

COMPARACION EN LIXIVIACION CON ASPERSORES Y GOTEROS.

POR:

Steve N. Dixon, Marvin N. Shearer, David J. Steele

INTRODUCCIÓN.

Métodos y recursos encontrados para la lixiviación de tierras agrícolas son aplicables para la lixiviación de pilas en minería. El agua es usada como el conductor básico y el eficiente uso de la solución es importante. En ambos casos, en la agricultura y en la minería, la solución se mueve como respuesta a las mismas leyes físicas.

Probablemente la gran diferencia entre la lixiviación en agricultura con la minería, es el químico usado en la solución de lixiviación y su efecto potencial en la seguridad y el medio ambiente. Pero las partículas y el tamaño de los espacios porosos del medio son también diferentes, y esto afecta la forma como el agua se mueve en este medio.

La lixiviación es usada en agricultura para extraer las sales no deseables; en minería, se usa para recuperar metales. La toxicidad de la solución y los vientos no son problema en lixiviación en agricultura, pero en lixiviación de minerales, es un problema.

El propósito de este documento, es comparar y evaluar las características de la lixiviación en pilas de un Sistema común de aspersion usado en lixiviación con el Sistema de goteo Oremax, introducido recientemente para ésta aplicación. El Sistema de goteo Oremax, es referido en este reporte por su nombre, porque todos los sistemas de goteo no tendrán el mismo performace cuando se usen en lixiviación de minerales.

Chief Chemist/Metallurgist, Coer-Rochester, Inc., Lovelock, Nevada.
Professor Emeritus of Agricultural Engineering, Oregon State University, Corvallis, Oregon. Vice President Marketing Oremax, Fresno, California.

PROCEDIMIENTO

Un Sistema de aspersion y otro de goteo Oremax, fueron instalados en la Mina Rochester cerca de Lovelock, Nevada en 1986. Fueron operados durante 1986 y 1987 donde fueron medidos y observados las efectividades de los dos sistemas. Características importantes en la lixiviación de los dos sistemas son comparados y las

conclusiones son presentadas sobre la base de las comparaciones. Layouts de los dos sistemas son presentados en las figuras 1 y 2.

OBSERVACIONES Y DISCUSIÓN

Capital y costos de instalación

La inversión inicial en los dos sistemas usados para un área de 90 000 pies², cada uno con 20 pies de altura, son mostrados en la tabla 1 y 2. Bombas, líneas de tuberías y otros equipos fuera de la pila de prueba no son incluidos.

Tabla 1. Costo de inversión para 90000 ft² en Sistema de goteo.

Item	Cant	Und	Costo Total
2" Tubos con acoples y spline	300	feet	\$2277.00
6" Terminal	1	each	26.56
6" válvula	1	each	290.00
Tubos de goteo	30 000	feet	4620.00
Fig 8 terminal	200	each	30.00
0.5" adaptador	200	each	60.00
Total costo inicial			\$7303.56

Tabla 2. Costo de inversión para 90000 ft² en Sistema de aspersión.

Item	Can	Un	Costo Total
2" Tu. C/acopla. Y esplín	3000	feet	\$ 4590.00
6" tu. C/acopla. Y esplín	300	feet	2277.00
6"x6"x2" té	10	each	1253.00
6" terminal	1	each	26.56
2" terminal	10	each	86.40
Aspersor	100	each	364.00
Regulador de presión	100	each	448.00
6" valvula	1	each	290.00
2" válvula	10	each	574.20
Total costo inicial			\$ 9909.16

El promedio del costo del Sistema por aspersión fue de 11.00 centavos por ft². El costo promedio para el Sistema Oremax fue 8.1 centavos por ft², un ahorro de 2.9 por ft². El tiempo de instalación favoreció al Sistema de aspersión, 36 horas/hombre contra 42 para el Sistema Oremax. Las horas hombre requerido para varias actividades de instalación son mostradas para cada Sistema en la tabla 3.

Perforado y roscado de la tubería matriz de 6" del Sistema de goteo, es hecho por una sola vez en toda la vida de la tubería. Fue hecho antes de la instalación con trabajo no prioritario. Los laterales de 2" del Sistema de aspersión fueron ensamblados con los

aspersores y reguladores de presión antes de la instalación del Sistema. Todas las líneas de ambos sistemas fueron purgadas de impurezas que entra en el proceso de instalación.

Tabla 3. Tiempo requerido para instalar y desarmar el Sistema de lixiviación en 90000 ft2.

