

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica Investigación Aplicada Investigación Pedagógica

DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUTOS:

1. Departamento de Ciencias Nucleares
- 2.

LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Procesos de Oxidación Avanzada
- 2.

DISCIPLINA CIENTÍFICA (Marque X, solamente una opción)

Ciencias Naturales y Exactas	
Ingeniería y Tecnologías	X
Ciencias Médicas	
Ciencias Agrícolas	
Ciencias Sociales	
Humanidades	

OBJETIVO SOCIOECONÓMICO (Marque X, solamente una opción)

Exploración y explotación del medio terrestre	
Ambiente	X
Exploración y Explotación del espacio	
Transporte, telecomunicaciones y otras infraestructuras	
Energía	
Producción y tecnología industrial	
Salud	
Agricultura	
Educación	
Cultura, ocio, religión y medios de comunicación	
Sistemas políticos y sociales, estructuras y procesos	
Defensa	
Avance general del conocimiento: I+D financiada con los Fondos Generales de Universidades (FGU)	
Avance general del conocimiento: I+D financiados con otras fuentes	



1 Proyecto de Investigación

Título:

APLICACIÓN DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PRODUCIDAS POR EL RALLADO DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz)

Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)

La producción de almidón de yuca es un proceso que genera altos volúmenes de efluentes con una importante carga contaminante, que puede incluir compuestos cianogénicos (precursores de HCN). En Ecuador, la aplicación de procesos biológicos para el tratamiento de estos efluentes no es recomendable, por la intermitencia de la producción. Por esta razón, se propone el estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada con el uso de radiación UV o visible. Se estudiará la aplicación del proceso H_2O_2/UV y el uso de nitruro de carbono, como catalizador para la aplicación de radiación visible o solar. Este catalizador será sintetizado a partir de urea y será sometido a irradiación con electrones acelerados para analizar una posible mejora en sus propiedades fotocatalíticas. El nitruro de carbono irradiado que presente los mejores resultados, en cuanto a remoción de carga contaminante (DQO y COT), será utilizado para el tratamiento de las aguas producidas en laboratorio del proceso de rallado de yuca. Se realizará un “ensayo de evitación” (avoidance assay) con el uso de peces cebras (*Danio rerio*), para evaluar el efecto del tratamiento en la respuesta de estos peces. Las mejores condiciones de tratamiento se aplicarán en aguas descargadas del proceso de rallado de yuca en Manabí.

Palabras clave (4-6):

Rallado de yuca, nitruro de carbono, fotodegradación, UV/H_2O_2 , compuestos cianogénicos, ensayo de evitación

2 Objetivos, limitaciones, hipótesis y resultados esperados de esta propuesta de investigación

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

- Estudiar los procesos de oxidación avanzada UV/H_2O_2 y fotocatalisis heterogénea con nitruro de carbono para la reducción de la carga contaminante de aguas residuales producidas por el rallado de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

2.1.2 Objetivos Específicos

- a. Caracterizar las aguas residuales generadas en laboratorio a partir de un proceso de rallado de yuca para determinar la carga contaminante.
- b. Determinar la dosis de radiación con electrones acelerados que permita obtener las mejores propiedades fotocatalíticas del nitruro de carbono.



- c. Determinar las concentraciones de H_2O_2 en un sistema de tratamiento con UV/ H_2O_2 de aguas residuales del proceso de rallado de yuca, que permitan la mayor remoción de carga contaminante y mineralización.
- d. Determinar el tipo de nitruro de carbono, su concentración y la dosis de peróxido de hidrógeno en un sistema de fotocatalisis heterogénea para el tratamiento de aguas residuales del proceso de rallado de yuca, que permitan la mayor remoción de carga contaminante y mineralización.
- e. Determinar la viabilidad del uso de radiación solar en el tratamiento de efluentes del proceso de rallado de yuca obtenidos en laboratorio con un proceso de fotocatalisis heterogénea (Luz visible/ H_2O_2 /nitruro de carbono)
- f. Evaluar el efecto del tratamiento sobre la respuesta de peces cebras (*Danio rerio*) mediante "ensayos de evitación".

