



Estudio  
Técnico



# Lixiviación en Pila.

▪ ▪ ▪ ▪ ▪ ▪ ▪ ▪ ▪ ▪

Efecto de la tasa de riego en la tasa de extracción y ley de solución rica.

▪ [tagingcompany.com](http://tagingcompany.com)

  
**TAGING**  
**NOA** INGENIERIA  
INTELIGENTE

**Para comprender adecuadamente el efecto de la tasa de riego en nuestro sistema de lixiviación en pilas, primero debemos repasar algunas definiciones y conceptos:**



### **Grado de Liberación:**

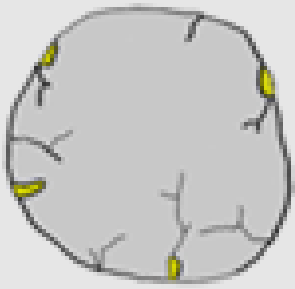

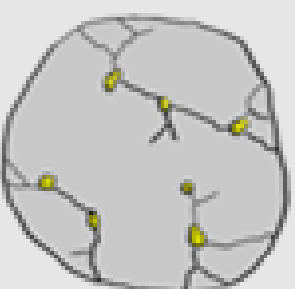

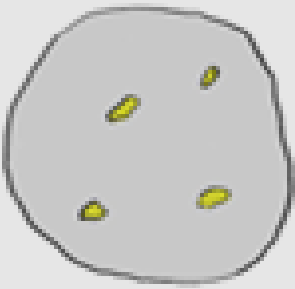
Máximo tamaño de partícula que permite la separación del componente de interés de la ganga de un yacimiento. En la operación práctica, debemos agregarle “de manera rentable”.



En términos prácticos, el grado de liberación se alcanza a través de los procesos de trituración, exponiendo el metal de interés al ataque químico de la solución lixivante. La curva granulométrica es específica de cada yacimiento y será de gran importancia a la hora de definir los parámetros operativos de la pila de lixiviación.



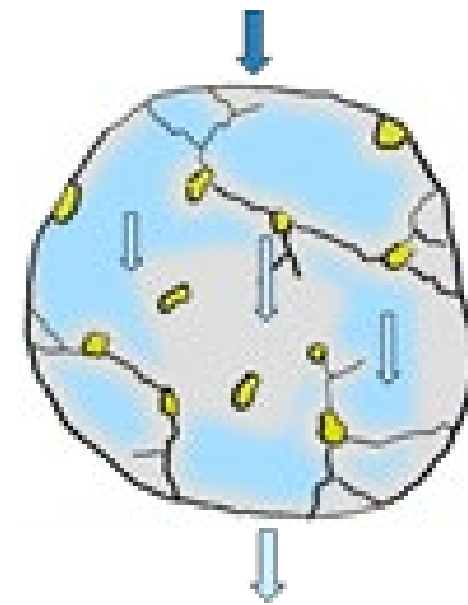
## Ocurrencias típicas del grano de mineral (metal de interés) en partículas de roca.

Partícula de Mineral	Tipos de Ocurrencia
	El metal de interés se encuentra expuesto de manera directa al ataque químico de la solución lixivante en la superficie de las partículas.
	El metal de interés se aloja en poros y fracturas conectados a la superficie de la partícula a través de los cuales se produce el ataque químico de la solución lixivante.
	Dentro del sistema de fracturas y grietas que pueda presentar una partícula, existe la ocurrencia de granos minerales que solo pueden ser lixiviados posteriormente a la reacción de disolución de otros más superficiales.
	Metal de interés alojado en fisuras internas de la partícula que no se extienden hasta la superficie de la partícula y por ende no serán susceptibles al ataque químico, hasta que no se produzca una degradación del mineral que permita su contacto con la solución.
	Granos de mineral totalmente oclusos dentro de la partícula, no conectados con poros y/o fisuras. Este mineral se lo considera no recuperable mediante el ataque químico sin un tratamiento físico adicional (trititación o molienda adicional).

(\*) Se pueden encontrar todos los tipos de ocurrencia en una única partícula.

---

**Humedad del Mineral:** En un sistema de lixiviación en pilas, es importante definir y medir por lo menos cuatro valores de humedad:



---

### **Humedad natural:**

Es el valor de humedad que presenta el mineral que entrega mina. Su valor se utiliza para determinar el consumo de solución que se producirá durante los primeros días de apertura de una nueva celda de riego.

