de combustibles fósiles implementadas en la ciudad de Talcahuano y a la drástica reducción en la producción de harina de pescado en la zona debido a la escasez de biomasa pelágica.

A nivel hemisférico, la ausencia de partículas en los sedimentos del lago Galletué y las evidencias reportadas acerca de la presencia de partículas carbonosas esféricas en sedimentos lacustres de reconocida calidad ambiental, como las Islas Falkland, islas marítimas Antárticas y Tansmania-Australia plantean interrogantes acerca de los patrones de transporte a larga distancia de este material particulado en el Hemisferio Sur. En la actualidad no se reconoce la existencia de un nivel base de este material para el Hemisferio Sur, que de existir, debe ser menor al establecido para el Hemisferio Norte ($100-1000 \text{ g PS}^{-1}$). Una contribución en la determinación

del nivel base de este material para el Hemisferio Sur pasaría por mejorar los límites de detección utilizados en este estudio.

Los procesos de combustión en la Región del Biobío no sólo estuvieron asociados al uso de los combustibles fósiles sino también a la biomasa vegetal. La evidencia de ello se determinó a través de las partículas carbonizadas de biomasa lignocelulósica, reconocidas como indicadores de la presencia de procesos de combustión de dicho material. El perfil de concentración de dichas partículas, establecido en los sedimentos lacustres de Laguna Chica de San Pedro, representa la relación entre el hombre y la naturaleza a lo largo de los últimos 500 años. Las variaciones en la concentración de estas partículas, a través del periodo Pre-hispánico, Colonial y Republicano, reflejan el uso del fuego en beneficio de actividades productivas desarrolladas en cada periodo.

Durante el periodo Pre-hispánico se presentaron tendencias crecientes y decrecientes en la concentración de las partículas carbonizadas de biomasa lignocelulósica a lo largo de la estratigrafía. Es indudable que la ausencia de información al respecto del tipo y magnitud de las actividades desarrolladas por los indígenas, dificulta la interpretación de este perfil, sin embargo, las inferencias realizadas por algunos investigadores de las actividades desarrolladas por los aborígenes, suponen que la presencia de este material particulado estaría asociado al uso del fuego, fundamentalmente en actividades asociadas al despeje de pequeñas áreas, para la práctica de la agricultura aborígen.

El perfil de partículas carbonizadas de biomasa lignocelulósica durante el periodo colonial se mantuvo en forma relativamente constante salvo en los estratos que representan el último siglo, donde presentaron tendencias crecientes. La razón de ello se encuentra en el uso del fuego como agente modificador del paisaje y en las actividades agrícolas, principalmente con el propósito de fertilizar la tierra. A pesar de que las actividades relacionadas con el uso del fuego fueron más intensas durante el periodo colonial que aquellas desarrolladas en el periodo Pre-hispánico, las concentraciones de partículas en los sedimentos son bastante similares ($< 12000 \text{ g PS}^{-1}$). A diferencia de lo que se observó en los estratos de los periodos antes mencionados, durante el periodo Republicano la concentración de partículas se incrementó significativamente en los últimos 20 años, llegando a ser 500% ($50,000 \text{ g PS}^{-1}$) mayor que aquellos registrados en los periodos anteriores. El origen de este material se encuentra en las actividades desarrolladas en el sector forestal y agrícola. Dadas las consideraciones metodológicas asumidas en la elaboración del perfil, es muy poco probable que el material particulado derivado del uso de combustible madera se encuentre representado.

Reconocido el hecho de que los sedimentos lacustres de Laguna Chica de San Pedro registran las evidencias de la contaminación derivada del uso de combustibles fósiles y de la quema de biomasa vegetal, se determinó la composición mineralógica y elemental, de los diferentes estratos sedimentarios. Esto se hizo con el propósito de establecer la existencia de cambios en la concentración de los constituyentes del sedimento, atribuibles a la acumulación de partículas carbonosas esferoidales, considerando la capacidad absorbente de su superficie, de

