



### PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno 
 Proyecto Semilla 
 Proyecto Junior 
 Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica 
 Investigación Aplicada 
 Investigación Pedagógica 
 Innovación

**DEPARTAMENTO(S):**

- Departamento de Ciencias Nucleares
- Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología - DECAB

**LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:**

- Aplicaciones de aceleradores de electrones
- Nuevos materiales

**1 Proyecto de Investigación**


**Título:**  
Obtención de hidrogeles y films a partir de inulina mediante radiación beta de un acelerador de electrones y reacciones de polimerización.

**Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)**

En este proyecto se obtendrá nuevos materiales poliméricos a base de inulina, un polisacárido de fructosa, mediante el uso de radiaciones beta y reacciones de polimerización. Primero se obtendrá hidrogeles que podrán ser utilizados en el tratamiento de aguas y en segundo lugar se producirá films degradables.

La primera etapa del proyecto comprende la obtención de los hidrogeles y films poliméricos con la variación de las condiciones de operación y procesamiento. Para los hidrogeles se variarán la dosis de irradiación, concentración de reticulante y contenido de inulina. En el caso de los films poliméricos se variará la relación entre cloruro de metacrilato y cloruro de palmitato para la obtención de ésteres inulínicos, así como también la composición de ésteres inulínicos y monómero 2 etil, hexil acrilato para obtener los materiales reticulados.

En la segunda etapa se procederá con la caracterización de los materiales obtenidos a través de propiedades físico-químicas, mecánicas y térmicas. La tercera etapa corresponderá al estudio de la remoción de arsénico en aguas contaminadas de una vertiente de Guayllabamba del Distrito Metropolitano de Quito con el uso de los hidrogeles y finalmente, se estudiará la degradación de los films poliméricos mediante ensayos en una cámara de degradación acelerada.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**UNIDAD DE PROYECTOS**  
 Quito a. **26 AGO 2015** HORA 12h00  
Carlos Cisneros

**Palabras clave (4-6):**  
Inulina, polímeros, hidrogeles, films, radiación beta, degradación.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

<b>2 Datos personales y académicos del Director del Proyecto</b>		
Apellidos: Luna Aguilera	Teléfono casa: 2556437	
Nombres: Gloria Maribel		
Cédula de Identidad: 1104011745	Teléfono celular: 0999130765	
Cargo actual en la EPN: Profesor agregado 1 a tiempo completo		
Dirección particular: Carcelén, Calle E2 N87-163 y Av. Jaime Roldós Aguilera	Teléfono oficina: 2507144	
Horas de dedicación al proyecto: 16 HSS	Ext. EPN: 2273	
	Correo electrónico: maribel.luna@epn.edu.ec	
<b>Formación de pregrado y posgrado</b>		
<b>Títulos</b>	<b>Fecha</b>	<b>Institución / Universidad/País</b>
Ingeniería Química	2009	Escuela Politécnica Nacional/Ecuador
Magíster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones	2010	Universidad Autónoma de Madrid/España

<b>3 Datos personales y académicos del Profesor colaborador</b>		
Apellidos: Aldás Carrasco	Teléfono casa: 2567088	
Nombres: Miguel Fernando		
Cédula de Identidad: 1715046403		
Cargo actual en la EPN: Profesor Agregado 2 a Tiempo completo	Teléfono celular: 0999736444	
Dirección particular: Santiago OE3-119 y América. Dto. 206	Teléfono oficina: 2558389	
Horas de dedicación al proyecto: 8 HSS	Ext. EPN: 2272	
	Correo electrónico: miguel.aldas@epn.edu.ec	
<b>Formación de pregrado y posgrado</b>		
<b>Títulos</b>	<b>Fecha</b>	<b>Institución / Universidad</b>
Máster en Materiales	09/2009	Université Claude Bernard - Lyon 1/Francia
Ingeniero Químico	04/2008	Escuela Politécnica Nacional/Ecuador

<b>3 Datos personales y académicos del Profesor colaborador</b>		
Apellidos: Jaramillo Bolaños	Teléfono casa: 2556641	
Nombres: Lorena Imelda		
Cédula de Identidad: 1712289311	Teléfono celular: 0995887642	
Cargo actual en la EPN: Profesor Auxiliar a tiempo completo (Nivel 1, Grado 1)		
Dirección particular: Wilson E8-140 y Av. 6 de diciembre	Teléfono oficina: 2976300	
Horas de dedicación al proyecto: 8 HSS	Ext. EPN: 4211	
	Correo electrónico: lorena.jaramillo@epn.edu.ec	
<b>Formación de pregrado y posgrado</b>		
<b>Títulos</b>	<b>Fecha</b>	<b>Institución / Universidad/País</b>
Ingeniera Química	01/12/2000	Escuela Politécnica Nacional/Quito-Ecuador
Máster en Ciencias en Ingeniería de Procesos	04/01/2007	Universidad de Ciencias Aplicadas HAW/ Hamburgo – Alemania



<b>4 Datos personales del personal administrativo de investigación (opcional)</b>		
Apellidos:		Teléfono casa:
Nombres:		
Lugar y fecha de nacimiento:		Teléfono celular:
Cargo actual en la EPN:		
Dirección particular:		Teléfono oficina: Ext. EPN: Correo electrónico:
<b>Formación de pregrado y posgrado</b>		
<b>Títulos</b>	<b>Fecha</b>	<b>Institución / Universidad</b>