2.2 Limitaciones (Aspectos que quedan fuera del alcance del Proyecto de Investigación)

- a. No disponibilidad de los recursos económicos a nivel estatal para la ejecución en el tiempo establecido del proyecto.
- b. No funcionamiento del acelerador de electrones por daños o mantenimiento
- c. Cambios en la localización de las empresas ralladoras de yuca y en tiempos de operación.

2.3 Hipótesis (Responden al problema de investigación)

- a. La irradiación de nitruro de carbono (gC_3N_4) con electrones acelerados aumenta su actividad fotocatalítica.
- b. La aplicación de procesos UV/ H_2O_2 y fotocatalisis heterogénea al tratamiento de aguas residuales resultantes del rallado de yuca permite alcanzar niveles de remoción apropiados de carga orgánica y compuestos precursores de cianuro para su descarga a cuerpos de agua dulce.

2.4 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- a. Caracterización de las aguas residuales del proceso de rallado de yuca
- b. Dosis de radiación con electrones acelerados que permite obtener las mejores propiedades fotocatalíticas del nitruro de carbono.
- c. Dosis de H_2O_2 en un tratamiento con UV/ H_2O_2 de aguas residuales del proceso de rallado de yuca que permiten la mayor remoción de carga contaminante y mineralización.
- d. Tipo y concentración de nitruro de carbono y dosis de peróxido de hidrógeno en un sistema de fotocatalisis heterogénea de aguas residuales del proceso de rallado de yuca, que permitan la mayor remoción de carga contaminante y mineralización.
- e. Viabilidad de uso de radiación solar en el tratamiento de aguas provenientes del rallado de yuca con nitruro de carbono como catalizador.
- f. Evaluación cualitativa del tratamiento en la respuesta de peces cebras (*Danio rerio*) mediante "ensayos de evitación".

3 Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación

Durante las últimas décadas, en Latinoamérica se ha observado un crecimiento de la actividad industrial, en muchos casos desordenado y poco regulado. En general, en los países latinoamericanos las actividades industriales de mayor impacto social son aquellas estrechamente ligadas a la agricultura. La industrialización de un producto agrícola otorga un nuevo valor a este producto, lo cual beneficia a estratos sociales bajos que históricamente se han dedicado a la agricultura de subsistencia, puesto que la apertura de nuevas oportunidades de mercado puede motivar una mayor producción, con el consiguiente aumento de sus ingresos. Uno de estos productos es la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), que tiene un cultivo tradicional en muchos de los países de América Latina y el Caribe. Durante el siglo XX, este cultivo se extendió debido a que la yuca puede ser sembrada en terrenos poco productivos, puede resistir plagas y tiene un bajo costo de producción [1,2].

Uno de los usos más extendidos de la yuca es la producción de almidón (de una tonelada de yuca se pueden obtener cerca de 230 kg de almidón); se estima que en el mundo se producen unos 4 millones de toneladas de almidón de yuca cada año. El almidón se ocupa no solo en la industria alimenticia, sino que también tiene importantes aplicaciones en otras industrias como la de papel, textil, farmacéutica, química, minera, entre otras



[2]. El proceso de extracción del almidón de yuca es llevado a cabo por las llamadas ralladoras, que, al igual que cualquier otro tipo de sistemas de producción, generan impacto ambiental, en especial porque una gran cantidad de agua es utilizada. Estos efluentes se caracterizan por tener elevada carga orgánica (DQO: 2 000 - 6 000 mgO₂/L), bajos valores de pH, alta concentración de ácidos grasos y compuestos cianogénicos [3,4].

