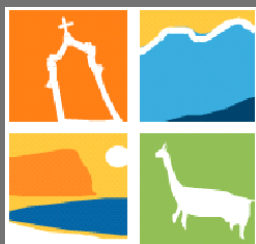


2011

FORMATO INFORME TECNICO FINAL PROYECTOS FIC REGIONAL

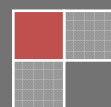
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD

Convenios FIC 2011



EVALUACIÓN DE PLANTA PILOTO CON TECNOLOGÍA ECONÓMICA Y AMBIENTALMENTE SUSTENTABLE PARA ELIMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA POTABLE

Gobierno Regional de Arica y Parinacota
División de Planificación y Desarrollo Regional



EVALUACIÓN DE PLANTA PILOTO CON TECNOLOGÍA ECONÓMICA Y AMBIENTALMENTE SUSTENTABLE PARA ELIMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA POTABLE

INFORME TÉCNICO FINAL

(23/08/2013)



**PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE
ARICA Y PARINACOTA**

FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

Nombre del Ejecutor:

UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ

Nombre del Proyecto:

**EVALUACIÓN DE PLANTA PILOTO CON TECNOLOGÍA ECONÓMICA Y AMBIENTALMENTE
SUSTENTABLE PARA ELIMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA POTABLE**

Fecha del Convenio:

02-08-2011

Período Informado: (MESES)

08/2011 a 08/2013

Coordinador o responsable del Proyecto:

Nombre:

Correo electrónico y Teléfono:

LEONARDO FIGUEROA TAGLE

lfiguero@uta.cl – 205427 - 92924159

1.- Resumen del Proyecto o programa:

Descripción resumida de la iniciativa:

Se instala la planta piloto, con una tecnología eficaz y eficiente para minimizar la concentración del arsénico total presente en el agua hasta un nivel inferior al límite máximo de calidad aceptable y permitida por la NCh409/1.Of2005, ello como su principal objetivo. La planta piloto se ubica en el Poblado Camarones de la comuna homónima, ésta funciona con un alto grado de automatización en su operación global de tratamiento, en un sistema que incluye como segundo objetivo la disminución de la concentración de sales disueltas. La planta piloto en su operación, disminución de Arsénico, opera a razón de 500 m³ de agua tratada por ciclo entre regeneraciones del sistema de separación del tóxico desde la matriz acuosa, con calidad adecuada según la NCh409/1.Of2005, es decir a una concentración máxima de 0,01mg/L de Arsénico total. De modo similar, la planta piloto opera a razón de una producción de 4 m³ de agua por ciclo de regeneración del sistema de desalinización, con calidad adecuada respecto del parámetro de sólidos disueltos totales incluidos los aniones y cationes de mayor concentración, según la NCh409/1.Of2005. La planta piloto, instalada en el contexto de una situación real de mala calidad de aguas para consumo humano que afecta a una localidad de nuestra región, permitió la evaluación de sus parámetros de operación en los aspectos técnicos y su proyección económica, a partir de los cuales es posible escalar esta solución en la dirección de introducir mejoras tecnológicas que se traduzcan en aumentar su volumen de producción, limitado actualmente por las elevadas concentraciones de sales solubles, particularmente de sales cloruradas y sódicas; Por otra parte, el bajo consumo de energía registrado en la operación de la planta, permite también plantear su alimentación de energía eléctrica a partir de un sistema fotovoltaico. Desde una perspectiva ambiental, la planta piloto instalada presenta un bajo y controlable impacto ambiental, dado que tiene una huella de agua relativamente pequeña, no mayor del 0,5% del volumen de producción entre regeneraciones del tratamiento de eliminación del Arsénico, ni mayor del 15% de la proporción de agua que es utilizada en los procesos de regeneración para la capacidad de desalinización, y porque los RILes que genera, tanto salinos como arsenicales, son tratados por radiación solar en pileta de evaporación de agua, transformándolos en residuos sólidos, que se pueden luego disponer como sólidos peligrosos de acuerdo a la normativa establecida.

Objetivo General:

Implementar una planta piloto de abatimiento de arsénico en agua para evaluar los aspectos técnicos y económicos que permitan adoptar esta nueva tecnología de menor costo de operación para enfrentar el desafío que implica el aumento de la exigencia de niveles de arsénico en la Norma chilena de calidad de aguas NCh409/1.2005.

