

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica

Investigación Aplicada

DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUTOS:

1. Departamento de Petróleos

LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Producción de Hidrocarburos – Medio Ambiente

DISCIPLINA CIENTÍFICA (Marque X, solamente una opción)

| | |
|------------------------------|---|
| Ciencias Naturales y Exactas | X |
| Ingeniería y Tecnologías | |
| 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 | |

JLR



1 Proyecto de Investigación

Título: Identificación de especies nativas candidatas para fitoremediación de aguas industriales generadas por actividades hidrocarburíferas

Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)

El manejo de las aguas de producción de la industria petrolera (aguas de formación y aguas usadas en refinerías) y su remediación, en caso de derrame es uno de los mayores retos ambientales a nivel mundial. Investigaciones recientes han determinado una serie de especies de plantas que, mediante diversos mecanismos, permiten afrontar estos retos. Al tratarse de seres vivos, no es posible la transferencia directa de tecnología. Introducir especies tiene grandes riesgos y limitaciones inherentes; por lo que se deben realizar procesos locales de I+D+i. Este proyecto es el primer paso para desarrollar esta tecnología, y el objetivo es identificar especies nativas del Ecuador que tengan potencial para ser usadas en procesos de fitoremediación de agua y suelos contaminados por actividades extractivas. Se usará una combinación de análisis filogenéticos y modelamiento de nicho ecológico, que permitirá tener como producto una lista de especies potenciales para ser analizadas en futuros proyectos. Además, mediante una visita académica, se establecerá una colaboración a largo plazo con laboratorios líderes en esta área de trabajo, desarrollando capacidades locales de investigación, paso fundamental para en el futuro iniciar con fases experimentales sobre la aplicación de estas especies.

Palabras clave (4-6): agua de producción, contaminación, filogenética, fitoremediación, modelamiento de nicho ecológico

JER



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

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

- Identificar especies nativas del Ecuador que tengan potencial para procesos de fitoremediación de agua industriales generadas por actividades hidrocarburíferas.

2.1.2 Objetivos Específicos

- a. Identificar especies que hayan sido aplicadas exitosamente en procesos de fitoremediación a nivel mundial.
- b. Clasificar las especies según los procesos biológicos específicos que permiten su aplicación para procesos de fitoremediación.
- c. Identificar especies nativas del Ecuador filogenéticamente cercanas a las especies ya conocidas para fitoremediación.
- d. Determinar los requerimientos ambientales de las especies nativas con potencial para procesos de fitoremediación.
- e. Clasificar a las especies nativas con potencial para fitoremediación, según el ecosistema de aplicación y el tipo de contaminación que podrían tratar.
- f. Establecer protocolos de experimentación para evaluar el potencial real de aplicación de las especies determinadas para proyectos de fitoremediación, para ser aplicados en futuros proyectos de investigación.

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

El presente proyecto tiene como propósito establecer las especies nativas, que por su historia evolutiva, puedan tener potencial para procesos de fitoremediación en Ecuador. Con este fin, únicamente se realizarán análisis filogenéticos y de modelamiento ecológico de nicho para determinar dichas especies. El determinar estas especies potenciales, junto al intercambio académico con laboratorios donde se realizan investigaciones de alto nivel en este tema, permitirán sentar las bases para futuros proyectos que incluirán: procesos experimentales para determinar la eficiencia de aplicación, interacciones de facilitación entre especies de plantas y/o bacterias y escalamiento para aplicación in-situ. Por lo tanto, el alcance de este proyecto excluye:

- a. Procesos experimentales de aplicación de estas plantas
- b. Potenciales servicios de consultoría para aplicar *in situ* esta tecnología
- c. Establecimiento de bancos de germoplasma o expediciones de recolección de semillas o plantas
- d. Caracterización físico química de aguas o suelos contaminados por actividades hidrocarburíferas

2.3 Hipótesis (Responden al problema de investigación)

- a. A lo largo de la historia evolutiva de especies filogenéticamente cercanas, las vías metabólicas y por tanto la tolerancia a condiciones extremas (i.a. altas concentraciones de sal y/o metales pesados) se conservarían [1].
- b. En Ecuador existen especies nativas filogenéticamente cercanas a especies que se han usado exitosamente en procesos de fitoremediación en otros ambientes a nivel mundial.