compuestos derivados del proceso de combustión. El análisis de componentes principales presenta cuatro grupos marcadamente definidos. La primera componente representa la fuente litógena en la zona, la segunda componente representa a los sedimentos sensibles a las condiciones óxido reducción presentes en el lago, la tercera componente representa al grupo de elementos traza que no se ven afectados por las condiciones del lago y finalmente la cuarta componente representa la productividad primaria en el lago. Los resultados indican que la fuente litogénica de sedimentos en el lago cambió de un material andesítico-volcánico a un material metamórfico a lo largo de los últimos 1000 años. Asimismo, los perfiles de concentración de los elementos móviles (Fe, Mn, P y S), así como algunos elementos traza (Pb, Cu, V y As) se incrementaron en los estratos sedimentarios que corresponden a los últimos 15 años. Estos incrementos tienen su origen en la movilización de los elementos sensibles a las condiciones de óxido reducción presentes en el lago; situación que dificulta la interpretación de las estimaciones de la influencia antrópica en la composición elemental de los sedimentos, principalmente de aquella derivada de las partículas carbonosas esféricas detectadas en los estratos sedimentarios. Sin embargo, considerando los factores de enriquecimiento de las partículas carbonosas esféricas con elementos traza presentes en el combustible, no se descarta la posibilidad que parte de estos incrementos tengan como fuente a este material.

Considerando los resultados obtenidos en el desarrollo de este estudio nos permite concluir lo siguiente:

La hipótesis 1 “Los estratos sedimentarios de Laguna Chica de San Pedro y Galletué conservan registros de tipo biológico, físico y químico de los últimos 500 y 100 años respectivamente” se rechaza debido a la movilización de los elementos sensibles a las condiciones de óxido reducción presentes en el lago. A pesar de ello, se logró establecer la ausencia de perturbación y movilización del sedimento, que permitió establecer perfiles de partículas carbonosas esféricas y partículas carbonizadas de biomasa lignocelulósica.

La hipótesis 2 “La emisión de partículas carbonosas esféricas (PCEs) derivada de los procesos de combustión del carbón y petróleo desde fuentes regionales y/o transfronterizas no afectan los sistemas lacustres cordilleranos de la cuenca del Biobío” se acepta. La ausencia de partículas carbonosas esféricas en los sedimentos del lago Galletué confirma que los sistemas lacustres en la Región del Biobío no se ven afectados por procesos de combustión de carbón y petróleo desde fuentes transfronterizas y/o regionales. Sin embargo a nivel hemisférico, la presencia de este material en lagos ubicados en áreas con calidad ambiental reconocida plantea interrogantes acerca de los patrones de transporte a larga distancia de las partículas carbonosas esféricas.

La hipótesis 3 “Las partículas carbonosas esféricas (PCEs), derivadas del proceso de combustión del carbón y petróleo, establecen un perfil sedimentario con patrones temporales similares al consumo local histórico de dichos combustibles, en los sedimentos lacustres de Laguna Chica de San Pedro (LCHSP)” se acepta. Los resultados obtenidos indican que el perfil de partículas carbonosas esféricas establecido en los sedimentos lacustres de Laguna Chica de San Pedro presenta coincidencias con el consumo de combustibles fósiles, principalmente carbón, en la zona. A partir de estos resultados, se infiere que el perfil de partículas carbonosas

esferoidales se puede emplear como método de datación indirecto en los sistemas lacustres de la Región del Biobío.

La hipótesis 4 “Las partículas carbonizadas de biomasa vegetal presentes en los sedimentos lacustres de Laguna Chica de San Pedro (LCHSP) establecen un perfil sedimentario que permite reconocer las actividades productivas locales de los últimos 500 años, que involucraron procesos de combustión de biomasa vegetal” se acepta. Estas actividades productivas estaban relacionadas con la provisión de áreas despejadas para la práctica, de actividades agrícolas y como fertilizante, y recientemente como parte de las actividades forestales desarrolladas en la zona.

La hipótesis 5 “Dada la capacidad absorbente de la superficie de las partículas carbonosas esféricas (PCEs) de compuestos inorgánicos, formados con los constituyentes de los combustibles fósiles durante el proceso de combustión, las partículas carbonosas esféricas (PCEs) son indicadores de la presencia de elementos traza en los sedimentos lacustres de Laguna Chica de San Pedro (LCHSP)” no se pudo comprobar. Los procesos de óxido reducción presentes en el lago no permiten conservar los registros químicos, derivados del uso de combustibles fósiles, sensibles a los cambios de estas condiciones.

Palabras claves: partículas carbonosas esféricas; partículas carbonizadas de biomasa lignocelulósica; combustible fósil; sedimentos lacustres; contaminación atmosférica, combustible madera, composición elemental, composición mineralógica.

