

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y**  
**METALURGICA**



**“EXPLORACION, DESARROLLO Y ESTIMACION DE RECURSOS DEL  
YACIMIENTO FLUVIOGLACIAR DE ORO LA QUINUA – DISTRITO  
MINERO DE YANACOCCHA, CAJAMARCA”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO GEOLOGO**

**PRESENTADO POR:**

**RAUL EDUARDO ROJAS VILLASIS**

**LIMA – PERU**

**2009**

**“EXPLORACION, DESARROLLO Y ESTIMACION DE  
RECURSOS DEL YACIMIENTO FLUVIOGLACIAR DE ORO  
LA QUINUA – DISTRITO MINERO DE YANACocha,  
CAJAMARCA”**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero dar gracias al Director de Geología de Minera Yanacocha, Brian Arkell, al Gerente de Geología Exploraciones Carlos Loayza y a la Corporación Newmont por permitirme usar toda la información necesaria para la realización del informe.

También quiero agradecer a mi supervisor Hernando Terrones y a mis asesores Nora Revollé y Rolando Carrascal por haberme dado la orientación y el apoyo para realizar el presente informe. De igual forma doy gracias a Edelmira Calderón, Cindy Williams, Patrick Mallette, Cesar Velazco, Jesús Reyes, Ronald Lujan, Lloyd McEvers, Scott Smith y Percy Zamora, quienes han sido mis supervisores y me sirvieron de ejemplo durante el tiempo que trabajé con ellos en diversos proyectos.

Asimismo agradezco a José Quispe y Christie Valdivia por haberme apoyado en la parte geofísica, a James Santibáñez y Fernando Saez por su apoyo en la parte de estimación de recursos y al Centro de Sistemas de Información Geológica por todo el apoyo brindado, en especial para Julio Martínez, Joel Fuentes, Romina Pinillos, Rossana Cabrera, Jorge Huaman y Riquelme Alva.

Quiero agradecer a mi padre Raúl Rojas G. por haberme apoyado en mis estudios universitarios, a mi madre Rosario Villasís M. por haberme animado a realizar y culminar el curso de actualización y a mi hermana Susan Rojas Villasís por haberme ayudado a entregar varias tareas durante el Curso de Actualización.

De manera especial quiero dar gracias a mi pastor Primitivo Sánchez y su esposa Milagros Anselmi por sus oraciones a favor de nuestra familia y por haberme enseñado a manejar con sabiduría el tiempo que debo invertir en la familia, el trabajo, la iglesia, el curso de actualización y el informe de suficiencia.

También quiero agradecer de manera muy especial a mi esposa Milagros Jiménez y a mis hijos Joyce y Benjamín por haberme apoyado todo este tiempo ya que sin su valiosa ayuda no habría sido posible culminar el informe.

Finalmente, quiero darle toda la gloria y la honra a mi Señor y Salvador Jesucristo, el Dios de la Biblia y creador de la tierra, a quien dedico este trabajo, por haberme dado la Salvación de mi alma, una esposa y dos hijos maravillosos, por haberme creado a su imagen y semejanza y por haberme dado las habilidades y el aliento necesarios para desarrollar este informe.

## RESUMEN

El yacimiento La Quinua es uno de los yacimientos de oro de clase mundial que forman parte del distrito minero Yanacocha en la provincia de Cajamarca al norte del Perú con un total de reservas y recursos pre-minados de 10.2 millones de onzas de oro en 424 millones de toneladas métricas y una ley promedio de 0.75 g/t. A diferencia de los yacimientos de oro de alta sulfuración emplazados en rocas volcánicas que caracteriza al distrito minero Yanacocha, el yacimiento La Quinua está emplazado en gravas no consolidadas.

En 1996, los geólogos de Newmont y Minera Yanacocha descubrieron oro hospedado en gravas mientras perforaban una cuenca aluvial para encontrar oro en blancos de perforación en el basamento debajo del material aluvial. La exploración y la perforación de desarrollo sucedieron con rapidez; un año después las reservas y recursos iniciales fueron de 7 millones de onzas de oro. La producción se inició a mediados del año 2001.

En el yacimiento La Quinua, los sedimentos clásticos llenan dos cuencas estructurales ubicadas al lado oeste de los yacimientos de oro Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste. El abanico de gravas llega a un espesor máximo de 350 metros sobre el bloque estructural de movimiento normal descendente de la falla La Quinua que limita a la cuenca hacia el noreste. Los sedimentos clásticos gradan desde bloques caóticos en la zona proximal a la fuente a limos gravosos y arenas en las zonas alejadas. En el yacimiento La Quinua se han reconocido cinco horizontes estratigráficos. Estos incluyen, de la base al tope, (1) Regolito Temprano que sobreyace directamente el basamento rocoso, (2) Gravas de la Secuencia Inferior: depósitos de alta a baja energía de gravas y arenas con alteración silíceas, argílicas, y argílica avanzada, (3) depósitos de baja energía de lodo rico en materia orgánica,

turba y hierro de pantano, (4) Gravas Ferruginosas, y (5) Gravas de la Secuencia Superior: depósitos de alta energía de gravas de tamaños de bloques, guijas y guijarros que gradan a limos arenosos de grano fino cuanto mas se alejan de la fuente de aporte.

En 1997 se llevo a cabo un programa de medición geofísica en el que se registraron resistividades mayores de 2000 Ohm-m en las capas superiores. La perforación posterior confirmó que estas capas corresponden principalmente a las Gravas de la Secuencia Superior que tienen una mayor presencia de fragmentos silíceos.

El oro de La Quinoa llegó hasta la cuenca a partir de la erosión, transporte y deposición de las partículas de oro y clastos mineralizados de los yacimientos Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste. Sin embargo, una parte del oro puede ser el resultado de movilización química y reprecipitación. Las partículas de oro mayormente son del tamaño de micrones, liberados dentro de una matriz de lodo y diseminadas dentro de clastos mineralizados. El oro está diseminado a lo largo del yacimiento con algunas transiciones graduales laterales y verticales de la ley. Las muestras geoquímicas superficiales muestran una baja a moderada anomalía de oro en promedio. Este hecho lleva a suponer que las gravas experimentaron una removilización vertical del oro desde la superficie hacia la profundidad teniendo en cuenta que la zona comprendida entre la base de las Gravas de la Secuencia Inferior y el tope de las Gravas Ferruginosas es la que tiene las más altas leyes de oro en todo el yacimiento.

El sistema de captura del oro en La Quinoa fue eficiente; el grado de dilución de los yacimientos de la fuente es menor a 25 por ciento. El cobre y el hierro están localmente enriquecidos en horizontes estratigráficos específicos. El hierro autogénico está presente como lentes de pantanos de hierro, cementante de las

ferricretas y como impregnación en la matriz de las gravas. Un estudio de la presencia de oro en muestras de pantanos de hierro sugiere que una parte del oro presente en estas muestras habría precipitado químicamente juntamente con la goethita de una solución rica en hierro y que al mismo tiempo contenía oro en solución.

La Quinua se formó en respuesta a las interacciones dinámicas del clima y de la tectónica. Una cuenca con una tectónica de subsidencia preservó los sedimentos que contenían el oro durante períodos de intensa meteorización mecánica en las montañas adyacentes. Las condiciones climáticas de frío tipo alpino resultaron en dos pulsos de rápida sedimentación y llenado de la cuenca. Las condiciones templadas resultaron en hiatos marcados por la acumulación de depósitos de materia orgánica y hierro superficial. El desplazamiento estructural y el suave plegamiento de las unidades sedimentarias indican una tectónica de la cuenca que siguió a la deposición de las gravas.

El oro de La Quinua fue suministrado desde los yacimientos Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste y fue transportado hacia las cuencas La Quinua y La Pajuela como oro diseminado en clastos de mena primaria y como partículas de oro liberado del tamaño de limo a arcilla. Estos clastos, limos y arcillas fueron acomodados en las cuencas mencionadas de acuerdo a las direcciones de flujo de los agentes transportadores tales como el agua y el hielo siendo la dirección de acomodo final de los clastos y lodo y por consiguiente del oro perpendicular a la dirección del flujo de los agentes transportadores. Esta conclusión se deduce de la observación de la ubicación espacial de los valores de oro.

Se han definido cuatro dominios geológicos a partir de los cuales se ha hecho la estimación de las reservas y recursos de oro en el yacimiento La Quinua. Estos incluyen (1) dominio central 1, que corresponde a las Gravas de la Secuencia Inferior

y a la base de las Gravas de la Secuencia Superior y es el que tiene la ley promedio más alta lo que ocasiona una mayor variabilidad de la ley de oro, (2) dominio central 2, que corresponde a las Gravas de la Secuencia Superior, siendo a su vez el que mayor volumen comprende y aporta mayor cantidad de onzas al yacimiento, (3) dominio norte, que corresponde a todas las gravas que forman el yacimiento La Quinoa Norte y (4) dominio sur, que lo conforman todas las gravas que forman el yacimiento La Quinoa Sur, este último dominio esta próximo a ser explotado. En todo el yacimiento La Quinoa la distribución de ley de oro es casi homogénea por lo que variabilidad de la ley de oro es baja.

Se ha realizado la observación detallada de la distribución espacial de los valores de oro de las muestras de los taladros de exploración y de producción con la ayuda del programa geomodel, el análisis de la variografía de las leyes de oro de cada uno de los dominios se ha hecho con la ayuda de los programas SAGE 2001 y TSS, y se han observado los desplazamientos estructurales y el plegamiento de algunas unidades sedimentarias en las paredes de los tajos. Con esta información se han definido los cuatro dominios geológicos, se ha realizado la estimación de las leyes de oro de los bloques y se han estimado las reservas y recursos del yacimiento con un alto grado de confiabilidad. Mientras se hagan mas estudios detallados de este tipo de yacimientos se definirán mejor los programas de exploración en las morrenas y depósitos aluviales que aun quedan por explorar en el distrito minero Yanacocha.





3.2.1	Muestreo de escorrentía	23
3.2.2	Muestreo de roca	23
3.2.3	Muestreo de material no consolidado	24
3.3	Estratigrafía de La Quinoa Central	30
3.3.1	Regolito Temprano	30
3.3.2	Gravas de la Secuencia Inferior	31
3.3.3	Depósitos relacionados a un influjo reducido de clastos silíceos	34
3.3.4	Gravas de la Secuencia Superior	35
3.3.5	Gravas Ferruginosas	37
3.4	Estudios Geofísicos en el yacimiento La Quinoa	41
3.4.1	Objetivo del estudio	41
3.4.2	Método electromagnético Dominio Tiempo (TDEM)	41
3.4.3	Parámetros de medición	42
3.4.4	Trabajo de campo	42
3.4.5	Secciones geoelectricas-Modelo suave	42
3.4.6	Interpretación cualitativa	44
3.5	Mineralización de La Quinoa	47
3.5.1	Distribución espacial del oro	47
3.5.2	Distribución del oro por tamaño de partícula	49
3.5.3	Fuente y transporte del oro	52
3.5.4	Estudio del origen del oro alojado en la goethita	53
3.6	Perforación, muestreo y calidad de la muestra	56
3.6.1	Tipos de perforación y orientación	56
3.6.2	Procedimientos de muestreo y calidad de la muestra	57
3.6.3	Métodos analíticos	58
 CAPITULO 4:    MODELO GENÉTICO DE LA QUINUA		 60
4.1	Fuente del oro	60
4.2	Efectos del paleoclima en la meteorización y la producción de sedimentos	61
4.3	Transporte de sedimentos y depositación	63
4.4	Tectónica de la cuenca	64

CAPITULO 5:	ESTIMACIÓN DE RECURSOS DEL YACIMIENTO	
	FLUVIOGLACIAR DE ORO LA QUINUA	67
5.1	Introducción	67
5.2	Evaluación metalúrgica en el yacimiento La Quinoa	68
5.2.1	Pruebas de botella y pruebas de columna	68
5.2.2	Modelo de recuperación de oro	70
5.2.3	Clasificación metalúrgica	71
5.3	Granulometría y análisis del oro por tamaño de partícula	71
5.3.1	La granulometría como variable para estimar el recurso	71
5.3.2	Análisis granulométrico en La Quinoa Sur	73
5.3.3	Análisis del oro por tamaño de partícula y su significado	74
5.4	Estimación de recursos del yacimiento La Quinoa	76
5.4.1	Definición de dominios	76
5.4.2	Base de datos	82
5.4.3	Métodos analíticos	83
5.4.4	Parámetros estadísticos de la población	84
5.4.5	Análisis de la variografía	88
5.4.6	Método de estimación	89
5.4.7	Clasificación del recurso	91
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFÍA	102
	LISTA DE FIGURAS	
	Figura 1. Mapa de ubicación del distrito minero Yanacocha	2
	Figura 2. Mapa geológico simplificado del Distrito Minero Yanacocha mostrando la ubicación del yacimiento de oro La Quinoa	3

Figura 3. Mapa del Distrito Minero Yanacocha ubicado en el Campo Volcánico Yanacocha (CVY) en el norte del Perú	5
Figura 4. Mapa geológico simplificado del distrito Yanacocha incluyendo la ubicación de los yacimientos de alta sulfuración delineados en rojo	8
Figura 5. Columna estratigráfica distrital generalizada mostrando la estratigrafía volcánica	9
Figura 6. Mapa de la geología generalizada del distrito Yanacocha con la ubicación de los yacimientos	14
Figura 7. A. Rocas alteradas a sílice masiva pulidas y estriadas por el hielo. B. Morrena terminal consecutiva al Cerro Paquerumi mirando al oeste desde el Cerro Chaquicocha	16
Figura 8. Yacimiento fluvio-glaciar La Quinua, al oeste del yacimiento hidrotermal Yanacocha	18
Figura 9. A Yacimiento fluvio-glaciar La Quinua. B. Topografía del basamento debajo de las gravas de La Quinua	19
Figura 10. A. Pared en La Quinua Central; facies proximal; Gravas de la Secuencia Superior. B. Bloque redondeado de la facies proximal facies de La Quinua Central. C. Corte de un camino entre La Quinua Central y La Quinua Sur; facies distal. D. Gravas ferruginosas inconsolidadas y salientes endurecidos de ferricreta expuestas en la Quebrada Shingo	21
Figura 11. Muestreo de Taludes en La Quinua - Canales Diagonales	25
Figura 12. Muestreo Selectivo en La Quinua Central	26
Figura 13. Muestreo en Pozas en La Quinua Norte	27
Figura 14. Muestreo en Calicatas	28
Figura 15. Valores de Au de las muestras geoquímicas en La Quinua	29
Figura 16. Columna Estratigráfica de La Quinua Central	31
Figura 17. Gravas de la Secuencia Inferior	32
Figura 18. Gravas de la Secuencia Inferior - Facies de Sulfuros	33
Figura 19. Depósitos de materia orgánica	34
Figura 20. Pantanos de hierro	35
Figura 21. Gravas de la Secuencia Superior	36