Objetivos Específicos:

1. Construir y poner en marcha una planta piloto de tratamiento para eliminación de arsénico y reducción de los sólidos totales disueltos en un sistema de agua potable rural de la región de Arica y Parinacota.
2. Evaluar técnica y económicamente el sistema piloto en su capacidad de reducir la concentración de arsénico y de los sólidos disueltos totales hasta un nivel inferior al límite máximo según NCh409/1.2005.
3. Realizar una difusión de los resultados de la planta piloto a la ciudadanía, a la industria de producción de agua potable, a la industria agropecuaria e industria minera de las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta.

Resultados o productos esperados:

- Se pondrá en marcha una planta piloto instalada y operativa para generar nivel de As en agua tratada bajo 0,01mg/L y sólidos disueltos totales bajo 1.500mg/L. Esta planta estará ubicada en una localidad de nuestra región afectada por la presencia excesiva de As respecto a la meta de la norma de agua potable.
- Se tendrá la información que permita proyectar el costo de inversión y de operación de una planta de tratamiento de agua basada en la tecnología, para uso a nivel de producción de agua potable e industrial (US\$/m³). Se espera que el valor de este parámetro no supere los US\$0,1/m³
- Se contará con la validación por medio de análisis químicos independientes del resultado del tratamiento por parte de la planta piloto (As ≤ 0,01 mg/L).
- Se generará una Certificación de la competencia para análisis de As en el laboratorio de Química Analítica Aplicada del Departamento de Química de la UTA, por parte del Centro de Metrología Química de Fundación Chile.
- Se habrá ejecutado un plan de difusión del proyecto y sus resultados, tanto al sector público como al privado, que incluirá:
 - Realización de Visita a conocer planta de abatimiento de As en aguas para uso industrial instalada en la región de Tarapacá. Participación de potenciales usuarios y autoridades.
 - Una Publicación en revista ISI de la experiencia de la planta piloto.

- Realización de visita de potenciales usuarios de la tecnología y autoridades del área a la planta piloto durante la ejecución del proyecto.
- Seminario para difundir el uso de esta tecnología a realizarse en la ciudad de Arica o Putre.
- Seminario para difundir el uso de esta tecnología a realizarse en el poblado de Camarones (uno de los casos emblemáticos de contaminación natural por As en aguas a nivel regional).
- Exposición de los resultados de la planta piloto en congreso científico internacional.

Finalmente, se entregará el uso de la planta piloto operativa por parte de la comunidad en la localidad seleccionada. La planta piloto quedará en comodato y se continuará el monitoreo de la calidad del agua.

2.- Metodologías aplicadas: En función de objetivos y resultados esperados.

Respecto del objetivo específico 1: (Construir y poner en marcha una planta piloto de tratamiento para eliminación de arsénico y reducción de los sólidos totales disueltos en un sistema de agua potable rural de la región de Arica y Parinacota).

Se instaló una planta piloto destinada al tratamiento del agua natural disponible, la que proviene desde dos fuentes alternativas, del río Camarones y del Pozo ubicado en el propio lugar, siendo ambos espacios pertenecientes al Municipio de Camarones, en el Poblado Camarones de la comuna homónima. Dicha planta piloto está constituida por dos elementos tecnológicos para alcanzar el objetivo. Uno de ellos es el sistema de adsorción de alta especificidad para el arsénico presente en el agua, el segundo es el sistema de desalinización o reducción de la concentración de los sólidos disueltos totales presentes en el agua por adsorción e intercambio iónico, último que a su vez está conformado por una unidad de adsorción de cationes y una unidad de adsorción de aniones (se adjunta Anexo descriptivo de la planta piloto y su operación). La construcción y puesta en marcha de la planta piloto se logró con una alianza estratégica establecida entre la Universidad de Tarapacá y la empresa Privada ASITEC LTDA. La selección del lugar de instalación de la planta piloto obedeció al hecho reconocido de la existencia en el hábitat de la Quebrada Camarones y de la mayor parte de sus localidades influenciadas por el río local de un notable fenómeno de hidroarsenicismo crónico, calificable como el mayor al nivel regional y del norte de Chile, es decir la problemática del arsénico en el agua para consumo humano fue el criterio único y original del proyecto planteado. Dentro de la metodología aplicada, la consulta con los ciudadanos y autoridades municipales de la localidad

del Poblado Camarones, fue parte de ella, y es como resultado de ella que surge la razonable inquietud de la población en cuanto a que, de llegar ellos a ser beneficiados con el traspaso de la planta piloto, les interesa, además de la disminución de la concentración de arsénico, la disminución de la concentración de los sólidos disueltos totales, lo que instaló una consecuencia tecnológica al diseño original, en función del presupuesto disponible, que presupuestaba una capacidad de producción de agua tratada de 100m³ diarios para entonces ser reducido a 20m³ diarios (Cambio Técnico aprobado por OF. ORD. N° 521/2011).