En cuanto a los compuestos cianogénicos, existen algunos reportes de toxicidad por cianuro en regiones donde la yuca se consume con frecuencia, esto debido a que ciertas variedades de la misma tienen un alto contenido de cianuro. Las variedades dulces pueden producir alrededor de 20 mg de ácido cianhídrico (HCN)/kg de raíces frescas, mientras que las amargas pueden llegar a producir alrededor de 1 000 mg de HCN/kg de raíces frescas. Se ha demostrado que la ingesta a largo plazo puede tener efectos crónicos relacionados con enfermedades como el bocio, cretinismo, neuropatía atáxica tropical y diabetes [1,2].

En Ecuador, la yuca es también un cultivo tradicional que se produce en la Costa, Oriente y parte de la región Interandina. Es consumida generalmente en raíz fresca, parte de ella es exportada y existe también una importante producción de almidón [5,6]. Según el último Censo Nacional Agropecuario del año 2000, en Ecuador se sembraron cerca de 18 000 ha de yuca y la producción anual fue cercana a las 67 000 toneladas [7]. Hasta la actualidad, los sistemas de tratamiento que se han propuesto para las aguas residuales de las ralladoras de yuca han sido de tipo biológico y en su mayoría anaerobios (por ejemplo, reactores UASB, filtros anaerobios, etc.) [8, 9]. Esto no es casual, pues la carga orgánica presente en este tipo de aguas residuales es biodegradable y posible de remover por tratamientos biológicos anaerobios. Sin embargo, estos tratamientos no pueden tener una aplicación práctica en Ecuador debido a que, en el país, la producción de almidón de yuca es estacional y existen pausas en la producción que pueden durar hasta seis meses cada año. Un tratamiento biológico anaerobio no sería viable bajo esas condiciones debido a las características propias del proceso y su puesta en marcha. Para empezar, los tratamientos biológicos anaerobios son muy sensibles a cambios en la carga orgánica y el caudal. Además, la puesta en marcha de cualquier proceso anaerobio implica la inoculación de las bacterias (por ejemplo, presentes en el lodo de una laguna anaerobia) en el sistema y la disminución gradual del tiempo de residencia del agua a tratarse hasta llegar a condiciones en las que se establezca la carga orgánica de salida y se alcance una remoción constante de la materia orgánica expresada en términos de DQO. Esta etapa es necesaria para que las bacterias se adapten al sustrato y pueden ser necesarias varias semanas para completarla dado el bajo metabolismo y tasa de reproducción de las bacterias anaerobias. Entonces, si se aplicase este tipo de tratamiento para una industria de rallado de yuca en Ecuador, el primer par de meses de operación de la industria se dedicarían a la puesta en marcha, es decir, el volumen de aguas tratadas sería mínimo y el sistema operaría muy alejado de un tiempo de residencia óptimo, luego el sistema podría operar dos o tres meses con buenas condiciones y el inevitable cese de operaciones al final de la temporada ocasionaría el abandono del sistema de tratamiento. Cuando las operaciones de rallado de yuca reinicien la siguiente temporada meses más tarde, sería necesario nuevamente realizar la puesta en marcha del sistema. Como se puede notar, un sistema biológico anaerobio no es práctico, tampoco lo sería un sistema aeróbico, dado los altos costos que implica el bombeo de aire al sistema y los volúmenes relativamente altos de lodos que producen este tipo de sistemas y que, además, deben ser manejados apropiadamente. Por eso es necesario un sistema de tratamiento que no requiera una puesta en marcha y que tenga suficiente flexibilidad para interrumpirse sin afectarlo. Una alternativa de tratamiento son los procesos de oxidación avanzada (POAs), que generan radicales hidroxilo ([•]OH) altamente oxidantes, capaces de degradar los compuestos orgánicos. Entre los POAs, aplicables en este caso, se pueden mencionar los procesos UV/H₂O₂ y fotocatalisis heterogénea [10].