<u>Sistema</u>	<u>Actividad</u>	<u>Horas-hombre</u>
Oremax	Layout y conectar 300' de tubería de 6" con un terminal de limpieza y 1 válvula de control.	11
	Layout de 30000' de línea de goteros Conectados a la matriz.	18
	Desarmado	<u>12</u>
	Total horas-hombre para el goteo	42
Aspersión	Layout y conectar 300' de tubería de 6" Con tee de 6"x6"x2" cada 30' y una Válvula de 6".	12
	Layout de 90000 pies de tubería de 2" Con aspersores	12
	Desarmado	<u>12</u>
	Total horas-hombre para la aspersión	36

MATENIMIENTO.

El requerimiento de mantenimiento y monitoreo de los dos sistemas fueron totalmente diferentes. Los aspersores tiran la solución al aire donde es sujeta a la evaporación. Cuando las gotas impactan en la superficie, tuberías, y rociadores, se forman precipitados por la evaporación, precipitación, y la natural formación de costras de la solución cáustica del cianuro. Esto causa que los aspersores trabajen irregularmente y algunas veces se peguen, y la solución mayormente salga en una sola dirección. Esto hace la formación de pozas, muy desigual distribución de la solución de lixiviación, y desuniforme lixiviación de la pila.

En suma, la caída de la solución de los aspersores tiene gotas grandes con suficiente energía para remover y compactar los finos, en los poros grandes del mineral chancado. Las adicionales costras de estos finos causan cementación de los finos y reduce el tamaño de los poros en el mineral, de este modo la permeabilidad de la superficie es menor que el flujo aplicado originalmente. Esto causa empozamientos en la superficie.

Los aspersores requieren reemplazos y lavado con ácido para quitar las costras. El reemplazo de los aspersores requiere el cierre de la línea y el uso de ropa de aislamiento total por el operador, para protegerse de la solución del cianuro. El Sistema de aspersión requiere monitoreo constante para minimizar el número de aspersores pegados.

La evaporación causa la formación de costras alrededor de los goteros del Sistema Oremax, y en los dos últimos anillos dentro de la pared del gotero, cuando una lluvia pesada perturba la química de la solución de la lixiviación. Las costras fueron normalmente rotas tirando del final de la línea con una tenaza. Cuando el tamaño fue tan grande que no se solucionaba el problema, el gotero fue limpiado usando solamente guantes de protección. Menos del 1 % de los goteros formaron costras durante el periodo de observación.

El efecto de la formación de costras no fue casi un problema crítico en el Sistema Oremax, como lo fue en el Sistema de aspersión. La formación de costras en los goteros no redujo la porosidad, erosión, empozamientos, o derrumbes. Los requerimientos de monitoreo en el Sistema de goteo por lo tanto fueron considerablemente reducidos.

Cubrimiento de la Superficie.

El cubrimiento de la superficie por el Sistema de aspersión puede ser el 100 % de toda el área superficial. Superposición considerable es necesaria en el Sistema de aspersión, para obtener una aplicación uniforme de la solución de lixiviación en la superficie de la pila. Parece lógico que con una aplicación uniforme en la superficie, el movimiento vertical de la solución en el mineral debería ser uniforme. Pero eso no es necesariamente cierto porque el mineral no es homogéneo.

Cuando la solución es aplicada en la superficie de la pila, y hay una buena mezcla de tamaños de partículas en la superficie de tal modo que los macroporos están bien distribuidos, la solución se infiltra y viaja a través del mineral casi enteramente en los pequeños poros capilares formando films continuos alrededor de las partículas, no en los macroporos, donde las fuerzas de la gravedad son dominantes. En efecto, el agua evitará entrar en los macroporos hasta que los poros capilares estén cerca de la saturación.

Cuando la solución ocupa los poros capilares y forma films alrededor de las partículas del mineral, la solución se mueve en todas las direcciones, desde las zonas húmedas a las secas, o en términos más exactos, desde tensiones bajas a tensiones altas. En concentraciones de partículas muy finas y extremadamente poros pequeños, el movimiento en todas las direcciones es lento pero casi uniforme, porque la influencia de la gravedad es casi inexistente. En un medio compuesto por casi todos macroporos como los de la arena, la gravedad tiene una gran influencia y el patrón de humedad de los goteros es elongado verticalmente.

La distribución del tamaño de los poros en el mineral por consiguiente influye en ambas, la entrada, y movimiento de la solución en dirección vertical y horizontal. Las partículas finas reducen la cantidad de macroporos y aumentan la efectividad de la solución, como ésta se mueve en la pila aumentando los canales de capilaridad y el contacto de la solución con las partículas.

