

Provect-OX™

QQIS Auto Activado / Reactivo Mejorado Biorremediante

DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Provect-OX es un oxidante químico in situ (QQIS) / reactivo mejorado biorremediante que usa ion férrico (Fe III) como un medio seguro y efectivo para activar persulfato (Patente Pendiente). Provect-OXTM oxida una gran variedad de compuestos orgánicos contaminando suelos, sedimentos y agua subterránea incluyendo solventes clorinados, hidrocarburos derivados del petróleo y pesticidas. Rodríguez et al., (2014) recientemente han reportado que dos mM Fe (III) y seis mM de persulfato eran muy efectivos para rápidamente mineralizar hasta los compuestos orgánicos más recalcitrantes como el azo colorante Naranja G (C16N10N2Na2O7S2).

Este activador catalizador avanzado es por mucho único, considerando su habilidad de mejorar el proceso de biorremediación. Esto se logra por vía de la utilización subsecuente de sulfato y hierro como receptores terminales de iones, para el proceso reductivo facultativo. Intermediarios de la degradación generados durante la oxidación del contaminante pueden actuar como acarreadores de electrones, permitiendo la reducción de Fe(III) y Fe(II) en ciclo redox (reductivo) del hierro y la continua activación del persulfato. Esta remediación combinada brinda mecanismos de tratamiento suplementario, permitiendo, por lo tanto, una dosificación más económica del producto.

Como todos los productos Provectus, Provect-OXTM fue desarrollado por experimentados profesionales que comprenden la aplicación en situaciones reales en campo. Por ejemplo, el oxidante del persulfato y su activador son convenientemente empacados en una presentación premezclada para facilitar su uso y hacerlo más seguro. Yendo más allá, gracias a su activación segura y química de activación no-extrema o violenta, Provectus-OXTM no generará calor excesivo / gases fugitivos, tampoco movilizará metales pesados o derivará en la generación de efectos secundarios que imparten negativamente en la biorremediación, como elevar la presencia de cromo, arsénico o pH.

QUÍMICAS DE ACTIVACIÓN TRADICIONALES

Hasta hace poco, la activación del persulfato de sodio era vía calentamiento, quelación metálica, peróxido de hidrógeno, catálisis superficial/Hierro cerivalente (ZVI - Zero Valent Iron) y/o uso de pH's extremos para conseguir la generación de radicales sulfato, radicales hidroxilos, etc. (Tsotonaki et al., 2010). Estos métodos no solo requieren la utilización de otros productos o energía, sino que también tienden a no utilizar los muchos procesos biológicamente mediados, posiblemente como una consecuencia de la descomposición de los productos del persulfato.

Activación Metal Bivalente: La utilización de hierro ferroso, en forma de un catión quelado, consume al oxidante (persulfato), en una conversión de hierro ferroso a hierro férrico. Adicionalmente, la presencia de quelantes inhibe la utilización biológica de los microorganismos que podrían utilizar los productos férricos generados, como una terminal biológica aceptadora de electrones y consumidora de oxidants. La sobredosificación de hierro ferroso quelado acabará consumiendo al oxidante.



Activación Cáustica: La utilización de activación cáustica (pH's altos) del persulfato conlleva implícitamente a riesgos de salud y seguridad, mientras que se crea un ambiente altamente alcalino, incompatible con la remediación biológica. Inclusive, este es un mecanismo de activación cuyo proceso biológico es auto limitante, una vez que los niveles de pH han regresado a valores apropiados. El sulfato, cuando es usado como una terminal biológica aceptadora de electrones, transita hacia sulfito (óxido de azufre) y finalmente hacia sulfuro (orgánico, inorgánico o fosfatado). Este último producto forma sulfuro de hidrógeno, lo que inhibirá la actividad biológica.

Activación Térmica: La utilización de calor es un mecanismo de activación usualmente difícil de implementar, e involucra un gran costo económico. No deriva en la formación problemática de sulfuros de hidrógeno.

Activación por Peróxido de Hidrógeno: El uso de peróxido de hidrógeno como mecanismo de activación, no genera la formación de problemas asociados a la formación de sulfuros de hidrógeno, pero tiene una eficacia limitada sobre muchos de los compuestos objetivos.

MODO DE ACCIÓN

QOIS (Oxidación Química *in situ*): Bajo el esquema Provectus, el persulfato es activado por Fe III (formulación premezclada) que requiere menor energía de activación, que los mecanismos alternativos, al mismo tiempo que no consume al oxidante del persulfato. Se cree que este mecanismo eleva la tasa de oxidación del hierro, transformándolo en un ion hierro supercargado, capaz de actuar por si solo como un oxidante. A medida que este catión de hierro supercargado es consumido, los microorganismos consumidores del compuesto férrico resultante actúan como una terminal aceptadora de electrones, con actividad biológica atenuadora. Coincidentemente, el ion sulfato generado de la descomposición del persulfato, provee una terminal aceptadora de electrones para reductores de sulfatos, que a la postre remedia los compuestos objetivos en aguas subterráneas y suelos. La creación que ocurre en la oxidación química, se puede ver abajo (Ecuación 1):



Solo opciones de remediación basadas en persulfatos generan microorganismos consumidores de ferratos, con FUERTE componentes biológicos.