En el proceso UV/H₂O₂, el peróxido de hidrógeno absorbe la radiación UV con la consecuente generación de radicales [•]OH. Este proceso ha sido aplicado satisfactoriamente en otras investigaciones para el tratamiento de efluentes de rellenos sanitarios con niveles de contaminación similares a los encontrados en los efluentes del rallado de yuca [11].

Por otra parte, la fotocatalisis heterogénea consiste en el uso de semiconductores que, bajo la incidencia de radiación, pueden generar también radicales [•]OH. Generalmente, en este proceso se emplean semiconductores como el dióxido de titanio (TiO₂) o el óxido de Zinc (ZnO), los cuales absorben en la región UV [12]. Sin embargo, debido a la preocupación de la utilización de energías renovables como la luz solar, se ha trabajado en el desarrollo de otros fotocatalizadores como el nitruro de carbono (gC₃N₄), un semiconductor polimérico que presenta una alta actividad fotocatalítica en la región visible, lo que permite el uso de energía del sol para el tratamiento de contaminantes [13]. Adicionalmente, se han realizado estudios de la modificación del nitruro de carbono para la mejora de sus propiedades fotocatalíticas, entre las modificaciones que se han realizado se puede mencionar a la ozonificación del catalizador [14].

En el presente estudio se pretende aplicar un proceso combinado UV/H₂O₂/gC₃N₄, con la modificación del gC₃N₄ por aplicación de radiación ionizante proveniente de un acelerador de electrones, para el tratamiento de los efluentes de un proceso de rallado de yuca. El objetivo de esta tecnología es solucionar la problemática de contaminación generada por la descarga de efluentes, provenientes del proceso de rallado de yuca que presentan



las empresas productoras de almidón de la provincia de Manabí. A su vez, se pretende que esta solución se adapte a la producción de carácter estacional de este producto. Es sabido que, al no poder acceder a un sistema de tratamiento de aguas que se adapte a sus necesidades, las empresas ralladoras de yuca descargan de forma directa las aguas residuales a cuerpos de agua. Esto ha ocasionado que reciban constantes amonestaciones y sean multados por las contravenciones a la norma. Se busca aportar una solución práctica a esta problemática y, al mismo tiempo, brindar apoyo a este sector industrial que genera empleo directo e indirecto en el país. El desarrollo de esta investigación está directamente relacionado con la línea de investigación "Procesos de Oxidación Avanzada" del Departamento de Ciencias Nucleares, puesto que se ensaya el uso de dos tratamientos reconocidos como POAs para la disminución de la carga contaminante de un efluente proveniente de un proceso de importancia económica, social y ambiental para Ecuador.