Respecto del objetivo específico 2: (Evaluar técnica y económicamente el sistema piloto en su capacidad de reducir la concentración de arsénico y de los sólidos disueltos totales hasta un nivel inferior al límite máximo según NCh409/1.Of2005).

Una vez lograda la puesta en marcha de la planta piloto, se procede al tratamiento del agua, evaluando diversos aspectos técnicos del funcionamiento de la misma, por ejemplo, bombes, presiones, flujos, tiempos, fugas ó filtraciones de agua en el sistema, programación lógica computarizada – PLC, consumo de energía, regeneración de columnas de intercambio iónico, volumen de producción entre regeneraciones, gestión que se realiza tanto en el propio lugar de instalación de la planta piloto, para las observaciones en terreno, como en las dependencias del Departamento de Química de la Universidad de Tarapacá para el análisis de la información. Luego, el agua producida es evaluada en función de los parámetros objetivos, arsénico y sólidos totales disueltos, además de otros parámetros que dan cuenta del funcionamiento del sistema en el proceso de purificación, gestión que se realiza en el laboratorio de investigación en química analítica aplicada del Departamento de Química de la Universidad de Tarapacá. La evaluación técnica y económica se define una vez que la planta piloto alcanza un funcionamiento acorde con los objetivos planteados.

Respecto del objetivo específico 3: (Realizar una difusión de los resultados de la planta piloto a la ciudadanía, a la industria de producción de agua potable, a la industria agropecuaria e industria minera de las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta).

La difusión se realiza en función del resultado logrado respecto de la evaluación técnica y económica. La metodología de difusión implica la demostración en terreno, por medio de un “Seminario-Visita Técnica” a las instalaciones de la planta piloto, ejecutada en el lugar que esta ocupa en el Poblado de Camarones, donde se presenta a los asistentes las diversas operaciones unitarias y equipos que conforman el sistema global del tratamiento del agua, de modo que exista una mejor comprensión de la tecnología propuesta, así como de las perspectivas de la planta piloto con una adecuación correcta para su uso particular en el sistema de agua potable rural, APR, del Poblado Camarones. De modo similar, la difusión implica un segundo Seminario, ejecutado en la ciudad de Arica, donde se presenta a la comunidad en general el resultado final del proyecto, tanto en su contexto científico – tecnológico como en el contexto del significado

	PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
	FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

del agua para consumo humano en la normativa chilena actual y en la salud poblacional actual y de la propia historia del hidroarsenicismo crónico en la Comuna de Camarones.

3.- Gestiones y Actividades Realizadas para el logro de los objetivos:

En una perspectiva global, las gestiones y actividades realizadas son:

- **Contrataciones de Profesionales:**
 - 1) Profesional Ingeniero Agrónomo, Sr. Miguel Villanueva, para labores de diseño y control de parámetros de eficiencia del funcionamiento de planta piloto. colección de muestras de agua, apoyo en difusión y preparación de informe técnico y financiero.
 - 2) Profesional Químico Laboratorista – Licenciada en Química, Srta. Yubinza Zapata, para labores de muestreo y análisis químico de aguas; ejecución de experimentos, participación en evaluación de desempeño analítico, apoyo en tareas de difusión y en preparación de informes técnicos.
- **Reuniones técnicas entre profesionales de la Universidad de Tarapacá, ASITEC LTDA. e independientes.**
- **Visita de transferencia tecnológica a planta de tratamiento de agua basado en resinas de intercambio iónico con características de ingeniería óptimas:** La Huayca, Comuna de Pica, Provincia de Iquique.
- **Visita tecnológica y de difusión inicial del proyecto al Poblado Camarones en la Comuna homónima:**
 - a. Presentación del Proyecto: Origen de la iniciativa; Institución que Financia. Experiencia tecnológica del equipo profesional, conocimiento del hidroarsenicismo crónico en la Comuna de Camarones.
 - b. Aspectos tecnológicos de la innovación propuesta; ventajas comparativas de la innovación propuesta frente a otras tecnologías (eficiencia del tratamiento respecto de la eliminación del arsénico, del control máximo de residuos, del nivel adecuado de producción limpia y de la maximización de eficiencia en términos de la razón (m^3 de agua sin tratar / m^3 de agua tratada o libre de arsénico); costos de inversión (Financiado por FIC – GORE Arica y Parinacota) y



costos de operación (en principio a financiar por usuarios).

