



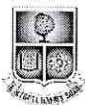
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN (Internos, Semilla, Inter y Multidisciplinarios, Externos):

Área del proyecto: Ciencias Básicas <input type="checkbox"/> Ciencias Aplicadas <input checked="" type="checkbox"/>
FACULTAD: Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria Facultad de Ingeniería Mecánica
DEPARTAMENTO: 1. Departamento de Ciencias Nucleares 2. Departamento de Metalurgia Extractiva 3. Departamento de Materiales
LINEA DE INVESTIGACIÓN: (verificable en el SAEW) 1. Procesos de oxidación avanzada 2. Carbones activados, adsorbentes y catalizadores. 3. Desarrollo de nuevos materiales-nanopartículas

1 Proyecto de Investigación
Título: Estudio de la incorporación de TiO_2 sobre soportes de carbón activado para su uso en la degradación fotocatalítica de colorantes y fenoles.
Resumen del proyecto (máximo 200 palabras) <p>En los últimos años los procesos avanzados de oxidación como la fotocatalisis han logrado adelantos importantes en la degradación de contaminantes refractarios. En fotocatalisis, la luz produce una excitación electrónica que permite generar especies reactivas como los radicales $\cdot OH$. Sin embargo, materiales como el TiO_2, presentan ciertas desventajas operativas para su aplicación a gran escala. Por esta razón en el presente proyecto se plantea la preparación de materiales binarios combinando TiO_2 y carbón activado, como co-adsorbente, para mejorar sustancialmente la eficiencia en los procesos fotocatalíticos. Se analizará el uso de tres tipos de carbón activado, obtenidos a partir de coco, caña guadua y de lodos de una planta de tratamiento de una empresa de tableros MDF. Se ensayarán dos procesos de activación. Estos materiales se combinarán con TiO_2 comercial para establecer su capacidad fotocatalítica en la degradación de colorantes y fenol. Posteriormente, con el mejor carbón activado se harán adiciones de cobre que se combinarán con TiO_2 para realizar el mismo tipo de pruebas. Se harán ensayos con nano-partículas sintetizadas de TiO_2 y TiO_2 extraído de fuentes naturales en Ecuador, para establecer la capacidad de estos compuestos como fotocatalizadores. Según el caso, los materiales serán caracterizados con BET, DRX, MEB y FTIR.</p>
Palabras clave (3-5): Carbón activado, degradación fotocatalítica, dióxido de titanio, colorantes, fenol.



6 **Objetivos, hipótesis y resultados esperados de esta propuesta de investigación**

- **Objetivos**

Objetivo general

Estudiar la incorporación de TiO_2 sobre soportes de carbón activado para su uso en la degradación fotocatalítica de colorantes y fenoles.

Objetivos específicos

- Caracterizar el carbón activado obtenido de coco, caña guadua y del lodo de una planta de tratamiento de aguas residuales obtenidos por medio de dos formas de activación.
- Evaluar la efectividad de los compuestos formados entre los carbones activados obtenidos y TiO_2 comercial en el tratamiento fotocatalítico de colorantes y fenol.
- Evaluar la efectividad de carbón activado comercial impregnado con cobre y TiO_2 en el tratamiento fotocatalítico de colorantes y fenol.
- Comparar la eficiencia del uso de nanopartículas sintetizadas por métodos sol-gel de TiO_2 con TiO_2 comercial, en el proceso de tratamiento fotocatalítico de colorantes y fenol
- Comparar la eficiencia del uso de TiO_2 extraído de fuentes naturales en Ecuador con TiO_2 comercial, en el proceso de tratamiento fotocatalítico de colorantes y fenol.