Bibliografía

- [1] Cock, J. (1982) Cassava: A basic energy source in the tropics. *Science, New Series*, 218 (4 574), 755-762.
- [2] Alarcón M., F. y Dufour, D. (1998) *Almidón agrario de yuca en Colombia. Tomo 1*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- [3] Rivier, M., Moreno, M. A., Alarcón, F., Ruiz, R. y Dufour, D. (2001) *Almidón agrario de yuca en Colombia. Tomo 2*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- [4] Torres, P., Pérez, A., Marmolejo L. F., Ordóñez, J. A. y García, R. E. (2010). Una mirada a la agroindustria de extracción de almidón de yuca, desde la estandarización de procesos. *Revista EIA*, (14), 23-38.
- [5] Ospina, B., Lopez, V., Pantoja, A., Prakash, A., Gómez, H. y García, A. (2016). *Cassava in the Caribbean Region: A look at the potential of the crop to promote agricultural development and economic growth*. Bridgetown, Barbados: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Clayuca Corporation, Inter American Institute for Cooperation on Agriculture.
- [6] Hinostroza, F. (1987). *El Cultivo de la Yuca en el Ecuador*. En Velastegui, R (Ed.). *El Cultivo de la Yuca en el Ecuador, su comercialización, impacto en la industria, aspectos socio – económicos y de organización de productores* (pp. 3 – 12). Quito, Ecuador: Fundagro INIAP CIAT.
- [7] INEC. (2000). *Censo Nacional Agropecuario*. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-nacional-agropecuario/> (Julio, 2017)
- [8] Jijai, S., Srisuwan, G., O-thong, S, Ismaile, N. y Siripatana, C. (2015). Effect of Granule sizes on the performance of Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactors for cassava wastewater treatment. *Energy Procedia*, 79, 90-97.
- [9] Intanoo, P., Chaimongkol, P. y Chavade, S. (2016). Hydrogen and methane production from cassava wastewater using two-stage upflow anaerobic sludge blanket reactors (UASB) with an emphasis on maximum hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(14), 6107-6114.
- [10] Boczkaj, G. y Fernandes, A. (2017). Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes at basic pH conditions: A review. *Chemical Engineering Journal*, 320, 608-633.
- [11] Pieczykolan, B., Barbusiński, K, y Płonka, I. (2012). Cod removal from landfill leachate using H₂O₂, UV radiation and combination these processes. *Environment Protection Engineering*, 38(3), 5-13.
- [12] Sandoval C., Molina G., Vargas-Jentzsch, P., Pérez, J. y Muñoz, F. (2017). Photocatalytic degradation of azo dyes over semiconductors supported on polyethylene terephthalate and polystyrene substrates. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, <https://doi.org/10.1515/jaots-2017-0006>
- [13] Shcherban, N. (2016). Preparation, physicochemical properties, and functional characteristics of carbon nitride: a review. *Theoretical and Experimental Chemistry*, 52(5), 265-284.
- [14] Liu, X., Hongyun, J., Wang, J., Xiao, J., Yuan, H y Xiao, D. (2017). Ozone treatment of graphitic carbon nitride with enhanced photocatalytic activity under visible light irradiation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 505, 919-928.



4 Productos esperados

Tipo de Producto:	Marcar con una "X"
a. Publicaciones científicas (obligatorio);	X
b. Disertación a la comunidad politécnica;	X
c. Trabajo de titulación de acuerdo a lo que establece el Reglamento de Régimen Académico y la Normativa Interna de la EPN;	X
d. Aplicación tecnológica construida o implementada;	
e. Patente presentada;	
f. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	

5 Descripción, metodología y diseño del proyecto

5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)

5.1.1 Obtención de muestras de agua del proceso de rallado de yuca desarrollado en el laboratorio

Existen dos tipos de almidón de yuca que generalmente son extraídos, el "almidón nativo" y el "almidón agrio". Las principales etapas del proceso de producción de estos tipos de almidón son: lavado y pelado, selección y despunte, rallado, colado y tamizado, sedimentación y fermentación. El objetivo del lavado es la eliminación de residuos de suelo y de cascarilla. En la etapa de selección y despunte se retiran las raíces en mal estado y las puntas de la yuca. El rallado es la etapa donde se liberan los gránulos de almidón. Luego, en el colado y tamizado se separan la lechada de almidón del afrecho y se eliminan fibras. En la sedimentación se depositan tanto el almidón, como fibras y material proteico. La fermentación se realiza únicamente para la obtención de "almidón agrio", en este proceso, el "almidón nativo" se fermenta durante cerca de 30 días y luego se seca al sol [1].

Se realizará una visita de campo a una empresa de rallado de yuca ubicada en la provincia de Manabí para determinar la secuencia de los procesos y el valor de DQO de los efluentes generados. En este estudio, se trabajará con el proceso desarrollado en la producción de "almidón nativo", para lo cual se realizará dicho proceso a escala de laboratorio hasta obtener una DQO semejante a la de los efluentes del rallado de yuca en la industria, de acuerdo con las observaciones de la visita de campo descrito anteriormente. Se conoce que otros estudios han encontrado que el valor de la DQO de estos efluentes oscila entre 2 000 a 6 000 mgO₂/L [2].