Figura 22. Gravas Ferruginosas	38
Figura 23. Sección Noreste-Suroeste a través del yacimiento de oro La Quinua Central mostrando las unidades estratigráficas principales, las zonas de precipitación de óxidos y sulfuros secundarios y la distribución de la ley de oro	39
Figura 24. Secciones geoelectricas en La Quinua	43
Figura 25. Sección geoelectrica P01 N45°E y geología en La Quinua	44
Figura 26. Sección geoelectrica P02 N45°E y geología en La Quinua	46
Figura 27. Contornos de leyes de oro de las gravas que rellenan las cuencas La Pajuela y La Quinua	48
Figura 28. Imagen en el microscopio electrónico mostrando un grano de oro libre dentro de óxidos de Fe	49
Figura 29. Ley de oro versus tipo de tamaño de partícula para tres muestras típicas de las Gravas de la Secuencia Superior en La Quinua Central	51
Figura 30. Modelo idealizado describiendo la influencia del clima en el ciclo erosivo-deposicional en La Quinua	62
Figura 31. Discordancias progresivas que se desarrollaron al lado del frente activo de la falla La Quinua	65
Figura 32. La rotación del bloque de La Quinua provoca que fallas deformen al Regolito Temprano y las partes más inferiores de las Gravas de la Secuencia Inferior	66
Figura 33. Columnas de 2m y 15.24cm (6") de diámetro en el Laboratorio Metalúrgico de Minera Yanacocha S.R.L.	69
Figura 34. Pruebas metalúrgicas en La Quinua	71
Figura 35. Resultados del estudio granulométrico en La Quinua Sur	74
Figura 36. Distribución del peso por tamaño de partícula en La Quinua Sur	75
Figura 37. Distribución del oro por tamaño de partícula en La Quinua Sur	76
Figura 38. Dominios geológicos que describen la mineralización del oro en el yacimiento La Quinua	77
Figura 39. Orientación del elipsoide del variograma del Dominio Central 1 y las leyes de los taladros de perforación	78

Figura 40. Orientación del elipsoide del variograma del Dominio Central 2 y las leyes de los taladros de perforación	80
Figura 41. Orientación del elipsoide del variograma del Dominio Norte y las leyes de los taladros de perforación	81
Figura 42. Orientación del elipsoide del variograma del Dominio Sur y las leyes de los taladros de perforación	82
Figura 43. Gráfico QA/QC de muestras estándares	84
Figura 44. Gráfico de Frecuencia Acumulada que muestra la distribución de la ley de oro dentro del Dominio Central 1	86
Figura 45. Gráfico de Frecuencia Acumulada que muestra la distribución de la ley de oro dentro del Dominio Central 2	86
Figura 46. Gráfico de Frecuencia Acumulada que muestra la distribución de la ley de oro dentro del Dominio Norte	87
Figura 47. Gráfico de Frecuencia Acumulada que muestra la distribución de la ley de oro dentro del Dominio Sur	87
Figura 48. Validación global del modelo de estimación para los cuatro dominios	92
Figura 49. Distancia de la muestra mas cercana al bloque versus la Varianza del Kriging de los Dominios Central 1 y Central 2	95
Figura 50. Distancia de la muestra mas cercana al bloque versus la Varianza del Kriging de los Dominios Norte y Sur	96

#### LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Materiales del yacimiento La Quinoa	47
Tabla 2. Leyes de oro de los 11 intervalos de 2m en promedio de goethita pura precipitada químicamente con muy escaso componente detrítico versus las leyes de oro de los 11 intervalos de 18cm. en promedio de goethita pura precipitada químicamente sin presencia de componente detrítico visible	56
Tabla 3. Resumen de la base de datos de los taladros de perforación de la zona conocida como Complejo La Quinoa	57

Tabla 4. Recuperaciones modeladas por tipo de material en La Quinoa	69
Tabla 5. Clasificación Granulométrica de los yacimientos fluvio-glaciares de acuerdo al contenido de lodos (limos + arcillas)	72
Tabla 6. Parámetros estadísticos obtenidos para los cuatro dominios geológicos	85
Tabla 7. Rotación de los ejes del elipsoide de anisotropía para los cuatro dominios del yacimiento fluvioglacial La Quinoa	88
Tabla 8. Dimensiones y cantidad de bloques para todo el yacimiento La Quinoa	89

## **CAPITULO 1**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 Ubicación del área**

El yacimiento fluvioglacial La Quinoa está ubicado en la zona oeste del Distrito Minero Yanacocha en la provincia de Cajamarca en el norte del Perú ([Figura 1](#)). El yacimiento se encuentra a una elevación promedio de 3,600m sobre el nivel del mar, a 18 kilómetros al norte de la ciudad de Cajamarca.

El yacimiento fluvioglacial La Quinoa está localizado al suroeste del yacimiento de oro y plata de origen hidrotermal Yanacocha ([Figura 2](#)), éste último es el de mayor concentración de oro y plata en el distrito con cerca de 14 millones de onzas de oro y 325 millones de onzas de plata y está localizado aproximadamente en la parte central del distrito.

#### **1.2 Objetivo del Estudio**

El presente Informe de Suficiencia ha sido realizado para obtener el Título Profesional de Ingeniero Geólogo.



Asimismo, el trabajo descrito explica el proceso de exploración, desarrollo y estimación de recursos del yacimiento fluvioglaciar de oro La Quinoa (1997 – 2009).

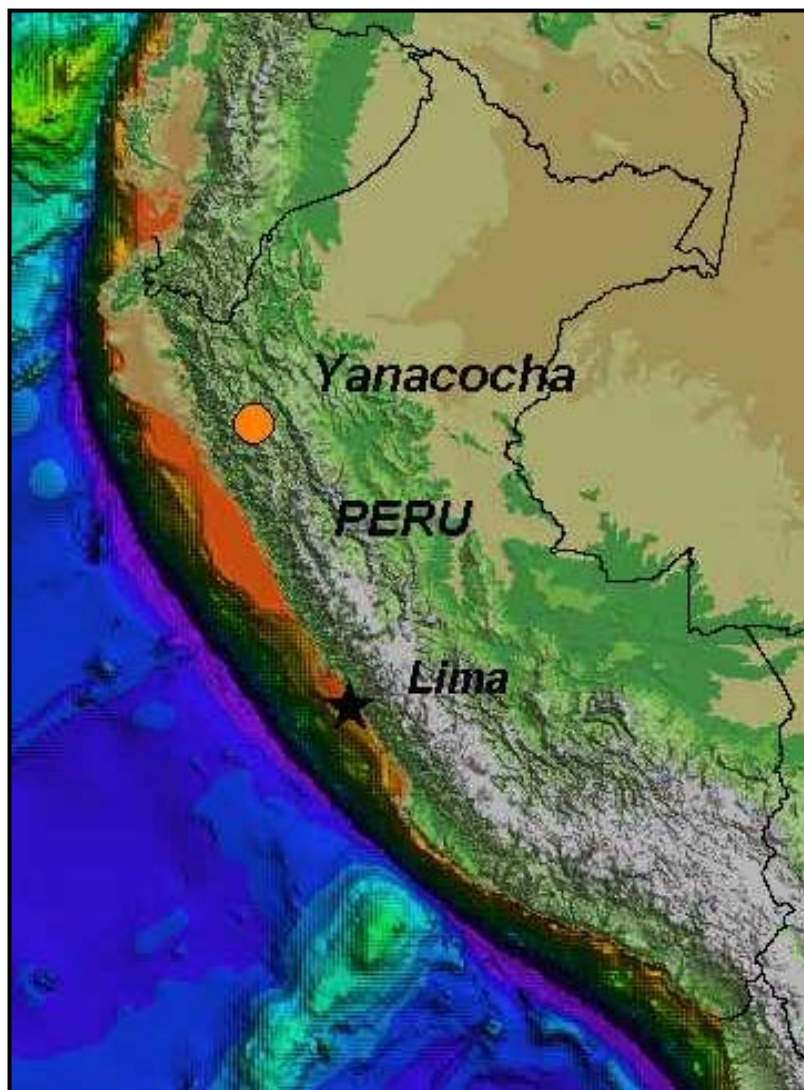


Figura 1. Mapa de ubicación del distrito minero Yanacocha.

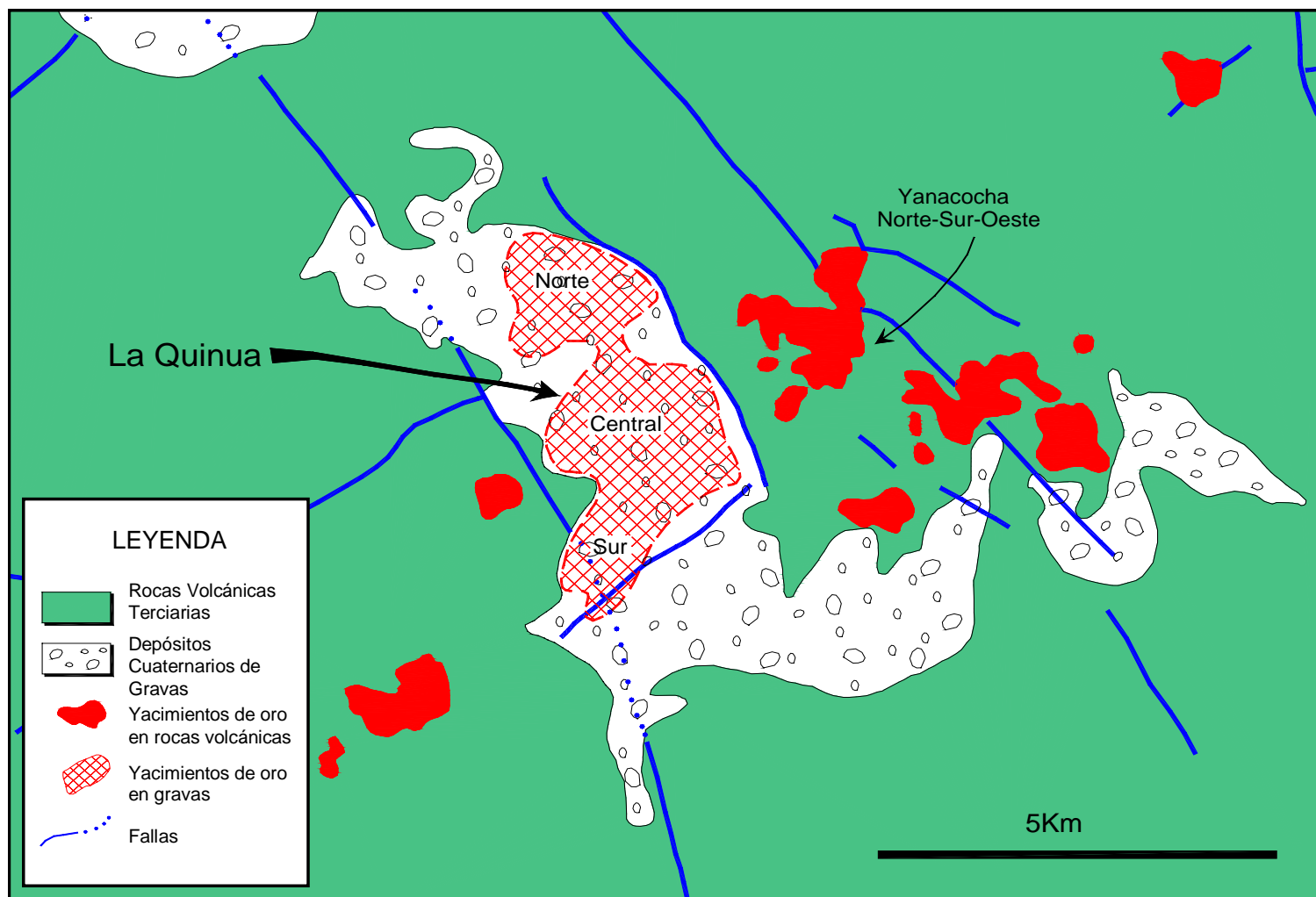


Figura 2. Mapa geológico simplificado del Distrito Minero Yanacocha mostrando la ubicación del yacimiento de oro La Quinua (Mallette, 2002).

## CAPITULO 2

### GEOLOGÍA DEL CAMPO VOLCANICO YANACOCCHA

#### 2.1 Marco Geológico Regional

##### *2.1.1 Tectónica y Magmatismo del Norte del Perú*

Los episodios tectónicos del Ciclo Andino en el Perú (Cobbing et al., 1981; Megard, 1984) comenzaron con la subducción de la Placa Farallón en el Mesozoico temprano y han durado más de 200 millones de años (Petford y Atherton, 1995). Varios episodios de compresión y levantamiento seguidos por varios eventos magmáticos y sus fases contemporáneas de extensión dieron forma a los Andes del norte del Perú comenzando en el Triásico tardío y terminando en el Mioceno tardío (Noble et al., 1974; Noble et al., 1985; Noble et al., 1990). Cuatro series estructurales mayores han sido reconocidas en el norte del Perú ([Figura 3](#)):

- Cerca de la ciudad de Cajamarca se encuentra una deformación importante y la tendencia de los ejes de los plegamientos en el basamento Mesozoico diverge de la tendencia noroeste de la Cordillera de los Andes hacia una serie de ejes de plegamientos y fallas de rumbo oeste y oeste-noroeste que se extienden debajo del Campo Volcánico Yanacocha. Esta deflexión en el cinturón de pliegues de los Andes es conocida como la Tendencia Chimú Andes y es atribuida a la zona de plegamiento y sobre-escurrimiento de la Orogenia Incaica I del Cenozoico temprano (Benavides, 1999).