- **Hipótesis**

El estado del arte del tema encontrado en la literatura, demuestra que la combinación entre diferentes tipos de carbones y el TiO_2 desarrolla un marcado efecto de sinergia para la descontaminación fotocatalítica de aguas que contienen moléculas aromáticas y otras especies. Por lo tanto, el diseño controlado de las propiedades fisicoquímicas de carbones porosos y del TiO_2 permitirá verificar:

- Que la degradación fotocatalítica de colorantes y fenoles es significativamente mayor con el uso de combinaciones de TiO_2 y carbón activado proveniente de coco, caña guadua y lodos de una planta de tratamiento de una empresa de fabricación de tableros MDF.
- El TiO_2 sintetizado por vía sol-gel combinado con carbón activado produce mejores resultados a los obtenidos con TiO_2 comercial en los procesos de fotocatalisis de degradación de colorantes y fenoles.
- El TiO_2 obtenido de fuentes naturales combinado con carbón activado produce resultados comparables a los obtenidos con TiO_2 comercial en los procesos de fotocatalisis de degradación de colorantes y fenoles.

- **Resultados y productos esperados**

- Estudios de caracterización del carbón activado proveniente de coco, caña guadua y del lodo de una planta de tratamiento de aguas residuales obtenidos por medio de dos formas de activación.
- Evaluación de la efectividad de los compuestos formados entre los carbones activados obtenidos y TiO_2 comercial en el tratamiento fotocatalítico de colorantes y fenol.
- Evaluación de la efectividad de carbón activado comercial impregnado con cobre y TiO_2 en el tratamiento fotocatalítico de colorantes y fenol.
- Comparación de la eficiencia de TiO_2 sintetizado por métodos sol-gel, respecto a TiO_2 comercial, en el proceso de tratamiento fotocatalítico de colorantes y fenol
- Comparación de la eficiencia de TiO_2 extraído de fuentes naturales en Ecuador, respecto a TiO_2 comercial, en el proceso de tratamiento fotocatalítico de colorantes y fenol.
- 3 publicaciones indexadas.
- Presentación de una propuesta de proyecto SENESCYT.
- Presentación de una propuesta de Maestría en Catálisis ante el CES.
- 2 conferencias en congresos internacionales



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



- **Potenciales Usuarios**

Pueden ser beneficiarias de este proyecto las industrias que poseen efluentes residuales con cargas contaminantes de fenoles y colorantes, como las industrias petroleras, de textiles, de pinturas, etc.

Además, por el desarrollo de estas nuevas tecnologías se benefician los grupos académicos de la EPN.

También se pueden ver beneficiadas algunas industrias, para las cuales se podría generar la oportunidad de dar valor agregado a sus lodos, mediante la generación de carbón activado.

7 Relevancia de esta propuesta de investigación con los objetivos científicos del departamento y su Línea de Investigación.

El desarrollo industrial y el crecimiento poblacional han determinado en las últimas décadas incrementos en la generación de efluentes industriales con cargas contaminantes cada vez más complejas, con la presencia de compuestos refractarios a los tratamientos tradicionales. Esto ha determinado el desarrollo de nuevas alternativas de tratamiento, especialmente vinculadas con los llamados procesos de oxidación avanzada, que involucran la generación de especies reactivas como los radicales $\cdot\text{OH}$, con gran capacidad oxidativa. (Gómez, Urkiaga, Gutiérrez, de las Fuentes, 2000, p. 211).

Entre estos procesos novedosos se encuentra la fotocatalisis heterogénea, en la cual la incidencia de la luz sobre un material semiconductor, es capaz de inducir la formación de radicales $\cdot\text{OH}$ en el medio acuoso circundante (Cordero, Chovelon, Duchamp, Ferronato y Matos, 2007, p. 227). El material que mejores resultados ha demostrado en procesos fotocatalíticos es el TiO_2 , puesto que es barato, de baja toxicidad y con una alta fotoestabilidad química (Andrade, Carmona, Mestre, Matos, Carvalho y Ania, 2014, p.183). Sin embargo, este compuesto presenta también ciertas limitaciones cuando se piensa en sus aplicaciones a gran escala. Por ejemplo, tiene una baja área superficial, baja actividad por acción de la luz visible, alta velocidad de recombinación de los pares electrones-huecos formados en el proceso fotocatalítico y algunos aspectos de análisis en cuanto a reutilización y recuperación (Andrade et al., 2014, p.183; Velasco, Carmona, Matos y Ania, 2014, p. 206).