5.1.2 Caracterización de las muestras de agua del proceso de rallado de yuca desarrollado en el laboratorio

Las muestras de los efluentes del proceso de rallado de yuca desarrollado en el laboratorio serán caracterizadas mediante los siguientes parámetros [3].

- Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Método 5220D)
- Carbono Orgánico Total (COT) (Método 5310B)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (Método 5210B)
- Sólidos Totales (ST) (Método 2540B)
- Sólidos Suspendidos (SS) (Método 2540D)
- Sólidos Disueltos (STD) (Método 2540C)
- Color (Método 2120C)
- Turbidez (Método 2130B)
- pH (Método 4500 H⁺B)
- Alcalinidad (Método 2320)
- Fenoles (Método 5530)
- Cianuro libre (Método 4500 CN⁻ E y F)
- Cianuro total (Método 4500 CN⁻ I)



5.1.3 Preparación y caracterización de nitruro de carbono puro

Para la preparación del nitruro de carbono, se tomarán 500 g de urea y se prepararán varias muestras de 25 g de urea cada una. Se colocarán las muestras de urea en crisoles tapados y serán sometidas a un calentamiento en una mufla con dos rampas de temperatura, de 60°C/min, cada una. La primera rampa irá desde 18°C hasta 300°C, a dicha temperatura, se mantendrán las muestras durante 3 min y luego se arrancará la segunda rampa desde 300°C hasta 600°C. Finalmente, las muestras serán mantenidas a 600°C durante 10 min para obtener el nitruro de carbono puro [4].

El nitruro de carbono será caracterizado mediante espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), espectrofotometría UV-Vis, Difracción de Rayos X (DRX), Microscopía electrónica de barrido (SEM), fotoluminiscencia, análisis termo-gravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC). Estos análisis serán desarrollados en la Universidad de Saskatchewan - Canadá [4,5].

5.1.4 Irradiación de nitruro de carbono en el acelerador lineal de electrones

Se tomarán cinco muestras de nitruro de carbono de 1 g cada una para ser irradiadas en bolsas de polietileno selladas. Las muestras serán irradiadas a dosis entre 5 y 50 kGy. Luego de la irradiación, las muestras serán caracterizadas nuevamente mediante espectroscopía FTIR, espectrofotometría UV-Vis, DRX, SEM, fotoluminiscencia, TGA y calorimetría diferencial de barrido DSC [4,5].

5.1.5 Estudios fotocatalíticos de la degradación de almidón soluble mediante el uso de nitruro de carbono irradiado y sin irradiar

Se prepararán soluciones de almidón soluble (5 %w/w) y se determinarán los valores de DQO y COT de estas soluciones preparadas. Una vez realizada la caracterización, se desarrollarán pruebas de degradación de las soluciones de almidón, sometidas a irradiación visible, con el uso de una lámpara de Xenón. Para ello, se colocarán 20 mg de catalizador (nitruro de carbono sin irradiar e irradiado a diferentes dosis) en 20 mL de la solución de almidón soluble y 1 mL de peróxido de hidrógeno (30 %v/v) [6].

También se desarrollarán pruebas de adsorción del almidón en el nitruro de carbono (sin irradiar e irradiado a diferentes dosis), reproduciendo las mismas condiciones de la degradación fotocatalítica, pero sin luz y sin la adición del peróxido de hidrógeno [7] para determinar el efecto de este fenómeno en la remoción del almidón. Se determinará la condición de irradiación que permita obtener la mayor adsorción y la mayor degradación fotocatalítica del almidón, a través de la medición final de DQO y COT en todas las muestras.

5.1.6 Estudios de tratamiento de efluentes del proceso de rallado de yuca obtenidos en laboratorio con un proceso UV/H₂O₂

Las aguas del proceso de rallado de yuca, obtenidas en el laboratorio, serán sometidas a un tratamiento UV/H₂O₂, con el uso de una lámpara UV (256 nm) de 15W. Se medirá la fluencia (J/cm²) de la radiación UV, con el uso de un radiómetro. Se trabajará con un diseño experimental completamente al azar con variaciones de la concentración de H₂O₂ entre 1 y 5 g/L, durante un tiempo de reacción de hasta 3 h [8]. Se medirán los parámetros DQO, COT, cianuro libre, cianuro total, cianato y la concentración residual de H₂O₂ mediante el método yodométrico [9].