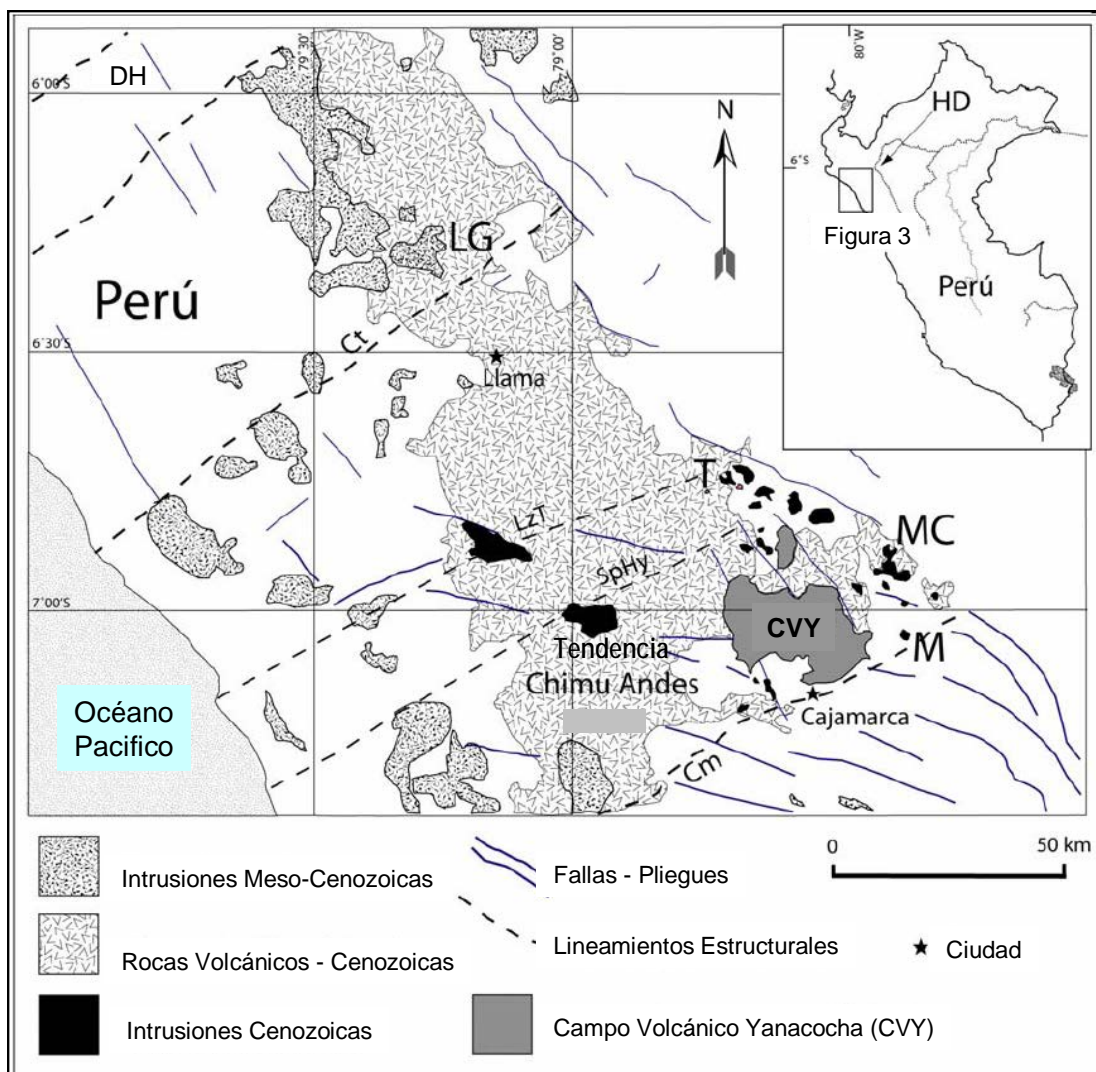


Figura 3. Mapa del Distrito Minero Yanacocha ubicado en el Campo Volcánico Yanacocha (CVY) en el norte del Perú (Longo, 2005). La figura también muestra las ubicaciones de varias áreas y distritos. Sistemas tipo Pórfido de Cu-Au y otro de oro y de metales base definen una tendencia noroeste desde los yacimientos porfiríticos de Cu-Au Michiquillay (M) y Minas Congas (MC), hasta el yacimiento de oro de alta sulfuración Tantahuatay (T). La tendencia pudo extenderse hasta el distrito de metales base La Granja (LG). DH representa una tendencia noreste proyectada hacia la deflexión de Huancabamba. La tendencia de los ejes de plegamientos y fallas Chimú Andes que se extiende hacia el sur del CVY continúa al oeste-noroeste a través del Lineamiento La Zanja-Tantahuatay (LzT). El corredor estructural Chicama-Yanacocha está delineado por el Lineamiento La Zanja-Tantahuatay (LzT) y el Lineamiento Cajamarca (Cm). El Lineamiento Cutervo (Ct) también es mostrado y puede representar el límite noroeste de la Tendencia Chimú Andes. La zona Cutervo-Cajamarca aloja tres bloques estructurales importantes definidos por los dos lineamientos importantes y dos lineamientos intermedios conocidos informalmente como el lineamiento La Zanja-Tantahuatay (LzT) y el lineamiento Sipan-Hualgayoc (SpHy).

- Una segunda deformación importante conocida como la Deflexión de Huancabamba está presente en la Cordillera de los Andes a unos ~ 200km al norte de Cajamarca situada a 4°S (Mitouard et al., 1990). En esta área la Cordillera de los Andes de tendencia noroeste de rumbo 140° cambia de orientación hacia un rumbo de N20°E.
- Un importante corredor estructural definido por fallas y zonas de fractura prominentes de tendencia noreste se extiende por 120km desde el Lineamiento Cutervo hasta el Lineamiento Cajamarca y hospedan varios yacimientos metálicos importantes. La zona Cutervo-Cajamarca aloja tres bloques estructurales importantes definidos por los dos lineamientos importantes y dos lineamientos intermedios conocidos informalmente como el lineamiento La Zanja-Tantahuatay y el lineamiento Sipan-Hualgayoc. El corredor estructural Chicama-Yanacocha representa la mitad sureste de la zona estructural Cutervo-Cajamarca y hospeda los yacimientos minerales más importantes de la región incluyendo el distrito Yanacocha (Quiroz, 1997; Turner, 1999; Torres et al., 2001).
- Finalmente, una tendencia noroeste definida por ocho sistemas de pórfido de Cu-Au separados, está situada a unos 20km al noreste del distrito Yanacocha y puede extenderse por casi 125km desde Michiquillay hasta La Granja (Llosa et al., 1999; Torres et al., 2001).

### *2.1.2 Marco Estructural*

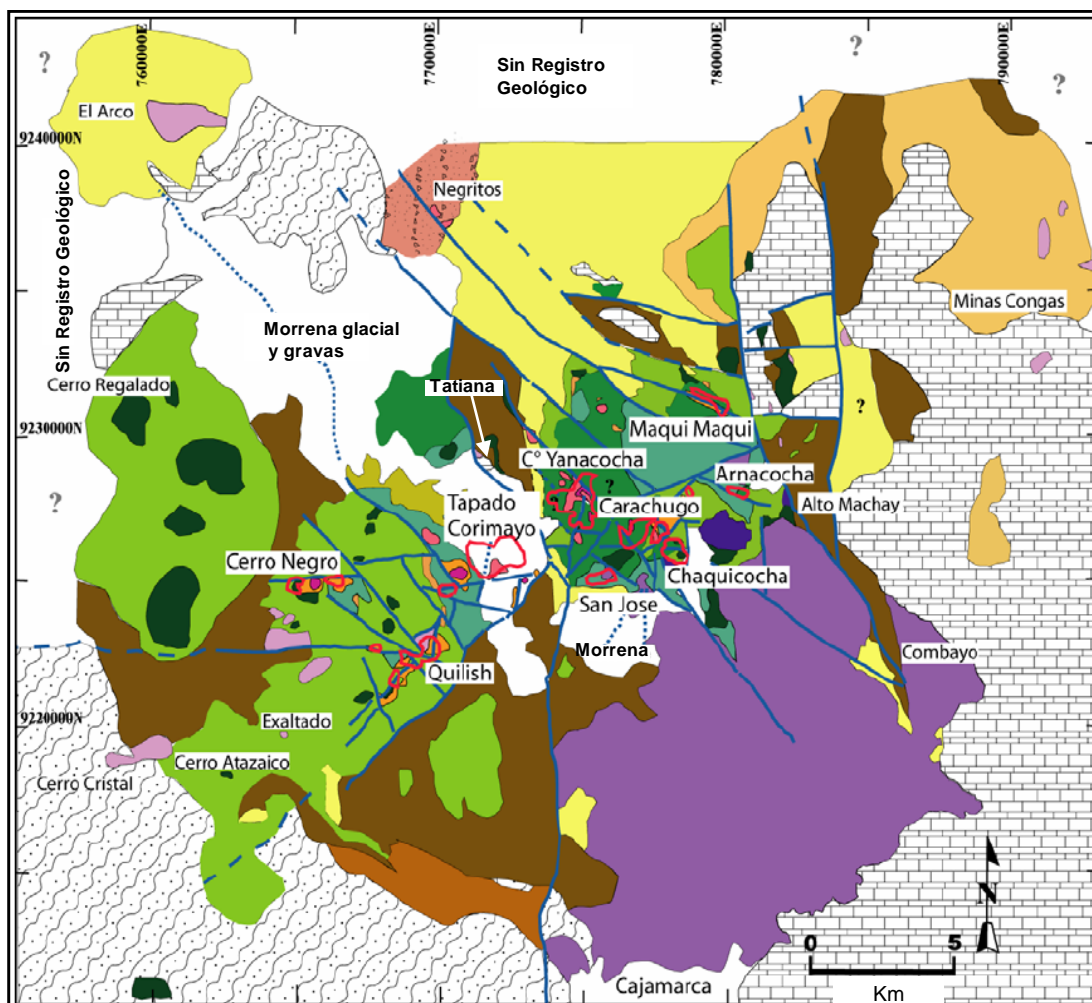
Los eventos tectónicos que llevaron al desarrollo de las características estructurales más importantes en Yanacocha son pobremente entendidas en el norte del Perú. La tendencia de pliegues y fallas Chimú (Figura 3), relacionadas con la zona de pliegues del Mesozoico al este de Cajamarca, tiende del oeste-noroeste hacia el noroeste (Reyes, 1980; Wilson, 1984) debajo de Yanacocha y puede haber sido

reactivada formando una zona de fallas y fracturas en la sección volcánica del Mioceno en Yanacocha. La litología de las rocas del basamento pre-Cenozoico debajo de las rocas volcánicas de Yanacocha no es conocida, sin embargo, la presencia de fragmentos de cuarcita y hornfels negro y argilita poco frecuentes encontrados en las rocas intrusivas, rocas piroclásticas, y diques de guijarro a través del distrito sugiere que la cuarcita y la argilita infrayacen el distrito.

La profundidad del basamento es poco conocida y solo está estimada por los datos geofísicos (Goldie, 2000) y unos pocos interceptos de taladros de perforación ampliamente aislados. Además, una caliza micrítica de gruesa estratificación emerge al noreste del yacimiento de oro Maqui Maqui y a lo largo de la falla La Quinoa en Tatiana a ~ 3km al norte de Corimayo en la porción central del distrito (Figura 4). Tres tendencias de series de fallas y fracturas importantes son reconocidos como un importante control para la mena de oro en Yanacocha incluyendo las direcciones N35-50°W, N40-60°E, y este-oeste (Edwards, 2000; Longo, 2000; Harvey et al., 1999; Myers, 1997b). Otras estructuras de importancia incluyen las tendencias norte-sur a norte del noroeste interpretadas como fallas. Estas fallas han sido reconocidas por Myers (1997b), Klein et al. (1999), Edwards (2000), y Klein (2000) en el Distrito Oeste especialmente en Cerro Quilish y Cerro Negro.

## **2.2 Geología del Distrito Yanacocha**

Los registros geológicos superficiales a escala distrital y la descripción geológica detallada de núcleos de perforación de los diferentes yacimientos del Distrito Yanacocha vienen a constituir la mayor revisión de la estratigrafía volcánica de edad Cenozoica (Figura 5). Las nuevas relaciones estratigráficas en Yanacocha definen ocho paquetes de roca que incluyen tres secuencias volcánicas pre-Yanacocha y cinco secuencias volcánicas locales que representan el Campo Volcánico Yanacocha.



### Rocas de Yanacocha

- Qg: Gravas y morrena glacial
- Tsj: Ignimbrita San José
- Tupa: Secuencia Volcánica Superior Yanacocha
- Tmmi: Rocas piroclásticas Maqui Maqui
- Tlpha: Secuencia Volcánica Inferior Yanacocha

### Rocas Pre-Yanacocha

- Tmc: Rocas piroclásticas Minas Conga y Peña de León
- Tcdf: Rocas piroclásticas dacíticas Cerro Frailes
- Tla2: Avalanchas volcánicas andesíticas Chaupiloma
- Tla1: Avalanchas volcánicas andesíticas Tual
- Tv: Rocas volcánicas andesíticas Pre-Mioceno
- Kq: Cuarzita Cretácica
- Kls: Caliza Cretácica

### Intrusiones y Brechas de Yanacocha

- Tcd / Typq / Tcyd: Dacita Corimayo, Dacita Yanacocha, Dacita Chaupiloma-Lago Yanacocha
- Tbxh / Tlx: Brecha hidrotermal y rocas laminadas
- Tupa: Upha tardío-Domos dacíticos sji (ignimbrita San José)
- Typ: Pórfido feldespático Yanacocha
- Ted: Dacita temprana
- Tphad: Domos andesíticos lpha y Upha

- Fallas reconocidas
- - - Fallas inferidas
- · · · Fallas cubiertas?
- Diseño de tajos

Figura 4. Mapa geológico simplificado del distrito Yanacocha incluyendo la ubicación de los yacimientos de alta sulfuración delineados en rojo. La interpretación geológica está basada en la geología de campo y el registro geológico superficial (Longo, 2005).

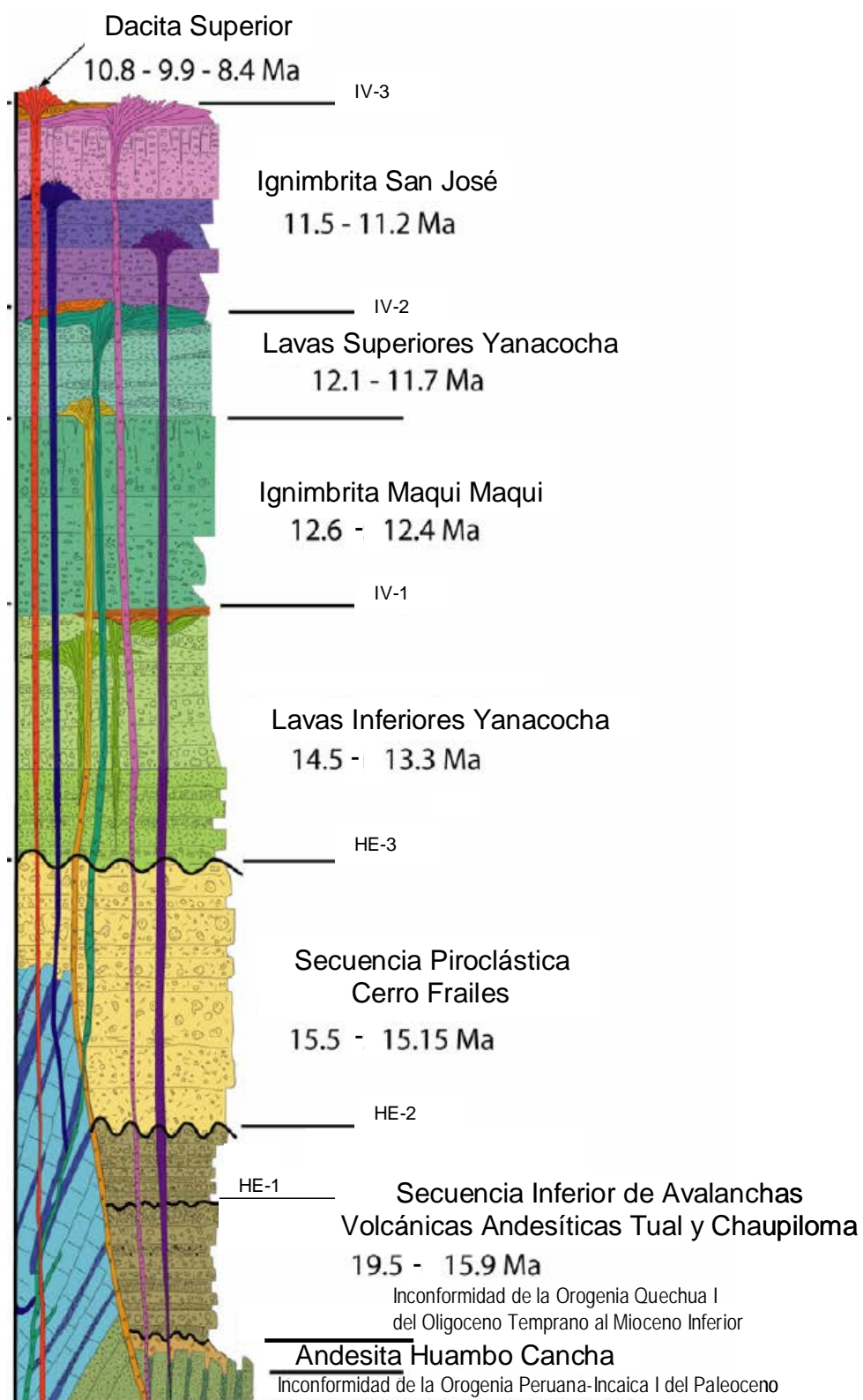


Figura 5. Columna estratigráfica distrital generalizada mostrando la estratigrafía volcánica (Longo, 2005).