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

- a. Lista exhaustiva de especies que han sido usadas en procesos de fitoremediación en otros ambientes a nivel mundial.
- b. Establecer los principales mecanismos de fitoremediación y clasificar a las especies de plantas, determinadas en el ítem anterior, según su mecanismo de acción.
- c. Lista de géneros, subgéneros y especies filogenéticamente cercanas a especies que han sido aplicadas exitosamente en procesos de fitoremediación en otros ambientes a nivel mundial.
- d. Mapas de probabilidad de presencia/sobrevivencia (en el Ecuador) de las especies determinadas en el ítem anterior.
- e. Publicación enfocada en las especies nativas del Ecuador con potencial para aplicación en procesos de fitoremediación, clasificadas según: ecosistema de aplicación y tipo de contaminación que podrían tratar (según los mecanismos determinados en el ítem b.)
- f. Perfil de proyecto de mayor impacto, considerando requerimientos de facilidades y protocolos estándar para experimentación.



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

En el proceso de producción de hidrocarburos se genera un gran volumen de agua de formación, muchas veces siendo mayor a la cantidad de petróleo producida [2-3]. Esta agua de formación, también llamada agua de producción, tiene una alta concentración de sal (comparable al agua de mar) muchas veces con concentraciones relativamente altas de metales pesados como Hg, Va, Ni [3-5] y, luego de ser separada del petróleo, suele retener cierta concentración de hidrocarburos, incluyendo hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), que son tóxicos para el medioambiente y los seres humanos, incluso cancerígenos [4]. Para los fines de este proyecto, también se considerará el potencial de las plantas para tratar efluentes de refinerías, que comparten los mismos retos para su tratamiento y disposición, además de similitudes físico químicas, con las aguas de formación [4][6].

En el Ecuador, el agua de formación es reinyectada en formaciones geológicas selladas para confinamiento o en formaciones productoras de petróleo para incrementar la presión del reservorio y aumentar la producción de hidrocarburos [5]. Si bien, estos procesos son seguros, siempre existen riesgos de derrame de agua de formación, filtración desde la formación geológica donde está siendo confinada y derrame de la producción antes de ser separada del agua de formación [4-5]. Por lo tanto, es fundamental encontrar tecnologías “verdes” que permitan remediar esta contaminación que aumenta la salinidad y contenido de metales pesados en el suelo y agua, volviéndola tóxica para muchos seres vivos e inútil para los seres humanos [4-5].

Además, el proceso de re-inyección es costoso por lo que encontrar alternativas “verdes” de tratamiento que también permitan disminuir costos en los procesos de producción es de interés tanto para empresas de la Industria petrolera, como entidades interesadas en la protección del ambiente.

La importancia de determinar especies nativas (propias de la región) para procesos de fitoremediación de aguas contaminadas por actividades extractivas, radica en: minimizar el riesgo de introducir especies invasivas [7], aumentar la probabilidad de éxito de los procesos ya que las especies están adaptadas a las condiciones locales [8] y conservar las interacciones ecológicas con el ambiente circundante [9]. Introducir especies de otros ecosistemas siempre conlleva un gran riesgo que supera a los potenciales beneficios. Las especies introducidas pueden llegar a ocupar nichos vacíos o, al no tener parásitos o competidores, volverse invasivas desplazando a las especies nativas, cambiando las interacciones ecológicas y amenazando la biodiversidad local [7-9].

Es de interés del Departamento de Petróleos el realizar investigaciones que permitan generar conocimiento sobre mejores prácticas ambientales durante la producción de hidrocarburos. Lo que sirve por un lado para enriquecer las clases y formar a los estudiantes como profesionales éticos y responsables con el medio ambiente y por otro, desarrollar tecnología y conocimiento local para solucionar uno de los grandes retos ambientales del Ecuador. Además, en un futuro, permitirá colaborar con empresas de la Industria para que mejoren sus prácticas ambientales, garantizando los derechos de la naturaleza consagrados en la Constitución del Ecuador [10] (Artículos 71-74) y garantizando un ambiente limpio para los Ecuatorianos (Artículos 395-397), al mismo tiempo que se extraen recursos valiosos para el desarrollo Nacional, como lo es el petróleo.