<b>5</b>	<b>Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación</b>
	<p><b>5.1 Objetivos</b></p> <p><b>5.1.1 Objetivo General</b></p> <p>Obtener hidrogeles y films a partir de inulina mediante radiación beta de un acelerador de electrones y reacciones de polimerización.</p> <p><b>5.1.2 Objetivos Específicos</b></p> <p>a. Determinar las mejores concentraciones de los reticulantes acrilamida y alcohol polivinílico, cantidad de inulina y dosis de irradiación para la obtención de hidrogeles.</p> <p>b. Determinar la mejor formulación, con la variación del contenido de cloruro de metacrililo, cloruro de palmitoilo, ésteres inulínicos y monómero 2 etil, hexil acrilato, para la obtención de films de material reticulado.</p> <p>c. Caracterizar los hidrogeles obtenidos mediante el porcentaje de hinchamiento, el porcentaje de gelación el contenido de agua en equilibrio, la espectroscopía de FTIR y la estabilidad térmica con base en los análisis TGA y DSC.</p> <p>d. Caracterizar los films de material reticulado obtenido mediante ensayos de espectroscopía de FTIR, calorimetría diferencial de barrido (DSC), termogravimetría (TGA) y análisis de propiedades mecánicas.</p> <p>e. Determinar la capacidad de remoción de arsénico del mejor hidrogel en soluciones estándares y en aguas contaminadas con arsénico de una vertiente de Guayllabamba del Distrito Metropolitano de Quito.</p> <p>f. Estudiar la degradación de los films de material reticulado obtenidos mediante pruebas de degradación acelerada.</p> <p><b>5.2 Relevancia de esta propuesta de investigación y su relación con la(s) Línea(s) de investigación asociadas.</b></p> <p>La presente propuesta de investigación busca generar dos nuevos materiales: por un lado hidrogeles preparados con inulina entrecruzados con PVA y acrilamida mediante radiación beta para su uso en la remoción de arsénico, y por otro lado un film de material reticulado, que sea degradable en menor tiempo que los polímeros comerciales.</p> <p>La inulina es un polisacárido de fructosa que ha demostrado tener interesantes propiedades cuando se la utiliza como matriz de materiales poliméricos. Algunas de sus propiedades más relevantes son: biocompatibilidad, biodegradabilidad, no toxicidad y alta solubilidad en el agua [20, 2]. Debido a su estructura y características estos materiales tienen una gran variedad de aplicaciones dentro de la industria farmacéutica, alimenticia, en la medicina y en el tratamiento de aguas [18].</p>



El primer producto de la investigación, los hidrogeles preparados con inulina, se asocia a la línea de investigación "Aplicaciones de aceleradores de partículas" del DCN. Esta línea de investigación usa nuevas tecnologías, como es el caso de las radiaciones ionizantes beta y rayos X, para la obtención de diversos materiales. El segundo producto, los films de material reticulado a partir de ésteres de inulina, está asociado a la línea de investigación: "Nuevos materiales" del DECAB, donde se estudia la obtención de materiales innovadores, con buenas propiedades y con posible utilidad comercial e industrial.

En los últimos años se ha presentado un creciente interés por buscar nuevas técnicas menos costosas y más sencillas que permitan la remoción de metales pesados en cuerpos de agua. Los hidrogeles, estructuras poliméricas tridimensionales, son materiales que debido a su alta capacidad de adsorción, su fácil captación y separación de soluciones acuosas permiten la remoción de metales pesados presentes en el agua [16]. Los hidrogeles tienen la capacidad de absorber agua sin ser disueltos, debido a que están conformados por compuestos hidrofílicos que se han reticulado entre sí con la formación de redes poliméricas. Estas uniones pueden ser de carácter físico, debido a fuerzas secundarias, o químico, debido a enlaces covalentes; otra forma con la que se pueden producir estos enlaces covalentes es con la irradiación de la solución polimérica con radiaciones ionizantes [4, 17]. Además, el arsénico es considerado una de las 10 sustancias químicas más peligrosas para la salud pública, las cuales pueden contaminar fuentes de agua, como es el caso de aquellas encontradas en Tumbaco y Guayllabamba, dentro del Distrito Metropolitano de Quito [5, 22, 23].

Por otro lado, cada vez es más importante el desarrollo de materiales degradables y biodegradables, debido a la creciente preocupación por la cantidad de residuos sólidos generados a nivel mundial. Según la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS-EP), solo en el mes de abril de 2015 en el relleno sanitario del Inga III, ubicado en el DMQ, se recibieron alrededor de 2 000 toneladas de basura por día de las cuales se estima que el 15,5% son plásticos [6, 7]. Un camino para solventar la problemática ha sido la síntesis de plásticos por copolimerización entre monómeros y biopolímeros como los polisacáridos que son considerados los polímeros de origen natural más abundantes del planeta entre los cuales se tienen la celulosa, la hemicelulosa y la inulina, esta última la base del estudio del presente trabajo. [8, 14, 15]. Es así que, al obtener materiales degradables se puede minimizar el impacto ambiental que actualmente causan los plásticos en el planeta, dado que estos materiales presentan menores tiempos de vida, lo que minimiza el espacio físico que actualmente ocupan los plásticos dentro de los rellenos sanitarios, aumentando el tiempo de funcionamiento de estos.