### 2.2.1 Rocas Volcánicas Pre-Yanacocha

Los paquetes rocosos considerados de edad pre-Yanacocha incluyen los siguientes en orden estratigráfico:

- *Lavas andesíticas y rocas piroclásticas Huambo Cancha*

Estas rocas están atribuidas a la andesita basal que sobreyace inconformemente el basamento de edad Cretácica y la inconformidad temprana Valle del Río Porcón. Estas rocas podrían pertenecer a las secuencias volcánicas Llama (55-44Ma) o Huambos (39-36Ma) como ha sido mencionado por Noble et al. (1990). El tiempo de la inconformidad en la base de la andesita Huambo Cancha es desconocido, pero puede haber ocurrido durante la Orogenia Peruana del Cretáceo-Paleoceno (90-60?Ma) y la Orogenia Incaica I del Paleoceno-Eoceno (59-55Ma) (Cobbing, 1981; Megard, 1984 y 1987; Noble et al., 1985 y 1990).

- *Secuencia inferior andesítica de avalanchas volcánicas Tual y Chaupiloma*

Esta secuencia esta constituida de avalanchas volcánicas ricas en piedra pómez, flujos de escombros, sedimentos volcanoclásticos y flujos de lavas andesíticas. Esta secuencia andesítica también llenó paleo-canales en la andesita Huambo Cancha. Una inconformidad posterior a la formación de la andesita Huambo Cancha es contemporánea con la Orogenia Incaica II del Eoceno o con la Orogenia Quechua I según McKee y Noble (1982), Noble et al. (1985), y Noble et al. (1990).

- *Secuencia piroclástica dacítica Cerro Frailes*

Conformada por tufos de flujos de ceniza y flujos de escombros con fragmentos líticos dacíticos ricos en biotita gruesa que fueron erupcionados y depositados sobre un hiato erosivo marcado por canales de escorrentía cortados dentro de la

secuencia andesítica de avalanchas volcánicas. Luego de las erupciones de los tufos de flujo de ceniza Cerro Frailes el área de Yanacocha experimentó un suave plegamiento y un hiato erosivo.

### 2.2.2 Estratigrafía del Campo Volcánico Yanacocha

Las secuencias rocosas que pertenecen al Campo Volcánico Yanacocha representan rocas volcánicas e intrusivas de cinco episodios contiguos de magmatismo centrados en Yanacocha. Las variaciones de composición son típicas de una serie de rocas calco-alcálicas con un sistema magmático complejo que se desarrolló desde la andesita hasta la riolita. Estas rocas ‘evolucionaron’ desde centros bien diferenciados espacial y temporalmente y desarrollaron un corredor de tendencia noreste de un volcanismo del Mioceno medio de 25km de largo que cubrieron más de 500km<sup>2</sup> con flujos de lava y rocas piroclásticas. Las rocas del Campo Volcánico Yanacocha se describen desde la base hacia el techo de la columna estratigráfica de la siguiente manera (Figura 5):

- □ *Secuencia volcánica andesítica inferior Yanacocha*

Son lavas andesíticas con piroxeno-hornblenda y rocas piroclásticas en menor cantidad de un período temprano de vulcanismo efusivo y de un edificio dómico llamado *etapa efusiva 1*.

- *Secuencia piroclástica intermedia Maqui Maqui*

Esta secuencia tiene rocas laminadas, la secuencia inferior y superior de ignimbritas Maqui Maqui e intrusiones tempranas de andesita de hornblenda y dacita porfirítica. La secuencia de ignimbrita Maqui Maqui está formada por andesita de hornblenda ± biotita, traquiandesita, e ignimbritas dacíticas que representan un período de vulcanismo explosivo temprano llamado *etapa explosiva 1*. Estas rocas son de una edad posterior y están relacionadas en el tiempo a intrusiones porfiríticas, taponos y diatremas de composición

feldespato porfiríticos con ensambles mineralógicos similares a la ignimbrita Maqui Maqui. Un período de intrusiones dacíticas tempranas con fenocristales de cuarzo + hornblenda + biotita intruyeron la secuencia volcánica inferior Yanacocha en el distrito oeste.

- □ *Secuencia porfirítica superior Yanacocha*

Formada por lavas y rocas piroclásticas dacíticas y andesíticas con hornblenda-piroxeno de un segundo período de vulcanismo efusivo asociado con numerosos sistemas relacionados con domos andesíticos llamado *etapa efusiva 2*.

- *Secuencia de ignimbritas San José*

Formada por ignimbritas dacíticas con hornblenda  $\pm$  piroxeno  $\pm$  biotita de un segundo período de vulcanismo explosivo llamado *etapa explosiva 2*. Domos dacíticos endógenos de piroxeno-hornblenda con composiciones similares a la Secuencia volcánica superior Yanacocha siguieron a las erupciones explosivas y podrían corresponder a áreas de conductos de ignimbritas.

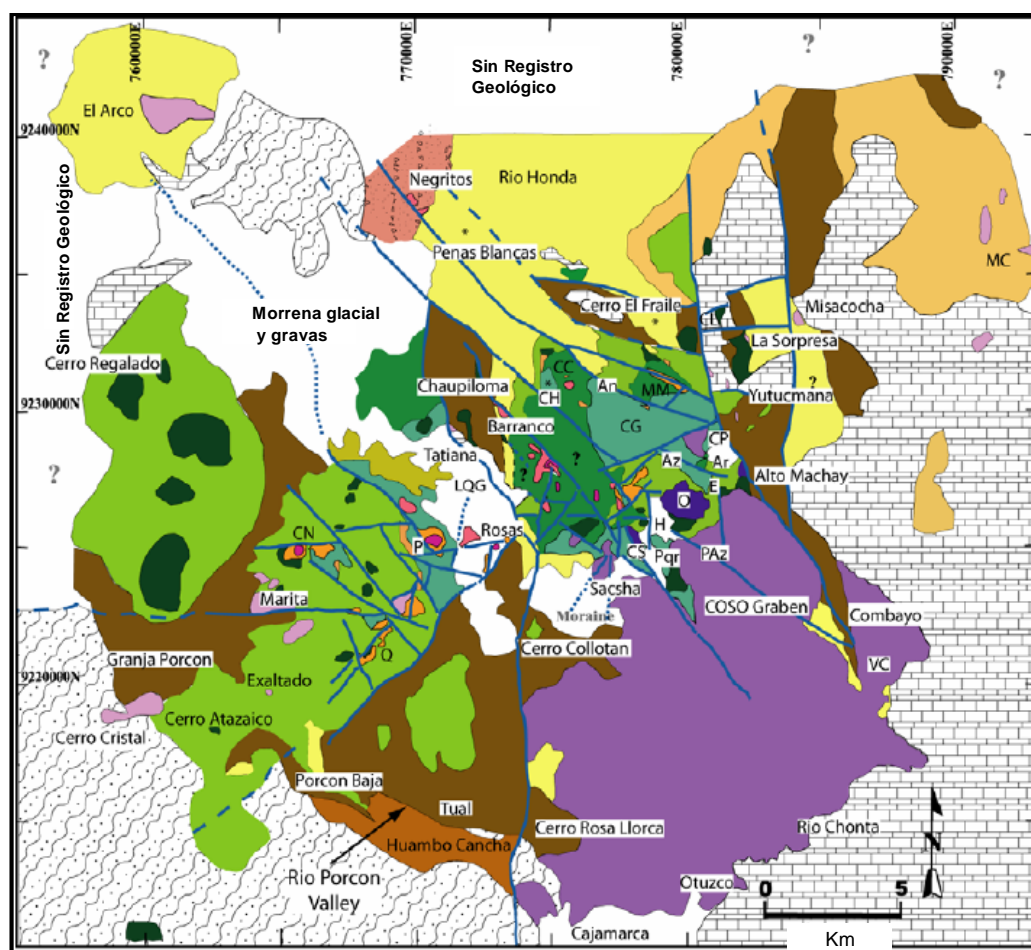
- *Dacita tardía y la Ignimbrita Negritos*

Las rocas piroclásticas y domos dacíticos superiores con hornblenda-biotita de Corimayo-Tapado, los taponés dacíticos con cuarzo porfirítico de Yanacocha, y los diques riodacíticos y domos Chaupiloma-Lago Yanacocha representan la fase magmática final, altamente oxidada, espacialmente y temporalmente asociada con los yacimientos minerales de Yanacocha. El vulcanismo terminó en un evento explosivo final con la erupción de la ignimbrita riolítica Negritos que pudo haber salido desde una fisura cerca de la ubicación de los diques riodacíticos Chaupiloma y Lago Yanacocha (*etapa explosiva 3*).

### 2.2.3 Sedimentos lacustrinos de la cuenca La Quinua

Sedimentos lacustrinos tufáceos afloran en quebradas y cortes de caminos debajo de las gravas de La Quinua al norte y al noreste de la dacita La Quinua (Figura 6). Ellos forman rocas de color blanco a bronceado y marrón, delgadamente estratificadas y laminadas, interestratificadas con turba negra y estratos de pizarras ricas en carbono de más de 10cm de espesor. Algunos de los sedimentos lacustrinos fueron silicificados a sílice opalina y calcedonia similar a las rocas laminadas de Corimayo y Quilish Norte, y limita con la intensa alteración hipógena argílica avanzada del área del proyecto La Pajuela (Aguirre, 1998) al este de la dacita La Quinua (ahora completamente cubierta por la pila de lixiviación La Quinua). Anomalías débiles de Au y Hg están asociadas con la alteración (Aguirre, 1998). El estudio realizado por Longo (2005) sugiere que estas rocas representan sedimentos lacustrinos depositados en un lago poco profundo del Mioceno tardío a Plioceno que estuvo presente durante las erupciones freáticas del domo dacítico Corimayo.

Se hizo una datación usando el método Carbono-14 en una muestra de un fragmento grande de madera encontrado en la base de las gravas de La Quinua encima de los sedimentos lacustrinos. Se reportó una edad >44710 BP y se ha dicho que la muestra ha contenido suficiente Carbono para calcular una edad exacta (Malette, 2001). Si los sedimentos que están debajo las gravas son de una edad del Mioceno tardío a Plioceno, se podría hacer una datación cronoestratigráfica en la microflora de los estratos de turba para determinar una edad.



### Rocas de Yanacocha

- Qg: Gravas y morrena glacial
- Tsj: Ignimbrita San José
- Tupha: Secuencia Volcánica Superior Yanacocha
- Tmmi: Rocas piroclásticas Maqui Maqui
- Tlpha: Secuencia Volcánica Inferior Yanacocha

### Rocas Pre-Yanacocha

- Tmc: Rocas piroclásticas Minas Conga y Peña de León
- Tcdf: Rocas piroclásticas dacíticas Cerro Frailes
- Tlal2: Avalanchas volcánicas andesíticas Chaupiloma
- Tlal1: Avalanchas volcánicas andesíticas Tual
- Tv: Rocas volcánicas andesíticas Pre-Mioceno
- Kq: Cuarcita Cretácica
- Kls: Caliza Cretácica

### Intrusiones y Brechas de Yanacocha

- Ica / Iypq / Icy: Dacita Corimayo, Dacita Yanacocha, Dacita Chaupiloma-Lago Yanacocha
- Tbxh / Tlx: Brecha hidrotermal y rocas laminadas
- Tupha: Upha tardío-Domos dacíticos sji (ignimbrita San José)
- Typ: Pórfido feldespático Yanacocha
- Ted: Dacita temprana
- Tphad: Domos andesíticos Ipha y Upha
- Fallas reconocidas
- Fallas inferidas
- Fallas cubiertas?

Figura 6. Mapa de la geología generalizada del distrito Yanacocha con la ubicación de los yacimientos. La geología se ha obtenido de un registro geológico superficial a escala 1:50,000 hecho por A. Longo. Los yacimientos de oro son: CN Cerro Negro, Q Quilish, P Pabellón, LQG Graben La Quinoa, CS Domo Chaquicocha Sur, O Complejo de Domos Ocucho, Pqr Paquerumi, H Morrena Huacataz, PAz Pozo de Azufre, E Elita, Ar Arnacocha, CP Cerro Pachanes, Az Azufre, An Antonio, CH Cerro Hornamo, CC Cori Cospha, CG Graben Colorado, MM Maqui Maqui, MC Minas Congas, VC Ventanillas de Combayo.

#### *2.2.4 Morrenas glaciares y yacimientos de gravas asociados*

Glaciares del Cenozoico tardío restregaron y reformaron la geomorfología volcánica en el distrito este de Yanacocha, y la actual topografía refleja el terreno glacial con valles en forma de U, numerosas morrenas, y rocas alteradas a sílice masiva pulidas y estriadas cercanas a 4100 metros de elevación (Figuras 7A, y 7B). Los glaciares también pulieron a las cuarcitas del basamento Cretácico en elevaciones más altas hacia el norte por los Cerros Negritos. Las morrenas en el distrito Yanacocha están preservadas por encima de los 3800 metros de elevación y contienen exclusivamente derivados de las rocas volcánicas alteradas de los sistemas ácido-sulfato. Bloques de sílice masiva y de rocas alteradas a cuarzo-alunita son comunes. Los glaciares erosionaron preferentemente las rocas con alteración sílice granular y argílica dejando las montañas con rocas ricas en cuarzo masivo y oqueroso (Longo, 2000). Las morrenas incluyen a Huacataz-Paquerumi, Sacsha, Ocucho Machay, Maqui Maqui, West Yanacocha y las morrenas con bloques de cuarcita del Distrito Lago al norte del distrito Yanacocha (Figura 6). El distrito oeste esta por debajo de los 3800 metros y no muestra las clásicas características erosivas de la glaciación del Cenozoico tardío. La geomorfología volcánica original esta preservada en áreas tales como la del Cerro Atazaico (Figura 6) y grandes depósitos de gravas con espesores de 100 a 200 metros llenaron las cuencas tectónico-topográficas como La Quinoa. Estas gravas representan depósitos trenzados (derivados del derretimiento de glaciares desde mayores elevaciones) que están preservadas en pequeñas cuencas como La Quinoa. Se observan delgados remanentes de gravas de río glacial aislados alrededor del distrito oeste, siendo el mas grande de ellos, el yacimiento de gravas La Quinoa que hospeda +10 millones de onzas de oro aluvial (Mallette et al., 2004) erosionados de los yacimientos de los Cerro Yanacocha.



Figura 7. A. Rocas alteradas a sílice masiva pulidas y estriadas por el hielo. B. Morrena terminal consecutiva al Cerro Paquerumi mirando al oeste desde el Cerro Chaquicocha (Longo, 2005).

### **CAPITULO 3**

#### **GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO FLUVIOGLACIAR LA QUINUA**

El yacimiento fluvio-glaciar La Quinoa está ubicado en la zona oeste del distrito Yanacocha, inmediatamente al oeste y ladera abajo de los yacimientos de oro Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste (Figura 2). Las gravas que cayeron de las partes altas de Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste fueron transportadas ladera abajo y llenaron dos cuencas deposicionales separadas por la divisoria continental andina de rumbo aproximado este-oeste. Al sur de la divisoria continental, en la cuenca La Quinoa, las gravas llegan hasta 320m de espesor. Esta secuencia de sedimentos clásticos gruesos portadores de oro hospeda a los yacimientos La Quinoa Central y La Quinoa Sur. La cuenca La Pajuela ocurre inmediatamente al norte de la divisoria continental donde las gravas llegan hasta 350m de espesor. Las gravas portadoras de oro de leyes económicas marginales están localizadas en las unidades estratigráficas mas altas; esta unidades hospedan el yacimiento La Quinoa Norte.

