



# Universidad Peruana Cayetano Heredia

I Encuentro BIORECA

CYTED

Ouro Preto, Brasil

19-20 Noviembre 2007

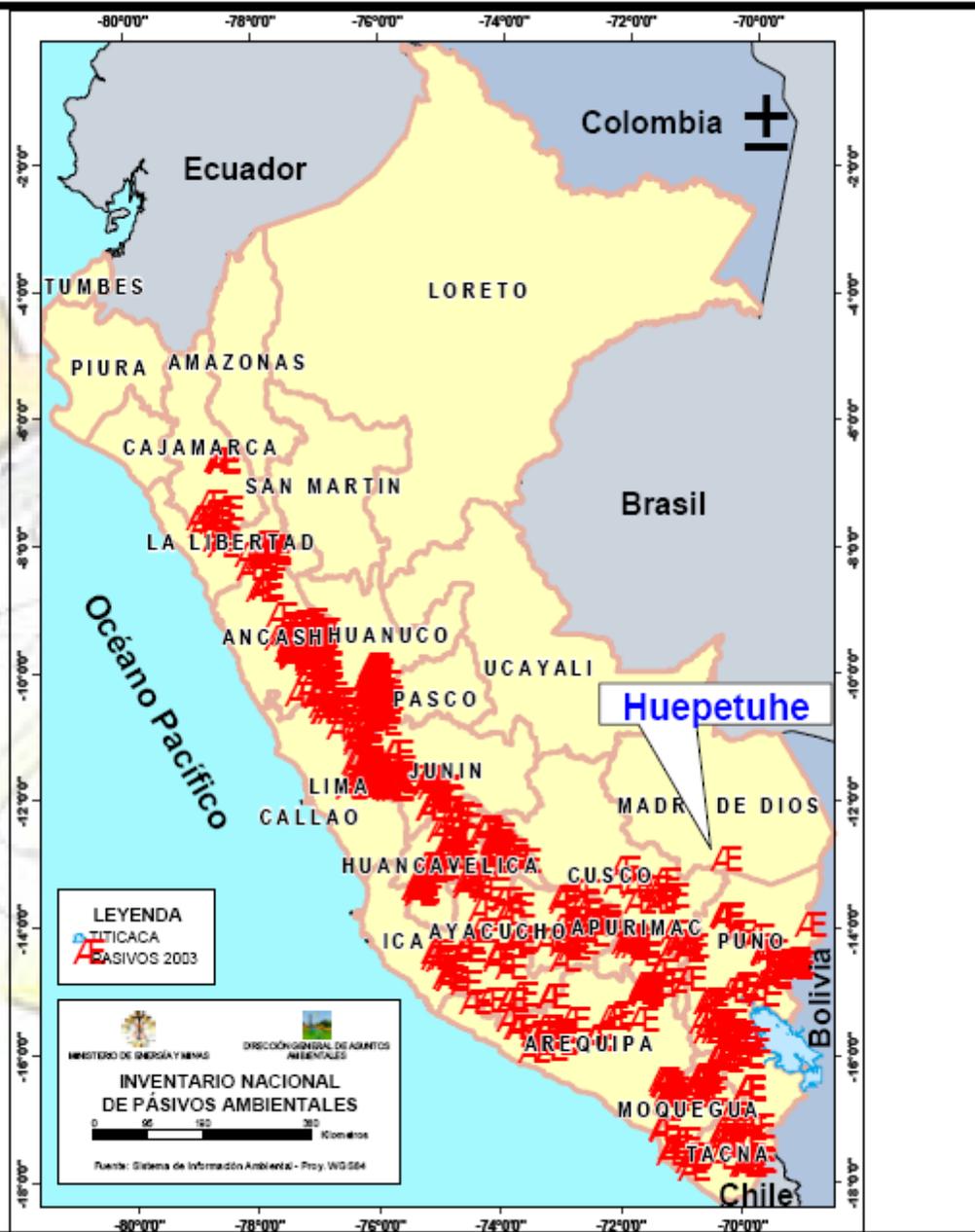
# Ranking de Producción Perú

• METAL	América Latina	Nivel Mundial
• Oro	1ro	8vo
• Zinc	1ro	3ro
• Estaño	1ro	3ro
• Plomo	1ro	4to
• Cobre	2do	4to
• Plata	2do	2do

# INVENTARIO NACIONAL DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

Total Pasivos Mineros Abandonados: **611**

Concesiones mineras relacionadas en un radio 100 metros: **852**





**DRENAJE AGUA ÁCIDA  
DESDE BOCAMINA**



# UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

- Fundada en 1961.
- 8 Facultades.
- 28 Departamentos Académicos
- 18 Carreras
- 26 Programas de Maestría vigentes
- 3 Programas de Doctorado
- 74 Programas de Segunda Especialización
- Total de 5,000 alumnos



