

## Provect-OX™ ISCO Auto-activado / Reactivo de Bioremediación mejorado

### Más seguro, ISCO más eficaz usando activación no extrema de Persulfato con rendimientos sostenidos, Biotratamiento secundario

Al elegir un reactivo ISCO a base de persulfato, la industria se enfrenta a un número creciente de opciones- con cada reactivo que posee sus propias características auto proclamadoras (**Tabla 1**). Como se describe aquí, Provect – OX™ ofrece algunos beneficios importantes no inherentes a otras alternativas ISCO, y bien puede ser su opción más segura, más eficaz y rentable.

**Tabla1. Análisis comparativo de Reactivos ISCO seleccionados a base de persulfato.**

▼ Característica	Solo persulfato (inactivo)	Provect-OX™	PersulfOx®	Base persulfato activado
<b>Embalaje</b>	Ofrecido como producto granular	- Ofrecido como producto granular premezclado con un activador - Sistema seco de dos partes opcionales para la flexibilidad de campo	Ofrecido como un producto granular de una sola parte con una función de activador	Sistema de dos piezas: ca. 25% NaOH + persulfato granular <sup>a</sup>
<b>Aplicación en campo</b>	- Conjunto único de mangueras y bombas - No se requiere contención secundaria	- Conjunto único de mangueras y bombas - No se requiere contención secundaria	- Conjunto único de mangueras y bombas <sup>a</sup> - No se requiere contención secundaria <sup>a</sup>	- Requiere sistema de inyección múltiple <sup>a</sup> - NaOH requiere contención secundaria <sup>a</sup>
<b>Seguridad</b>	Granular, material en sacos, es seguro y fácil de manejar	- Granular, material en sacos, es seguro y fácil de manejar - No genera calor minimiza producción de gases	Granular, material en sacos, es seguro y fácil de manejar <sup>a</sup>	- NaOH es corrosivo y puede causar lesiones graves <sup>a</sup> - NaOH complicaciones en la compatibilidad con otros materiales <sup>a</sup> - Genera calor durante la aplicación <sup>a</sup>
<b>Activación química</b>	- Principalmente activado por origen natural del hierro férrico, y tal vez otros metales - La variabilidad natural y la heterogeneidad acuífera compromete ingeniería, control y previsibilidad	-Procesos catalíticos seguros sin el peligro de la activación extrema - Permanece activa por periodos prolongados - Activación predecible y fiable.	- Procesos catalíticos seguros sin el peligro de la activación extrema a - Permanece activa por periodos prolongados	- pH (>10.5) <sup>a</sup> extremadamente elevado - Activación de corta duración <sup>a</sup> - Rendimiento variable <sup>a</sup> - pH alto que puede movilizar metales pesados
<b>Modos de acción</b>	Oxidación química convencional de persulfato	-Oxidación química convencional de persulfato - Radicales de ferrato mejoran los resultados de la oxidación - Procesos biológicos secundarios sostenidos mejoran el rendimiento general	- Oxidación química convencional de persulfato - Posiblemente otros	- Oxidación química convencional de persulfato - Un pH alto no es propicio para los procesos biológicos
<b>Diseñado para manejar el rebote del contaminante</b>	No A menudo se requieren múltiples inyecciones	Si Sostiene activamente el tratamiento secundario	No A menudo se requieren múltiples inyecciones	No A menudo se requieren múltiples inyecciones
<b>Tecnologías patentadas</b>	No per <sup>b,c,d,e</sup>	Pendiente (Provectus)	Si (Regenesis)	Si

<sup>a</sup> Data for PersulfOx and "Base-Activated Persulfate" taken from Regenesis mailer received April 21, 2015.

<sup>b</sup> Henderson, J.F. 1958. The Reaction of Potassium Persulphate with Thioglycolic Acid in Aqueous Solution. McGill University, Montreal, Canada. [http://www.provectusenvironmental.com/marketing/tech\\_docs/JohnHenderson\\_1958.pdf](http://www.provectusenvironmental.com/marketing/tech_docs/JohnHenderson_1958.pdf)

<sup>c</sup> Cuyper, C., T. Grotenhuis, J. Joziase and W. Rulkens. 2000. Rapid Persulfate Oxidation Predicts PAH Bioavailability in Soils and Sediments. Environ. Sci. Technol. 34(10) pp. 2057-2063.