Las cuencas La Quinoa y La Pajuela están limitadas en su lado noreste por la falla La Quinoa de rumbo noroeste (Figura 8). La tectónica parece haber sido episódica y ha continuado hasta los tiempos recientes. La falla La Quinoa está marcada por una escarpa de 1 a 3m en la topografía actual. La escarpa está desarrollada en las gravas y en el basamento, indicando un desplazamiento reciente. El alto El Tapado, de rumbo noroeste, es un rasgo positivo del basamento que biseca



la cuenca La Quinoa. Este rasgo junto con las fallas de basamento de rumbos noroeste y noreste, interpretadas de los datos de perforación, disecan y separan la cuenca mayor en cuencas internas menores (Figura 9B).

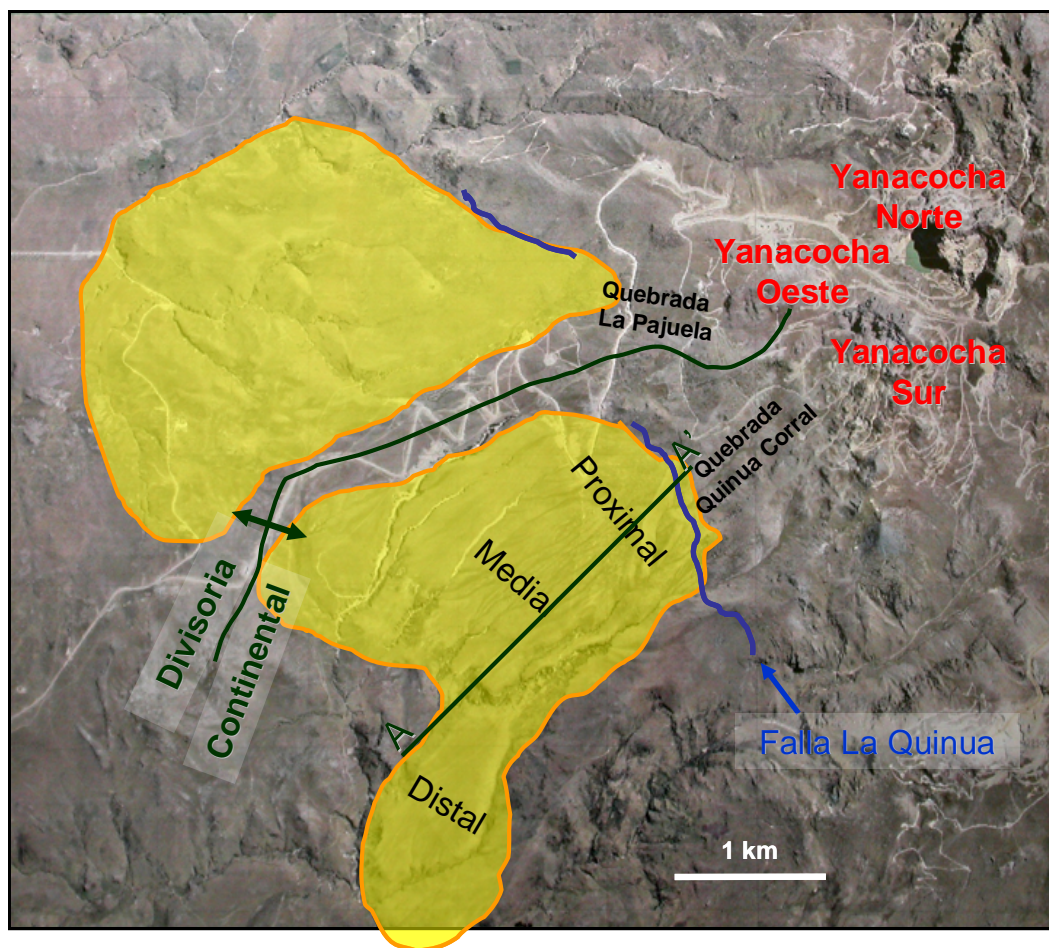


Figura 8. Yacimiento fluvio-glaciar La Quinoa pintado de color amarillo, al oeste del yacimiento hidrotermal Yanacocha (Malette, 2002)

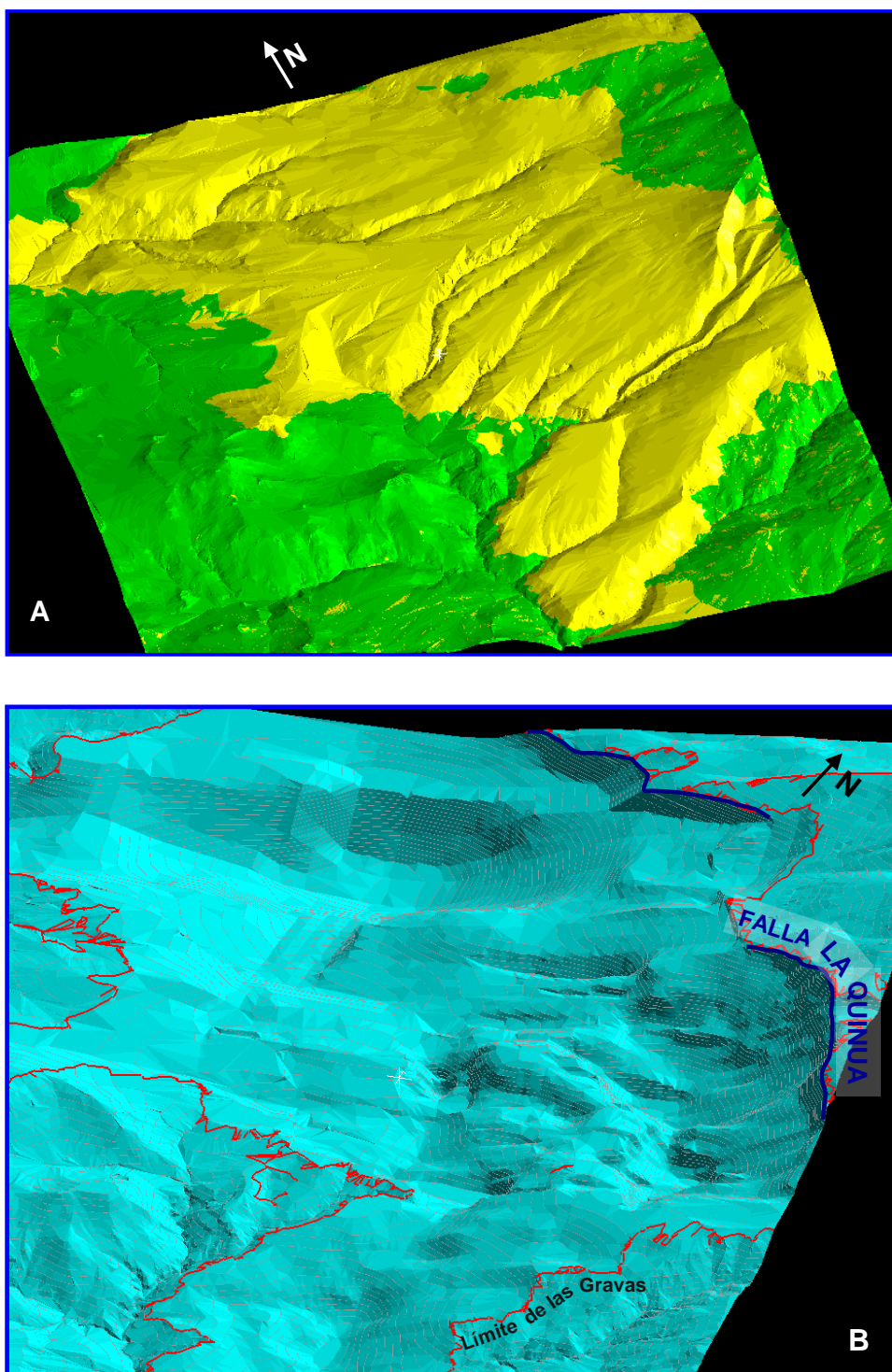


Figura 9. A Yacimiento fluvio-glacial La Quinua (de color amarillo). B. Topografía del basamento debajo de las gravas de La Quinua, se obtuvo mediante la identificación del contacto entre las gravas y el basamento en los taladros de perforación.

Los sedimentos silíceos gruesos que comprenden La Quinoa Central y Sur fueron derivados de las áreas de Yanacocha Sur y/o Yanacocha Oeste y fueron distribuidos principalmente desde una fuente puntual ubicada en o cerca de la actual Quebrada Quinoa Corral. Los sedimentos de la cuenca La Pajuela, que hospedan a La Quinoa Norte, tuvieron su origen en el área de Yanacocha Oeste y fueron transportados principalmente a lo largo de una ruta que coincide con la actual Quebrada La Pajuela. Las gravas de La Quinoa Central y Sur muestran una morfología de abanico deformado; el yacimiento es romboédrico como resultado de las fallas que limitan la cuenca y es ampliamente de bajo ángulo. La Quinoa Norte muestra una morfología clásica en forma de abanico.

La morfología y las facies litológicas del yacimiento indican una depositación en un marco periglacial alpino. Estrías glaciares se observan en el basamento expuesto cerca de Yanacocha Sur y un pequeño circo glaciar se encuentra en la cabecera de la Quebrada Quinoa Corral. Los procesos glaciares alpinos influenciaron en la producción de sedimentos y también pueden haber jugado un rol en el transporte de los sedimentos; algunas veces, la depositación puede haber ocurrido en un ambiente de abanico periglacial. El transporte y la depositación de los sedimentos en las regiones proximales de los abanicos La Quinoa fueron el resultado de flujos de escombros episódicos y posiblemente catastróficos, resultando en depósitos caóticos no clasificados, no graduados, y pobremente estratificados ([Figura 10A](#)).

Las grandes cantidades de sedimentos que entraron al abanico proximal pudieron haber sobrepasado las laderas durante su transporte mientras que la saturación de los mismos sedimentos pudieron haber permitido la formación de fallas en la ladera que estos sedimentos formaban desplomándose hacia abajo como flujos de escombros. Dentro de las gravas de la facies proximal se observa algunos bloques que están bien redondeados con superficies pulidas y estriadas ([Figura 10B](#)), que parecen ser el producto de procesos glaciares y/o procesos de caída durante el transporte dentro de flujos de lodo viscoso y subsecuente arrastre.

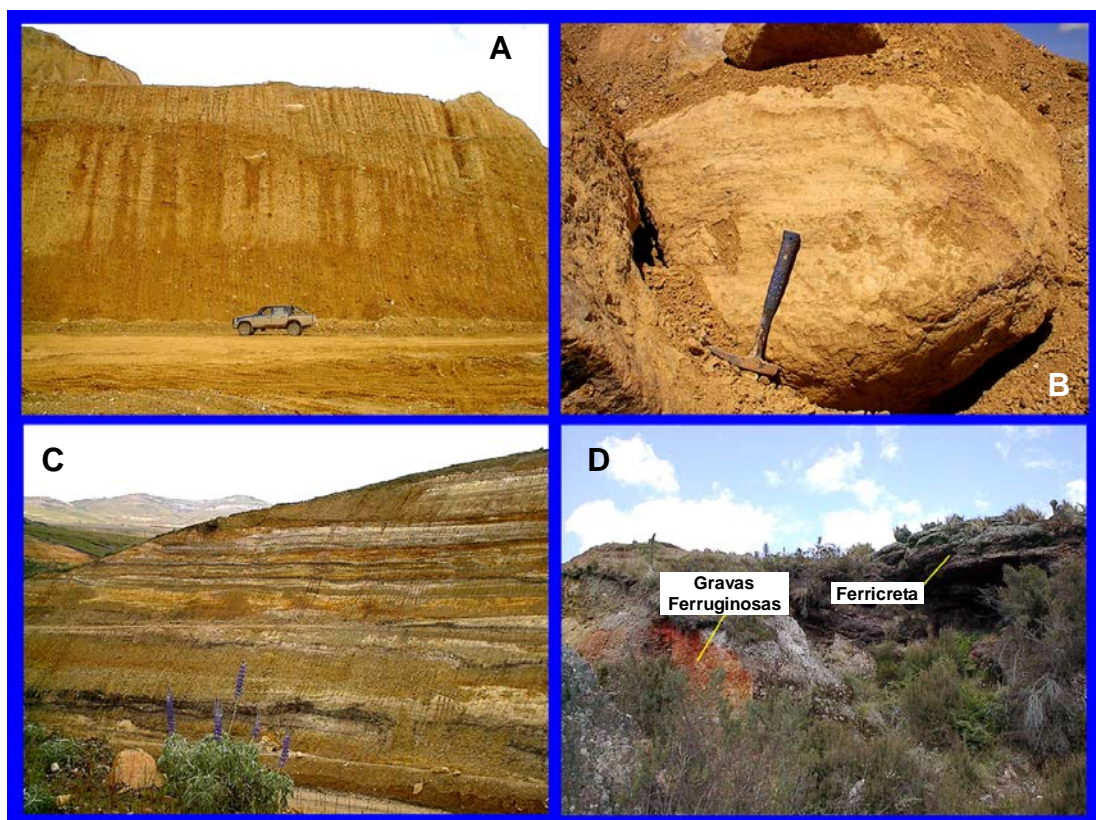


Figura 10. A. Pared en La Quinoa Central; facies proximal; Gravas de la Secuencia Superior. Note los dos grandes bloques arriba de la camioneta y la débilmente desarrollada estratificación buzando suavemente hacia la derecha. B. Bloque redondeado de la facies proximal facies de La Quinoa Central. Note las superficies pulidas con estrías. C. Corte de un camino entre La Quinoa Central y La Quinoa Sur; facies distal. Gravas, arenas, limo-arcillas y horizontes de material orgánica (negro) intercaladas. El corte del camino es de 8 metros de altura aproximadamente. D. Gravas ferruginosas inconsolidadas y salientes endurecidos de ferricreta expuestas en la Quebrada Shingo, margen suroeste de La Quinoa Central. El saliente de ferricreta es de 0.75 metros de espesor (Mallette y otros, 2004)

Una pequeña separación de fragmentos y re-trabajo tuvo lugar en la facies proximal durante o después de la depositación como es indicado por una ausencia general de estructuras de canales, clasificación de tamaños o imbricación de clastos. La clasificación y la estratificación de los sedimentos crece progresivamente ladera hacia abajo dentro de las partes distales de los abanicos acompañadas de un decrecimiento del tamaño de las partículas (Figura 10C). Estos patrones reflejan la influencia progresivamente mayor de los procesos aluviales en los ambientes de los abanicos distales.

### **3.1 Historia del descubrimiento del yacimiento La Quinua**

El equipo de Exploración de Yanacocha descubrió La Quinua en 1997. En 1996 se reconoció una falla principal, separando las montañas que hospedan los yacimientos Yanacocha Sur y Oeste en el lado este, de una cuenca grande al oeste. Se planteó la hipótesis de que la mineralización podía estar presente en el basamento debajo de las gravas que llenaban la cuenca, y se planeó un programa de perforación de cuatro taladros para probar el modelo. Los cuatro taladros fueron perforados a fines de 1996. Debido a los problemas encontrados durante la perforación a través de las gravas no consolidadas de la cuenca, solo dos de los taladros alcanzaron el basamento. Los resultados de los análisis fueron recibidos a comienzos de 1997. Una mineralización de oro insignificante fue encontrada en el basamento. Sin embargo, algunas concentraciones de ley de oro fueron identificadas en casi todas las muestras recolectadas de las gravas.