Algunos estudios muestran que la incorporación de un componente de carbono al semiconductor es un método que permite mejorar la eficiencia del fotocatalizador. Esta mejora se asocia a diversos factores como una mayor absorción de la luz visible, mejores condiciones de porosidad, que equivalen a una mayor área superficial, efectos electrónicos más fuertes, entre otros (Andrade et al., 2014, p.184). Se han desarrollado varios estudios de la eficiencia de los nuevos sistemas para degradar fenol, clorofenol y algunos colorantes tipo, como el azul de metileno (Cordero et al., 2007, p. 229; Matos, García, Cordero, Chovelon y Ferronato, 2009, p. 568; Matos, Laine, Herrmann, Uzcategui y Brito, 2007, p. 462; Velasco et al., 2014, p. 209).

Por otro lado, se ha demostrado también que las respuestas fotocatalíticas encontradas son dependientes de la naturaleza del carbono utilizado, relacionada con el tipo de grupos funcionales a nivel de superficie, la textura del poro, etc. (Velasco et al., 2014, p. 207). Por esta razón, es interesante analizar cómo funcionan carbones activados obtenidos de materiales nativos, como la caña guadua y el coco, cómo responden cuando se utilizan formas diversas de activación, que pueden ser físicas o químicas y que determinan la funcionalización de los grupos terminales y el tipo de porosidad que se genera.

En el Ecuador, la caña guadua (*Guadua angustifolia* K.) es un bambú que crece en la zona subtropical, a altitudes desde los 0 msnm hasta los 1800 msnm. En el país y, en particular en la provincia de Pichincha, se estudia una cadena de valoración del bambú en general y de la caña guadua en particular, para aprovecharlo como materia prima a escala local (Gobierno de la Provincia de Pichincha, 2011), pero no se han considerado posibilidades de industrialización para escala nacional.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

VICERECTORADO DE

INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



Tabla 1. Producción anual de bambú en el Ecuador en el año 2011

Provincia	Producción (t/año)	Porcentaje %
Pichincha	751,1	17,6
Guayas	1464,5	34,3
Manabí	375	8,78
Los Ríos	1174	27,49
Otros	505,4	11,83
Total	4270	100

Fuente: (Gobierno de la Provincia de Pichincha, 2011)

No existen estudios a nivel nacional que utilicen al bambú como materia prima para la producción de carbón activado y los estudios a nivel internacional realizados por González-García, Centeno, Urones-Garrote, Ávila-Brandt y Otero-Díaz (2012) muestran que el bambú es un material idóneo para la producción de carbón activado vía activación química, con el uso de hidróxido de potasio, donde la caña guadua presenta los mejores resultados en cuanto a superficie específica.

Por otro lado, la producción de coco en el Ecuador no ha sido regular debido a factores climáticos como los fenómenos del Niño, que se presentan con intensidad en la región Costa y factores económicos relacionados con el hecho de que los cultivos son artesanales, con poco uso de tecnología. A pesar de estos inconvenientes, la obtención de coco a nivel nacional es considerable. La Tabla 2 muestra la producción de materia prima en los últimos 9 años (INEC, 2011)

Tabla 2. Producción de coco en el Ecuador

Año	Producción (t)
2004	4606
2005	8106
2006	8240
2007	9206
2008	4839
2009	3686
2010	6082
2011	3193

Fuente: (INEC, 2011)

De la cantidad de coco producido en el Ecuador en el año 2011, casi 700 t son cosechadas en Esmeraldas y otras 1700 en las provincias de: Manabí, Santo Domingo de los Tsachilas y Guayas, según el INEC (2011), lo que representa un 75% de la producción nacional.

También se pueden aprovechar desechos como los lodos generados en plantas de tratamiento de efluentes industriales. En este caso los lodos constituyen fuentes alternativas de producción de compuestos híbridos a base de carbono (Matos, Rosales, García, Nieto-Delgado y Rangel-Mendez, 2011, p. 3431). En el presente proyecto se plantea el uso de lodos de la planta de tratamiento de aguas de una industria de producción de tableros MDF, constituidos, fundamentalmente por lignina y celulosa (Navas, 2014).