c. Surgencia de capacidades instaladas:

- i. Estanque de acumulación para agua tratada (Propiedad de la Dirección de Obras Hidráulicas – DHO).
- ii. Red de distribución de agua en el Poblado de Camarones, con medidores de consumo en cada vivienda (DHO).
- iii. Acceso a diferentes fuentes de agua, cada cual una alternativa según sea la necesidad y condiciones del recurso hídrico en función de cambio de calidad derivados de variables climatológicas: Río Camarones; Sistema de Drenaje Natural y Pozo.
- iv. Gestiones comunitarias para conformar sistema de Agua Potable Rural (APR).

d. Surgencia de ventajas comparativas de la condición con proyecto (ccp) frente a la condición sin proyecto (csp):

- i. Contarían con un recurso hídrico de disponibilidad inmediata.
- ii. Disposición de mayor cantidad de agua las 24 horas del día y todo el año (ccp).
- iii. Aseguramiento de calidad potable con el agua tratada (ccp).

e. Surgencia de requerimiento adicional por parte de los pobladores, distinto del arsénico como objetivo principal del tratamiento respecto de la calidad del agua disponible para uso potable:

- i. Reducción de los sólidos disueltos totales (SDT) del agua.

f. Surgencia de necesidad de modificar los objetivos del proyecto: Este cambio tecnológico se tradujo en un cambio de objetivos del proyecto original, necesidad que se expuso y solicitó al GORE-FIC, órgano que responde aprobando la solicitud a través de su OF. ORD. N° 299/2011.

g. Consulta de satisfacción respecto del proyecto vía encuesta.

- **Reuniones con autoridades de la Ilustre Municipalidad de Camarones.**
- **Reuniones con Profesionales del GORE:** Cecilia Matte y Marianela Páez.



- **Reuniones con La Dirección de Obras Hidráulicas – DOH - de Arica y Parinacota, agente estratégico y colaborador del proyecto, incluyendo a profesionales de la Empresa Sanitaria Aguas del Altiplano de Arica y Parinacota:** De acuerdo al requerimiento del Sr. Alcalde de la Comuna de Camarones, también agente estratégico y colaborador del proyecto.
- **Visitas a terreno del lugar seleccionado en el Poblado Camarones y verificaciones del estado de fuentes potenciales de agua para tratamiento (Dren, Pozo y Río).**
- **Pruebas experimentales en laboratorio destinadas a evaluar las variables que determinan un tratamiento del agua eficiente y eficaz para la eliminación de Arsénico:**
 - a. Evaluación de distintas resinas: Capacidad de retención de As en diferentes flujos y en condiciones Batch.
 - b. Evaluación de capacidad de retención de especies arsenicales diferenciadas en su estado de oxidación [As(III) y As(V)] por resina específica.
 - c. Evaluación de resinas en su capacidad adsorbente de Arsénico en condiciones de máxima exigencia respecto de la concentración elevada del elemento.
 - d. Evaluación de distintos protocolos de regeneración de resinas (efecto de la temperatura y duración del proceso)
- **Ensayos de distintas metodologías para la medición de concentración de Arsénico en el agua:**
 - a. Generación del hidruro de Arsénico - AsH_3 - con reducción Sn(II) y Zn en HCl – reacción del hidruro de Arsénico con Dietilditiocarbamato de Plata en piridina – Medición espectrofotométrica del complejo absorbente o cromóforo. Método de respuesta lenta y exacta, apropiado para soluciones acuosas con concentraciones de Arsénico relativamente elevadas.
 - b. Generación del hidruro de Arsénico - AsH_3 – en sistema Merckoquant

propio de la empresa multinacional Merck – Medición comparativa del color formado en la reacción con una superficie sólida reactiva al analito en estado gaseoso. Método de respuesta rápida y exacta en rangos discriminantes preestablecidos de concentración, posible de usar en evaluaciones en terreno y/o en laboratorio, para el control de procesos.

- c. Generación del hidruro de Arsénico - AsH_3 – en sistema Spectroquant propio de la empresa multinacional Merck – Medición espectrofotométrica del complejo absorbente o cromóforo. Método de respuesta lenta y exacta, apropiado para soluciones acuosas con concentraciones de Arsénico relativamente bajas y/o elevadas (rango de sensibilidad amplio manteniendo la exactitud).