Los resultados fueron recibidos con ‘cauteloso entusiasmo’ porque la calidad de la muestra era pobre debido a los diversos problemas que se encontraron durante la perforación de la grava no consolidada. Se planificó un segundo programa de perforación, y los resultados también fueron positivos esta vez. Después se diseñó un programa de perforación mayor para evaluar el prospecto La Quinua. Para el final del año 1997, 13,493m fueron perforados en 149 taladros.

Para el programa de exploración, recolectar muestras de alta calidad para el análisis de las gravas no consolidadas fue un desafío. Se utilizaron máquinas especiales de perforación que protegieron los pozos durante la perforación, previniendo la contaminación de los taladros, para recolectar las muestras de mejor calidad. Estas máquinas no estaban disponibles en el Perú y fueron traídas desde Bolivia, los Estados Unidos y Australia.

Se excavaron dos grandes canteras (30,000t y 25,000t) para proveer confianza adicional en los resultados de los análisis de las muestras y de material para las pruebas metalúrgicas. Estas canteras permitieron tomar muestras hasta de 26 metros por debajo de la superficie. Los resultados de las comparaciones de los análisis y de las muestras metalúrgicas fueron positivos.

A fines de 1997, se reportó una reserva y un recurso de 3,002,157 onzas, y 3,939,858 onzas respectivamente. En Enero de 1998, el yacimiento fue transferido al grupo de Geología de Mina y Desarrollo para su desarrollo.

## **3.2 Evaluación Geoquímica del yacimiento La Quinua**

### *3.2.1 Muestreo de escorrentía*

Durante el año 1984, la Compañía Cedimin realizó un muestreo de sedimentos de escorrentía en las quebradas del distrito Yanacocha. Toda esta información fue puesta en planos para evaluar la distribución de algunos elementos como Ag, Au, Cu, Hg y As. En la zona de La Quinua los resultados mostraron una zona anómala con valores superiores a los 70ppb, además se observó una relación con el Cu y el Hg.

### *3.2.2 Muestreo de roca*

Dentro del área de La Quinua se evaluaron los resultados de Au que corresponden al muestro geoquímico realizado entre 1994 y 1996, el cual es en realidad un muestreo de afloramientos rocosos en las zonas de Yanacocha Sur, Yanacocha suroeste (Collotán) y Pabellón. Estos muestreos son lineales y se hicieron en diferentes arreglos de mallas: 30 X 30m en rombo, 50 X 20m en rectángulo y 20 X 20m en cuadrado.

En base a la distribución de los resultados del análisis del Au puestos en un plano se observó que en el área de Yanacocha Suroeste (Collotán) se obtuvieron

valores anómalos económicos hasta de 6.23ppm en rocas alteradas a sílice masiva, asimismo se observó una zona que presenta anomalías abiertas en dirección a la falla La Quinua.

### 3.2.3 Muestreo de material no consolidado

Este muestreo se realizó en las gravas del proyecto La Quinua y fueron de diferentes tipos:

- *Muestreo de taludes en accesos*

- Canales diagonales: El procedimiento utilizado fue el siguiente: Se marcan intervalos de 5m de longitud de manera continua a lo largo del acceso. En cada intervalo se hace un canal que cruza todo el talud del acceso cortando al buzamiento de las capas, luego se limpia el canal y se extrae una muestra de 5kg (Figura 11).
- Canales verticales: Tomando en cuenta las sugerencias de O. Lavin (1997) se mejoró el método de muestreo de canales verticales. El procedimiento utilizado se describe a continuación: Se marcan intervalos de 5m de longitud de manera continua a lo largo del acceso. Si cierta estratificación es observada en el talud el canal es vertical, si no se observa la estratificación el canal es perpendicular a la topografía. Por cada intervalo de 5m se hacen tres canales espaciados del siguiente modo: 0.85m, 1.7m, 1.7m y 0.85m, así los canales estarían espaciados de manera equidistante entre todos los intervalos, luego se limpia cada canal y se extraen las muestras de 5kg llenando la bolsa de muestreo de abajo hacia arriba.

- *Muestreo de Quebradas*

El procedimiento utilizado fue: Cada 50m se marcan puntos en las quebradas. En cada punto se hace un canal perpendicular a la estratificación, de unos 2m

de longitud, luego se limpia cada canal y se extraen las muestras de 5kg llenando la bolsa de muestreo de abajo hacia arriba.



Figura 11. Muestreo de Taludes en La Quinua - Canales Diagonales (Trujillo y Bartra, 1997)

- *Muestreo Selectivo*

Estas muestras permiten obtener información de la distribución del Au dentro de algunos horizontes específicos de interés especial. Este muestreo se realizó en taludes de quebradas y afloramientos de las Gravas Ferruginosas. En el caso de las muestras selectivas en quebradas se hizo un canal perpendicular al estrato que se iba a muestrear (Figura 12A).



En el caso de las Gravas Ferruginosas consolidadas (conocida inicialmente como ferricreta) algunas veces se hizo un muestreo de esquirlas, escogiendo los fragmentos que posiblemente podrían tener un contenido significativo de oro, en otros casos se hizo un canal perpendicular al estrato ferruginoso, los estratos superior e inferior a este estrato también se muestrearon (Figura 12B).



Figura 12. Muestreo Selectivo en La Quinua Central.  
 A Canales verticales en los horizontes gruesos y finos.  
 B. Muestreo selectivo en Gravas Ferruginosas.

- *Muestreo de Pozas*

Estas muestras se hicieron en la zona conocida como La Quinua Norte. Las pozas se construyeron con una separación de 50m alineadas en una dirección NS. El procedimiento utilizado fue el siguiente: En el punto de muestreo se construye una poza de 1.5m de largo, 1m de ancho y de 1 a 1.5m de profundidad, hasta conseguir 1m de columna de material no consolidado libre de materia orgánica. Se muestrean las paredes de la poza (solamente en la zona

libre de materia orgánica) con canales verticales hasta conseguir un total de 20 a 25kg de material (Figura 13).



Figura 13. Muestreo en Pozas en La Quinoa Norte.

- *Muestreo en Calicatas*

Se excavaron dos calicatas con la finalidad de observar el cambio vertical y horizontal de la secuencia sedimentaria y la distribución del material, asimismo se hicieron pruebas de densidad y se recolectaron muestras para realizar análisis granulométricos y metalúrgicos.

También se tomaron muestras de canales como parte del programa geoquímico en las paredes de los bancos de las calicatas. Al principio se hicieron canales diagonales en los primeros bancos de la calicata N°1 (Figura 14A), luego se cambió el método a canales verticales por lo cual se volvió a muestrear la calicata N°1 desde un inicio. Para realizar el muestreo en la calicata N°2 se utilizó el método de canales verticales (Figura 14B).

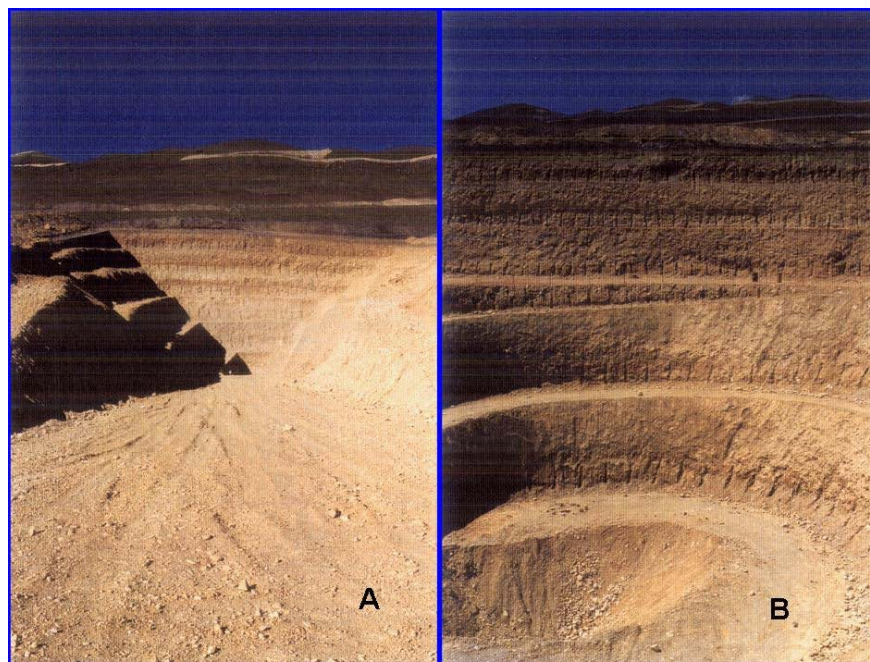


Figura 14. Muestreo en Calicatas. A. Canales verticales en la Calicata N°1. B. Canales verticales en la Calicata N°2.

Los resultados de los análisis de todas las muestras geoquímicas realizadas en el material no consolidado del proyecto La Quinoa se observan en la [Figura 15](#). Ellos nos muestran una baja a moderada anomalía de oro en promedio. Este hecho lleva a suponer que las gravas experimentaron una removilización vertical del oro desde la superficie hacia la profundidad teniendo en cuenta que la zona comprendida entre la base de la Gravas de la Secuencia Inferior y el tope de las Gravas Ferruginosas es la que tiene las mas altas leyes en todo el yacimiento ([Figuras 16 y 23](#)).

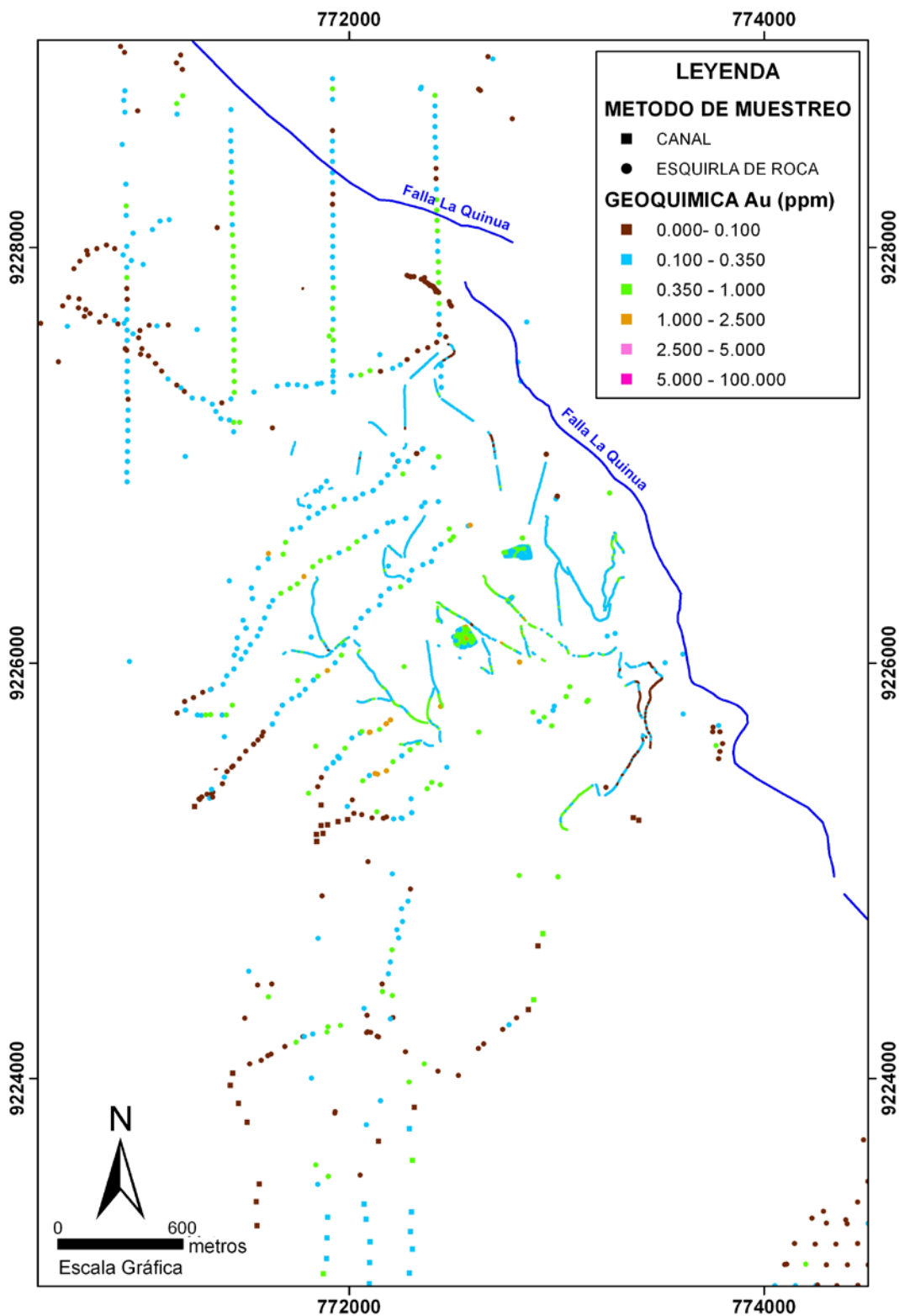


Figura 15. Valores de Au de las muestras geoquímicas en La Quinua

### 3.3 Estratigrafía de La Quinua Central

La sucesión estratigráfica de los sedimentos de La Quinua es tipificada por el yacimiento La Quinua Central (Figura 16). Los sedimentos clásticos como un todo, representan una secuencia deposicional de primer orden. Se reconocieron dos secuencias deposicionales de segundo orden y son referidas aquí como Gravas de la Secuencia Superior y Gravas de la Secuencia Inferior. Ambas resultaron de la rápida producción de sedimentos en las montañas adyacentes y el rápido influjo hacia las cuencas deposicionales en ambientes de relativamente alta energía. Las secuencias de segundo orden deposicional son limitadas por horizontes que reflejan ambientes de baja energía y/o bajo flujo de sedimentos que consisten en (1) regolito basal sobreyaciendo al basamento, (2) depósitos orgánicos y de hierro autigénico separando las Gravas de la Secuencia Superior de las Gravas de la Secuencia Inferior y (3) la superficie de erosión moderna.

#### 3.3.1 Regolito Temprano

Una secuencia discontinua de regolito mayormente monolítico consistente de roca del basamento meteorizado yace inmediatamente sobre el basamento en la base de toda la secuencia de sedimentos. El regolito representa la meteorización inicial y la erosión del basamento de La Quinua, posiblemente antes del comienzo de la actividad tectónica a través de la falla La Quinua. La distribución espacial del regolito fue moderadamente conocida debido a la poca cantidad de taladros de perforación que atravesó el contacto de la base de los sedimentos con el basamento. Sin embargo, en varias ocasiones, el regolito se hace mas grueso junto a altos topográficos del basamento (lo que ha sido observado en el tajo) sugiriendo que estos fueron zonas de relieve topográfico positivo antes que la cuenca fuese llenada por los sedimentos.