Además, a través de varios estudios se ha confirmado que la modificación de carbón activado con metales permite obtener una mejora significativa, tanto en la cantidad removida de contaminantes como en la cinética de la remoción en sí misma, debido a que el carbón activado modificado actúa como catalizador y genera la producción de peróxido de hidrógeno. Por este motivo, se debe estudiar la sinergia existente entre el carbón activado y los elementos metálicos con los cuales ha sido modificado y su combinación con TiO_2 . En este estudio, el carbón activado será modificado con cobre (Deveci, Yazici, Alp y Uslu, 2006, p. 199).

Por otro lado, existen grupos de investigación que trabajan en la síntesis de TiO_2 por diversos métodos, uno de los cuales es el sol-gel a partir de óxido de titanio (Ge, Xu, y Fang, 2007, p. 4927;



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



Ge y Xu, 2007, p. 2). Este material obtenido también se combinará con el carbón que presente los mejores resultados.

En estudios preliminares ya se ha determinado la existencia y ubicación de arenas ferrotitaníferas en Ecuador (Díaz, 2013), las cuales serán recuperadas en otro proyecto, mediante reducción carbotérmica. Este proyecto propone probar este material combinado con carbón activado para los tratamientos fotocatalíticos.

El Departamento de Metalurgia Extractiva ha venido trabajando en la obtención de carbón activado a partir de materias primas de diversa naturaleza, desde hace varios años y posee en sus instalaciones, equipos para realizar la caracterización de los materiales obtenidos. El desarrollo y obtención de estos materiales se relaciona con la línea de investigación Carbones activados, adsorbentes y catalizadores. Además, en este mismo grupo se ha planteado la investigación para la extracción y caracterización de TiO_2 obtenido de fuentes naturales en Ecuador.

Por otro lado, el Departamento de Materiales se encuentra desarrollando proyectos para la síntesis de TiO_2 por diferentes métodos, dentro de la línea de investigación Desarrollo de nuevos materiales-nanopartículas.

Finalmente, el Departamento de Ciencias Nucleares, en su línea de investigación Procesos de Oxidación Avanzada, estudia los procesos que utilizan diferentes tecnologías, como la fotocatalisis para generar radicales $\cdot OH$, que son especies oxidantes altamente reactivas, capaces de degradar compuestos, que por otros métodos no se pueden eliminar.

El Departamento de Ciencias Nucleares ha liderado el involucramiento de un Profesor Prometeo en el desarrollo de este proyecto, el Dr. Juan Matos Lale, quien es el experto que dirigirá el desarrollo de estas investigaciones con el aporte de los investigadores de la EPN, en los diferentes departamentos involucrados.

8 Descripción del proyecto, metodología, cronograma de trabajo y justificación del equipo requerido

- Descripción del proyecto (Máximo una carilla)

1. Se caracterizará la materia prima: caña guadua, coco y lodos de una planta de tratamiento de efluentes, para la elaboración de carbón activado.
2. Se establecerán las mejores condiciones de carbonización para la producción de carbón.
3. Se establecerán las mejores condiciones para la activación del carbón, para lo cual se realizarán pruebas mediante la aplicación tanto de una activación química como de una activación física.
4. Se caracterizarán los carbones activados obtenidos.
5. Se elaborarán los materiales binarios TiO_2 /Carbón activado con TiO_2 comercial y se caracterizarán.
6. Se realizarán pruebas de degradación de fenoles y colorantes en fotocatalisis heterogénea con los materiales binarios generados.
7. Se seleccionará el material binario que presente los mejores resultados en la degradación de fenoles y colorantes en la fotocatalisis heterogénea, y se elaborará un material binario impregnado con cobre.
8. Se realizarán pruebas de degradación de fenoles y colorantes con el material binario impregnado con cobre por fotocatalisis heterogénea.
9. Se elaborarán materiales binarios con el mejor carbón activado y dos tipos de nanopartículas sintetizadas de TiO_2 , producidos en el Departamento de Materiales, los cuales serán previamente caracterizados.
10. Se elaborarán materiales binarios con el mejor carbón activado y partículas de TiO_2 extraídas por reducción carbotérmica, producidas en el Departamento de Metalurgia Extractiva, las cuales serán previamente caracterizadas.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



11. Se realizarán pruebas de degradación de fenoles y colorantes en fotocatalisis heterogénea con los nuevos materiales binarios generados.