El mineral en la mina Rochester es chancado a 80 % menos de 3/8 de pulgada, y 5 % menos de 200 mesh. El flujo neto de aplicación de la solución a la superficie de la pila fue de 0.24 gl/hr/ft². No hubo empozamiento o escurrimiento superficial con el Sistema Oremax.

Permeabilidad de la Pila.

La permeabilidad de la pila durante la operación de lixiviación, es el mayor factor a considerar para obtener máxima recuperación del mineral. La aglomeración de grandes cantidades de mineral con arcilla mejora la permeabilidad y hacen el proceso efectivo. El método para la aplicación de la solución de lixiviación, como anteriormente se declaró, puede significativamente influenciar en la porosidad cerca de la superficie, el movimiento de la solución a través de éste, y el resultado en obtener el oro y la plata.

Las gotas del Sistema de aspersión fueron grandes. Fueron deseables porque reducen los efectos nocivos del viento y la evaporación, pero cuando las gotas golpean la superficie de la pila, lavan las partículas finas dentro de los poros, reorientando, y reduciendo la velocidad de infiltración a valores menores de los que originalmente se aplicaban. Como resultado se tiene empozamientos en la superficie de la pila.

La solución de lixiviación de los aspersores fue saturada con carbonatos y bicarbonatos cuando impactan en la superficie. Las costras de carbonato de calcio que se formaron fueron de 2 a 6 pulgadas de espesor y una dureza comparable al concreto. Cuando estas condiciones se dieron, fue necesario rpiar la pila.

Las gotas del emisor caen de 0 a 10 pulgadas de altura, comparadas con las tanto como 120 pulgadas de los aspersores. Una pequeña cantidad de lavado ocurre en el punto de impacto de los emisores. Sin embargo, esta área fue de unas pocas pulgadas de diámetro y la superficie de la pila conserva mas o menos su original permeabilidad en todo el ciclo de lixiviación.

Bajo el Sistema de goteo, la solución de lixiviación y las sales de la solución se mueven desde el punto de impacto, donde existen valores de baja tensión, a través de la capilaridad hacia las áreas secas donde existen altos valores de tensión. La gravedad tiene una suave pero pequeña influencia en los poros capilares, pero aumenta para causar mayor movimiento vertical en los poros capilares grandes. La superficie de la pila permaneció cerca de su permeabilidad original a través del ciclo de irrigación. Las costras de carbonato de calcio y otras sales evaporativas permanecieron cerca de la superficie sin influenciar la permeabilidad de la pila.

Empozamientos, Sobreriego y Deslizamientos.

El espaciamiento de los goteros depende de la velocidad de infiltración y la conductividad capilar de la pila. Debido a que el chancado del mineral no es homogéneo, cálculos teóricos para determinar los espaciamientos no son muy significativos. Espaciamientos satisfactorios pueden ser determinados en campo, observando el movimiento lateral y vertical de la solución en el mineral bajo la descarga de un emisor individual. Para hacer esta observación, se hace una zanja en el medio del área húmeda del emisor después de unas pocas horas que la solución de lixiviación es aplicada. La forma del cono húmedo puede ser observado. Es deseable hacer mas de una prueba debido a la naturaleza no homogénea del mineral chancado.

Con el uso de sistemas de aspersion en los taludes de las pilas puede resultar en, (1) sobreaplicación de la solución mas halla del mineral o carpeta plástica, y (2) caída del talud si el flujo de aplicación excede a la velocidad de infiltración de la pila. La velocidad de infiltración de los taludes es menor a la superficie plana de la pila debido a la inclinación. Reducir el flujo de aplicación con aspersores para evitar estos problemas puede ser muy difícil. Pero no son difíciles para los sistemas de goteo, porque el flujo de aplicación puede ser fácilmente controlado con la selección del emisor, espaciamientos, o presión en la línea, de modo que se puedan adaptar a las limitaciones físicas de la pila.

En la mina Rochester, los taludes fueron fácilmente lixiviados con el Sistema de goteo Oremax. Sin embargo, fue necesario mantener el flujo de aplicación por debajo de la velocidad de infiltración o podía ocurrir la caída de los taludes. No hubo perdidas de solución por sobreriego, pues la solución no es tirada a la atmósfera.

El espaciamiento de los emisores debe estar en las fronteras del área húmeda entre dos emisores. Es deseado que los conos se encuentren mas cerca de la superficie, para reducir la cantidad de mineral no lixiviado, esto puede ser logrado poniendo los emisores a menor espaciamiento. Sin embargo, esto incrementara un poco la inversión inicial.