BIBLIOTECA GENERAL  
EDIFICIO ABUABDO



# UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

- Facultad de Medicina Alberto Hurtado con 45 Especialidades
- Facultad de Ciencias y Filosofía Alberto Cazorla Talleri (1961)
- Facultad de Estomatología (1969)
- Facultad de Veterinaria y Zootecnia (1993)
- Facultad de Enfermería (1998)
- Facultad de Educación (1998)
- Facultad de Salud Pública y Administración (1998)
- Facultad de Psicología (2000)



# UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

- Escuela de Post Grado (1962)
- Escuela de Tecnología Médica (1997)
- Escuela de Tecnología en Ciencias (1998)
- Escuela de Farmacia y Bioquímica (1999)
- Biblioteca
- Instituto de Investigación Enfermedades Tropicales (IMT)
- Instituto de Investigación de Enfermedades de Altura (IIA)
- Laboratorios de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ciencias y Filosofía (LID)



**Laboratorios de Investigación  
y Desarrollo (LID)**



# Universidad Peruana Cayetano Heredia

Carreras en la Facultad de Ciencias y Filosofía (Biología, Química, Matemáticas, Estadística, Física, Farmacia y Bioquímica, Ingeniería Informática, Ciencias del Deporte, Equipos electromédicos).

Número de Alumnos Facultad de Ciencias

- Pregrado 371
- Maestría 255 (70% Bioquímica y Biología Molecular)
- Doctorado 30
  
- Número de Docentes ordinarios en toda la universidad 728
- Considerada por el CONCYTEC como la primera universidad peruana en Investigación y Desarrollo. Áreas Prioritarias de Investigación según CONCYTEC: Agricultura, Ganadería Alpacas, **Biominería**
- La mayoría de las investigaciones relacionadas con el sector salud.



# UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

## **Departamento Académico de Química**

- Tiene a su cargo el desarrollo de la carrera de química en el nivel de Bachillerato, Licenciatura y Maestría en Química.
- El número de alumnos 55 alumnos
- Profesores desarrollan actividad académica en la enseñanza de los cursos de Química para otras especialidades como : Medicina, Biología, Estomatología, Veterinaria, Enfermería e Informática, que hacen alrededor de 500 alumnos
- 15 profesores. Este año ingresaron dos ex alumnos como profesores con los grados de PhD.

## **Líneas de investigación del Dpto. Académico de Química:**

- Química Computacional y Bioinformática
- Química de Productos Naturales
- Ciencias de los Materiales
- **Adsorción y Biosorción de Metales Tóxicos y Preciosos.**
- **Biolixiviación**
- Contaminación Ambiental
- Corrosión Química y Microbiana.



# UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

Algunos equipos tiene el Laboratorio de Química:

- Espectrofotómetros visibles : Genesis 20
- Espectrofotómetro visible ultravioleta - Shimadzu 1240
- Potenciómetros
- Conductivímetros
- Turbidímetros
- Agitadores Orbitales Bigbill Digital Thermolyne
- Espectrofotómetro de Adsorción Perkin Elmer, Mod. AANALYST 100
- Espectrofotómetro FTIR Mod. Nicolet Impact 410.
- Potenciómetro Cole - Palmer Chemcade 5986 - 25
- Balanza Analítica Mettler Toledo AB 104
- Evaporador rotatorio : Buchi, R -114
- Colector de Fracciones
- Equipo de Floculación, tamizar
- Molino para triturar partículas
- Centrífugas
- Además, el LID tiene Espectrofotómetro Infrarrojo, Espectrofotómetro visible Ultravioleta, Cromatografía Líquida de Alta Presión, Cromatógrafo de Gases con detector de masas, Ultra Centrífugas, los cuales son compartidos por los investigaciones cuando son requeridos.
- Trabajos conjuntos con la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, permite hacer uso del Microscopio Electrónico de Barrido Lineal acoplado a difracción de Rayos X.



# Escuela de Postgrado Victor Alzamora Castro

## PROGRAMAS OFRECIDOS

<b>DIPLOMA</b>	<b>ESPECIALIZACION</b>	<b>MAESTRIA</b>	<b>DOCTORADO</b>
BIOQUIMICA Y BIOLOGIA MOLECULAR	ESTADISTICA EM INVESTIGACION	BIOQUIMICA Y BIOLOGIA MOLECULAR	BIOQUIMICA Y BIOLOGIA MOLECULAR
CIENCIAS ABIENIALES	ANALISIS DEMOGRAFICO	CIENCIAS AMBIENTALES	FARMACOLOGIA
FARMACOLOGIA		FARMACOLOGIA	FISIOLOGIA
FISIOLOGIA		FISIOLOGIA	
INMUNOLOGIA		INMUNOLOGIA	
MICROBIOLOGIA		MICROBIOLOGIA	
BIOESTADISTICA		BIOESTADISTICA	
DEMOGRAFIA Y POBLACION		DEMOGRAFIA Y POBLACION	

**Química Ambiental  
(2007)**

# Proyecto Biolixiviación



# Aislamiento del cultivo bacteriano del Drenaje Ácido de Mina del nivel 710 Coricancha 4,000 m.s.n.m.



- Caudal 245m<sup>3</sup>/día
- pH 2
- REDOX 650 mV
- Ión férrico 2.5-5 g/l
- 1 ppm de As
- Población bacteriana ~10<sup>5</sup> bacterias/ml