Por tanto, la relevancia de la presente propuesta de investigación se basa en varios aspectos: a) Fortalecer los lazos de investigación multidisciplinaria entre varios Departamentos de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria: el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB), el Departamento de Ciencias Nucleares (DCN) y el Departamento de Ingeniería Química (DIQ) con sus respectivas líneas de investigación: Nuevos materiales, Aplicaciones de aceleradores de partículas y Recursos Orgánicos. b) Trabajar de manera sinérgica con el Departamento de Automatización y Control Industrial (DACI) de la carrera de Ingeniería Electrónica, dado que a través de sus docentes, también se ha propuesto un proyecto de investigación para la extracción de la inulina, materia prima de estudio en la presente propuesta. c) Proponer al menos una tesis de maestría, dirigida hacia la Maestría en Ingeniería Industrial y Productividad que está enfocada a la creación de nuevos procesos industriales y al mejoramiento en calidad, efectividad, productividad y competitividad de los ya existentes. La propuesta de tesis se derivará de los resultados de la obtención de nuevos materiales de este proyecto, pues es factible promover la implementación procesos industriales que permitan la obtención de la inulina u otros polisacáridos para generar por ejemplo, hidrogeles que sirvan para remover contaminantes como metales pesados, colorantes, fenoles, etc. de efluentes líquidos, así como también, la generación de films biodegradables que pueden ser utilizados para tratamientos de regeneración de piel con quemaduras o como dosificadores de medicamentos.

Finalmente, fortalecer los grupos de investigación y las líneas de investigación de los departamentos mencionados mediante la generación de conocimiento, dado que se investigará en la obtención de nuevos materiales a partir de materias primas disponibles y renovables, lo que conlleva aportar en el estado del arte del campo de nuevos materiales en el país, y la posible obtención de materiales de interés tanto industrial como comercial, para contribuir de esta manera al desarrollo industrial del Ecuador. Además, se fortalecerán y equiparán los laboratorios involucrados, lo que será un aporte para estudiantes de pregrado y posgrado, y por supuesto, para el desarrollo de nuevos proyectos de investigación.



### 5.3 Productos esperados

- a. Publicaciones científicas (obligatorio);
- b. Disertación a la Comunidad Politécnica;
- c. Proyecto de Titulación;
- d. Tesis de Grado (maestría o doctorado);
- e. Aplicación tecnológica construida o implementada;
- f. Patente presentada;
- g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.

### 5.4 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- a. Procedimiento para la obtención de hidrogeles de inulina-PVA e inulina-acrilamida con las mejores propiedades
- b. Procedimiento y formulación para la obtención de films plásticos de inulina definidos.
- c. Efecto de la dosis de irradiación, contenido de inulina y concentración de reticulantes en el porcentaje de hinchamiento, el contenido de agua en equilibrio, el espectro IR y la estabilidad térmica del hidrogel obtenido.
- d. Films de material reticulado completamente caracterizados por FTIR, DSC, TGA y propiedades mecánicas.
- e. Determinación del porcentaje de remoción de arsénico del mejor hidrogel en soluciones estándares al variar la concentración inicial de la solución de arsénico, el pH de la solución y la cantidad de hidrogel.
- f. Determinación del porcentaje de remoción de en aguas contaminadas con arsénico provenientes de una vertiente de Guayllabamba del Distrito Metropolitano de Quito.
- g. Tiempos de degradación en cámara de arco de xenón definidos para el material reticulado.

## 6 Descripción, metodología y cronograma de trabajo

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

La realización de este proyecto consta de la reticulación de la inulina con alcohol polivinílico y acrilamida con el uso de radiación beta proveniente de un acelerador de electrones para la obtención de hidrogeles y la reticulación de ésteres inulínicos mediante reacciones de polimerización para obtención de films de materiales reticulados.

*Determinación de las mejores concentraciones de reticulantes, contenido de inulina y dosis de irradiación para la obtención de hidrogeles*

Se prepararán soluciones de inulina comercial con PVA y acrilamida con diferentes concentraciones de reticulante y diferentes cantidades de inulina. El PVA estará en concentraciones entre el 5 y 20%, mientras que la acrilamida entre 10 y 30%. Estos rangos se determinaron en pruebas preliminares. Se agregará inulina en diferentes cantidades, para obtener composiciones en peso del 30, 50 y 70% con respecto a la mezcla inulina-reticulante, cantidades determinadas también en pruebas preliminares. Para ello se solubilizará el reticulante en agua destilada en un baño termostático con temperaturas entre 22 y 60 °C y se agregará la inulina hasta obtener la completa disolución de la mezcla [3, 10].

Se eliminará el oxígeno atrapado en las soluciones por medio de burbujeo con nitrógeno seguido de sonicación en un baño de ultrasonido [21] y se irradiarán con radiación beta las diferentes soluciones de inulina-reticulante a diferentes dosis (25, 50 y 75 kGy) en el acelerador lineal de electrones ELU-6U del DCN, en fundas de polietileno. Finalmente, se cortarán los hidrogeles obtenidos, se los lavará para eliminar cualquier residuo y se los secará en una estufa a una temperatura de 60 °C y luego serán refrigerados [10].