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; | |
| d. Aplicación tecnológica construida o implementada; | |
| e. Patente presentada; | |
| f. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación. | X |

JHR



5 Descripción, metodología y diseño del proyecto

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

Descripción

Las aguas de producción de la industria petrolera y su disposición final son uno de los mayores retos ambientales a nivel mundial [4][11]. Investigaciones recientes han determinado una serie de especies que sirven como acumuladores de sal [12-13], para remover metales pesados del suelo [14-17], bioacumulación de sulfuros [18-19] y, en colaboración con bacterias, incrementar la tasa de degradación de hidrocarburos derramados [20-21]. Entre las especies más estudiadas están *Arabidopsis thaliana* [17], *Lemna minor* [22], *Eichhornia crassipes* [6][15], *Azolla pinnata* [23] y *Phragmites australis* [24], que han demostrado su potencial. Dichas especies no se encuentran naturalmente en el Ecuador.

El corte de agua (proporción entre petróleo y agua producido) de los campos de petróleo Ecuatoriano, está tendiendo a aumentar [25], así, cada vez más, la cantidad de agua producida es un problema operacional de la Industria petrolera. Eso también aumenta el riesgo de derrames o escapes de la formación geológica de reinyección. Además, las refinerías de petróleo producen gran cantidad de agua como subproducto de sus operaciones [26]. Actualmente existen dos refinerías en el país, La Libertad en Santa Elena y la Refinería de Esmeraldas en Esmeraldas; y está en planes de construcción una mucho más grande, la Refinería del Pacífico en Manabí.

El Ecuador es un país megadiverso, con una riqueza invaluable de flora, fauna, diversidad de microhábitats y fuentes de agua. Pero es también un país productor de petróleo, que es una de las actividades humanas con mayor impacto ambiental [4] y una de las piedras angulares de la economía Ecuatoriana. En un futuro cercano la minería, otra Industria que se puede beneficiar ampliamente de la aplicación de fitoremediación [27-28], se convertirá en otro pilar de la economía nacional, pero también en fuente de contaminación [29]. Es en este escenario y considerando el bienestar del pueblo ecuatoriano y de futuras generaciones, que se debe desarrollar tecnologías que permitan mantener un balance entre explotar los valiosos recursos naturales que tenemos y proteger el medio ambiente. En el caso de tecnologías que involucran seres vivos, como la fitoremediación o bioremediación, no es fácil la transferencia o importación de tecnología desarrollada en otras áreas. Existen riesgos inherentes al trasladar especies a distintos hábitats (plagas, enfermedades y especies invasivas)[9], pero también existen limitantes para su aplicación. Cada especie de ser vivo está adaptada para ambientes específicos y con requerimientos particulares. La fitoremediación es una tecnología probada y aplicada exitosamente a gran escala, el mejor ejemplo es la planta Nimr en Omán, que trata diariamente más de 100,000 m³ de agua por día [24][30]. Para implementar una tecnología similar en Ecuador, se debe encontrar especies nativas que puedan realizar estos procesos y que además puedan desarrollarse en las zonas donde se necesita su aplicación.

Este proyecto es el primer paso para el desarrollo de estas tecnologías. Es por esto que se pretende primero, identificar especies nativas con el potencial para ser usadas en procesos de fitoremediación, sea como acumuladores de sal, biofiltros, acumuladores de metales pesados o volatilizadores de contaminantes; y segundo, establecer los protocolos para poder realizar experimentos que comprueben su potencial. El primer objetivo estará basado en modelos filogenéticos (evolutivos) que permitan determinar especies nativas relacionadas a especies conocidas por su rol en fitoremediación en otras partes del mundo; esto será complementado con modelamiento de nicho ecológico [31], que es una técnica que permite predecir los lugares dónde una especie podría desarrollarse exitosamente. La segunda parte, establecer protocolos experimentales, depende de capacitación para el equipo de investigación. Es por esto que se ha incluido, como parte de este proyecto, una estancia académica en uno de los laboratorios líderes en el área, para recibir capacitación y establecer colaboraciones que fortalecerán la capacidad investigativa del Departamento de Petróleos y de la EPN. El desarrollo de este tipo de tecnología es necesario y muy prometedor, con perspectivas de tener un fuerte impacto positivo en la protección del medio ambiente Ecuatoriano y este proyecto es sólo el primer paso.