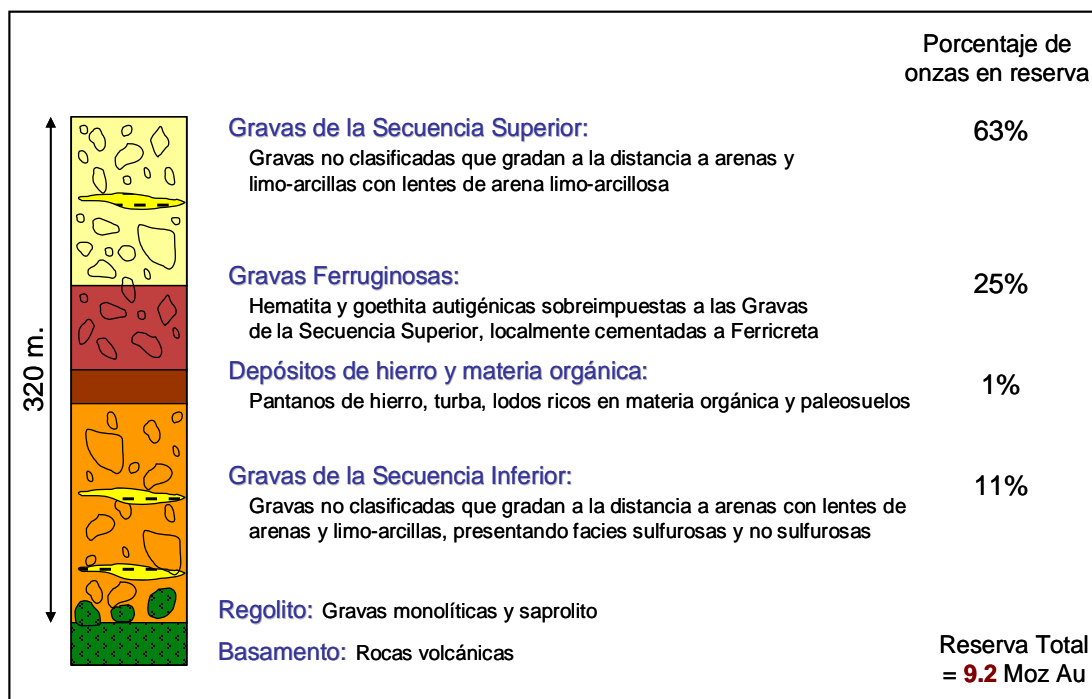


Figura 16.- Columna Estratigráfica de La Quinua Central (Mallette y otros, 2002)

### 3.3.2 Gravass de la Secuencia Inferior

Una secuencia gruesa de sedimentos transportados que sobreyace al Regolito Temprano se depositó directamente sobre las rocas del basamento donde también el regolito está ausente (Figura 16). Los fragmentos gruesos consisten principalmente de rocas volcánicas alteradas a sílice, sílice-alunita y sílice-arcillas. Análisis de Difractometría de Rayos X (XRD) y Fluorescencia de Rayos X (XRF) sugieren una composición similar dentro del lodo de la matriz (Williams y Calderón, 2000). Las Gravass de la Secuencia Inferior llegan a tener un máximo de 220m de espesor en la zona adyacente a la falla La Quinua y se adelgaza a unos pocos metros en el abanico distal. En la facies proximal cerca de la falla La Quinua, las Gravass de la Secuencia Inferior están caracterizadas por gravass del tamaño de guijarros a guijas, con presencia de arenas y lodo, las cuales no están clasificadas y están pobremente estratificadas (terminología de Folk, 1974).

En las facies proximales los sedimentos fueron depositados cerca de la superficie en una cuenca tectónica que estaba subsidiendo, por ello, los sedimentos han sido poco re-trabajados. La clasificación de los sedimentos y la estratificación crece en las facies media y distal donde secuencias inter-estratificadas de gravas del tamaño de guijarros, arena limo-arcillosa y limos son expuestos en las quebradas y son intersecados por los taladros de perforación (Figura 17). Estas características, en combinación con los horizontes limo-arcillosos finamente laminados, la presencia de materia orgánica laminada y diseminada y de estructuras de carga, sugieren una deposición de baja energía en ambientes acuosos poco profundos interrumpidos por periódicos eventos deposicionales de alta energía.

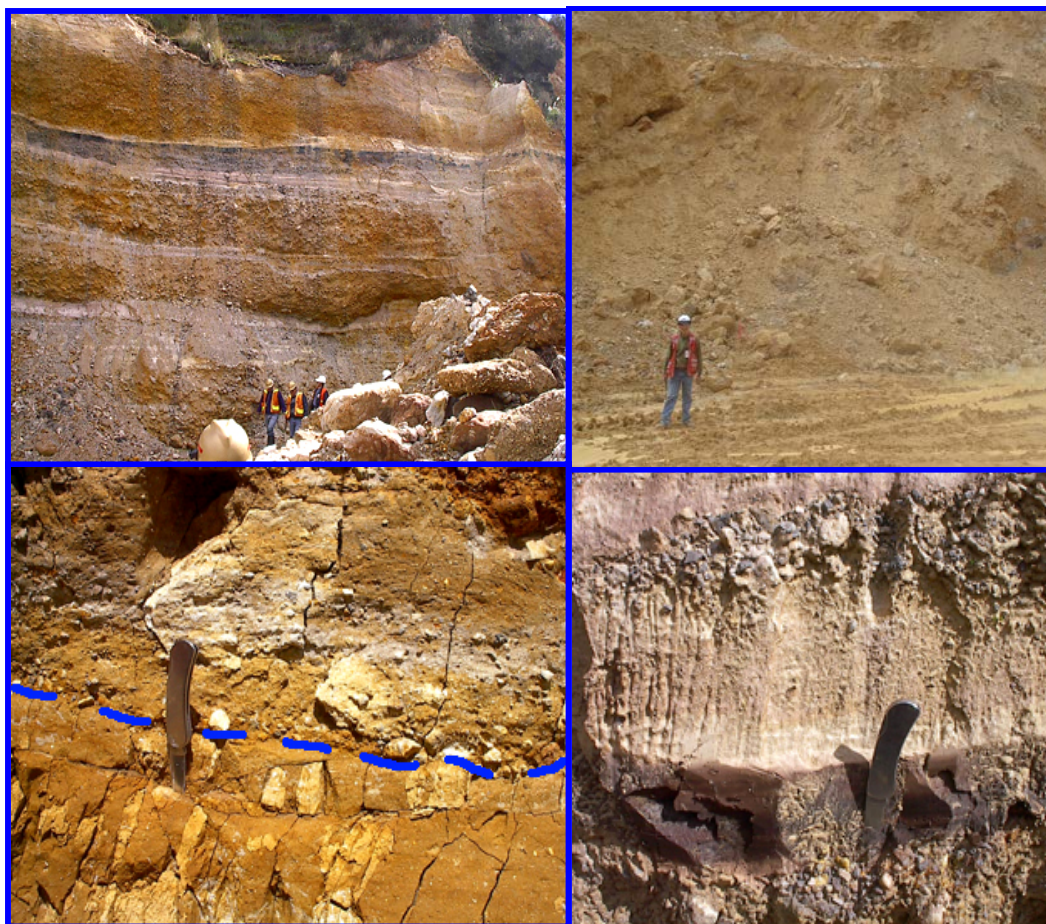


Figura 17.- Gravas de la Secuencia Inferior (Malette, 2002; Rojas, 2009)

Los sedimentos de las Gravas de la Secuencia Inferior son mayormente de color blanco a gris claro; los óxidos de hierro están ausentes o están presentes en una pequeña proporción. En algunas áreas, particularmente en las zonas profundas de la cuenca, sulfuros primarios y autigénicos están presentes. Los sulfuros primarios incluyen pirita, calcopirita, y covelita como granos de mineral dentro de los clastos y como granos sueltos en la matriz de arenas y limos. Los sulfuros autigénicos incluyen pirita, marcasita, y calcocita. (Figura 18). Los sulfuros autigénicos forman diseminaciones dentro de los sedimentos y costras sobre los fragmentos de roca. La calcantita forma costras sobre superficies con sulfuros expuestos y es observada comúnmente en días secos que le siguen a días donde hubo precipitaciones lluviosas.



Figura 18.- Gravas de la Secuencia Inferior - Facies de Sulfuros (Malette, 2002; Rojas, 2009)



### 3.3.3 Depósitos relacionados a un influjo reducido de clastos silíceos

Una secuencia delgada pero lateralmente extensa de depósitos de materia orgánica y de hierro autigénico sobreyace a las Gravas de la Secuencia Inferior (Figura 16).

Los depósitos de lodo ricos en material orgánico, turba y los pantanos de hierro reflejan el equilibrio dentro del ambiente deposicional con el incremento de la cobertura de vegetación y la disminución de clastos silíceos que llegaron a la cuenca. Los horizontes individuales de turba tienen un espesor de más de unos pocos metros, consisten en material de plantas apelmazadas y fueron depositados en ambientes de pantano. Algunos sedimentos ricos en materia orgánica y que son lateralmente continuos pueden representar paleosuelos, similares al horizonte moderno de 1m de espesor que marca la superficie actual de La Quinua. Los paleosuelos marcan límites de secuencias deposicionales de un tercer y cuarto orden (Figura 19).

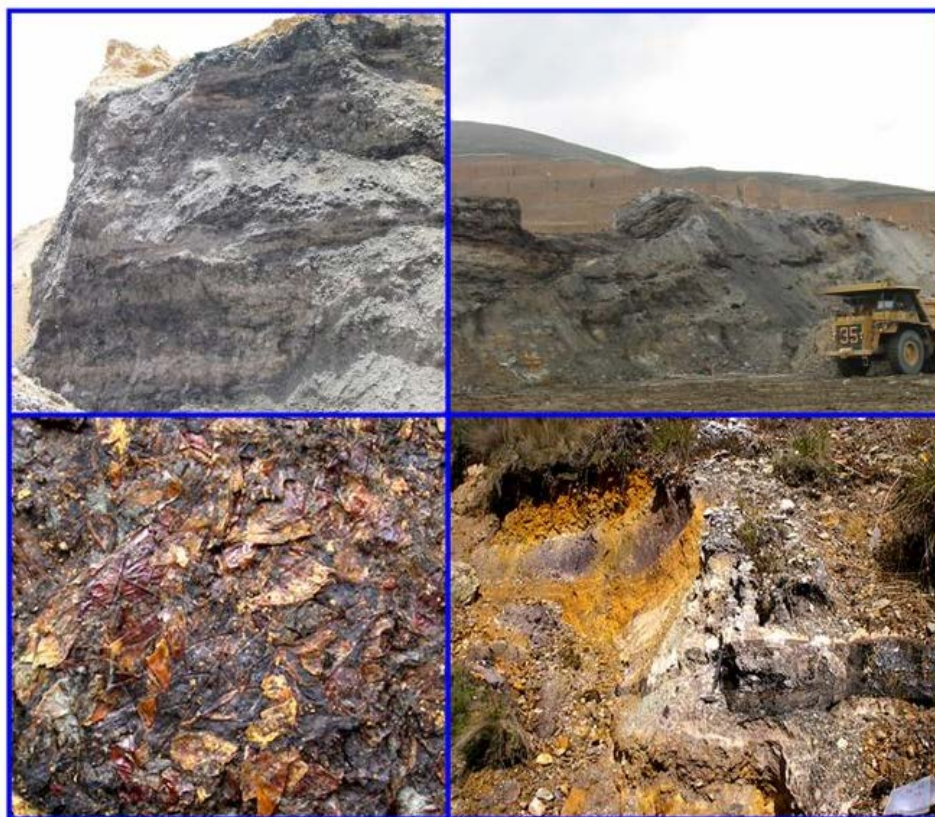


Figura 19.- Depósitos de materia orgánica (Malette, 2002; Rojas, 2009)

Horizontes de limonitas (principalmente goethita) casi pura sobreyacen la materia orgánica y alcanzan un espesor máximo de 30m. La goethita es comúnmente porosa con abundantes moldes de fósiles de plantas. Los delgados depósitos que representan los pantanos de hierro se formaron en o muy cerca de la paleosuperficie en ambientes inundados de agua (Figura 20). Los depósitos de mayor espesor pueden haberse formado como terrazas superficiales sobre manantiales saturados de hierro como sugirieron Williams y Calderón (2000).



Figura 20.- Pantanos de hierro (Mallette, 2002)

#### 3.3.4 Gravas de la Secuencia Superior

Sedimentos de grano grueso sobreyacen inmediatamente a los depósitos de turba y de pantanos de hierro (Figura 16). La secuencia alcanza un espesor máximo de 250m y representa el retorno de las condiciones de alta energía con un gran incremento del influjo de sedimentos de clastos silíceos hacia las cuencas. Las Gravas de la Secuencia Superior consisten principalmente de fragmentos volcánicos alterados a sílice masiva oxidados y limonitizados. Los bancos actuales de la mina

exponen una sección gruesa de sedimentos de gravas de tamaño de guijarros a guijas no clasificadas; ocasionales bloques de 3 a 4m de diámetro flotan en una matriz de gravas, arenas y lodos (Figuras 10B y 21).

Los depósitos de facies proximal van desde no estratificados a débilmente estratificados. La estratificación es manifestada por la débil ferruginización y canales de pequeña escala, y/o depósitos de pie de talud en el tope de las unidades. Los estratos están combados en pliegues paralelos abiertos debido a ajustes tectónicos post-deposicionales del basamento y/o movimientos diferenciales a lo largo de la falla La Quinua. Lentes de arena y limo débilmente gravosos, finamente granulados están inter-estratificados dentro de las Gravas de la Secuencia Superior. Los lentes de grano fino se incrementan en abundancia y eventualmente se juntan hacia la parte baja del abanico para llegar a ser la litología predominante de la facies distal.

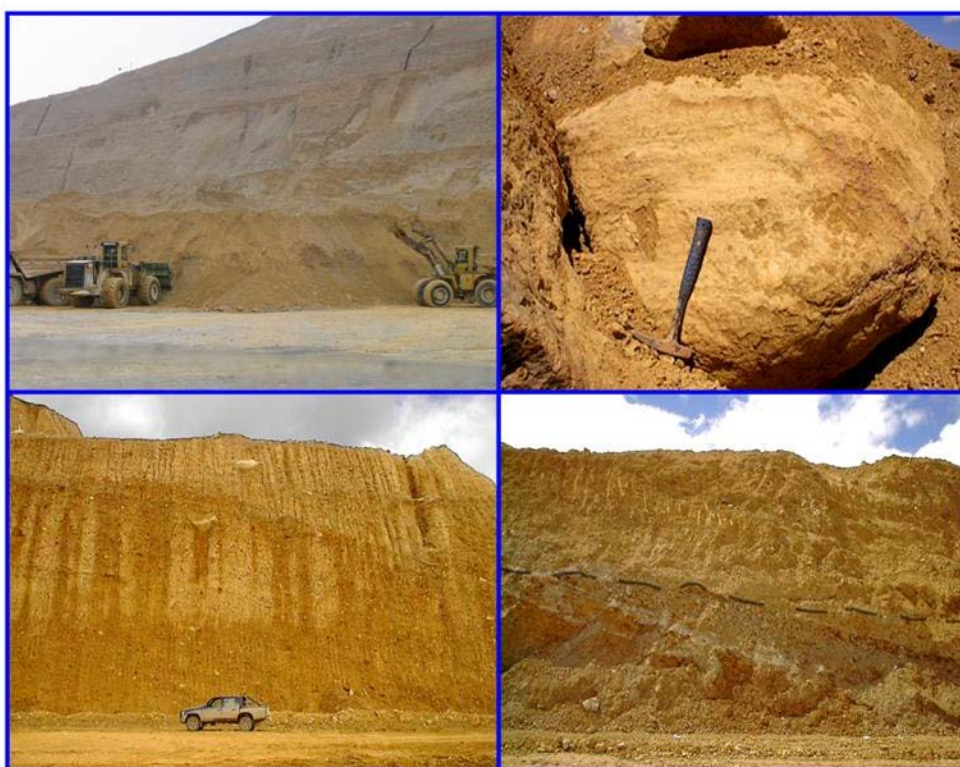


Figura 21.- Gravas de la Secuencia Superior (Mallette, 2002; Rojas, 2009)

### 3.3.5 *Gravas Ferruginosas*

La base de las Gravas de la Secuencia Superior contiene abundante goethita autigénica y hematita terrosa diseminada en el lodo de la matriz y pintando los fragmentos de roca (Figuras 22 y 23). Localmente, los sedimentos están cementados por óxidos de hierro formando la ferricreta (Figuras 10D y 22). Las Gravas Ferruginosas alcanzan un espesor máximo de 90m en la zona adyacente a la falla La Quinua. En una sección, el cuerpo tiene forma de cuña y se adelgaza desde la facies proximal hacia la distal. La forma de cuña puede indicar que la fuente del hierro estaba ladera arriba en las áreas de Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste. Alternativamente, o en combinación con la fuente ladera arriba, la lixiviación de la pila de gravas sobreyacientes pudo haber provisto hierro para la precipitación de goethita y hematita. Una sección de sedimentos de gran espesor, como la desarrollada cerca de la falla La Quinua, podría proveer mas óxido de hierro y minerales que contiene hierro principalmente para la removilización y precipitación del límite redox más abajo. El límite redox moderno dentro de las gravas de La Quinua se aproxima muy de cerca al límite entre las Gravas de la Secuencia Superior y la Gravas de la Secuencia Inferior y con mayor precisión con los depósitos de materia orgánica en la parte baja y con los depósitos ferruginosos arriba (Figura 23). Aguas subterráneas con contenido de hierro que se mueven a través o a lo largo del tope de las Gravas de la Secuencia Superior podrían depositar óxidos de hierro cuando encuentran condiciones oxidantes en la base de las Gravas de la Secuencia Superior.