*Determinación de la mejor formulación para la obtención de films de material reticulado*

Para determinar la mejor formulación para obtener films de material reticulado, se variará el contenido de cloruro de metacrilato, cloruro de palmitato, ésteres inulínicos y monómero 2 etil, hexil acrilato. Para obtener un film de material reticulado, se propone la siguiente metodología: primero se trabajará en la obtención de los ésteres de inulina y luego con los ésteres obtenidos se realizarán reacciones de polimerización como se especifica a continuación.

Para la obtención de ésteres de inulina (Acilación), la inulina se disolverá en N,N-dimetil-acetamida en relación líquido-sólido de 8 mL de solución por gramo de inulina. La solución formada será acilada mediante el uso de cloruro de metacrilato y cloruro de palmitato [8, 9, 15], para lo cual se propone realizar un diseño experimental tipo factorial mixto 2 x 3 donde los factores serán: cantidad de cloruro de metacrilato con niveles de 0,6 y 1,2 mL por gramo de inulina, y la cantidad de cloruro de palmitato con niveles de 1,8, 2,8 y 3,8 mL por gramo de inulina y en presencia de 2,3 g de N,N-dimetil-4-aminopiridina (usado como catalizador y estabilizador del pH en la reacción) por gramo de inulina a temperatura ambiente durante 1 h [12, 13, 15]. Por tanto, al final de la experimentación se obtendrán seis formulaciones diferentes de ésteres de inulina, con los cuales se pretende realizar las reacciones de polimerización.

La separación de los ésteres del resto de productos formados se realizará mediante decantación, para lo cual se utilizará tetracloruro de carbono y agua. Los ésteres serán recuperados de la fase orgánica por secado al vacío para recuperar el solvente [14, 15].

Una vez obtenidas las seis formulaciones diferentes de ésteres de inulina, se procederá con la reticulación de los mismos mediante reacciones de polimerización. Para lograr la reticulación, se utilizará 2-etil, hexil acrilato como agente reticulante, y peróxido de benzoilo como agente iniciador con relación sólido-sólido de 1 g de peróxido por 100 g de monómero. Estos dos compuestos se mezclarán con cada uno de los ésteres de inulina durante 40 min a 60 °C con agitación continua. Al transcurrir los 40 min, la temperatura de la mezcla se incrementará en 10 °C por hora hasta 100 °C [13, 15]. La composición de la mezcla polimérica a reaccionar tendrá 20%, 30% y 40% de éster de inulina, para cada uno de los seis ésteres obtenidos en el paso anterior. Por tanto, al final de la experimentación, se obtendrán 18 materiales reticulados de diferente composición (films).

*Caracterización de los hidrogeles obtenidos*

Se analizarán las propiedades físicas de los hidrogeles mediante el porcentaje de gelación, el grado de hinchamiento y el contenido de agua en equilibrio [19]. Se determinará la estabilidad térmica mediante un análisis TGA y DSC. La composición de los hidrogeles se analizará mediante un análisis FTIR [1].

*Caracterización de los films de material reticulado obtenido mediante ensayos de espectroscopia de FTIR, calorimetría diferencial de barrido (DSC), termogravimetría (TGA) y análisis de propiedades mecánicas*

Cada uno de los films obtenidos a partir de reacciones de polimerización, serán caracterizados mediante ensayos de propiedades mecánicas (tracción-deformación). Luego, se seleccionará la formulación que presente mayores módulos de tracción y porcentaje de elongación. Esta caracterización se llevará a cabo mediante el procedimiento estipulado en la norma ASTM D 638. El material seleccionado (el que presente las más altas propiedades mecánicas) será caracterizado mediante ensayos de calorimetría diferencial de barrido (DSC), termogravimetría (TGA) y espectrofotometría en el infrarrojo (FTIR) para establecer el grado de reticulación.

*Determinación del porcentaje de remoción de arsénico del mejor hidrogel en soluciones estándares y en aguas contaminadas con arsénico de una vertiente de Guayllabamba del DMQ*

Se trabajará con el mejor hidrogel obtenido para cada una de las mezclas inulina-acrilamida e inulina-PVA. Se prepararán soluciones estándar de arsénico a una concentración conocida entre 0,02 y 0,10 mg/L [5]. Se dejará el hidrogel en contacto con la solución a diferentes valores de pH entre 4 y 10 con agitación continua, la cantidad de hidrogel colocada tendrá valores entre 1 y 15 g/L [3, 16]. Se medirá la concentración de arsénico durante 48 h para construir la curva de remoción de arsénico en el tiempo [16].



La cantidad de arsénico presente se determinará por el método del dietil ditiocarbamato de plata según la norma INEN 980. Una vez obtenidas las mejores condiciones para la remoción de arsénico se utilizará agua contaminada con arsénico obtenida de una vertiente de Guayllabamba del Distrito Metropolitano de Quito. Se determinará la concentración inicial de arsénico en las muestras de agua, se trabajará con muestras filtradas y sin filtrar, y se medirá la capacidad del hidrogel para remover el arsénico como se explicó anteriormente [10].