- **Participación en Primer Coloquio de Biotecnología Avances Iniciativas FIC R Región Arica y Parinacota.**
- **Encuesta de Satisfacción poblacional Respecto de la instalación de una Planta Piloto para la eliminación de Arsénico en el Agua Potable en la Comuna de Camarones.**
- **Ensayos intercomparación analítica con otros laboratorios respecto de la medición de concentración de Arsénico en agua.**
- **Difusión del proyecto ante pares profesionales en Congreso Nacional con presencia de científicos extranjeros visitantes.**
- **Ensayos experimentales en planta piloto:**
 - a. Disposición de columnas adsorbentes en el sistema complejo para el control de las variables Arsénico y Sólidos Totales Disueltos.
 - b. Evaluación de flujos en columnas.
 - c. Maximización del control de flujos con introducción de rotámetros en el sistema.
 - d. Evaluación de procesos de regeneración de sistemas adsorbentes.
 - e. Evaluación de procesos de enjuague.



- f. Evaluación del proceso de disposición y transformación del estado de agregación del RIL en piscina de evaporación.
 - g. Cambio y evaluación de resinas adsorbentes de cationes y de aniones.
 - h. Introducción y evaluación de columna reguladora de pH.
 - i. Cambio de proporcionalidad para la relación resina adsorbente catiónica y resina adsorbente aniónica.
 - j. Evaluación de volúmenes de agua producida por unidad de tiempo.
 - k. Evaluación de factores determinantes del costo de producción:
 - i. Regenerantes.
 - ii. Energía.
 - iii. Necesidades de supervisión y mantenimiento rutinarias y/o ante eventualidades.
 - l. Planteamiento de alternativas de inversión para aumentar capacidad y autonomía de la planta piloto con miras a su transferencia en comodato al Municipio de Camarones.
- **Adquisición de planta piloto:** Vía Resolución Exenta VAF N° 0.051/2012 requerido a la empresa ASITEC LTDA., que oficializa la adquisición a través del mecanismo de Trato Directo a la empresa explicitada.
 - **Adquisiciones de espectrofotómetro, materiales y reactivos** diversos para actividades propias del laboratorio de análisis químico.
 - **Arriendo de vehículo.**
 - **Informes de Avances Técnicos:** Siete (7) evaluados y aprobados por el GORE.
 - **Consultas con profesionales del GORE:** Cecilia Matte, Carla López, Marianela Páez.
 - **Seminarios de Difusión:**
 - En poblado Camarones: Dirigido a interesados estratégicos y desarrollado como visita técnica en Planta Piloto, resaltando las condiciones naturalmente arsenicales extremas de la zona geográfica de Camarones y los aspectos tecnológicos del sistema de tratamiento para el Arsénico y resultado técnico y económico logrado (Adjunta lista de asistentes).
 - En Arica: Destinado a interesados en general y estratégicos, desarrollado como actividad de difusión final, resaltando y profundizando la notable condición de

hidroarsenicismo crónico de locaciones de la Región de Arica y Parinacota, la notable oportunidad otorgada por el GORE de la Región de Arica y Parinacota a través del concurso de Proyectos FIC-R 2011, la ejecución del proyecto y sus resultado en términos técnicos y económicos.

4.- Problemas técnicos y financieros del proyecto:

Los problemas técnicos son:

- ❖ **Presencia de sólidos no disueltos en el agua por tratar:** Incide en frecuencia del retrolavado del filtro de arena.
- ❖ **Necesidad de cambio en ambas resinas del sistema de desalinización, proporcionalidad entre resinas catiónica y aniónica e introducción de columna reguladora de pH:** Requirió de un costo adicional asumido por ASITEC LTDA. La solución lograda mejoró parcialmente el sistema del tratamiento destinado a la desalinización del agua salobre; se requiere de un ajuste adicional posterior para el efecto de aumentar la producción de agua disminuida en su concentración de SDT de acuerdo a la Norma chilena.

Los problemas financieros son:

- **Rigidez del sistema de aceptación de gastos:** La ausencia de interacción fluida para explicar gastos aparentemente “difusos” entre los ejecutores del proyecto y el sistema de control de ejecución de proyectos del GORE, generó imposibilidad de usar parte de los recursos financieros aprobados, hecho que obligó a que los ejecutores (personas) se transformaran en aportadores no oficiales de recursos.

	PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
	FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

--

5.- Resultados

Descripción detallada de los resultados obtenidos a la fecha en comparación con lo previsto en la propuesta original.