Metodología y Diseño

El proyecto iniciará con una exhaustiva revisión bibliográfica usando bases de datos y buscadores como Web of Science, Google Scholar, etc. Esto permitirá compilar una lista de las especies que han sido exitosamente probadas en procesos de fitoremediación en la industria hidrocarbúrfica, además de especies prometedoras en

JLR



el campo o exitosamente probadas en otras actividades industriales (i.e. tratamiento de efluentes de minería textiles, etc). Esto además permitirá clasificar a dichas especies según su mecanismo específico de acción y por tanto posible aplicación.

Una vez obtenida la lista de especies, se usarán bases de datos como Catalogue of Life (<http://www.catalogueoflife.org/col/>), Dryad data repository (<http://datadryad.org/>), GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>), Angiosperm Phylogeny Website (<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>), junto a otras bases de datos del Missouri Botanical Garden (MoBot) y su base de datos on-line TROPICOS (<http://www.tropicos.org/>) y datos del herbario QCA de la PUCE y el catálogo de plantas vasculares del Ecuador (<http://www.mobot.org/MOBOT/research/ecuador/welcomeesp.shtml>), para establecer especies nativas filogenéticamente relacionadas a las especies determinadas de la literatura. Se determinarán especies, sub-géneros, géneros y familias relacionadas a especies ya probadas por sus capacidades en fitoremediación; esto se realizará usando el software libre Mezquite para análisis filogenéticos [32].

Los principales ambientes en donde se podría aplicar esta tecnología son: bosque húmedo tropical oriental donde se ubica la mayor parte de facilidades de producción y campos petroleros, además de la refinería de Esmeraldas (en el occidente); bosque húmedo subtropical oriental y páramos por donde cruzan el SOTE y OCP, bosque seco tropical, donde estará la refinería del Pacífico y se encuentra la refinería de la Libertad. Una vez que se tenga una lista de las especies nativas relacionadas a especies probadas en fitoremediación, se procederá a realizar modelamiento de nicho ecológico [20][31] para determinar qué especies podrían sobrevivir y desarrollarse en los hábitats mencionados. Para realizar este modelamiento se utilizará el software libre MaxEnt [33-34] y como puntos de presencia para construir el modelo máxima entropía, datos del Herbario QCA, herbario Nacional, TROPICOS y otras bases de datos libre on-line.

Combinando la información obtenida de la revisión bibliográfica, la lista de especies nativas filogenéticamente cercanas y los resultados de modelamiento de nicho, se establecerá listas potenciales de especies para experimentación en un futuro proyecto; dejando las bases para continuar la investigación en esta línea. El proyecto además de producir una publicación indexada en un *journal* de alto impacto, tendrá como producto una propuesta de proyecto de mayor alcance (proyecto interno junior o PIMI, en colaboración con otras Unidades académicas de la EPN). La capacitación que recibirá el Director de este proyecto en su visita académica a Japón (Laboratorio Dr. Masayuki Sakakibara, Universidad de Ehime, Matsuyama o National Center for Environmental Studies, Tsukuba), será la base para dar los siguientes pasos en esta línea de investigación. Es por esto que los objetivos de la estancia académica del Director son: capacitarse en métodos de química analítica relevantes, revisar el diseño de espacios de experimentación de última generación, establecer una colaboración a largo plazo con un laboratorio líder en el área de investigación y aprender otras herramientas complementarias para el desarrollo de investigaciones en esta área (i.e. horticulturismo con fines científicos, manejo de sistemas de soporte en invernaderos experimentales, etc).