El desarrollo de carbones activados y su caracterización se realizará en el Departamento de Metalurgia Extractiva, así como la obtención de TiO_2 por un método de reducción carbotérmica.

El desarrollo de los materiales binarios TiO_2 /Carbón activado y las pruebas de degradación de fenoles y colorantes por fotocatalisis heterogénea se realizaran en el Departamento de Ciencias Nucleares.

La obtención de nanopartículas sintetizadas por métodos sol-gel se realizará en el Departamento de Materiales.

- Metodología y diseño de la investigación (Máximo una carilla)

1. Caracterización física y química de materias primas

Se elaborará carbón activado a partir de tres materias primas: Cuesco de coco, Caña guadua, y lodos provenientes de una planta de producción aglomerados MDF.

Cada materia prima será caracterizada físicamente para determinar las siguientes propiedades: contenido de material volátil, carbono fijo y cenizas y el contenido de humedad según el método señalado en el Test Methods for Activated Carbon (CEFIC, 1986).

En la caracterización química de la materia prima se determinarán el porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina que tiene cada una de ellas, mediante un estudio comparativo entre las curvas de degradación térmica de cada polímero (Yang et al., 2006, p. 1781) y la curva de degradación térmica de cada materia prima. Esta curva de degradación térmica se obtendrá del análisis termo gravimétrico realizado en el equipo SHIMADZU TGA-50.

Para la caracterización de la estructura de las materias primas y su composición elemental se empleará el Microscopio electrónico de barrido Tescan- Vega (González y Pliego-Cuervo, 2012, p. 32). Se analizará la presencia y concentración de Al, Si, Ca, Mg, Na, K y Fe en las cenizas obtenidas de la materia prima mediante absorción atómica en el equipo Perkin Elmer AAnalyst 300.

2. Evaluación de los parámetros de la carbonización

Se usarán muestras molidas y secas de cada materia prima, se tomarán de 3 a 5 g de muestras molidas y secas que se las carbonizará en la mufla Lindenberg/Blue BF51728C-1 en ausencia de aire con crisoles tapados. Se realizarán ensayos a las temperaturas de 400 °C, 500 °C, 600 °C a 1,0 h y 2,0 h.

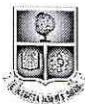
Se determinará el contenido de material volátil, carbón fijo y cenizas para establecer cuál es la mejor temperatura y el mejor tiempo de carbonización (Oyedum, Gebreegziabher y Hui, 2012, p. 595).

3. Evaluación de los parámetros para la activación del carbón

Se evaluarán dos métodos de activación: activación física y activación química con hidróxido de potasio.

Los ensayos de activación física con CO_2 se realizarán en un horno tubular (TubeFurnace 21100-Thermolyne) con un peso de muestra de 1 g por navecilla. En estos ensayos se trabajará con distintas temperaturas (800, 850 y 900 °C) y tiempos de residencia (1, 2, 3 y 4 h).

Para la activación química con hidróxido de potasio, se tomarán de 3 a 5 g de muestras de carbón, con un tamaño de 0,25 cm aproximadamente. Estos carbones se impregnarán con soluciones acuosas de hidróxido de potasio en lecho agitado a razones de 1, 2 y 3 (g KOH/g CCG). Los ensayos se realizarán a temperaturas de 600 °C, 700 °C, 800 °C y 900 °C (Sütçü y Demiral, 2008, p. 47) en la mufla Lindenberg/Blue BF51728C-1, en ausencia de aire con el uso de crisoles tapados. Los carbones activados obtenidos serán caracterizarán por medio de la determinación del índice de yodo según el procedimiento de la norma NTE INEN 1 988:94 (1995b). Las muestras con los mayores valores de índice de yodo serán activarán durante 1,0 h, 2,0 h y 3,0 h para establecer el mejor tiempo de activación.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