5.1.-Resultados esperados por objetivo e indicadores (ETAPA)

Objetivo Espec. Nº	Resultado	Indicador	Actual	Meta Final	Parcial	
					Meta	Plazo (*Final)
1	Construcción y puesta en marcha de Planta Piloto.	Planta Piloto Instalada.	Planta Piloto instalada en Poblado Camarones	Planta Piloto instalada en Poblado Camarones.	Planta Piloto funcionando.	Agosto 2013
2	Costo de Operación e inversión	\$/m3	3000	1000	88 (remoción de Arsénico) 650 (remoción de sales totales)	Agosto 2013
2	Eficacia del tratamiento de la planta piloto	As mg/L	NC	0,01	<0,01	Agosto 2013
2	Certificación Independiente de competencia para medir As	Certificado Centro Metrología Química	No ^(*) Nota explicativa en Resumen	Sí	Inscripción en ronda de calificación 2012	Agosto 2013
1	Visita a planta industrial de abatimiento de Arsénico	Visita efectuada	si	si	Visita Efectuada	Agosto 2013
3	Publicación ISI	Publicación	0 ^(*)	1	Publicación	Diciembre 2012
3	Seminarios de difusión	Seminarios	1	2	Camarones: Sí Arica: Sí	Agosto 2013 Agosto 2013
3	Exposición en Congreso Internacional	Exposición	1 ^(*)	1	Trabajo expuesto en Congreso Nacional	Agosto 2013
3	Entrega Planta Piloto a localidad beneficiaria	Planta Entregada	0 ^(*)	1	Acuerdo de comodato	Agosto 2013

	PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
	FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

5.2- Resumen de los Resultados logrados:

Los resultados de mayor significancia logrados son la construcción, instalación y puesta en marcha de la planta piloto de tratamiento del agua para reducir su muy elevada concentración de arsénico, con una capacidad de procesar 500 metros cúbicos del agua que ingresa al sistema con una concentración de arsénico de 0,25mg/L y disminuyéndola hasta concentraciones inferiores a 0,01mg/L, de acuerdo con la NCh409. Este resultado técnico de alta connotación se suma a la economía del costo variable del tratamiento, que, en las condiciones de la planta piloto evaluada, es de \$88/m³ tratado, pero que es susceptible de mayor reducción si se implementa la alimentación fotovoltaica del sistema.

(*Final) Se refiere al estado en el plazo final de ejecución e informe del proyecto.

(*1) La certificación respecto del desempeño en la determinación de arsénico se frustró porque el Centro de Metrología Química de la Fundación Chile dejó de funcionar.

(*2) El conjunto de información científica colectada, respecto del proceso de disminución de la concentración de arsénico en el agua, durante el desarrollo del proyecto y particularmente la información colectada en la última etapa hacia la finalización del proyecto (agosto del 2013), es sólo ahora suficiente y necesaria para iniciar la redacción de un artículo científico, lo que imperativamente queda como una tarea pendiente y comprometida. El tema abordará los aspectos técnicos y económicos del exitoso tratamiento del agua en el caso del Poblado Camarones, como un caso que hasta ahora no se ha reportado para magnitudes elevadas de concentración de arsénico.

(*3) El Congreso en el que se tuvo oportunidad de participar fue de carácter Nacional pero con participantes internacionales, por lo tanto hubo oportunidad de exponer el tema a participantes extranjeros relacionados con los temas de química analítica y ambiental.

(*4) El acuerdo de entrega en Comodato a la Municipalidad de Camarones, imperativamente debe coincidir con la evaluación técnica y económica resultante de la planta piloto, a partir de ello y de acuerdo con las necesidades de la población beneficiaria y de su eventual proyección hacia un abastecimiento a través del sistema de Agua Potable Rural – APR – debería surgir la necesidad de una futura inversión destinada a una adecuación de la unidad piloto para ser transformada definitivamente en una unidad productiva que permita satisfacer la necesidad de abastecimiento

de agua potable tal como en cualquier sistema urbanizado; dado lo anterior, se requiere entonces de una aceptación de lo señalado por parte de la IMC, para entonces dar sentido a una dinámica administrativa y legal al traspaso en comodato. Por lo tanto, este es un resultado que se llevará a cabo en un mediano plazo.

6.-Beneficiarios directos que participaron del proyecto o programa:

Ilustre Municipalidad de Camarones, con una participación definida por:

- Aporte de materiales accesorios (clorador).
- Aporte de estanque de ecualización del agua tratada y red de conducción del agua hasta un punto de acceso para uso por parte del público en el poblado.
- Aporte de agua purificada para operaciones de regeneración del equipo, y traslados para primeras regeneraciones.
- Manifestación de interés por acceder a la posibilidad de disponer del uso de la tecnología instalada y transferible en comodato para la producción de agua a beneficio de la comunidad del Poblado Camarones.