Referencias Bibliográficas

- [1] Chae, L., Kim, T., Nilo-Poyanco, R., & Rhee, S. Y. (2014). Genomic signatures of specialized metabolism in plants. *Science*, 344(6183), 510-513.
- [2] Johnson, R. J., Jurawan, I., Frenzel, M., & Price, A. C. (2016). The identification and mechanism of a *Scenedesmus* spp. causing bio-fouling of an oil field produced water treatment plant. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 108, 207-213.
- [3] Nair, R. R., Protasova, E., Bilstad, T., & Strand, S. (2016, September). Reuse of Produced Water by Membranes for Enhanced Oil Recovery. In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- [4] Lee, K., & Neff, J. (Eds.). (2011). *Produced water: environmental risks and advances in mitigation technologies*. Springer Science & Business Media.
- [5] Fakhru'l-Razi, A., Pendashteh, A., Abdullah, L. C., Biak, D. R. A., Madaeni, S. S., & Abidin, Z. Z. (2009). Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of hazardous materials*, 170(2), 530-551.
- [6] Ugya, A. Y., & Imam, T. S. (2015). The efficiency of *Eichhornia crassipes* in the phytoremediation of waste water from Kaduna Refinery and petrochemical company. *J. Environ. Sci. Toxicol*, 43-47.

JR



- [7] Pheloung, P. C., Williams, P. A., & Halloy, S. R. (1999). A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions. *Journal of environmental management*, 57(4), 239-251.
- [8] Seburanga, J. L., Bizuru, E., Mwavu, E. N., Kampungu, K. G., Gatesire, T., & Kaplin, B. A. (2016). A New Method for Post-introduction Risk Assessment of Biological Invasions Among Introduced Shrubs in Developing Countries. *Environmental management*, 57(3), 572-584.
- [9] Buckley, Y. M., & Catford, J. (2016). Does the biogeographic origin of species matter? Ecological effects of native and non-native species and the use of origin to guide management. *Journal of Ecology*, 104(1), 4-17.
- [10] Constitución, E. (2008). Constitución del Ecuador. *Constitucion del Ecuador*.
- [11] Tong, T., & Elimelech, M. (2016). The global rise of zero liquid discharge for wastewater management: drivers, technologies, and future directions. *Environmental science & technology*, 50(13), 6846-6855.
- [12] Fontenot, D., Bush, E., Beasley, J., & Fontenot, K. (2015). Evaluating Bermudagrass (*Cynodon dactylon*), seashore Paspalum (*Paspalum vaginatum*), and weeping lovegrass (*Eragrostis curvula*), as a vegetative cap for industrial brine landform stabilization and phytoremediation. *Journal of plant nutrition*, 38(2), 237-245.
- [13] MacNeill, G. (2011). *Plant-growth promoting rhizobacteria enhanced phytoremediation of saline soils and salt uptake into plant biomass* (Master's thesis, University of Waterloo).
- [14] Van Oosten, M. J., & Maggio, A. (2015). Functional biology of halophytes in the phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Environmental and experimental botany*, 111, 135-146.
- [15] Sakakibara, M., Ohmori, Y., Ha, N. T. H., Sano, S., & Sera, K. (2011). Phytoremediation of heavy metal-contaminated water and sediment by *Eleocharis acicularis*. *CLEAN-Soil, Air, Water*, 39(8), 735-741.
- [16] Ha, N. T. H., Sakakibara, M., & Sano, S. (2011). Accumulation of Indium and other heavy metals by *Eleocharis acicularis*: an option for phytoremediation and phytomining. *Bioresource technology*, 102(3), 2228-2234.
- [17] León-Romero, M. A., Soto-Ríos, P. C., Fujibayashi, M., & Nishimura, O. (2017). Impact of NaCl Solution Pretreatment on Plant Growth and the Uptake of Multi-heavy Metal by the Model Plant *Arabidopsis thaliana*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228(2), 64.
- [18] Geurts, J. J., Sarneel, J. M., Willers, B. J., Roelofs, J. G., Verhoeven, J. T., & Lamers, L. P. (2009). Interacting effects of sulphate pollution, sulphide toxicity and eutrophication on vegetation development in fens: a mesocosm experiment. *Environmental Pollution*, 157(7), 2072-2081.
- [19] Ruiz, J. M., López-Cantarero, I., Rivero, R. M., & Romero, L. (2003). Sulphur phytoaccumulation in plant species characteristic of gypsiferous soils. *International Journal of Phytoremediation*, 5(3), 203-210.
- [20] Thijs, S., Sillen, W., Rineau, F., Weyens, N., & Vangronsveld, J. (2016). Towards an enhanced understanding of plant-microbiome interactions to improve phytoremediation: engineering the metaorganism. *Frontiers in microbiology*, 7.
- [21] Moubasher, H. A., Hegazy, A. K., Mohamed, N. H., Moustafa, Y. M., Kabil, H. F., & Hamad, A. A. (2015). Phytoremediation of soils polluted with crude petroleum oil using *Bassia scoparia* and its associated rhizosphere microorganisms. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 98, 113-120.
- [22] Ugya, A. Y. (2015). The efficiency of *Lemna minor* L. in the phytoremediation of Romi stream: A case study of Kaduna refinery and petrochemical company polluted stream. *J. Applied Biol. Biotechnol*, 3, 11-14.
- [23] Eribo, O., & Kadiri, M. O. (2016). Growth performance and phytoremediation ability of *Azolla pinnata* in produced water. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 20(4), 1053-1057.
- [24] Al-Rawahi, M., Prigent, S., Headley, T., Breuer, R., & Paetzelt, R. (2014, November). Constructing Wetlands in the Desert: An Example of Sustainable Produced Water Management in Oman. In *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference*. Society of Petroleum Engineers.
- [25] Naranjo, M. A., Freire, J. L., Lafournère, J. P. B., Pastrana, W., Hurtado, J., Bourge, J. P., ... & Izurieta, A. (2017, May). Tackling the Challenges of a Mature Field with Multiple Oil-Water Contacts Generated in Major Reservoir Hydraulic Units: Case Study in the Shushufindi-Aguarico Field, Oriente Basin, Ecuador. In *SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference*. Society of Petroleum Engineers.