Vertido de  
Drenaje ácido  
de Mina  
Coricancha  
al Río Aruri y  
luego al Río  
Rímac





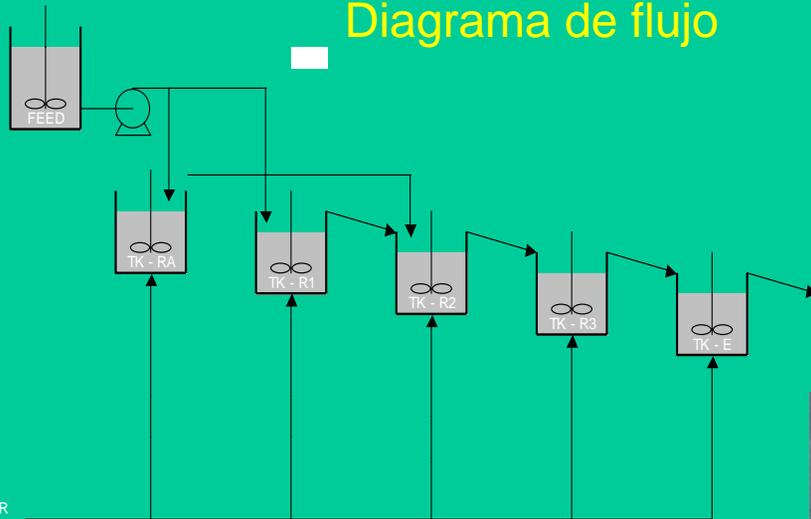
Financiamiento y soporte técnico de la organización alemana GTZ para implementación planta piloto en TECSUP.

Con los resultados exitosos del pilotaje desarrollado por compañía MLPSA, GENCOR (hoy Gold Fields Limited) realiza la ingeniería de detalle de la planta industrial BIOX<sup>®</sup> para tratar 60 TM de concentrado de arsenopirita.



# Planta piloto de Biooxidación

Diagrama de flujo



# Leyes

## Relaves de Zinc:

- 3-5 gr/ton Au  
(0.14 oz/TM)
- 45 g/ton Ag  
(1.45 oz/TM)
- 10-13 % Fe
  - 4-6 % As

## Concentrado de arsenopirita

- 25 gr/ton Au (0.8oz/TM)
  - 57 g/ton Ag  
(1.83 oz/TM)
- 30 % azufre como sulfuro
  - 32-36% Fe
  - 22-24% As

# Resultados planta piloto de Biooxidación

Días de retención	Bioreactor	Au (g/t)	% S <sup>2-</sup>	% oxidación de S como sulfuro	% de disolución de oro
8	RA	23.7	19.5	37.0	53.1
8	R1	24.7	19.1	40.1	56.1
8	R2	25.5	14.0	57.6	74.1
8	R3	25.2	8.3	74.6	88.0
8	TE	28.3	3.0	92.0	92.0
7	RA	23.4	18.8	38.0	57.8
7	R1	24.7	20.0	37.7	54.9
7	R2	25.5	17.0	48.7	72.7
7	R3	27.5	8.1	77.0	89.1
7	TE	27.6	4.0	89.0	91.9
6	RA	23.1	16.6	40.7	59.3
6	R1	22.9	16.9	39.6	56.7
6	R2	23.9	11.5	58.9	79.5
6	R3	23.6	8.0	71.4	88.1
6	TE	23.4	4.6	83.6	91.6

# Retos

- Objetivo: Recuperación de oro y plata a partir del concentrado de arsenopirita utilizando el proceso de biooxidación.
- Gold Fields realizó la ingeniería de detalle para la planta BIOX<sup>®</sup> Tamboraque para el tratamiento de 60 toneladas de concentrado de arsenopirita. Disminución del tiempo de retención de 8 a 5 días. Mínimo de 80% de oxidación de sulfuros. Recuperación de oro más de 90%.
- Utilización de las bacterias (cultivo mixto) aisladas del drenaje ácido de la mina Coricancha y adaptadas a altas concentraciones de arsénico (más de 20 g/l).
- Utilización del drenaje ácido de mina durante el proceso de biooxidación: disminución de uso de ácido sulfúrico y ión férrico que posibilita precipitados estables por la relación  $Fe/As > 3$ .