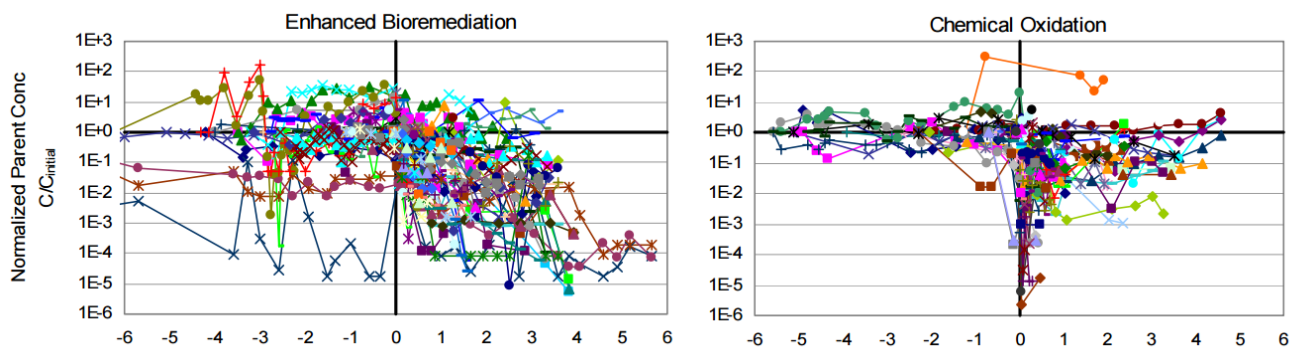
<sup>d</sup> Pugh, J.R. 1999. *In Situ* Remediation of Soils Containing Organic Contaminants Using the Electromigration of Peroxysulfate Ions. US Patent 5,976,348. [http://www.provectusenvironmental.com/marketing/tech\\_docs/USPTO\\_5976348\\_Pugh\\_1999.pdf](http://www.provectusenvironmental.com/marketing/tech_docs/USPTO_5976348_Pugh_1999.pdf)

<sup>e</sup> Todd, S.M. 1964. Some Speculation on the Oxidation-Reduction Mechanisms and their Significance in the Induction of Cancer. Pages 444- 457. [http://www.provectusenvironmental.com/marketing/tech\\_docs/SMTodd\\_1964.pdf](http://www.provectusenvironmental.com/marketing/tech_docs/SMTodd_1964.pdf)

## DOS CARACTERISTICAS IMPORTANTES ASOCIADAS CON LA TECNOLOGIA ISCO

**Rebote:** Tal vez el principal problema con el persulfato desactivado o con las químicas convencionales ISCO resumidas anteriormente se relaciona con el problema común de rebote del contaminante. McGuire et al (2006) resumió este fenómeno comparando la eliminación de contaminantes en el tiempo en numerosos proyectos ISCO: la mayoría de los sitios ISCO analizados exhibieron: i) inicialmente (tal vez significativo) reducción en el contaminante (fase disuelta) seguida por ii) rebote del contaminante dentro de unos años (**Figure 1**). Esta es una respuesta a las reacciones de oxidación iniciales degradando compuestos orgánicos dirigidos en la fase disuelta, pero una vez que se consumen o agotan las especies reactivas, no queda nada para hacer frente a los compuestos que son removidos de la matriz del acuífero. Esto lleva a rebotar a lo largo del tiempo, con el grado de rebote siendo una función de múltiples factores tales como la tasa de carga oxidante, tipo de suelo y textura, condiciones hidrogeológicas, atenuación microbiológica, etc (Tsitonaki et al., 2010; Watts, 2011).

**Figura 1.** Registros de concentraciones temporales para pozos en sitios de agotamiento de fuentes. La concentración se normaliza por la medida inicial de la concentración. El tiempo de muestreo se normaliza por el tiempo del tratamiento inicial en el agotamiento de la fuente.