Agua Potable Rural Poblado Camarones, con un participación definida por:

- Manifestación de interés por acceder a la posibilidad de disponer del uso de la tecnología instalada y transferible en comodato para la producción de agua a beneficio de la comunidad del Poblado Camarones.

7.- Perspectivas de viabilidad/sostenibilidad del proyecto:

En la perspectiva del objetivo principal y original de reducir la concentración de Arsénico del agua natural disponible, pozo y/o río, hasta el nivel definido por la Norma chilena:

La viabilidad del proyecto es absoluta, a la escala actual de funcionamiento, con capacidad de satisfacer toda la necesidad de la población residente y de una población flotante de perspectivas crecientes:

1. Técnicamente porque se logra reducir la elevada concentración de Arsénico hasta niveles inferiores al 50% del límite máximo establecido por la NCh409/1.Of2005.
2. Económicamente porque el costo de operación, calculado en base a insumos de regenerantes y energía, es del orden de \$90/m³ de agua tratada, en un sistema de funcionamiento automatizado, con un requerimiento de personal con baja dedicación en horas efectivas de trabajo respecto de un control básico del funcionamiento, cuyo costo no se ha evaluado.

La sostenibilidad del proyecto se proyecta con una elevada perspectiva de ser notable al cumplir con los requerimientos para el efecto, ello porque:

1. Existen las empresas locales que otorgan todo el soporte técnico y de gestión en el funcionamiento post venta o post instalación y puesta en marcha de la unidad de tratamiento de agua.
2. Existen laboratorios químicos locales con capacidad necesaria y suficiente para garantizar un control apropiado de la calidad del agua producida, entre otros el comprometido de nuestra proia institución ejecutora, Departamento de Química de la Universidad de Tarapacá.
3. El producto del proyecto, visualizado como la unidad tecnológica de tratamiento, se diseña, se construye y se dispone en la región misma donde el problema insatisfecho en su solución existe.
4. La cualidad modular y escalable de la unidad tecnológica de tratamiento, puede ser dotada de una fuente de energía solar para su funcionamiento, de modo que se dispone con accesibilidad a prácticamente todo espacio geográfico que lo requiera.

	PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
	FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

8.- Lineamientos Estratégicos¹ Regionales al que se vincula:

Recursos hídricos: El proyecto ofrece como producto el tratamiento del recurso hídrico arsenical con una capacidad de satisfacer el requerimiento de calidad para consumo humano y extrapoladamente al requerimiento de calidad de aguas para uso en riego y otros.

9.- Destino de los recursos según glosa presupuestaria² al que se vincula:

Investigación aplicada en el sentido de proyectar el conocimiento básico, respecto de sistemas de adsorción específica de Arsénico, hacia su aplicación a problemas no resueltos de amenaza por hidroarsenicismo crónico en áreas clasificables como extremadamente arsenicales. La expresión más tangible del uso y destino de los recursos se hace manifiesta en la instalación final y en modo operativo de la planta piloto funcionando y con capacidad de escalar hacia un crecimiento de sus capacidades actuales. Otro destino tangible se manifiesta en la adquisición de un instrumento moderno con capacidad para efectuar las mediciones requeridas de Arsénico, instalado en las dependencias del Laboratorio de Control Químico Ambiental del Departamento de Química de la Universidad de Tarapacá.

Emprendimiento innovador en el sentido de que la tecnología desarrollada puede ser ofertada comercialmente por al menos dos empresas regionales de Arica y Parinacota (Hidronova y Asitec Ltda.), ambas que fueron, en modos distintos, parte ejecutora del proyecto.

¹ Turismo de Intereses Especiales, Plataforma de Servicios Logísticos, Agricultura Tecnológica, Matriz Energética, Recursos Hídricos, Pesca y Acuicultura, Bienes Públicos para la Competitividad e Innovación.

² Ciencia, Investigación aplicada, emprendimiento Innovador, Desarrollo, Difusión y Transferencia Tecnológica, incluida la destinada al fortalecimiento de redes de innovación regional, formación y atracción de recursos humanos especializados, infraestructura y equipamiento de apoyo y promoción de la cultura pro-innovación y emprendimiento.

10.- Identificación de las innovaciones³ generadas, aplicaciones tecnológicas, patentes o generación de nuevos productos y servicios de interés innovativo logrados con el proyecto:

Innovación como proceso de tratamiento de aguas de extremas concentraciones de Arsénico, con un sistema de alta eficiencia en la eliminación del tóxico, con una baja “huella de agua”, con una baja producción de RIL y de su transformación a RIS con absoluta posibilidad de disposición en el marco de la legalidad vigente.