5.1.7 Estudios de tratamiento de efluentes del proceso de rallado de yuca obtenidos en con un proceso de fotocatalisis heterogénea (luz visible/H₂O₂/nitruro de carbono)

Las aguas del proceso de rallado de yuca, obtenidas en el laboratorio serán sometidas a un tratamiento luz visible/H₂O₂/nitruro de carbono, con el uso de una lámpara de xenón de 35W. Se trabajará con un diseño experimental 2³ en el cual, las variables de diseño serán: tipo de nitruro de carbono (puro e irradiado con el que se hayan obtenido los mejores resultados), concentración de nitruro de carbono (entre 0,5 y 1,0 g/L) y la concentración de H₂O₂ (en dos valores entre 1 y 5 g/L). Para la definición de los niveles de las variables se utilizarán los resultados encontrados en el acápite anterior [8].

En los experimentos se medirán DQO, COT, cianuro libre, cianuro total, cianato, y la concentración residual de H₂O₂ mediante la aplicación de un método yodométrico [9].

5.1.8 Aplicación del mejor tratamiento obtenido en aguas muestreadas en campo

Con los mejores resultados obtenidos en los procesos anteriores, se tratarán muestras tomadas en campo, en una de las ralladoras de yuca de la provincia de Manabí. Las muestras serán tomadas de acuerdo con la norma NTE INEN 2176:2013 [10].



5.1.9. Determinación de la viabilidad del uso de radiación solar en el tratamiento de efluentes del proceso de rallado de yuca de con un proceso de fotocátalisis heterogénea (luz visible/H₂O₂/nitruro de carbono)

Se desarrollarán pruebas experimentales bajo las mejores condiciones de tipo de nitruro de carbono, concentración de nitruro de carbono y concentración de H₂O₂ determinadas en las secciones anteriores, con el uso de irradiación solar. Se tratarán muestras tomadas en campo. Se medirá la radiación solar (W/m²) con el uso de un piranómetro [11].

5.1.9 Evaluación del efecto del tratamiento sobre la respuesta en peces cebrá (*Danio rerio*) mediante “ensayos de evitación”.

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la respuesta en peces cebrá, las aguas resultantes de los tratamientos serán sometidas a “ensayos de evitación” (traducido del inglés “avoidance assay”) con peces de acuerdo con la metodología propuesta por Araujo et al. [12]. Para esto se usarán peces cebrá (*Danio rerio*) y se introducirán estos organismos en un sistema de compartimientos conectados entre sí que permitan el libre movimiento de los peces. En los compartimientos se tendrán aguas tratadas y sin tratar, y el análisis estadístico sobre el número de peces que se movilizan a cada compartimiento después de 12 horas permitirá realizar comparaciones de las características ecotoxicológicas de cada agua. De esta manera se podrá inferir el impacto ambiental que pueden tener estas aguas si son descargadas en un cuerpo de agua.