EL eje- X muestra el tiempo de muestreo e (años) en relación con el tratamiento inicial (Tiempo 0)

Para manejar el rebote, Provect- OX emplea hierro férrico para activar el persulfato (Scalzi y Karachalios, 2013). Esta química única no solo es muy eficaz a corto plazo ISCO (ver abajo) sino también mejora los procesos de bioremediación en un periodo de tiempo extenso. Esto se logra a través de la posterior utilización de sulfato y hierro como aceptores de electrones para procesos facultativos reductivos. La degradación intermedia generada durante la oxidación de contaminantes y otros compuestos orgánicos de origen natural tales como ácidos húmicos pueden actuar como un servicio de transporte de electrones, lo que permite la reducción de Fe (III) a Fe (II) en el ciclo redox de hierro y continua activación del persulfato. Este remedio combinado proporciona mecanismos de tratamiento suplementario, permitiendo así una dosificación más rentable del producto.

Los métodos alternativos de estimular procesos de biodegradación secundarios utilizando compuestos de liberación de oxígeno (tales como calcio o magnesio oxyhidróxido) están limitadas en que van a permanecer activos durante solo unos meses, después de lo cual su potencial de liberación de oxígeno se agota. Además, el oxígeno liberado tenderá a migrar hacia la zona vadosa donde puede no proporcionar ningún beneficio en términos de tratamiento de aguas subterráneas. El hierro, por otra parte, permanecerá

activo durante muchos años. Por otra parte, los compuestos de liberación de oxígeno aumentan inherentemente el pH local a condiciones básicas extremas (> 10 unidades de pH), que simplemente no es propicio para la actividad biológica.

**Modo de acción:** Provec-OX emplea múltiples químicos de oxidación que le da una amplia gama de actividad oxidante.

- ✓ Radical persulfato
- ✓ Ferrato
- ✓ Persulfato



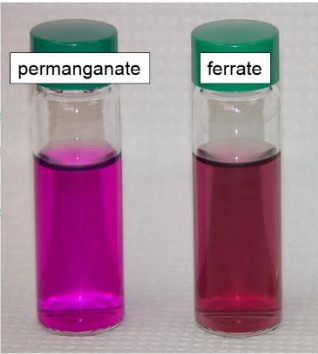
### Provect-OX Oxidation Potentials

Ferrate salts can easily be prepared from iron salts, hypochlorite and a base:

$$2 \text{Fe}^{+3} + 3 \text{OCl}^- + 4 \text{OH}^- \rightarrow 2 \text{FeO}_4^{-2} + 3 \text{Cl}^- + 2 \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{S}_2\text{O}_8^{-2} + \text{ACTIVATOR} [\text{Fe}^{+3}] \rightarrow \text{SO}_4^{\bullet-} + \text{e}^- \rightarrow \text{SO}_4^{\bullet-2}$$

Oxidation Potentials	Volts
Fluorine (F <sub>2</sub> )	2.87
Hydroxyl radical (OH●)	2.80
Persulfate radical (SO <sub>4</sub> ●)	2.60
Ferrate (Fe <sup>+6</sup> )	2.20
Ozone (O <sub>3</sub> )	2.08
Persulfate (S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>-2</sup> )	2.01
Hydrogen peroxide (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	1.78
Permanganate (MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	1.68
Chlorine (Cl <sub>2</sub> )	1.49



https://sites.google.com/site/ecpreparation/ferrate-vi

Copyright Provectus

EL persulfato es activado por el Fe III, que requiere una energía de activación inferior a mecanismos alternativos mientras que no se consume el oxidante. Se cree que la activación es un resultado de la transitoriamente elevado estado de

oxidación del hierro a un ion de hierro sobrealimentado (Fe<sup>+6</sup> o ferrato), que en sí mismo puede actuar como un oxidante. A medida que se consume este catión de hierro sobrealimentado, las especies férricas resultantes pueden actuar como un aceptor terminal de electrones para la atenuación biológica. Coincidentemente, el ion sulfato generado a partir de la descomposición del persulfato proporciona un aceptor terminal de electrones para reductores de sulfato que puede remediar adicionalmente los compuestos específicos en el agua subterránea y los suelos. Las reacciones que se producen en la oxidación química incluyen radicales persulfato y ferrato, como se resume a continuación (ecuación 1):



## BENEFICIOS DEL PROVECT-OX EN COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS ISCO BASADAS EN PERSULFATO

**Más Eficaz:** Promueve múltiples reacciones de oxidación y radicales libres que producen una oxidación in situ más eficaz de una amplia gama de contaminantes orgánicos. También proporciona un componente microbiológico único para múltiples procesos de atenuación acelerados.