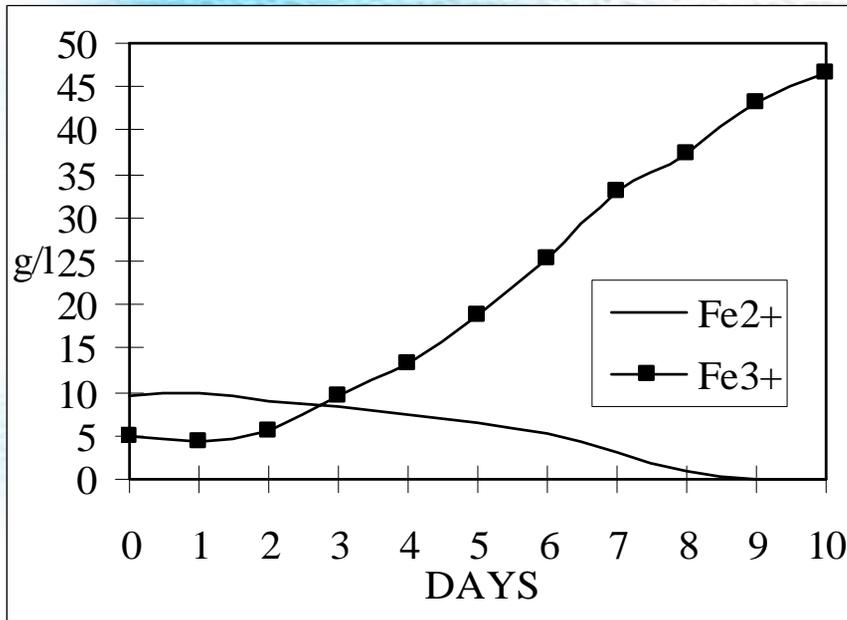
# Criterios de diseño de Planta BIOX<sup>®</sup> Tamboraque

Presión atmosférica	<b>70.1 kPa</b>
Temperatura máxima seca	<b>20 ° C</b>
Temperatura máxima húmeda	<b>16 ° C</b>
Capacidad de la Planta	<b>60 ton/día</b>
Disponibilidad de la Planta	<b>95 %</b>
Análisis de mineral existente: - Azufre como sulfuro	<b>30.0 %</b>
- Arsénico	<b>26.0 %</b>
Análisis mineralógico: - Pirita	<b>35.3 %</b>
- Arsenopirita	<b>56.5 %</b>
% de sólidos en la pulpa de alimentación	<b>20 %</b>
Tiempo de residencia total	<b>5 Días</b>
Número de reactores primarios en paralelo	<b>3</b>
Número de reactores secundarios en serie	<b>3</b>
Temperatura de la pulpa de biooxidación	<b>40 ° C</b>
Pérdida de peso	<b>30 %</b>
Requerimiento total de aire	<b>15,400 Nm<sup>3</sup>/h</b>
Calor generado en la reacción	<b>13,000 kW</b>
Número de estadíos CCD	<b>3</b>
Razón de agua de lavado en CCD (agua de lavado: flujo de sólidos)	<b>8.2</b>
Área requerida para el CCD	<b>9.0 m<sup>2</sup> /t/ h</b>
Número de estadíos de neutralización	<b>6</b>
Tiempo de residencia por estadío de neutralización	<b>1 hora</b>

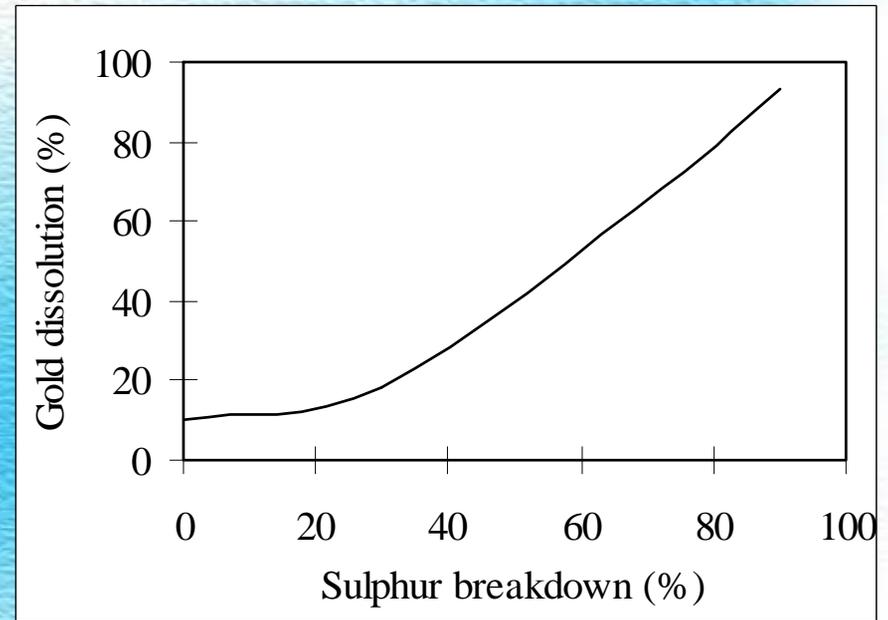
# Parámetros incremento inóculo para la planta industrial

- Volumen de los bioreactores: 10, 100, 1m<sup>3</sup> y 10 m<sup>3</sup>
- Agitación 360, 292, 160 y 120 rpm respectivamente
- Porcentaje de sólidos: 10%
- Medio 9K modificado utilizando AMD
- Temperatura 36-42 ° C
- Volumen del inóculo: 10%
- Molienda: 85% -45µm
- Oxígeno disuelto: mínimo 2 ppm
- Relación Altura/Diámetro de reactores: 1
- Impulsor axial Lightnin A-315