JLTZ



[26] Spang, E. S., Moomaw, W. R., Gallagher, K. S., Kirshen, P. H., & Marks, D. H. (2014). The water consumption of energy production: an international comparison. *Environmental Research Letters*, 9(10), 105002.

[27] Nurfitri, A. G., Sakakibara, M., & Koichiro, S. (2017). Phytoremediation Of Heavy Metal-polluted Mine Drainage By *Eleocharis Acicularis*. *Environmental Science: An Indian Journal*, 13(1).

[28] Paz-Ferreiro, J., Lu, H., Fu, S., Méndez, A., & Gascó, G. (2014). Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review. *Solid Earth*, 5(1), 65.

[29] Simate, G. S., & Ndlovu, S. (2014). Acid mine drainage: Challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1785-1803.

[30] Graham, E. J. S., Dean, C. A., Yoshida, T. M., Twary, S. N., Teshima, M., Alvarez, M. A., ... & Wagner, G. L. (2017). Oil and gas produced water as a growth medium for microalgae cultivation: A review and feasibility analysis. *Algal Research*.

[31] Peterson, A. T. (2003). Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *The quarterly review of biology*, 78(4), 419-433.

[32] Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipski, A., & Kumar, S. (2013). MEGA6: molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. *Molecular biology and evolution*, 30(12), 2725-2729.

[33] Warren, D. L., & Seifert, S. N. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications*, 21(2), 335-342.

[34] Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17(1), 43-57.

6 Infraestructura, equipos y fondos adicionales.

6.1 Infraestructura y equipos

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

| Laboratorio | Equipos | |
|-------------------------------|---|---------------------------|
| | Nombre del Equipo | Ubicación del Equipo |
| Oficina de Profesor JL Rivera | Computador con características necesarias para usar ArcGIS 10.4 (licencia institucional EPN), MaxEnt (freeware) y MEGA (freeware) | Departamento de Petróleos |