En la mina Rochester, el muestreo revela que el contacto de los círculos húmedos entre dos líneas fue entre 4 y 6 pulgadas por debajo de la superficie, como se muestra en la figura 3. Menos del 1 por ciento del total del volúmen de la pila no fue lixiviado con esta prueba.

Fig 3. en la mina Rochester, los frentes húmedos se juntan 4” a 6” debajo de la superficie de la pila con los emisores a 30”x36” de espaciamiento.

Fallar en el no humedecimiento del 100 % de la superficie de la pila, en la mina Rochester no fue crítico, ya que las pilas son construidas una encima de la otra, cada 20 pies, y cualquier zona no lixiviada, es conseguida en el siguiente nivel o ciclo de lixiviación.

Concentración de Oxígeno y Dióxido de Carbono.

Una de las importantes ventajas del Sistema Oremax, comparado con el Sistema de aspersión durante el proceso de lixiviación, fue la tremenda reducción en la exposición de la solución de lixiviación a la atmósfera. Incrementando la exposición se incrementa la oxigenación y el dióxido de carbono, incremento de la evaporación, e incremento de la pérdida de calor. Todos éstos efectos son indeseables con excepción del incremento de la oxigenación.

Esparciendo la solución por la atmósfera se satura con oxígeno y dióxido de carbono, antes que caiga en la superficie de la pila. El dióxido de carbono absorbido por la solución, reacciona con el ion hidróxido, formando iones bicarbonato y carbonato. Esta reacción baja el pH e incrementa el consumo de cal. Luego la solución tiende a formar costras en la superficie de la pila, mucho más con el Sistema de aspersión que con el de goteo.

La evaluación de la solución aplicada en la mina Rochester con el Sistema de goteo para el oxígeno disuelto, mostró que la solución en la descarga del emisor contenía de 5 a 6 ppm de oxígeno. La porosidad de la pila permitió que penetre aire cuando la solución percolaba, resultando mas que suficiente oxígeno disuelto para disolver el oro y la plata.

Evaporación de la Solución.

La evaporación de la solución en el Sistema de aspersión fue significativa. Pérdidas de solución en las condiciones atmosféricas de alta temperatura, baja humedad, y vientos fuertes, frecuentemente experimentadas en condiciones de desierto, pueden resultar en evaporación y pérdidas de solución entre 15 a 25 por ciento, y aun mayores, en condiciones extremas. Los aspersores, con tamaños de gotas grandes tienden a reducir éstas pérdidas pero no se acercan a las bajas pérdidas del Sistema por goteo Oremax.

La exposición de la solución a la atmósfera en el Sistema de goteo ocurre solamente cuando ésta cae del emisor, viajando de 0 a 10 pulgadas en la atmósfera, y alrededor de la superficie del suelo húmedo. La superficie mojada en el Sistema de goteo en la mina Rochester fue un tercio a un medio del total de la superficie de la pila, comparada con el total del área en el Sistema de aspersión.

La evaporación de la solución baja la temperatura de ésta. El viaje de la solución a través del aire alcanza aproximadamente la temperatura del bulbo húmedo a 10 pies del aspersor, sin importar la temperatura de la solución en la tubería. Esto llega a ser un serio problema cuando la temperatura del aire esta cerca del congelamiento.

Lixiviar con el Sistema de aspersión se tubo como resultado la formación masiva de cantidades de hielo. La formación de hielo con el Sistema de aspersión en la mina Rochester en 1986 fue de un espesor de 7 pulgadas en algunas partes. Una significativa cantidad de solución permaneció congelada durante el invierno. Una primavera temprana o lluvia puede calentar o derretir el hielo rápidamente. El resultado puede ser serio si las pozas de proceso no son diseñadas para estos incrementos de volúmenes. La formación de hielo en la superficie de la pila hace que no se tenga una distribución uniforme de la solución. Si el Sistema de tuberías se congela, el Sistema de tuberías no puede ser recuperado hasta que el hielo descongele.

La pérdida de calor en el Sistema de riego por goteo fue significativamente menor que la pérdida del calor en el Sistema de riego por aspersión, porque la solución en el Sistema de goteo es aplicada en gotas grandes y

permanece en contacto con la atmósfera por un corto tiempo. Las líneas de goteo fueron enterradas para el invierno en la mina Rochester. Fueron instaladas tres cada vez, después del rípiado a una profundidad de 2 a 3 pies. El mineral chancado encima del Sistema sería lixiviado cuando la siguiente capa lo sea.