---

### **Humedad de Saturación:**

Es la máxima cantidad de solución que puede absorber un determinado tipo de mineral independientemente de que se incremente la tasa de riego.

---

### **Humedad de Drenado:**

Es el valor de humedad remanente que presenta el mineral luego de la detención del riego, a partir de este valor el mineral deja de drenar solución.

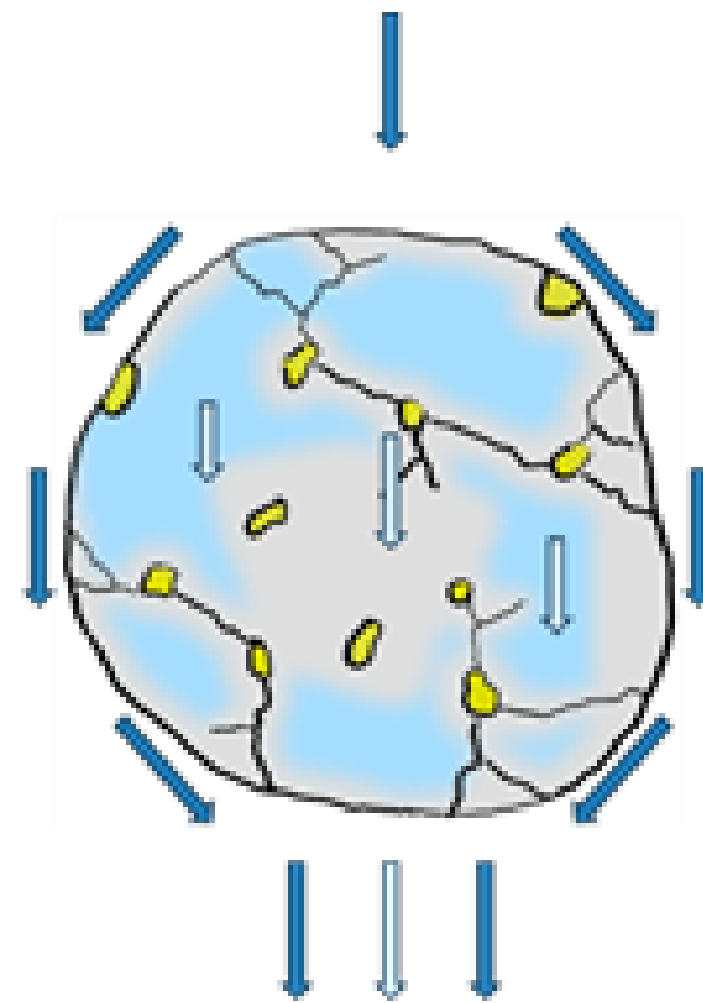
---

### **Humedad de Trabajo:**

Poco difundida, es la humedad de equilibrio para una tasa de riego determinada donde el mineral alcanza la conductividad hidráulica necesaria para hacer posible el balance entre ingreso y descarga. Esta humedad varía en función de la tasa de riego y su valor se encuentra entre la Humedad de drenado y la Humedad de saturación. Conocer su valor es de suma importancia a la hora de modelar y calcular el volumen de solución en tránsito y los valores de inventario en solución de una pila de lixiviación.

---

**Flujos de Solución:** En una pila de lixiviación coexisten dos tipos de flujos principales, uno que denominaremos superficial que transita por la superficie de la partícula y entre los espacios entre partículas y otro del tipo capilar que se mueve a través de las partículas en función de su capacidad de humectación, porosidad y permeabilidad.



---

### **Flujo Superficial:**

La solución escurre sobre la superficie de las partículas, lixiviando los granos expuestos, donde el control de este flujo a lo largo del periodo de lixiviación determina la concentración del metal de interés en la solución rica.

---

### **Flujo Capilar:**

La solución se absorbe en el mineral a través de grietas y poros, es mucho más lento que el flujo superficial y su difusión y balance controla la lixiviación de los granos minerales insertos en las grietas de la roca.