VICERECTORADO DE

INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



4. Caracterización del carbón activado

Los carbones activados producidos serán caracterizados a través de la determinación del índice de yodo, los índices de decoloración de azúcar según el procedimiento de Coca Cola Quality Systems (2002), mediante adsorción de azul de metileno según el Test Methods for Activated Carbon (CEFIC, 1986) y mediante adsorción de N_2 para determinar la superficie específica, que se realizará en el equipo BET (Quantachrome). También se caracterizará la estructura del carbón mediante microscopía electrónica de barrido en un Microscopio electrónico de barrido (Tescan-Vega).

5. Obtención de los materiales binarios TiO_2 /carbón activado

Se elaborarán materiales compuestos con TiO_2 y carbón activado. Para ello, se mezclarán los compuestos en 5 ml de agua con agitación magnética, para luego secar el material binario en una mufla a una temperatura cercana a $120^\circ C$.

En una primera etapa se elaborarán con TiO_2 comercial y, en una segunda etapa, con dos tipos de TiO_2 obtenidos por síntesis y un tipo obtenido por reducción carbotérmica. Los TiO_2 usados en la segunda etapa serán caracterizados por difracción de rayos X

6. Caracterización de los materiales binarios TiO_2 /carbón activado

La caracterización de los materiales compuestos se realizará por microscopía electrónica de barrido (Tescan-Vega) y espectrofotometría de infrarrojos (Spectrum One-Perkin Elmer).

7. Obtención de los materiales binarios TiO_2 /carbón activado-Cu

De entre los carbones activados obtenidos de las diferentes materias primas, el que presente las mejores características al trabajar con TiO_2 comercial será sometido a pruebas de impregnación con cobre. Para ello, el carbón será impregnado con una solución de $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ y luego secado. Posteriormente se lo impregnará con K_2CO_3 en una relación carbón: K_2CO_3 de 2:1, y será activado. El material binario con TiO_2 será obtenido por el proceso descrito anteriormente.

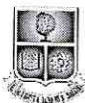
8. Fotocatálisis heterogénea

Las pruebas de fotocatálisis heterogénea se realizarán a temperatura ambiente en un fotoreactor de Pyrex, diseñado para el estudio. Se probarán los materiales compuestos generados como catalizadores de la fotocatálisis heterogénea, en una concentración entre 0,25 y 0,75 g/L. Se estudiará la degradación de fenol y colorantes como el azul de metileno, con concentraciones iniciales en rangos entre 200 y 1000 ppm (Velasco et al., 2014, p. 207). Como fuente de radiación se utilizarán lámparas de mercurio de 125 W, lámparas UV de 125 W y un simulador solar con lámparas de Xenón. La determinación de fenoles y colorantes se hará por análisis HPLC y por espectrofotometría respectivamente.

Para eliminar la interferencia de la luz natural sobre los estudios de adsorción las pruebas se realizarán en condiciones de oscuridad. Además, debe eliminarse la interferencia de la adsorción sobre el carbón activado, para lo cual se realizarán pruebas de fotólisis directa y de degradación foto catalítica sobre el carbón activado en ausencia del TiO_2 antes de proceder con los materiales binarios.

Referencias bibliográficas

1. Andrade, M., Carmona, R., Mestre, A., Matos, J., Carvalho, A. y Ania, C. (2014). *Visible light driven photooxidation of phenol on TiO_2 /Cu-loaded carbón catalysts*. Carbon, 76, 183-192. doi: 10.1016/j.carbon.2014.04.066.
2. Cordero, T., Chovelon, J., Duchamp, C., Ferronato, C. y Matos, J. (2007). *Surface nano-aggregation and photocatalytic activity of TiO_2 on H-type activated carbons*. Applied Catalysis B: Environmental, 73, 227-235. doi: 10.1016/j.apcatb.2006.10.2012.
3. Deveci, H., Yazici, E., Alp, I. y Ulsu, T. (2006). *Removal of Cyanide from aqueous solutions by plain and metal impregnated granular activated carbons*. International Journal of Mineral Processing, 79(3), 198-208.
4. Díaz J. (2013). *Caracterización geológica y geofísica de la zona oeste de la concesión minera Mompiche, ubicada en la provincia de Esmeraldas, cantón Muisne, recinto Mompiche* (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Geológico). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