*Estudio de la degradación de los films de material reticulado obtenidos mediante pruebas de degradación acelerada*

Una vez obtenido el material reticulado que presente mejores propiedades mecánicas, se realizará la degradación acelerada en cámara de arco de xenón, cuyo equipo está disponible en el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros. [11] La degradación en cámara de arco de xenón se realizará bajo la norma ASTM D 5071 y servirá para determinar la influencia de la radiación ultravioleta en la degradación de material. Es importante recalcar que la luz que se genera en este tipo de cámara, es de igual característica a la luz del sol. El ensayo se realizará por 500 h dentro de la cámara. Se recolectarán muestras periódicamente (a 0, 25, 75, 100, 250 y 500 h) y serán caracterizadas con las mismas técnicas de la caracterización inicial: calorimetría diferencial de barrido DSC y ensayos de infrarrojo FTIR.

Adicionalmente, se realizarán las mismas pruebas de degradación a materiales que no incluyan ésteres inulínicos en su formulación. Se compararán entonces los resultados obtenidos para determinar la influencia de la incorporación de ésteres inulínicos en la degradación de los materiales formulados.

*Referencias Bibliográficas*

- [1] Bhatia, J. K., Kaith, B. S., y Kalia S. (2013). Polysaccharide hydrogels: synthesis, characterization, and applications. En Kalia, S. y Sabaa, M. (Eds.), Polysaccharide Based Graft Copolymers (pp. 271-290). Berlín, Alemania: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-36566-9\_7.
- [2] Chiavaro E., Vittadini E., Corradini C. (2007) Physicochemical characterization and stability of inulin gels. *Eur Food Res Technol* (2007) 225:85–94. doi:10.1007/s00217-006-0385-y.
- [3] Chowdhury N. K., Ismail A. F., Beg D. H., Hegde G. y Gohari R. J. (2015). Polyvinyl alcohol/polysaccharides hydrogel graft materials for arsenic and heavy metal removal. *New Journal of Chemistry* (1-33). doi:10.1039/C5NJ00509D.
- [4] El-Din H., Hegazy E. y Ibraheim D. (2009). Synthesis and Characterization of Hydrogels Based on Gamma Irradiation of Acrylic Acid and Methacrylic Acid. *Polymer Composite Journal*. 30 (5). 569-575. doi:10.1002/pc.20588.
- [5] Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito. (2007). *Auditoría ambiental a la calidad del agua de consumo humano de las poblaciones de Guayllabamba y Tumbaco*. Recuperado de: [http://www.environmental-auditing.org/portals/0/auditfiles/ec148spa07ar\\_ft\\_guayllabambatumtumbaco.pdf](http://www.environmental-auditing.org/portals/0/auditfiles/ec148spa07ar_ft_guayllabambatumtumbaco.pdf) (Junio, 2015).
- [6] Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (2013). Aprovechamiento de residuos. Recuperado de [http://www.emgirs.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=132&Itemid=547](http://www.emgirs.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=132&Itemid=547) (Julio, 2015).
- [7] Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (2013). Gerencia de operaciones coordinación de residuos ordinarios informe de operaciones del relleno sanitario. Recuperado de [http://www.emgirs.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=130&Itemid=192](http://www.emgirs.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=130&Itemid=192) (Julio, 2015).
- [8] Grandtner, G., Joly, N., Cavrot, J., Granet, R., Bandur, G., Rusnac, L., Martin, P. y Krausz, P. (2005). Synthesis of Plastic Films from Inulin by Acylation. *Polymer Bulletin*, 55(4), 235-241. doi: 10.1007/s00289-005-0431-0.
- [9] Grandtner, G., Joly, N., Cavrot, J., Granet, R., Bandur, G., Rusnac, L., Martin, P. y Krausz, P. (2005). Synthesis of fructooligosaccharide-based plastic films starting from inulin. *e-Polymers*, 5(1), 531–537. doi: 10.1515/epoly.2005.5.1.531.
- [10] Pavón C. (2015). *Preparación de hidrogeles para el tratamiento de efluentes coloreados, con base en polisacáridos y alcohol polivinílico (PVA) por medio de irradiación beta con un acelerador lineal de electrones*. (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Química). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- [11] Quiroz, F., Cadena, F., Sinche, L., Chango, I. y Aldás, M. (2009). Estudio de la degradación en



polímeros oxo-biodegradables. *Revista Politécnica*, 30(1), 179-191.

[12] Rusu, G., Bandur, G., Manovicu, I., Rusnac, L. y Plesu, N. (2006). Solubility and viscosity studies on inulin modified with methacryloyl and palmitoyl chlorides. Recuperado de [http://www.researchgate.net/publication/237327086\\_Solubility\\_and\\_viscosity\\_studies\\_on\\_inulin\\_modified\\_with\\_methacryloyl\\_and\\_palmitoyl\\_chlorides](http://www.researchgate.net/publication/237327086_Solubility_and_viscosity_studies_on_inulin_modified_with_methacryloyl_and_palmitoyl_chlorides) (Junio, 2015).

[13] Rusu, G., Bandur, G., Rusnac, L., Manovicu, I., Simon, M., Joly, N. y Martin, P. (2008). Degradable Polymers with Inulin Content. *Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara*, 53(67), 13-15. Recuperado de [http://www.chemicalbulletin.ro/admin/articole/53702art\\_4\(13-15\).pdf](http://www.chemicalbulletin.ro/admin/articole/53702art_4(13-15).pdf) (Junio, 2015).