**Figura 3. Oxidación del Hierro en bioreactor de 1000 litros**



**Figura 4. Disolución del Oro vs. Descomposición del Sulfuro en bioreactor de 1000 litros**

# Incremento de inóculo



# Condiciones operativas del Proceso BIOX<sup>®</sup>

- Volumen de bioreactores 260 m<sup>3</sup>
- Mantener pH entre 1.2 y 1.8
- 2ppm Oxígeno disuelto en la pulpa
- 20% de sólidos
- Tiempo de residencia 4-5 días
- Temperatura 40-45<sup>0</sup>C
- Nutrientes: sulfato de amonio, sulfato de potasio, fosfato diamónico (fertilizantes)
- Molienda concentrado 100% malla -200

# DIAGRAMA DE FLUJO DE PLANTA TAMBORAQUE

Tailings dam "Canchas 1 y 2"

**FINAL TAILINGS**

Zinc Flotation Tailings

Pyrite Flotation

Pyrite concentrate  
60 TM (2-6% As)

Arsenopyrite Flotation

General flotation tailings  
450 TM (0.6-1.2% As)

BIOX® Process

overflow

Neutralisation

Neutralisation Residue  
45 TM (16-20% As)

activated carbon

Cianuración  
(CIL)

underflow

Cyanide Destruction  
Caro's Acid

Cyanidation tailings  
45 TM (2-5% As)

Acid mine drainage



**BI OOXIDACIÓN**



**CCD**



**Neutralización**



# Resultados

## Oxidación:

- 96% As
- 94% Fe
- 90% de Azufre como sulfuro

Recuperación de oro: 93%



# Proyecto Biolixiviación

- ✓ Grants: CONCYTEC. Convocatoria Nacional de Subvención a Proyectos de Investigación en Ciencias. Convocatoria Nacional 2003. “Caracterización Molecular de la Biodiversidad de Microorganismos en Tanques Industriales de Biooxidación de Arsenopirita para la recuperación de oro” (Minera Fortuna, UPCH (Laboratorio de Biominería y Biología Molecular del LID), Instituto Peruano de Energía Nuclear (Dpto. de Biología).
- ✓ Colaboración de Dr. Barrie Johnson y Kevin Hallberg de U. de Bangor, Gales. Donación de cepas y primers.

## OBJETIVOS

- Aislamiento, identificación y caracterización molecular de las poblaciones de microorganismos actuantes en la biooxidación de arsenopirita para la recuperación de oro en tanques de la mina de Tamboraque.
- Identificación por hibridización *in situ* con sondas de ADN fluorescentes (FISH) de microorganismos de las especies presentes en los tanques de biooxidación de la mina Tamboraque.

## PERSPECTIVAS:

- Implementación de la tecnología de sondas de ADN fluorescentes para evaluar poblaciones microbianas presentes en procesos de lixiviación bacteriana y en pasivos ambientales.



# Proyecto Biolixiviación

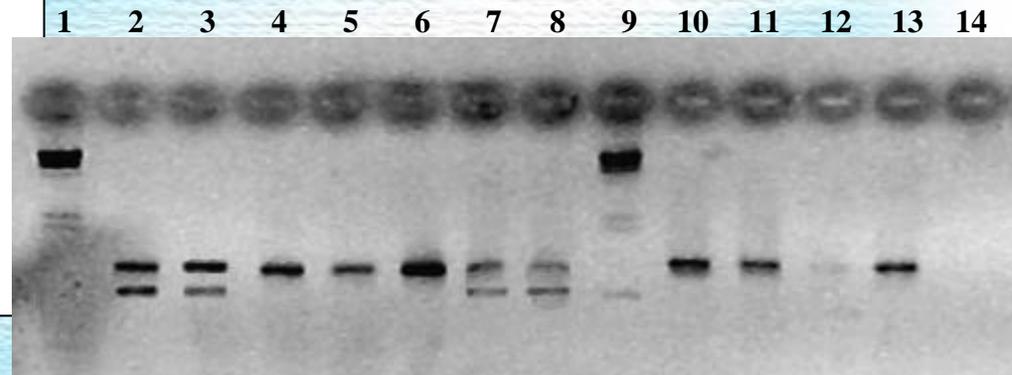
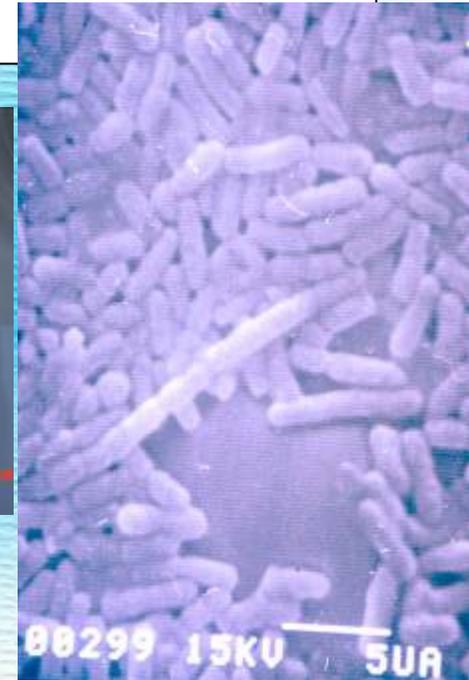
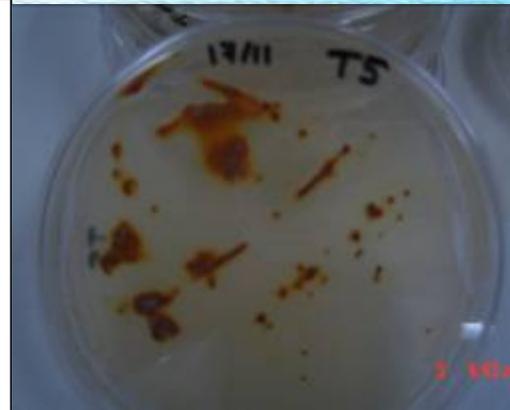
## OBJETIVOS