5. Ge, L. y Xu, M. (2007). *Fabrication and characterization of TiO₂ photocatalytic thin film prepares from peroxo titanate acid sol*. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 43(1), 1-7. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10971-007-1545-7#page-1> (Febrero, 2014).
6. Ge, L., Xu, M. y Fang, H. (2007). *Synthesis of titanium oxide layers on glass substrates with aqueous refluxed sols (RS) and photocatalytic activities*. Journal of Materials Science, 42(13), 4926-4934. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10853-006-0553-2#page-1> (Febrero, 2014)
7. Gobierno de la Provincia de Pichincha (2011). *Estudio de ubicación de lugares y personas que poseen Caña Guadua y Bamboo Gigante en el noroccidente de la provincia de Pichincha*. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec> (Noviembre, 2013).
8. Gómez, L., Urkiaga, A., Gutiérrez, M., de las Fuentes, L. (2000). *Fotooxidación de vertidos Químicos, Revisión y experiencias de procesos de oxidación avanzada*. Recuperado de: <http://www.inese.es/html/files/pdf/amb/iq/371/19articulo.pdf> (Junio, 2014)
9. González-García, P. Centeno, T. Urones-Garrote, E. Ávila-Brandé, Otero-Díaz, L. (2012). *Microstructure and surface properties of lignocellulosic-based activated carbons*. Applied Surface Science, volumen (265), 731-736.
10. Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2011). *Arboles o plantas permanentes dispersos: cocotero-fruta fresca*. Recuperado de <http://200.110.88.44/lcds-samples/testdrive-remoteobject/main.html#app=dbb7&9270-selectedIndex=1> (Noviembre, 2013)
11. Matos, J., Laine, J., Herrmann, J., Uzcategui, D. y Brito, J. (2007). *Influence of activated carbon upon titania on aqueous photocatalytic consecutive runs of phenol photodegradation*. Applied Catalysis B: Environmental., 70, 461-469. doi: 10.1016/j.apcatb.2005.10.040.
12. Matos, J., García, A., Cordero, T., Chovelon, J. y Ferronato, C. (2009). *Eco-friendly TiO₂-AC Photocatalyst for the Selective Photooxidation of 4-Chlorophenol*. Catal Lett, 130, 568-574. doi: 10.1007/s10562-009-9989-8.
13. Matos, J., Rosales, M., García, A., Nieto-Delgado, C. y Rangel-Mendez, J. (2011). *Hybrid photoactive materiales from municipal sewage sludge for the photocatalytic degradation of methylene blue*. Green Chem., 13, 3431-3439. doi: 10.1039/c1gc15644f.
14. Navas, C. (2014). *Diseño de una planta de tratamiento del efluente proveniente del tanque 220 de la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A. mediante la combinación de procesos de sedimentación, electrocoagulación y ozonificación para mejorar la calidad del agua* (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniería Química). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
15. Oyedum, A. Gebreegziabher, T. y Hui, C. (2012). *Mechanism and modeling of bamboo pyrolysis*. Fuel processing technology, volumen (106), 595-604.
16. Sütücü, H. Demiral, H. (2008). *Production of granular activated carbons from loquats stones by chemical activation*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, volume (84), 47-52.
17. Velasco, L., Carmona, R., Matos, J. y Ania, C. (2014). *Performance of activated carbons in consecutive phenol photooxidation cycles*. Carbon, 73, 206-215. doi: 10.1016/j.carbon.2014.02.056.
18. Yang, H. Yan, R. Chen, H. Lee, D. Zheng, C. (2006). *Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis*, Fuel, volumen (86), 1781-1787.

Se recomienda que el proyecto, su metodología y diseño de la investigación, este sustentada en referencias bibliográficas actualizadas y que en el cronograma de ejecución del proyecto se considere el tiempo que toma la adquisición de equipos, reactivos y materiales de laboratorio.