# Ciclo productivo de una celda de Lixiviación y Tasa de Riego

Se entiende como ciclo productivo de una celda de lixiviación al periodo comprendido entre el inicio del riego y su cierre definitivo. Para una mejor comprensión dividiremos el ciclo productivo en cuatro periodos.

## Humectación:

Al iniciar el riego de una celda de lixiviación comienza también el proceso de humectación del mineral donde la mena de mineral a lixiviar absorberá la cantidad de solución necesaria para alcanzar la “humedad de trabajo” que genera la conductividad hidráulica requerida para el balance del circuito. El proceso de humectación puede realizarse a la tasa nominal de riego (minerales con baja presencia de finos) o, preferentemente, a tasas reducidas para evitar el arrastre de material fino que pudiera generar zonas de mayor densidad y menor conductividad hidráulica con la consecuente canalización de soluciones (flujos preferenciales).

---

## Lixiviación Superficial:

Durante los primeros días de riego la disolución de metales está preferentemente comandada por la interacción del metal de interés expuesto en la superficie de la partícula y la solución lixivante con su correspondiente velocidad de reacción química, durante este periodo se observa un rápido incremento de la ley de solución rica. En ocasiones, la operación puede verse tentada de incrementar la tasa de riego por sobre la nominal para acelerar el proceso aún más. Es importante destacar que el ciclo de producción de cada celda es parte integral de todo el sistema de lixiviación (total de celdas en riego) y por ende los cambios afectarán al ciclo total de producción pudiendo generar cortocircuitos en el proceso de lixiviación que afecten la ley de la solución rica en el corto plazo y por ende la estabilidad de la producción.

---

## Lixiviación por Difusión:

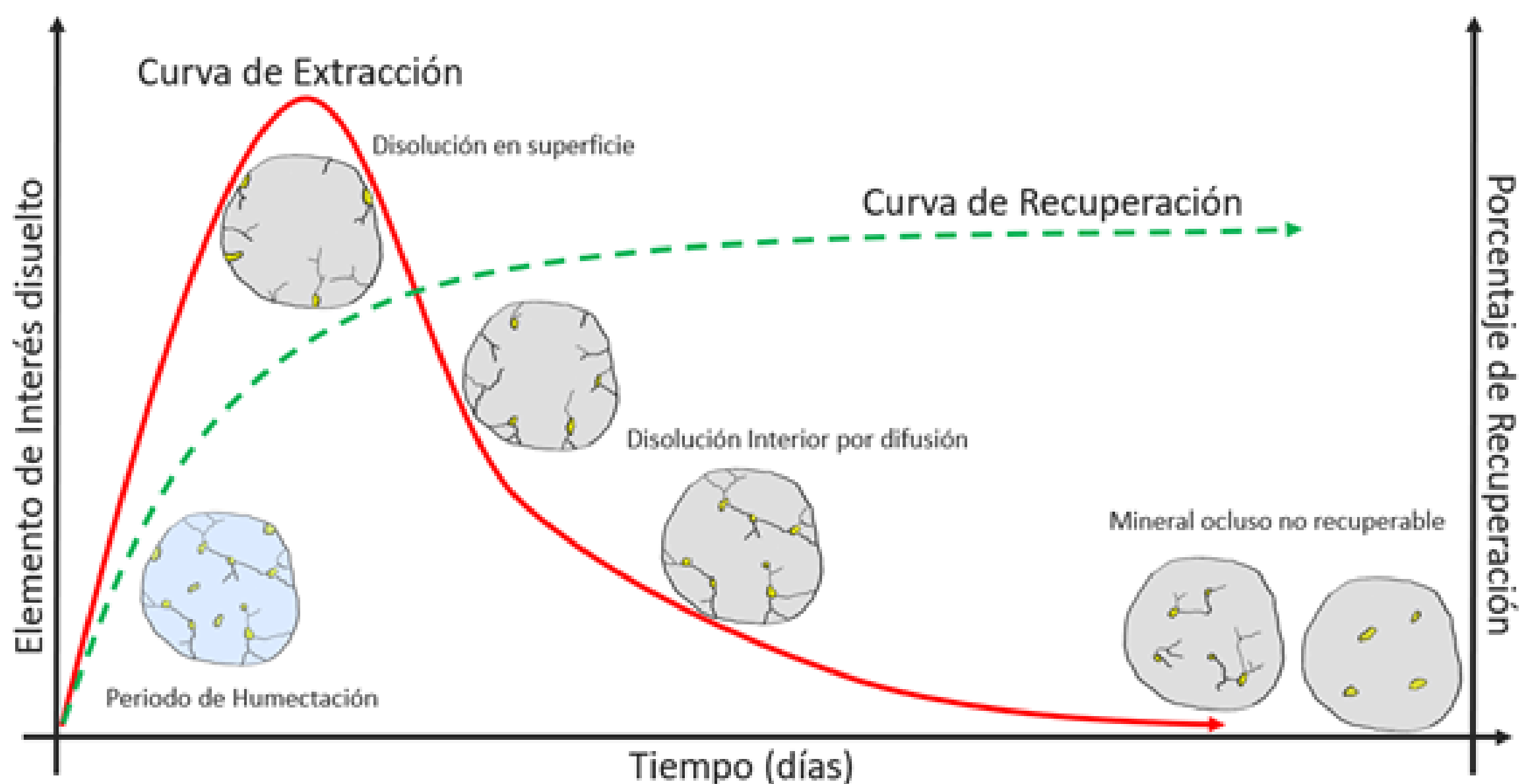
A partir de la tercera semana de riego aproximadamente (puede variar según mineralogía y condiciones de operación), cuando el elemento de interés en superficie y de fácil reacción química comienza a agotarse, la reacción comienza a ser comandada por el proceso de difusión de la solución lixivante hacia el interior de la partícula (poros y fracturas). Este proceso es más lento y está afectado por el flujo capilar del material y no tanto por el superficial. En esta etapa la curva de extracción comienza a aplanarse siendo necesario compensar el ciclo con la combinación de otras celdas en riego para sostener la rentabilidad y niveles de producción del proceso.