- Aislamiento, identificación (con amplificación del 16S rRNA) y caracterización molecular de las poblaciones de microorganismos actuantes en la biooxidación de arsenopirita para la recuperación de oro en tanques de la mina de Tamboraque.
- Aislamiento, identificación y caracterización molecular de las poblaciones de microorganismos presentes en el drenaje ácido de la mina Tamboraque.



# Proyecto Biolixiviación

Aislamiento, identificación (con amplificación del 16S rRNA) y caracterización molecular de las poblaciones de microorganismos actuantes en la biooxidación de arsenopirita para la recuperación de oro en tanques de la mina de Tamboraque.



Electroforesis en gel de agarosa 1% de amplificados de los recombinantes con primers específicos.



# Proyecto Biolixiviación

## Resultados:

- Los microorganismos reconocidos en el cultivo de drenaje ácido de la mina Tamboraque fueron: *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum sp* y bacteria similar a *Acidithiobacillus caldus*.
- Los microorganismos reconocidos en el cultivo del biorreactor fueron: *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum sp.*, bacteria similar a *Acidithiobacillus caldus* y *Archaeobacteria* (posiblemente *Ferroplasma*).



# Proyecto Biolixiviación

- ✓ Coorganización de Cursos Internacionales en Biominería (IPEN- UPCH). Cooperación técnica de Universidad de Gales, UK
- ✓ Ampliación de red de investigación y desarrollo con la Pontificia Universidad Católica del Perú (Proyecto Metalurgia. Sección Minas). Colaboración de U. de la Plata (Edgardo Donati y PUCV (Fernando Acevedo y Juan Carlos Gentina).
- ✓ RED CYTED BIORECA: Becaria a la PUCV Angela Manrique Ríos.
- ✓ Empresas mineras (donación de equipos y reactivos).

Estudios de investigación en Planta de Biooxidación Tamboraque (hoy Coricancha). Temas: toxicidad de tiocianato, solubilidad de nutrientes, caracterización de bacterias resistentes a arsénico. Interés de Dr. Rawlings en estudiar resistencia al arsénico.

# Proyecto Biolixiviación

## Laboratorio de Biohidrometalurgia- Electrometalurgia en PUCP





# Proyecto Biosorción

- ✓ 1997: Línea de investigación interdisciplinaria: Departamentos de Química y Microbiología en la UPCH: utilización de biomateriales para atrapar metales como método de bioremediación de efluentes minero metalúrgicos e industriales
- ✓ 1997: Apoyo académico y de investigación con Ecole des Mines d'Ales
- ✓ Grants: ALFA ETRIAM (Estudio de los Tratamientos de los Efluentes minero metalúrgicos) (1996-1998).  
Doctorado de Francisco Peirano. Biosorción de metales pesados. Utilización de biopolímeros como soporte catalítico.
- ✓ Proyecto Franco Peruano Raúl Porras Barrenechea (2000-2004 y 2005-2006).  
Movilizaciones de profesores. Doctorado de Karol Campos. Biosorción de mercurio.
- ✓ Biosorción de metales pesados por algas marinas (Proyecto del Vicerrectorado de Investigación 2005-2006).
- ✓ RED ALFA BIOPROAM: Estancia de Mariana Reátegui en la E. Minas de Ales. Biosorción de mercurio con algas marinas. 2007-2008.
- ✓ RED CYTED BIORECA: Estancia de Massiel Mori a la U. de la Plata.  
Biosorción de metales con algas marinas. 2008.
- ✓ PREPA Proyecto Franco.Peruano Boliviano  
EMA-UPCH-Universidad Mayor de San Andrés (La Paz)  
2007-2009





# Proyecto Biosorción

- ✓ Tesis de Licenciatura (9)
- ✓ Intercambio de alumnos y entrenamiento de jóvenes científicos.  
Becas de postgrado
- ✓ Cursos en pregrado y postgrado UPCH
- ✓ Cursos internacionales.
- ✓ Conferencias en otras universidades
- ✓ Búsqueda de interés científico en alumnos del Colegio Franco Peruano
- ✓ Publicaciones nacionales e internacionales
- ✓ Proyectos a largo plazo: utilización de biomásas nativas, servicio a la industria, biosorbentes para colorantes.