6.2 Breve justificación del equipo requerido

- N/A

JLR

6.3 Fondos Adicionales

- N/A



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN



AÑO 1

| | |
|-------------------------------|--|
| Director del proyecto | Título del proyecto |
| José Luis Rivera Parra, Ph.D. | Identificación de especies nativas candidatas para fitoremediación de aguas industriales generadas por la actividad hidrocarburífera |

| Lista de Items | Cantidad | Unidad | Precio Unitario Referencial | Precio Total Referencial | Precio Unitario Referencial +Aporte IESS | Precio Total Referencial con IVA + Aporte del IESS |
|--|----------|---------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--|--|
| 1 Contratación de servicios personales por contrato | | | | | | |
| 1.1 Ayudantes de investigación | | mes | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 1.2 Prestación de servicios profesionales (Homologado Escala de remuneración de servidores públicos) | | mes | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Subtotal 1 | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Lista de Items | Cantidad | Unidad | Precio Unitario Referencial sin IVA | Precio Total Referencial sin IVA | Precio Unitario Referencial con IVA | Precio Total Referencial con IVA |
| 2 Maquinaria equipos | | | | | | |
| 2.1 Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 2.2 Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 2.3 Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 2.4 Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 2.5 Item 5 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Subtotal 2 | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 3 Reactivos y materiales de laboratorio | | | | | | |
| 3.1 Item 1 (Detallar nombre de los insumos y reactivos) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 3.2 Item 2 (Detallar nombre de los insumos y reactivos) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 3.3 Item 3 (Detallar nombre de los insumos y reactivos) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 3.4 Item 4 (Detallar nombre de los insumos y reactivos) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 3.5 Item 5 (Detallar nombre de los insumos y reactivos) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Subtotal 3 | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 4 Literatura especializada | | | | | | |
| 4.1 Item 1 (Detallar nombre del libro) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 4.2 Item 2 (Detallar nombre del libro) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 4.3 Item 3 (Detallar nombre del libro) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 4.4 Item 4 (Detallar nombre del libro) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 4.5 Item 5 (Detallar nombre del libro) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Subtotal 4 | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 5 Viajes técnicos y de muestreo | | | | | | |
| 5.1 Pasajes al interior | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 5.2 Viáticos al interior | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Subtotal 5 | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 6 Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones | | | | | | |
| 6.1 Pasajes al exterior Quito-Tokyo-Quito | 1 | pasaje ida y vuelta | \$ 2.000,00 | \$ 2.000,00 | \$ 2.240,00 | \$ 2.240,00 |
| 6.2 Viáticos al exterior 30 días calculado: valor de viático \$185; coeficiente de ajuste por país (Japón) 2,01; primeros 15 días 100% del viático; 14 días 85% del viático; día de viaje de regreso la mitad del 85% del viático. Valores calculados según el Reglamento de Viáticos para servidores públicos al exterior | 27,325 | dia | \$ 371,85 | \$ 10.160,80 | \$ 371,85 | \$ 10.160,80 |
| 6.3 Pago de inscripción y publicaciones | | | | \$ - | \$ - | \$ - |
| Subtotal 6 | | | \$ 2.371,85 | \$ 12.160,80 | \$ 2.611,85 | \$ 12.400,80 |
| TOTAL | | | | \$ 12.160,80 | | \$ 12.400,80 |

JLR



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN



AÑO 2

| | |
|-------------------------------|---|
| Director del proyecto | Título del proyecto |
| José Luis Rivera Parra, Ph.D. | Identificación de especies nativas candidatas para fitoremmediación de aguas industriales generadas por la actividad hidrocarburífera |