[14] Rusu, G., Rusnac, L., Bandur, G., Manovicu, I., Joly, N. y Martin, P. (2007). Thermal Analysis of the Compounds Obtained by Polymerization Between Inulin Esters And Different Monomers. *Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara*, 52(66), 77-80. Recuperado de [http://www.chemicalbulletin.ro/admin/articole/37893art\\_19\(77-80\).pdf](http://www.chemicalbulletin.ro/admin/articole/37893art_19(77-80).pdf) (Junio, 2015).

[15] Rusu, G., Rusnac, L., Bandur, G., Manovicu, I., Joly, N. y Martin, P. (2010). Inulin mixed esters crosslinked with 2-ethyl-hexyl-acrylate and their promotion as bio-based materials. *Journal of Polymer Research*, 18(6), 2495-2504. doi: 10.1007/s10965-010-9539-5.

[16] Sanyanga M. L., Karim Ghania W., Idrisa A. y Bin Ahmad M. (2014). Hydrogel biochar composite for arsenic removal from wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 1-15. doi:10.1080/19443994.2014.989412.

[17] Soto, D. y Oliva, H., (2012), "Métodos para preparar hidrogeles químicos y físicos basados en almidón: una revisión" *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 32(2), 154.

[18] Stevens C., Meriggi A. y Booten K. (2001). Chemical Modification of Inulin, a Valuable Renewable Resource, and Its Industrial Applications. *Biomacromolecules*, Vol. (2), 1-16. doi:10.1021/bm005642t.

[19] Syed K. H. Gulrez, Saphwan Al-Assaf and Glyn O Phillips (2011). Hydrogels: Methods of Preparation, Characterisation and Applications. Prof. Angelo Carpi (Ed.) *Progress in Molecular and Environmental Bioengineering - From Analysis and Modeling to Technology Applications*, (117-150) Wrexham, United Kingdom: InTech.

[20] Tripodo G., Pitarresi G., Palumbo F., Craparo E., Giammona G. (2005). UV-Photocrosslinking of Inulin Derivatives to Produce Hydrogels for Drug Delivery Application. *Macromolecular Bioscience*, (5), 1074-1084. doi:10.1002/mabi.200500134.

[21] Vencel T., Donovalová J., Gáplovský A., Kimura T., Y Toma A. (2005). Oxygen Exclusion from the Organic Solvents Using Ultrasound and Comparison with Other Common Techniques Used in Photochemical Experiments. *Chem. Pap.* 59 (4) 271-274. Recuperado de: [http://www.chempap.org/file\\_access.php?file=594a271.pdf](http://www.chempap.org/file_access.php?file=594a271.pdf) (Julio, 2015).

[22] World Health Organization. (2012). *Arsenic in Drinking-water*. Recuperado de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/arsenic.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/arsenic.pdf?ua=1) (Junio, 2015).

[23] World Health Organization. (2012). *Arsenic*. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/en/> (Junio, 2015).

**6.2 Cronograma de trabajo anual: (Descripción)**

- Para la elaboración del cronograma de ejecución del proyecto se sugiere considerar el tiempo para la adquisición de equipos, reactivos y materiales de laboratorio.

Actividad	Primer Año						TOTAL
	Porcentaje de avance por mes						
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	
Revisión bibliográfica	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	100
Compra de equipos y reactivos	25	25	25	25			100
Determinación de las mejores concentraciones de los reticulantes, contenido de inulina y dosis de irradiación para la obtención de hidrogeles		25	25	25	25		100
Determinación de la mejor formulación, con variación del contenido de cloruro de metacrililo, cloruro de palmitoilo, ésteres inulínicos y		25	25	25	25		100





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

monómero 2 etil, hexil acrilato, para la obtención de films de material reticulado							
Caracterización de los hidrogeles obtenidos mediante el porcentaje de hinchamiento, el porcentaje de gelación, el contenido de agua en equilibrio, el espectro IR y la estabilidad térmica con base en los análisis TGA y DSC				33,33	33,33	33,33	100
Caracterización de los films de material reticulado obtenido mediante ensayos de espectroscopía de FTIR, calorimetría diferencial de barrido (DSC), termogravimetría (TGA) y análisis de propiedades mecánicas				33,33	33,33	33,33	100
<b>TOTAL</b>							

**Segundo Año**

Actividad	Porcentaje de avance por mes						TOTAL
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	
Revisión bibliográfica	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	100
Determinación del porcentaje de remoción de arsénico del mejor hidrogel en soluciones estándares al variar la concentración inicial de la solución de arsénico, el pH de la solución y la cantidad de hidrogel	33,33	33,33	33,33				100
Toma de muestras de aguas contaminadas con arsénico provenientes de una vertiente de Guayllabamba del DMQ		100					100
Determinación del porcentaje de remoción de en aguas contaminadas con arsénico provenientes de una vertiente de Guayllabamba del DMQ			33,33	33,33	33,33		100
Estudio de la degradación de los films de material reticulado obtenidos mediante pruebas de degradación acelerada		33,33	33,33	33,33			100
Análisis de datos y redacción del informe final			25	25	25	25	100
<b>TOTAL</b>							