REFERENCIAS

- [1] Alarcón M., F. y Dufour, D. (1998). *Almidón agrio de yuca en Colombia. Tomo 1*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- [2] Rivier, M., Moreno, M. A., Alarcón, F., Ruiz, R. y Dufour, D. (2001). *Almidón agrio de yuca en Colombia. Tomo 2*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- [3] APHA, AWWA y WEF. (2005). *Standard Methods: For the Examination of Water and Wastewater*. (21a Ed.). Washington D.C., United States of America: American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation.
- [4] Dante, R.C., Martín-Ramos, P., Correa-Guimaraes, A. y Martín-Guil, J. (2011). Synthesis of graphitic carbon nitride by reaction of melamine and uric acid. *Materials Chemistry and Physics*, 130, 1094-1102.
- [5] Dante, R.C., Martín-Ramos, P., Sánchez-Arévalo, F.M., Huerta, L., Bizarro, M., Navas-Gracia, L.M. y Martín-Gil, J. (2013). Synthesis of crumpled nanosheets of polymeric carbon nitride from melamine cyanurate. *Journal of Solid State Chemistry*, 201, 153-163.
- [6] Márquez, D. (2016). *Estudio de la degradación del colorante azoico Azul BRL mediante foto-catálisis heterogénea con nitruro de carbono puro y dopado*. (Tesis de ingeniería no publicada). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- [7] Liu, J., Zhang, T., Wang, Z., Dawson, G. y Chen, W. (2011). Simple pyrolysis of urea into graphitic carbon nitride with recyclable adsorption and photocatalytic activity. *Journal of Materials Chemistry*, 21, 14398-14401.
- [8] Pieczykolan, B., Barbusiński, K. y Płonka, I. (2012). Cod removal from landfill leachate using H₂O₂, UV radiation and combination these processes. *Environment Protection Engineering*, 38(3), 5-13.
- [9] Brandhuber, P. y Korshin, G. (2009). *Methods for the detection of residual concentrations of Hydrogen Peroxide in advanced oxidation processes*. Estados Unidos de América: WaterReuse Foundation.
- [10] Servicio Ecuatoriano de Normalización. (INEN). (2013). NTE INEN 2176:1998. *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de muestras*. Recuperado de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/2176-1.pdf> (Agosto, 2017)
- [11] Acevedo, L. (2015). *Estudio de la fotocátalisis heterogénea solar para tratar un efluente contaminado con productos farmacéuticos: Ibuprofeno, Diclofenaco y Sulfametoxazol*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- [12] Araujo, V.V.M., Shinn, C., Mendes, L.B., Delello-Schneider, D., Sanchez, A.L., y Espíndola, E.L.G. (2014). Avoidance response of *Danio rerio* to a fungicide in a linear contamination gradient. *Science of the Total Environment*, 484, 36-42.



6 Infraestructura, equipos y fondos adicionales.

6.1 Infraestructura y equipos

Infraestructura	Equipos	
	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Laboratorio del Acelerador de Electrones	Espectrofotómetro HACH	Laboratorio del Acelerador de Electrones, Departamento de Ciencias Nucleares.
	Equipo de determinación de COT	Laboratorio del Acelerador de Electrones, Departamento de Ciencias Nucleares.
	pH-metro	Laboratorio del Acelerador de Electrones, Departamento de Ciencias Nucleares.
	Acelerador lineal de electrones	Laboratorio del Acelerador de Electrones, Departamento de Ciencias Nucleares.
Laboratorio de Físicoquímica	Mufla	Laboratorio de Físicoquímica, Departamento de Ciencias Nucleares.
Laboratorio de Investigaciones Aplicadas	Espectrofotómetro UVS/VIS	Laboratorio de Investigaciones Aplicadas, Departamento de Ciencias Nucleares.
	Piranómetro	Laboratorio de Investigaciones Aplicadas, Departamento de Ciencias Nucleares.
Research Council Saskatchewan	Espectrómetro IR	Research Council Saskatchewan
	Difractómetro de RX	Research Council Saskatchewan
	Microscopio electrónico de barrido	Research Council Saskatchewan
	Equipo TGA	Research Council Saskatchewan
	Calorímetro diferencial de barrido	Research Council Saskatchewan
Instituto de Ciencias Biológicas	Peceras	Instituto de Ciencias Biológicas

6.2 Breve justificación del equipo requerido

Radiómetro: Este equipo se utilizará en la medición de la fluencia de la radiación emitida por las lámparas UV y de xenón que se utilizarán en los estudios de fotocatalisis heterogénea.