**Más Eficientes:** Costos significativamente más bajos como resultado de múltiples oxidantes y procesos de tratamiento secundario. El uso de óxido férrico conserva el oxidante cuando se compara con la activación EDTA-FeIII de hierro quelado.

**Más Seguras:** Menos preocupaciones de salud y seguridad en comparación con el uso de métodos de activación tradicionales tales como el calor, metales quelados, y el peróxido de hidrógeno o pH extremos utilizando NaOH.

- ✓ Contiene activación incorporada que elimina la necesidad de productos químicos potencialmente peligrosos adicionales y necesarios para lograr la activación de persulfato tradicional.
- ✓ No generará calor excesivo / gases residuales

**Fácil de usar:** producto de componente individual con resultados de activador integrados en la logística y la aplicación.

- ✓ No hay contenedores adicionales o proporciones de mezcla de varios pasos necesarios antes o durante la aplicación de campo
- ✓ Menor necesidad de logística y manejo de problemas de compatibilidad de equipos
- ✓ No se requieren medidas de contención secundaria.

**Rendimiento mejorado:** Remedio combinado maximiza la geoquímica inherente de un entorno de "post-oxidación" para la atenuación de la base biológica para evitar el "rebote".

- ✓ El hierro ferroso y el sulfuro promueven la formación de piritita para combatir los efectos tóxicos de la acumulación de sulfuro de hidrógeno y sulfuro mientras que también proporciona un medio de eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos dirigidos a través de reacciones de precipitación. Por otra parte, la piritita posee un elevado número de sitios reactivos que son directamente proporcional tanto a su capacidad reductora y la tasa de decaimiento de los objetivos orgánicos
- ✓ No movilizará metales pesados o conducirá a la generación de problemas de impacto secundarios como el arsénico elevado, cromo resultante de pH extremadamente elevada.

**Longevidad:** Apoya a largo plazo, sosteniendo (> 2 años), los procesos de biorremediación secundarias para gestionar los residuos y evitar rebote del contaminante. El hierro se mantendrá en ritmo y activo durante muchos años.

## LITERATURE CITED

- McGuire, T.M., J.M. McDade and C.J. Newell. 2006. Performance of DNAPL Source Depletion Technologies at 59 Chlorinated-Solvent Impacted Sites. *Groundwater Monitoring & Remediation* 26(1): 73-84.
- Pugh, J.R. 1999. *In Situ* Remediation of Soils Containing Organic Contaminants Using the Electromigration of Peroxysulfate Ions. US Patent 5,976,348. (Download above).
- Scalzi, M. and A. Karachalios. 2013. Chemical Oxidation and Biological Attenuation Process for the Treatment of Contaminated Media. US PTO 13/891,934. May, 2013.
- Todd, S.M. 1964. Some Speculation on the Oxidation-Reduction Mechanisms and their Significance in the Induction of Cancer. Pages 444- 457. (Download above)
- Tsitonaki, A., B. Petri, M. Crimi, H. Mosbaek, R. Siegrist and P. Berg. 2010. *In Situ* Chemical Oxidation of Contaminated Soil and Groundwater using Persulfate: A Review. *Critical Rev. Environ. Sci. and Technol.* 40: 55-91.
- Watts, R., 2011. Enhanced Reactant-Contaminant Contact Through the Use of Persulfate *In Situ* Chemical Oxidation (ISCO). SERDP Project ER-1489.  
[http://www.provectusenvironmental.com/marketing/tech\\_docs/Watts\\_Persulfate\\_Activation\\_ISCO-ER-1489-FR.pdf](http://www.provectusenvironmental.com/marketing/tech_docs/Watts_Persulfate_Activation_ISCO-ER-1489-FR.pdf)