7	<b>Fechas de inicio y fin</b>
	<i>Se estima que el proyecto iniciará el 15 de febrero de 2016 y culminará el 14 de febrero de 2018</i>

8	<b>Infraestructura, equipos y fondos adicionales.</b>
	<b>8.1 Infraestructura y equipos</b> <i>Indicar la infraestructura y equipos <u>disponibles</u> para la ejecución del proyecto</i>
	<i>Equipos disponibles en el Laboratorio del Acelerador de electrones (DCN)</i>
	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Baño termostático marca Pselecta para la preparación de soluciones reticulante-inulina</li><li>✓ Baño de ultrasonido marca Branson para eliminar el oxígeno de las soluciones reticulante-inulina</li><li>✓ Acelerador lineal de electrones ELU-6U para promover la formación de los hidrogeles mediante la irradiación de las soluciones</li><li>✓ Espectrofotómetro HACH DR 2800 para la determinación de la cantidad de arsénico presente en las soluciones estándar y el agua de las vertientes de Guayllabamba</li></ul>
	<i>Equipos disponibles en el Laboratorio del CIAP (DECAB)</i>
	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Máquina de ensayos universal marca INSTRON, que permite la evaluación de las propiedades mecánicas de los productos obtenidos y después de ser degradados.</li><li>✓ Calorímetro diferencial de barrido marca Netzch, modelo DSC 204 F1 Phoenix, permite la realización de pruebas de caracterización desde temperaturas de -150°C.</li><li>✓ Espectrómetro Infrarrojo por Transformadas de Fourier FTIR y accesorio HATR, permite evaluar los grupos funcionales de los materiales.</li><li>✓ Cámara de degradación acelerada de arco de Xenón, que simula las condiciones de exposición a la intemperie.</li><li>✓ Balanza termogravimétrica TGA-50 Shimadzu, permite analizar la estabilidad térmica del material polimérico</li></ul>
	<b>8.2 Breve justificación del equipo requerido</b> <i>Justificar la infraestructura y equipos <u>solicitados</u> para la ejecución del proyecto</i>
	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Estufa para la caracterización de los hidrogeles obtenidos</li><li>✓ Balanza analítica para la preparación de soluciones reticulante-inulina y la caracterización de los hidrogeles obtenidos</li><li>✓ Agitador orbital para el estudio de la remoción de arsénico en el agua</li><li>✓ pH metros para el estudio de la remoción de arsénico en el agua y preparación de soluciones</li><li>✓ Sorbona para la preparación de soluciones reticulante-inulina. La acrilamida es un compuesto cancerígeno por lo que se debe evitar su inhalación.</li><li>✓ Plancha de calentamiento con agitación y termómetro para realizar la reacción de polimerización de los ésteres inulínicos.</li><li>✓ Estufa al vacío, permite la separación de los ésteres inulínicos del solvente utilizado para su purificación y recuperar el solvente.</li></ul>
	<b>8.3 Fondos Adicionales</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ <i>Otros fondos de otros organismos (si los hubiere)</i></li></ul>



9

**Presupuesto estimado para la ejecución del presente proyecto (anual)**

- Los costos para la elaboración del presupuesto estimado no deben incluir IVA.
- Las maquinarias y equipos deberán tener una proforma local con un representante autorizado en el país.
- En el caso de PIMI, se deberá aclarar en cual departamento permanecerán las maquinarias y equipos

EQUIPOS	DESTINO
3 pH-metros portátil	Uno al Laboratorio del Acelerador de Electrones (DCN) y dos al CIAP (DECAB)
Balanza analítica	Laboratorio del Acelerador de Electrones (DCN)
Estufa	Laboratorio del Acelerador de Electrones (DCN)
Sorbona	Laboratorio del Acelerador de Electrones (DCN)
Agitador Orbital	Laboratorio del Acelerador de Electrones (DCN)
Estufa al vacío	CIAP (DECAB)
Plancha de calentamiento	CIAP (DECAB)
Computadora PC de escritorio e impresora	CIAP (DECAB)

Primer Año

Lista de ítems	Cantidad solicitada (US \$)	Porcentaje de Ejecución (%)
1. Contratación Servicios Personales por Contrato 2 ayudantes de investigación por un periodo de 12 meses cada uno.	9 336,00	11,72
<b>Subtotal</b>	<b>9 336,00</b>	<b>11,72</b>
2. Maquinaria y Equipos		
3 pH-metro portátil	967,50	1,21
Balanza analítica	3 700,00	4,64
Estufa	2 700,00	3,39
Sorbona	13 239,94	16,62
Agitador Orbital	2 798,00	3,51
Estufa al vacío	14 500,00	18,20
Plancha de calentamiento	770,00	0,97
Computadora PC de escritorio e impresora	1 660,70	0,88
<b>Subtotal</b>	<b>40 336,14</b>	<b>50,63</b>
3. Reactivos y materiales de laboratorio		
Reactivos para la síntesis de hidrogeles		
Alcohol polivinílico 2 kg	522,00	0,66
Acrilamida para síntesis 2kg	184,00	0,23
Solución patrón de arsénico 500 mL	68,00	0,09
Inulina Beneo HP 20 kg	170,00	0,21
Reactivos para el análisis de arsénico		
Solución Acetato de Plomo 10%, 100 mL	32,92	0,04
Solución Yoduro de Potasio 20%, 300 mL	156,06	0,20
Piridina ACS, 5 L	1 189,80	1,49
Dietilditiocarbonato de Plata, 100g	731,00	0,92
Solución cloruro estannoso, 100 mL	56,92	0,07
Agua Desionizada, 4 L	35,99	0,05
Zinc, ACS, Malla 20, 908 g	220,12	0,28
Ácido clorhídrico 2,5 L	29,00	0,04