# Tesis de Licenciatura

Francisco Jose Peirano Blondet : “SORCION DE ORO AURICO POR BIOPOLIMEROS DE QUITOSANO : MODELAMIENTO Y CINETICA”. **200 mg/gr**

Doctorado en la Ecole des Mines d’Ales - Universidad de Marsella, Francia.

Graciela Alicia Rojas Díaz : “INFLUENCIA DEL pH, PESO DE BIOPOLIMERO QUITOSANO Y CONCENTRACION DE CROMO EN LA VELOCIDAD DE SORCION DE LOS IONES CROMO TRIVALENTE Y HEXAVALENTE : MODELAMIENTO Y CINETICA”.

Trabajando en Dpto. Medio Ambiente en compañía Barrick (Alto Chicama)

Jaime Antonio Flores Vásquez : “BIOSORCION DE Cu (II) POR QUITOSANO, QUITOSANO RETICULADO CON GLUTARALDEHIDO Y QUITOSANO EN PERLAS”.

Estudios de Post grado en USA **170 mg/gr**

Abel Enrique Navarro Aliaga : “ SELECCIÓN DEL MEJOR BIOSORBENTE PARA LA BIOSORCION DE ION CADMIO (II) : MODELAMIENTO DEL EQUILIBRIO Y CINETICA”.

Estudios de Post grado en USA

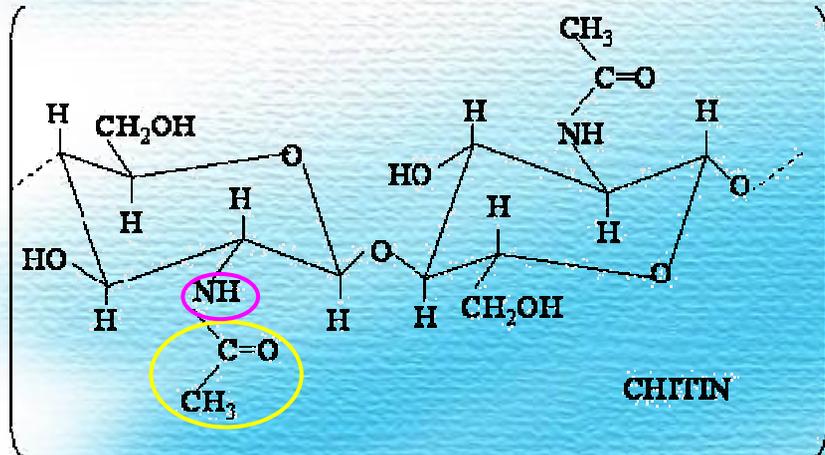
Karol Campos Gavilán : “ SELECCIÓN DEL MEJOR BIOSORBENTE PARA LA BIOSORCION DE ION ZINC (II) : MODELAMIENTO Y CINETICA”. **100 mg/gr**

Maestría en Ecole des Mines d’Ales – Universidad de Marsella, Francia

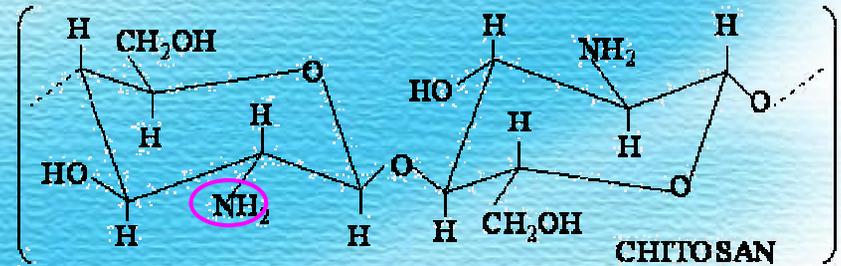
Karim Pilar Ramos Yánac : “NUEVOS BIOSORBENTES PARA LA REMOCION DE CADMIO (II) DE SOLUCIONES ACUOSAS”.