## Cierre:

La etapa de cierre se alcanza cuando las curvas de extracción y recuperación alcanzan la asíntota, solo quedando remanente el desplazamiento de la solución retenida en el mineral que pudiera contener aún elementos de interés. En una operación convencional de celdas apiladas, el remanente solubilizado será parte de la producción de la próxima celda inmediata superior(1), en tanto que, en una operación de celdas dinámica, este remanente debe ser extraído previo a su remoción. Un periodo de cierre extendido debe contemplar el ajuste de la tasa de riego para evitar la dilución de leyes en el producto de otras celdas activas.

(1) La solución remanente en celdas inferiores actúa como dilución de la solución rica proveniente de las celdas superiores. Contáctanos para saber más sobre este efecto.

## Evolución del ciclo productivo de una celda de lixiviación





# Tasa de Riego

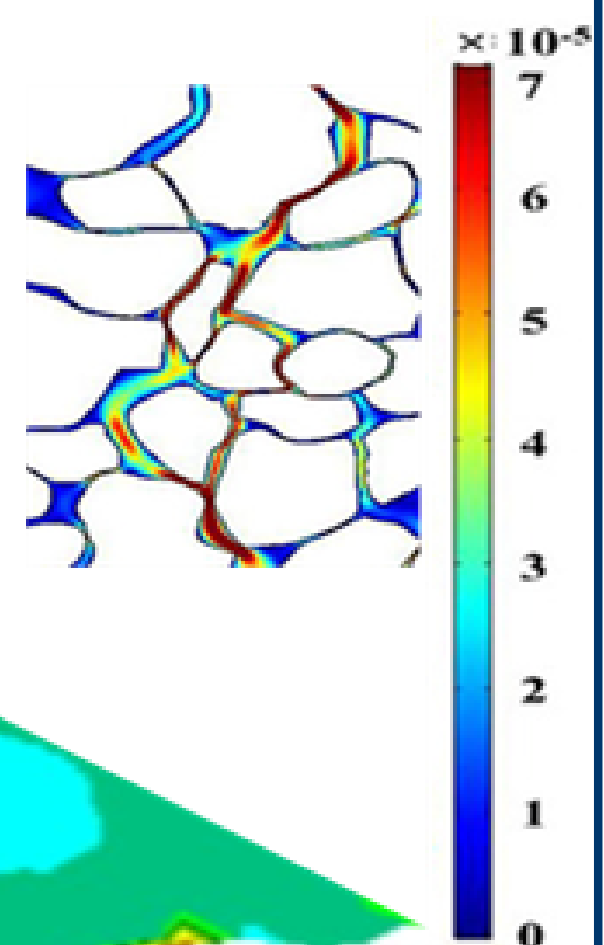
Tal como hemos descrito a lo largo de este documento, el ciclo productivo de una celda de lixiviación no responde a factores únicos y constantes a lo largo del periodo. De igual manera, podemos concluir que el efecto de la tasa de riego en cada uno de estos periodos no tendrá el mismo impacto sobre la composición de la solución rica. Veamos cada periodo y el efecto de la tasa de riego en detalle:

## Humectación:

Durante este periodo el flujo de solución será preferentemente superficial y a través de los espacios de la pila dado que la humectación de la roca está controlada por la velocidad de absorción de la masa de mineral y que ésta, en general es menor que la velocidad de percolación de la pila. Una tasa elevada durante este periodo fomenta el arrastre de finos generando sectores de mayor densidad y menor conductividad que pueden favorecer la creación de canales preferenciales y afectar la eficiencia de la celda.

## Representación gráfica del flujo preferencial por arrastre de finos

Se cree que los flujos preferenciales y el arrastre de finos causan “zonas secas” dentro de la celda de lixiviación. En realidad, esto, si ocurriese, es más probable que se deba a una mala densidad y/o eficiencia de riego que al arrastre de finos o a otros factores no relacionados a la tasa de riego. Sectores con alta presencia de finos, crean zonas de menor permeabilidad por donde la solución transita a velocidades inferiores al resto de la celda, causando que la mayor parte de la solución escurra por las zonas aledañas causando el flujo preferencial y afectando la cinética del proceso, sin embargo, no significa que esta zona se encuentre totalmente seca.



Representación didáctica de tomografía eléctrica



## Periodo de Producción:

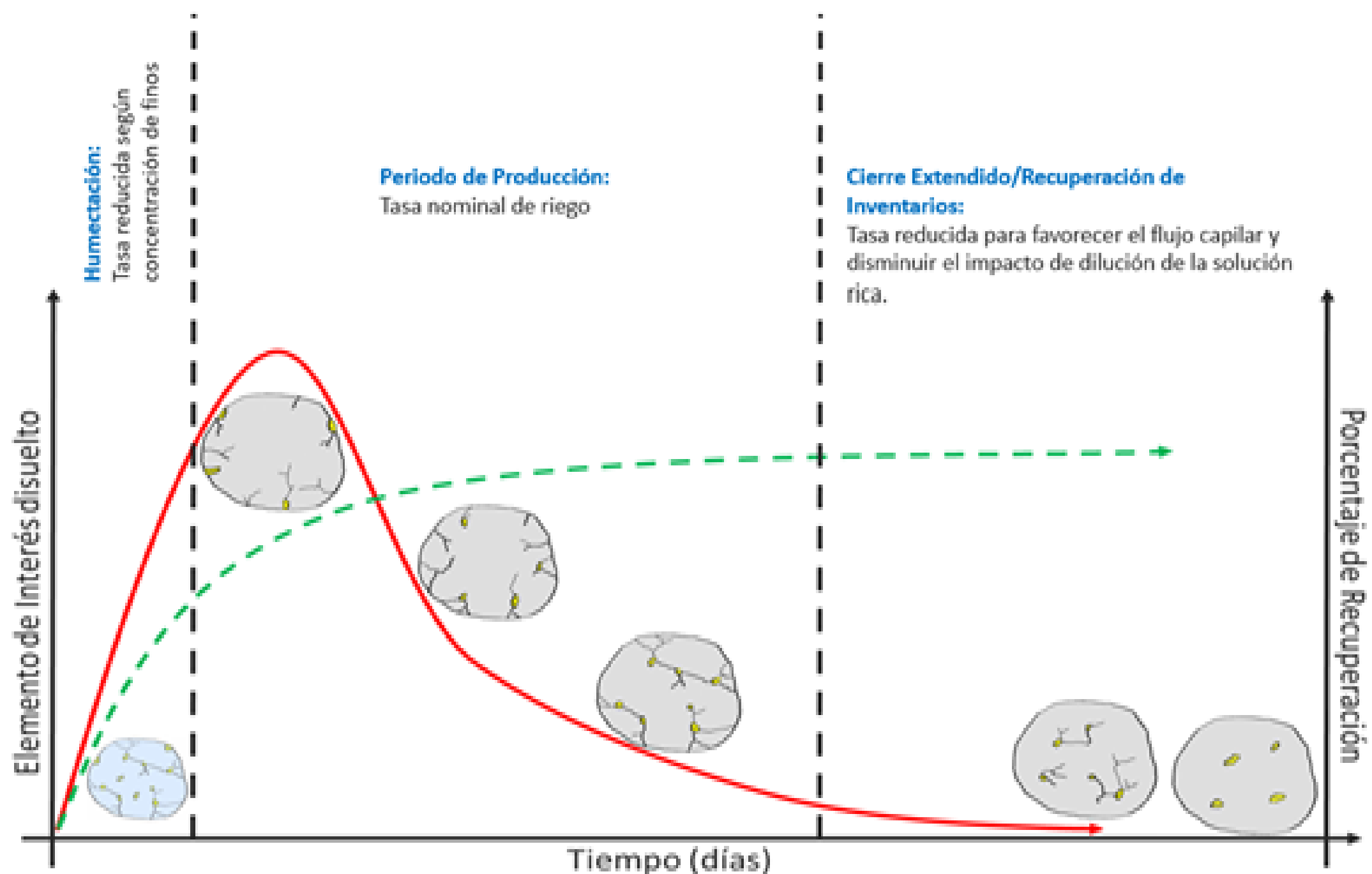
Para el periodo de producción se utiliza la tasa de riego nominal determinada a través de los estudios de laboratorio previos, la cual debe ser (como máximo) levemente inferior a la tasa de saturación para evitar diluciones, problemas de arrastre de finos y riesgos de estabilidad de pila.