Innovación como producto en términos de que existen empresas privadas en la propia Región de Arica y Parinacota con capacidad de diseñar, construir, instalar y poner en marcha un definido sistema requerido.

³ Innovación en producto, proceso, gestión, organización, marketing y comercialización.

11.- Identificación de los impactos generados a nivel de clúster o áreas productivas regionales.

El proyecto genera impactos positivos en áreas productivas como:

1. Indirectamente en turismo, al poder ofertar estadías locales en áreas de intereses especiales, zonas de hidroarsenicismo crónico desde épocas prehispánicas, asegurando inocuidad por arsénico en el agua para consumo humano.
2. Indirectamente en minería, al poner a disposición agua adecuada al consumo humano al personal que labora en áreas complicadas por la amenaza del hidroarsenicismo.
3. Directamente en agricultura y acuicultura (microalgas) al disponer aguas de riego y de cultivo con niveles seguros de concentración de arsénico que aseguren a su vez niveles aceptados del elemento en el producto biológico generado, incluido el proceso de biomagnificación.

12.- Conclusiones y Recomendaciones:

Conclusión:

La “eliminación” o minimización de la presencia o concentración de arsénico en el agua por bajo el límite máximo aceptado por la Norma chilena, mediante la tecnología evaluada por el proyecto, es absolutamente viable y sostenible, técnica, económica y ambientalmente, con capacidad de ser adoptada prácticamente en toda condición geográfica y de tamaño que se requiera.

Recomendaciones:

- ✓ Preparar y ejecutar con aporte mixto (privado y gubernamental), un programa de transferencia tecnológica y difusión de la alternativa tecnológica derivada del proyecto, con la finalidad de motivar a las organizaciones locales de APR u otras a la formulación de sus respectivos proyectos para acceder al financiamiento de la unidad tecnológica requerida para el efecto.
- ✓ Generar una instancia con aporte gubernamental específico al efecto, que permita acceder a locaciones de comunidades humanas al financiamiento vía proyectos para instalar las unidades tecnológicas que se requieran.

NOMBRE Y FIRMA

REPRESENTANTE LEGAL DE LA INSTITUCIÓN

 <p>ARICA Y PARINACOTA GOBIERNO REGIONAL</p>	PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
	FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

*** Anexos a incorporar (según corresponda)**

- Listado de asistentes jornadas de transferencias o capacitaciones del proyecto
- Actas de Acuerdo
- Presentaciones o exposiciones
- Resumen de Resultados de investigaciones, estudios o análisis de muestra
- Listado de beneficiarios directos del proyecto
- Fotografías, Planos, Mapas de Cobertura o Intervención
- Otros antecedentes de relevancia del proyecto

	PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
	FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

ANEXO 1
EQUIPO TÉCNICO DEL PROYECTO

Nombre del coordinador del Proyecto	: Leonardo Figueroa Tagle
Profesión	: Laboratorista Químico – Diplomado en Gestión Ambiental
Horas de Dedicación	: 12
Funciones o Tareas del Coordinador	: Coordinar gestiones administrativas, planificar tareas técnicas, evaluar calidad del proceso de purificación del agua.
Teléfono de Contacto	: 92924159
Correo Electrónico	: lfiguero@uta.cl
Nombre del Profesional	: Yubinza Zapata Cortés.
Profesión	: Químico Laboratorista – Licenciada en Química
Horas de Dedicación	: 30
Funciones o Tareas del Profesional	: Muestreo de agua, análisis de agua, apoyo en difusión y evaluación técnica.
Teléfono de Contacto	: 98655715
Correo Electrónico	: yubinza.zapata@gmail.com
Nombre del profesional	: Miguel Villanueva Alvarado.
Profesión	: Ingeniero Agrónomo
Horas de Dedicación	: 20
Funciones o Tareas del Profesional	: Montaje y pruebas en planta piloto, enlaces con instituciones beneficiarias.
Teléfono de Contacto	: 66376777
Correo Electrónico	: miguelangelv35@gmail.com
Nombre del Profesional	: Camilo Urbina Alonso
Profesión	: Ingeniero Agrónomo
Horas de Dedicación	: 20
Funciones o Tareas del Profesional	: Diseño, montaje y pruebas en planta piloto, evaluador y analista de información técnica, construcción de

 <p>ARICA Y PARINACOTA GOBIERNO REGIONAL</p>	PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
	FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

	informes técnicos, participación en difusión.
Teléfono de Contacto	: 82880816
Correo Electrónico	: Camilo.urbina.alonso@gmail.com