# Quitosano

Quitina  
N-acetil-D-glucosamina



Quitosano  
D-glucosamina



Caparazón de los crustáceos  
(camarón, cangrejos)



Quitina

decarbonatación (ácido)

desproteínización (álcali, NaOH)

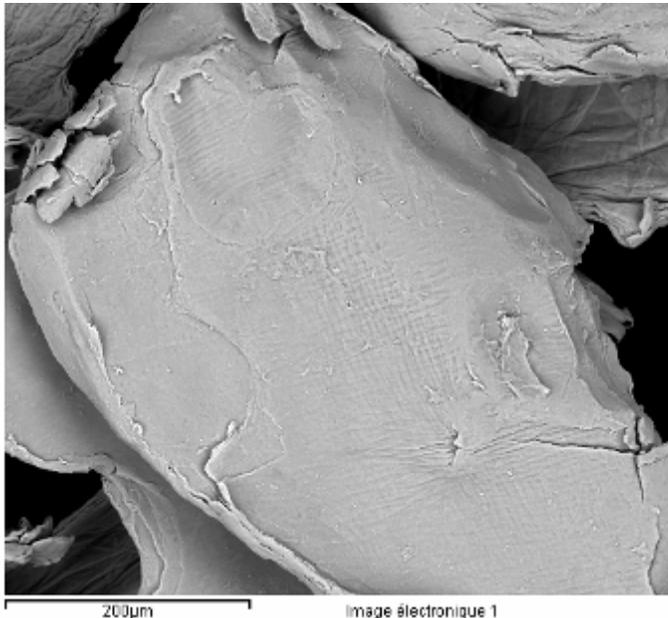
Quitosano

desacetilación (álcali, temperatura)



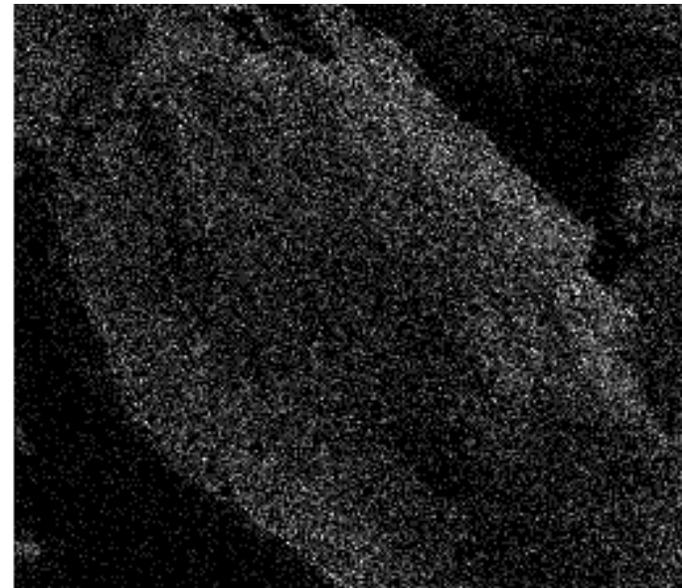
# Tesis de Licenciatura

- El objetivo de este trabajo es estudiar, la adsorción de iones mercurio en sistema batch y dinámico (columna de lecho fijo) con diferentes adsorbentes; se estudiarán diferentes parámetros dependiendo del sistema. sorción de mercurio con quitosano.
- sorción de mercurio con derivados de quitosano.
- sorción de mercurio con Cyphos encapsulado



200µm

image électronique 1



N Ka1 2



# Proyecto Tratamiento Pasivo Golder Associates Perú-UPCH



# Humedal de Tucush en Antamina

Diseñado para tratar la escorrentía proveniente del botadero de desmonte del Valle de Tucush y el agua bombeada de la Poza de Relaves.

Objetivo principal extraer el amonio y molibdeno del agua, de tal manera que esta pueda ser descargada al Río Ayash cumpliendo con los estándares de calidad de agua durante todo el año.

El agua también contendrá otros posibles contaminantes, como cobre y zinc, pero las concentraciones de estos metales están por debajo de los estándares reglamentarios.

# Características del Humedal de Tucush

- El humedal Tucush se encuentra a 4200msnm, en la quebrada del mismo nombre.
- El sistema viene funcionando desde principios del año 2006.
- Tiene una capacidad de tratamiento estimado de aguas de mina por 115 L/s
- El humedal tiene 30 celdas en total, con diferentes funciones.
- Desarrolla tecnología sostenible que puede ser incorporada en el cierre de mina
- Consta de un sistema de tratamiento dual  
Control de sedimentos mediante una estructura de roca – serpentín y 4.2 Ha de wetlands para el tratamiento pasivo de amonio, nitratos y metales.

# Botadero actual Quebrada Tucush



# Poza de sedimentación

- Se encuentra al principio del sistema
- 5,530m<sup>2</sup>
- Reduce la velocidad de flujo
- Sedimenta partículas grandes como arenas
- Rebose
- Monitoreo en el rebose (CO-45B)



# Serpentín

- Segunda estructura del sistema
- 12,683m<sup>2</sup>
- Reduce aún más la velocidad del flujo
- Sedimenta partículas más finas (limos)
- Quenas de desfogue
- Monitoreo salida de quenas (CO-46A)



# Humedal

- Última estructura
- 4.2 ha
- 30 celdas: 2 S, 20 P, 8 D
- Procesos:
  - oxidación
  - reducción
  - precipitación
  - absorción
  - adsorción
- 1000m Río Ayash
- Monitoreo salida última celda (CO-39)



# Vegetación del Wetland

Se sembraron dos especies de vegetación *Scirpus californicus* y *Juncus acrticus*.



Muchas gracias