Hubo pérdidas en las líneas de goteo que permanecieron en la superficie durante el invierno de 1986 en la mina Rochester. La primera mitad de cada línea de goteo se mantuvo goteando durante todo el invierno. El final de las líneas se congeló en la noche pero continuaron goteando durante la parte caliente del día. Una capa delgada de hielo se formó en la superficie de gotero. La cantidad de hielo formado fue insignificante, pero puede variar de un año a otro, dependiendo de la severidad del clima. La nieve tiende a aislar las líneas de goteo de la radiación caliente. El hielo se funde primeramente en las líneas de goteo.

Hubo pérdidas del reactivo cuando la solución fue esparcida por la atmósfera. Tomando muestras de la solución que alimenta y de la que impacta en la pila, reveló una notable pérdida de cianuro de sodio y la reducción del pH. El cianuro de sodio en la aspersión puede volatilizarse como cianuro de hidrógeno. Los rayos ultravioleta también descomponen al cianuro. Las pérdidas fueron directamente relacionadas con el área de la superficie expuesta a la atmósfera.

Influencia de las Costras.

El control de la formación de costras es muy importante en todos los procesos de minerales cuando se usa agua. La lixiviación del oro y la plata con soluciones de cianuro, es muy sensible a la formación de costras. Las costras son principalmente carbonato de calcio que proviene de la cal que se emplea para mantener el pH encima de 10.5. Varias compañías venden variedades de reactivos para controlar la formación de costras. En cada operación la composición química del agua es diferente. El reactivo que trabaja en una operación podría no trabajar bien en otra.

La formación de costras es influenciada por la temperatura, diferencia de presión, y la superficie disponible para la precipitación. La solubilidad del carbonato de calcio es reducida aumentando la temperatura o reduciendo rápidamente la presión de la solución.

La formación de costras en las tuberías puede reducir la sección transversal de estas, esto reduce el flujo. Las costras pueden bloquear los poros del carbón activado y pueden reducir el carbón lavado con ácido nítrico. Las costras son removidas de los filtros usadas en el proceso Merrill-Crowe lavando con ácido sulfámico.

Como anteriormente se dijo, la precipitación de costras en el Sistema de aspersión, causa una irregular distribución por la dirección del flujo en una dirección. El resultado es una desigual distribución de la solución, lavado de las partículas finas en la pila causando reducción de la velocidad de infiltración y la permeabilidad, empozamientos, y posibles escurrimientos.

Cuando las costras se forman en los aspersores, deben ser reemplazados o lavados en ácido. Esto requiere que la línea de aspersión debe ser cerrada y el operador deber usar traje completo de aislamiento para protegerse de la solución del cianuro.

Cuando las costras se forman en los goteros, éstas se acumulan en la descarga y pueden restringir la salida y reducir la cantidad de solución de lixiviación. Como los emisores están sobre la superficie del suelo, las costras usualmente pueden ser removidas tirando del final de la manguera con una tenaza.

La formación de costras en los goteros es mayormente el resultado de la evaporación, una mejor manera de controlar este problema puede ser cubriendo el gotero con una pequeña capa de mineral. Así la evaporación ocurriría en la superficie del mineral y no en el gotero. Es posible hacer el cubrimiento en el proceso de la instalación del Sistema Oremax con un implemento diseñado para este objetivo, particularmente si el proceso de instalación es mecanizado.

CONCLUSIONES

Se tienen las siguientes conclusiones:

El Sistema Oremax costo 25 % menos que el de aspersión.

El Sistema de aspersión requiere 12 % menos horas-hombre en la instalación que el Sistema Oremax.

El Sistema Oremax requiere menor mantenimiento y monitoreo que el de aspersión.

Hubo menor formación de costras y precipitación de bicarbonato de calcio con el Sistema Oremax. Las costras que se forman reducen muy poco el flujo, no como lo que ocurre en aspersión cuando se direcciona en un solo punto el chorro dando como resultado empozamientos.

No hubo empozamientos con el Sistema Oremax.

La permeabilidad superficial fue mejor con el Sistema Oremax.

El espaciamiento de los goteros del Sistema Oremax, fue controlado de tal modo que el mineral no lixiviado en los 20 pies de altura de la pila fue menor a 1 por ciento.

Un Sistema Oremax fue instalado para trabajar durante un año enterrado 2 a 3 pies de profundidad. No se formó hielo en la superficie.

La pérdida de reactivos fue muy pequeña en el Sistema Oremax comparados con el Sistema de aspersión.



A Division of Wade Rain

2851 East Florence Avenue, Fresno, CA 93721
Phone (559) 485-7171, (800) 695-7171 Fax (559) 485-7623,
www.waderain.com, micro@waderain.com