| Lista de Items | Cantidad | Unidad | Precio Unitario Referencial | Precio Total Referencial | Precio Unitario Referencial +Aporte IESS | Precio Total Referencial con IVA + Aporte del IESS |
|--|----------|-------------|-------------------------------------|----------------------------------|--|--|
| 1 Contratación de servicios personales por contrato | | | | | | |
| 1.1 Ayudantes de investigación | | mes | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 1.2 Prestación de servicios profesionales (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos) | | mes | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Subtotal 1 | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Lista de Items | Cantidad | Unidad | Precio Unitario Referencial sin IVA | Precio Total Referencial sin IVA | Precio Unitario Referencial con IVA | Precio Total Referencial con IVA |
| 2 Maquinaria-equipos | | | | | | |
| 2.1 Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 2.2 Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 2.3 Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 2.4 Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 2.5 Item 5 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Subtotal 2 | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 3 Reactivos y materiales de laboratorio | | | | | | |
| 3.1 Item 1 (Detallar nombre de los insumos y reactivos) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 3.2 Item 2 (Detallar nombre de los insumos y reactivos) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 3.3 Item 3 (Detallar nombre de los insumos y reactivos) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 3.4 Item 4 (Detallar nombre de los insumos y reactivos) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 3.5 Item 5 (Detallar nombre de los insumos y reactivos) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Subtotal 3 | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 4 Literatura especializada | | | | | | |
| 4.1 Item 1 (Detallar nombre del libro) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 4.2 Item 2 (Detallar nombre del libro) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 4.3 Item 3 (Detallar nombre del libro) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 4.4 Item 4 (Detallar nombre del libro) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 4.5 Item 5 (Detallar nombre del libro) | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Subtotal 4 | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 5 Viajes técnicos y de muestreo | | | | | | |
| 5.1 Pasajes al interior | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 5.2 Viaticos al interior | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Subtotal 5 | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 6 Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones | | | | | | |
| 6.1 Pasajes al exterior | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 6.2 Viaticos al exterior | | | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| 6.3 Publicación artículo indexado en revista de alto nivel | 1 | publicación | \$ 1.500,00 | \$ 1.500,00 | \$ 1.680,00 | \$ 1.680,00 |
| Subtotal 6 | | | \$ 1.500,00 | \$ 1.500,00 | \$ 1.680,00 | \$ 1.680,00 |
| TOTAL | | | | \$ 1.500,00 | | \$ 1.680,00 |

JLR



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN



| Director del proyecto | Título del proyecto |
|-------------------------------|---|
| José Luis Rivera Parra, Ph.D. | Identificación de especies nativas candidatas para fitoremediación de aguas industriales generadas por la actividad hidrocarbúrfica |

Presupuesto consolidado sin IVA

| AÑO | Contratación de servicios personales por contrato | Maquinaria y equipo | Reactivos y materiales de laboratorio | Literatura especializada | Viajes técnicos y de muestreo | Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones | Total sin IVA |
|-------|---|---------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--|---------------|
| 1 | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ 12.160,80 | \$ 12.160,80 |
| 2 | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ 1.500,00 | \$ 1.500,00 |
| 3 | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| TOTAL | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ 13.660,80 | \$ 13.660,80 |

Presupuesto consolidado con IVA

| AÑO | Contratación de servicios personales por contrato | Maquinaria y equipo | Reactivos y materiales de laboratorio | Literatura especializada | Viajes técnicos y de muestreo | Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones | Total con IVA |
|-------|---|---------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--|---------------|
| 1 | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ 12.400,80 | \$ 12.400,80 |
| 2 | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ 1.680,00 | \$ 1.680,00 |
| 3 | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| TOTAL | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ 14.080,80 | \$ 14.080,80 |

JLR

DECLARACIÓN FINAL

TIPO DE PROYECTO

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Interdisciplinario

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación básica Investigación aplicada

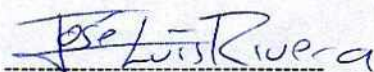
TÍTULO DEL PROYECTO

Identificación de especies nativas candidatas para fitoremediación de aguas industriales generadas por la actividad hidrocarburífera

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una obra original de este equipo de investigadores y por tanto, asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada solicitando el financiamiento total del presupuesto. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que, todos los bienes adquiridos en el proyecto permanecerán bajo la custodia y responsabilidad del director de proyecto.
- Que, aceptamos que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener de derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, estos serán compartidos entre los investigadores y las instituciones participantes en el proyecto.



Firma del Director del Proyecto
Nombre: José Luis Rivera Parra
C.I.: 1716763782

DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO

Esta propuesta ha sido aprobada y avalada por el Consejo del Departamento de Petróleos en sesión del día Miércoles 02 de Agosto de 2017 mediante resolución No. 2

Las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del proponente y sus colaboradores de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta propuesta.



Firma del Jefe del Departamento
Nombre: Raúl Armando Valencia Tapia
C.I.: 0601877939