Procesos Secundarios de Activación (Mediados Biológicamente)

1) Sulfato Residual

Después de que el oxígeno se ha agotado del área de tratamiento, el sulfato (un subproducto de la oxidación del persulfato) podrá ser usado como un aceptador de electrones para biodegradación anaerobia por microorganismo presentes. Este proceso conlleva a una sulfidogénesis y resulta en la producción de sulfuros. Estequiométricamente, por cada 1.0 mg/L de sulfato consumido por microorganismos resulta en la destrucción aproximadamente de 0.21 mg/L de compuestos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno, xileno). El sulfato puede jugar un rol muy importante en la remediación de productos del petróleo, actuando como un aceptador de electrones en procesos co-metabólicos. Por ejemplo, las reacciones básicas de la mineralización del benceno y el tolueno, bajo condiciones de reducción de sulfato, se encuentran expresadas en las siguientes ecuaciones:



2) Hierro Férrico

El hierro férrico también es usado como un aceptador de electrones durante la biodegradación anaerobia de muchos contaminantes, algunas veces en conjunción con sulfatos. Durante este proceso, el hierro férrico es reducido al ion ferroso, que es soluble en agua. Por lo tanto, el ion ferroso puede ser utilizado como un indicador de actividad anaerobia. Como ejemplo, estequiométricamente, la degradación de un mg/L de BTEX resulta en promedio en el consumo aproximado de 22 mg/L de ion férrico (o “producción de hierro ferroso”) como se muestra a continuación (ecuaciones 4 - 6):



3) Formación de Pirita:

Mientras que el hierro ferroso es formado como resultado del uso de microorganismos consumidores de hierro como terminales aceptadoras de electrones, el sulfato residual es utilizado como terminal aceptadora de electrones por microorganismos facultativos, por ende, generando sulfido bajo las mismas condiciones. Juntos, el hierro ferroso y el sulfido promueven la formación de pirita como un subproducto de remediación (Ecuación 7). Esta reacción combate los efectos tóxicos de la acumulación sulfido y el sulfuro de hidrógeno en las bacterias facultativas, mientras que provee de los medios para remover los constituyentes de interés (COIs), tanto orgánicos como inorgánicos, por medio de reacciones de precipitación. Más aun, la pirita posee un alto número de sitios reactivos que son directamente proporcional tanto a su capacidad deductiva, como a la tasa de deterioro de los compuestos orgánicos objetivos de la remediación.



CARACTERÍSTICAS PRIMARIAS:

Esta técnica maximiza la sinergia entre el persulfato y el hierro para una oxidación acoplada y una remediación mejorada: i) sulfato generado a partir de persulfato, ii) hierro férrico (FeIII) es reducido microbiológicamente a hierro ferroso (FeII) que está listo para suplir electrones para intercambiar y reaccionar con el sulfido. Juntos, sulfido y hierro forman pirita, un hierro que acarrea el mineral del suelo, con una capacidad deductiva favorable.

- ◆ **Efectivo:** Promueve radicales libres basado en oxidación in situ de un amplio espectro de contaminantes orgánicos. También provee el componente para acelerar múltiples procesos de atenuación.
- ◆ **Eficiente:** Baja significativamente los costos de implementación, como resultado de los requerimientos de dosificación sub-estequiométrica.
- ◆ **Seguro:** Muy pocos problemas de salud y seguridad se derivan de estos métodos, si se compara con los métodos “tradicionales” de activación, lo que elimina la necesidad del uso de químicos

potencialmente peligrosos para poder alcanzar las reacciones de activación tradicionales del persulfato.

- ◆ **Fácil de usar:** Un producto sencillo, con activador integrado, resulta en la simplificación de la logística y aplicación. No hay necesidad del uso de contenedores y preparaciones multi-pasos antes de su aplicación. Minimiza la incompatibilidad de los componentes.
- ◆ **Desempeño mejorado:** La combinación de procesos de remediación evita el “rebote”, frecuentemente observado en otros procesos de activación. Maximiza la geoquímica inherente de un ambiente de “post-oxidación”, debido a la atenuación biológica lograda.

LITERATURA CITADA:

Rodriguez S, L. Vasquez, D. Costa D, A. Romero and A. Santos. 2014. Oxidation of Orange G by Persulfate activated by Fe(II), Fe(III) and zero valent iron (ZVI). Chemosphere 101:86-92.

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.

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.

CONTÁCTENOS PARA LA REALIZACIÓN DE UNA EVALUACIÓN DEL SITIO

PROVECTUS ENVIRONMENTAL PRODUCTS, INC.

2871 West Forest Road, Suite 2 | Freeport, IL 61032

Tel: (815) 650-2230 | Fax: (815) 650-2232 | Email: info@ProvectusEnv.com

Contratación múltiple de opciones de remediación por medio de proveedores estratégicos

Llave en mano, Costo-Beneficio, Pago por Desempeño, Remediación Garantizada