**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

Hidróxido de sodio 1 kg	17,00	0,02
Acetona 2,5 L	36,00	0,05
Ácido cloro acético, sal sódica 500 g	185,00	0,23
Metanol 2,5 L	35,00	0,04
<b>Reactivos para la síntesis de material reticulado</b>		
N,N-dimetil-acetamida 2 L	212,00	0,27
Cloruro de palmitoilo 2 L	640,00	0,80
N,N-dimetil-4-aminopiridina 1 kg	2 300,00	2,89
Acrilato 2-etil hexilo 1 L	300,00	0,38
Peróxido de benzoilo 1 kg	90,00	0,11
Cloruro de metacrililo 750 mL	2 365,50	2,97
Material de vidrio	684,70	0,86
Suministros de oficina y toners para impresoras	700,00	0,88
<b>Subtotal</b>	<b>10 961,01</b>	<b>13,76</b>
<b>4. Literatura especializada</b>		
Barbucci R. (Ed.). Hydrogels Biological properties and applications	89,99	0,11
Poly(2-Ethylhexyl Acrylate) and Its Copolymers Prepared by ATRP:	107,00	0,13
<b>Subtotal</b>	<b>196,99</b>	<b>0,25</b>
<b>5. Viajes técnicos y de muestreo</b>		
<b>Subtotal</b>		
<b>6. Presentación de ponencias en congresos internacionales y Publicaciones</b>		
<b>Subtotal</b>		
<b>TOTAL PRESUPUESTO AÑO 1</b>	<b>60 830,14+ IVA</b>	<b>76,36</b>
<u>Segundo Año</u>		
<b>Lista de ítems</b>		
	<b>Cantidad solicitada (US \$)</b>	<b>Porcentaje de Ejecución (%)</b>
1. Contratación Servicios Personales por Contrato 2 ayudantes de investigación por un periodo de 12 meses cada uno.	9 336,00	11,72
<b>Subtotal</b>	<b>9 336,00</b>	<b>11,72</b>
2. Maquinaria y Equipos		
<b>Subtotal</b>		
3. Reactivos y materiales de laboratorio		
<b>Subtotal</b>		
4. Literatura especializada		
<b>Subtotal</b>		
5. Viajes técnicos y de muestreo Muestreo de agua contaminada con arsénico en Guayllabamba	500,00	0,63
<b>Subtotal</b>	<b>500,00</b>	<b>0,63</b>
6. Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones	9 000,00	11,30
<b>Subtotal</b>	<b>9 000,00</b>	<b>11,30</b>



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

	<b>TOTAL PRESUPUESTO AÑO 2</b>	18 836,00 + IVA	23,64
	<b>TOTAL PRESUPUESTO (AÑO 1 + 2)</b>	79 666,14 + IVA	100

<b>10</b>	<b>Lugar y Fecha / Firma del Director del Proyecto</b>	
	Quito, 26 de Agosto del 2015 Nombre: Ing. Maribel Luna CC: 1104011745	 Firma del Director



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**  
**DIRECCION DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

**PRESUPUESTO PROYECTO JUNIOR 2015**  
**PIJ-15-15**

<b>AÑO 1</b>		
<b>Lista de ítems</b>	<b>Cantidad solicitada (USD \$)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
1. Contratación Servicios Personales por Contrato <i>Ayudantes de Investigación</i>	<b>9336</b>	<b>15.3</b>
2. Maquinaria y Equipos	<b>40336.14</b>	<b>66.3</b>
3. Reactivos y materiales de laboratorio	<b>10961.01</b>	<b>18</b>
4. Literatura especializada	<b>196.99</b>	<b>0.3</b>
5. Viajes técnicos y de muestreo	<b>0</b>	<b>0</b>
6. Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL AÑO 1</b>	<b>60830.14</b>	<b>100</b>

<b>AÑO 2</b>		
<b>Lista de ítems</b>	<b>Cantidad solicitada (USD \$)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
1. Contratación Servicios Personales por Contrato <i>Ayudantes de Investigación</i>	<b>9336</b>	<b>49.6</b>
2. Maquinaria y Equipos	<b>0</b>	<b>0</b>
3. Reactivos y materiales de laboratorio	<b>0</b>	<b>0</b>
4. Literatura especializada	<b>0</b>	<b>0</b>
5. Viajes técnicos y de muestreo	<b>400</b>	<b>2.7</b>
6. Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones	<b>9000</b>	<b>47.8</b>
<b>TOTAL AÑO 2</b>	<b>18736</b>	<b>100</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>79566.14</b>	



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**  
**DIRECCION DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

---

**Firma del Director del Proyecto**

Quito, 12 de Octubre del 2015

Nombre: MARIBEL LUNA  
C.I.: 1104011745

Firma del Director