## Cierre Extendido y/o Recuperación de Inventarios remanentes:

Si la celda no se cierra al finalizar el periodo de producción y/o en el caso de que se reiniciara el riego de esta con el objetivo de recuperar inventarios remanentes es conveniente ajustar la tasa de riego (disminuir) para favorecer el flujo capilar y minimizar o evitar el flujo superficial. Durante esta etapa donde el metal de interés remanente se encuentra en los intersticios de la roca y el proceso de recuperación ocurre exclusivamente por difusión, el exceso de flujo superficial provocará una dilución de la ley de solución rica afectando principalmente a la rentabilidad de la operación.

**A continuación, se representan las tasas de riego recomendables de acuerdo con el periodo productivo de la celda de lixiviación.**

Tasa de riego recomendada según periodo productivo de una celda de lixiviación





**Estudio  
Técnico**



# Conclusión

Podemos decir que un riego diferencial controlado, según el periodo productivo de la celda, favorece la concentración del elemento de interés en la solución rica, evita diluciones excesivas que se traducen en costos de operación (OPEX) y ponen en riesgo la rentabilidad del proceso. Por otra parte, optimiza el ciclo de apertura y cierre de celdas logrando una tasa de producción más estable en el tiempo y evita la presencia de flujos preferenciales causados por el arrastre de finos en el interior de la pila.





**TAGING**, con tres décadas de excelencia en la industria, es su socio confiable para soluciones de servicios industriales. Nuestro equipo de expertos aún una vasta experiencia en operaciones mineras con el desarrollo integral de proyectos de ingeniería.

¿Busca optimizar su producción de litio? Consulte nuestros modelos cinéticos para la extracción directa de litio. ¿Necesita mejorar sus sistemas de evaporación? Tenemos modelos y simulaciones de procesos que se adaptan a todas las necesidades de la industria minera.

En **TAGING**, no solo ofrecemos soluciones, sino que construimos relaciones duraderas basadas en la confianza y la excelencia.



**¡Contáctenos hoy y descubra cómo podemos ayudarle a alcanzar sus objetivos!**

## CONTACTOS:



**Gabriela Borrello**  
Gerente de Ingeniería  
Gabriela.borrello@tagingcompany.com



**Roberto Fueyo**  
Gerente Técnico  
Roberto.fueyo@tagingcompany.com

■ [tagingcompany.com](http://tagingcompany.com)





**Servicios para la Industria Minera.**

■ [tagingcompany.com](http://tagingcompany.com)