Hay una total transición desde goethita predominantemente en la base del horizonte de las Gravas Ferruginosas hasta hematita predominantemente hacia el tope. Dentro de esta mayor transición de goethita a hematita existen transiciones de menor escala (1–10m de espesor). Estos ciclos pueden representar posiciones estacionales o de mayor duración del nivel freático donde la goethita se formó en un ambiente saturado o cercano a ser saturado de oxígeno en el nivel freático y la hematita se formó arriba en la zona vadosa. Alternativamente, la hematita pudo haberse formado por la deshidratación de su precursor goethita con un ciclo

estacional o más largo descenso de la tabla de agua. La ferruginización podría haber ocurrido después de la depositación de las Gravas de la Secuencia Superior.

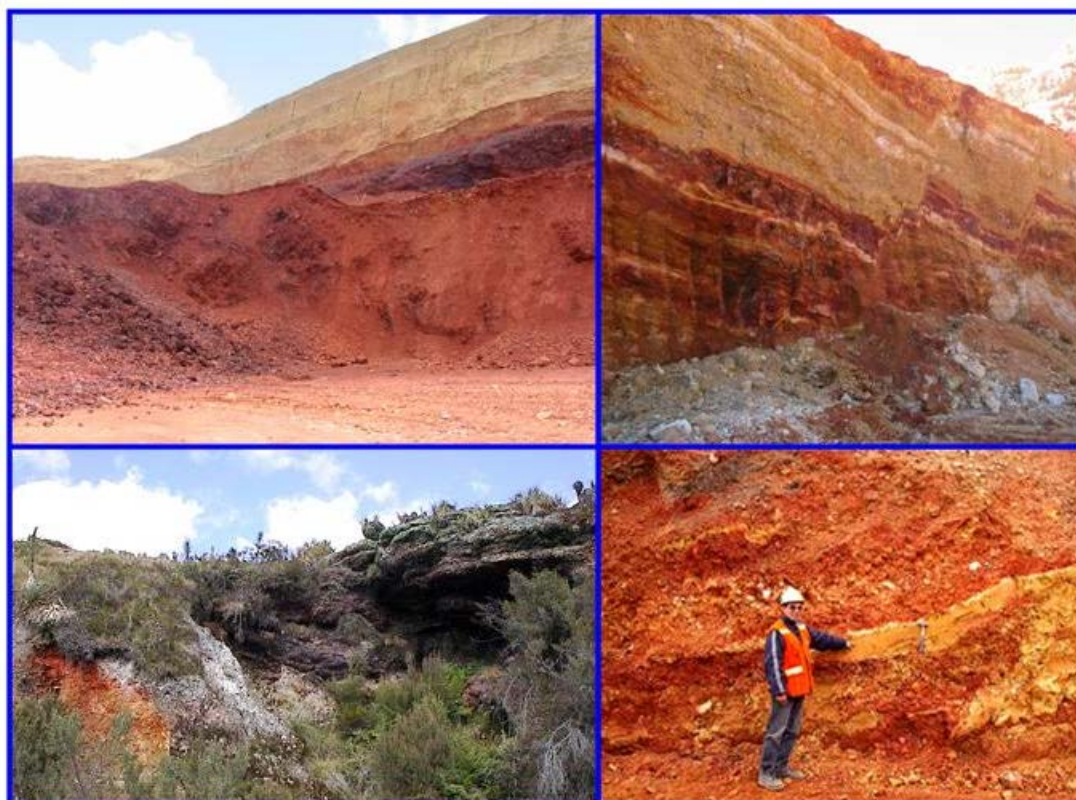


Figura 22.- Gravas Ferruginosas (Malette, 2002; Rojas, 2009)

- *Oxidación de la pirita en el yacimiento Yanacocha Sur*

En las paredes de los bancos del tajo Yanacocha Sur actualmente se observa bastante oxidación, en dichas paredes se nota la presencia casi global de goethita y localmente manchas muy amarillas de jarosita, esta observación muestra la evidencia de que hubo mucha pirita que después fue destruida por la oxidación. Con este pequeño conocimiento geoquímico se concluye que los procesos de oxidación se llevaron a cabo en condiciones muy ácidas debido a la gran cantidad de pirita que estuvo presente.

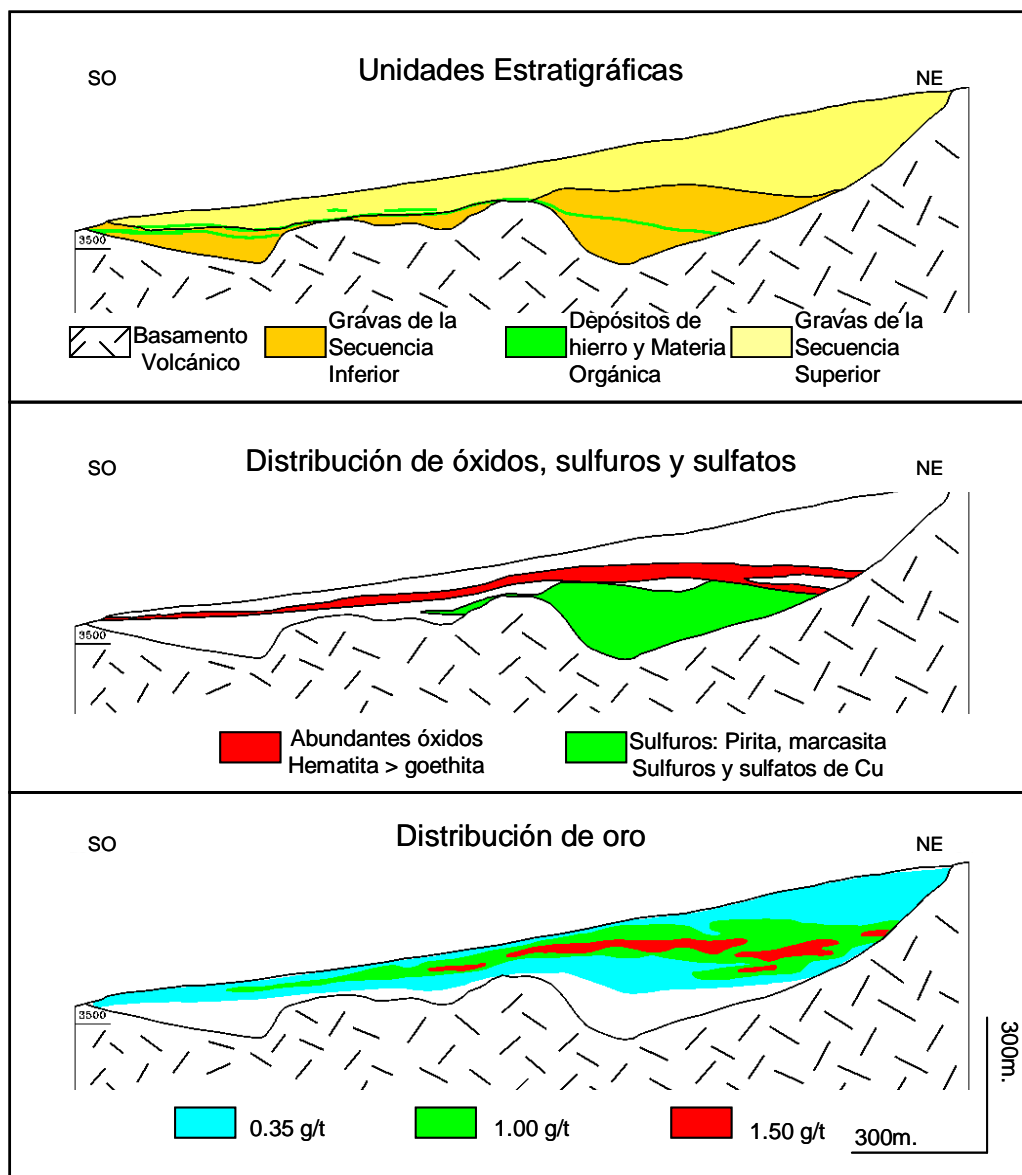


Figura 23.- Sección Noreste-Suroeste (AA' en la Figura 8) a través del yacimiento de oro La Quinua Central mostrando las unidades estratigráficas principales, las zonas de precipitación de óxidos y sulfuros secundarios y la distribución de la ley de oro (Mallette et al., 2002).

Además, la roca no tiene minerales del que se pueda esperar algún tipo de neutralización, no hay feldespatos remanentes y no hay máficos, por lo que la roca solamente sirvió como conducto. La roca no tuvo ninguna reacción con estas soluciones de muy bajo pH, lo que permitió la inundación de la roca con la goethita.

De acuerdo a la mineralogía, que comprende los óxidos de fierro que se observan, la historia geoquímica es una de muy bajo pH y sin ningún tipo de neutralización por parte de la roca encajonante. Tal vez en algún sentido esta sería la capa lixiviada de los sistemas tipo pórfido y si hubieron cantidades importantes de cobre en el sistema se debe encontrar por lo menos algunos minerales de cobre, lo cual ha sido confirmado ya que se han visto trazas de calcocina y covelina, también se ha observado escoradita que se forma debido al ataque ácido en la roca, entonces todos los caminos geoquímicos indican que hubo bastante ácido en la roca y que ésta no reaccionó con estas soluciones. La receta que estuvo presente en el sistema fue: Pirita + agua + oxígeno (W. X. Chávez, 2009).

- *Proceso de formación de las Gravas Ferruginosas en el yacimiento La Quinua*  
Como se ha explicado en el párrafo anterior, en Yanacocha se estuvo liberando hierro ferroso de la oxidación de una enorme cantidad de pirita (siendo el hierro ferroso muy soluble y de fácil transporte). Las aguas enriquecidas con hierro ferroso se filtran hasta las gravas de La Quinua pero no precipitan hierro aún, debido a que requiere una distancia y contactos con el aire determinados para oxidarse y para que la cinética se cumpla para poder precipitar el hierro en La Quinua. Las soluciones eligieron estratos selectivos donde meterse y luego precipitar la carga de hierro. En el principio se formó ferrihidrita pero ésta se deshidrato y formó la hematita.

Una segunda posibilidad es que el hierro de la ferricreta proviene de la misma secuencia de las gravas. Si este fuera el caso, que se haya transportado gran cantidad de hierro en solución entonces se tiene que ver algunos restos de hierro, algún tipo de precipitación, en el camino más o menos vertical dentro de la misma secuencia de las gravas y se debe tener algún tipo de evidencia de la pirita fuente. En cualquier secuencia de las gravas se debería encontrar por lo menos las evidencias indicando que hubo pirita en las gravas que se habría

oxidado, lixiviado y el hierro se habría transportado para luego formar la ferricreta. Se debe buscar evidencia de los minerales o el mineral de la pirita fuente en las gravas si se demostrar que el proceso vertical ocurrió (W. X. Chávez, 2009).

### **3.4. Estudios Geofísicos en el yacimiento La Quinua**

#### *3.4.1 Objetivo del estudio*

Se hicieron mediciones electromagnéticas transitorias (SIROTEM) en La Quinua, con el propósito principal de investigar la profundidad del basamento a través de una gruesa cobertura de morrena muy resistiva, y si es posible definir algunas capas con un contraste de resistividad significativo dentro de la morrena y/o la cobertura aluvial.

#### *3.4.2 Método electromagnético Dominio Tiempo (TDEM)*

Los métodos electromagnéticos transmiten pulsos eléctricos dentro de un circuito de cables dispuesto sobre el terreno. Esta corriente produce un campo magnético primario vertical. Cuando la corriente es rápidamente apagada, interrumpiendo el campo magnético primario, las corrientes son inducidas en el terreno inmediatamente debajo del circuito transmisor que mantiene instantáneamente el campo magnético que existió antes de apagar la corriente. Este sistema de corriente se difunde hacia abajo a una velocidad proporcional a la resistividad de la tierra y sucesivamente produce un campo magnético secundario vertical, el cual al comportarse como un campo distinto de tiempo, induce un voltaje transitorio en la bobina receptora. La magnitud del voltaje resultante es proporcional a la velocidad de cambio del campo primario. La respuesta de decaimiento del campo electromagnético inducido bajo la tierra puede ser medida en la superficie. El valor medido es la velocidad de cambio del campo magnético secundario ( $dH/dt$ ). El receptor registra los voltajes a intervalos de tiempo diferenciados en muchos canales, resultando en una curva de decaimiento del voltaje con el tiempo. En la presencia de cuerpos altamente conductores, la respuesta medida demorara más de lo normal para



decaer debido a la presencia de un campo electromagnético inducido secundario mientras que en la ausencia de tal conductor, este campo secundario decaerá rápidamente. El análisis de sus velocidades de decaimiento particulares es indicativo del tamaño, la forma y la conductividad del cuerpo anómalo y da la distribución de la profundidad de la resistividad en la tierra.

#### *3.4.3 Parámetros de medición*

El SIROTEM 3Mk, activado por dos baterías de 12 voltios, inyecta una corriente en un circuito. Como las mediciones son hechas en el tiempo de apagado, se utilizó un circuito simple para dar energía al terreno y para medir el decaimiento del campo. Se probaron tamaños de circuitos diferentes; 75 X 75m, 100 X 100m, 150 X 150m y 200 X 200m. Finalmente, se concluyó que el circuito más apropiado para esta medición específica fue el circuito de 150 X 150 metros, el mejor arreglo para obtener una buena resolución para las capas poco profundas y las más profundas.

#### *3.4.4 Trabajo de Campo*

Un total de ciento setenta y cuatro (174) sondeos TDEM se hicieron en La Quinua. El estudio terminado consiste de 9 líneas N50°E. La distancia entre las líneas fue de 500m (Figura 24) y el espaciamiento entre los sondeos fue de 150m (en esta figura los conductores son mostrados en azul y los resistores en rojo).

#### *3.4.5 Secciones geoeléctricas-Modelo suave*

Las resistividades a lo largo de las líneas son presentadas como una imagen coloreada de resistividad 2-D (ohm-m) contra la profundidad en metros. Los conductores son mostrados en rojo y los resistores en azul (Figuras 25 y 26).

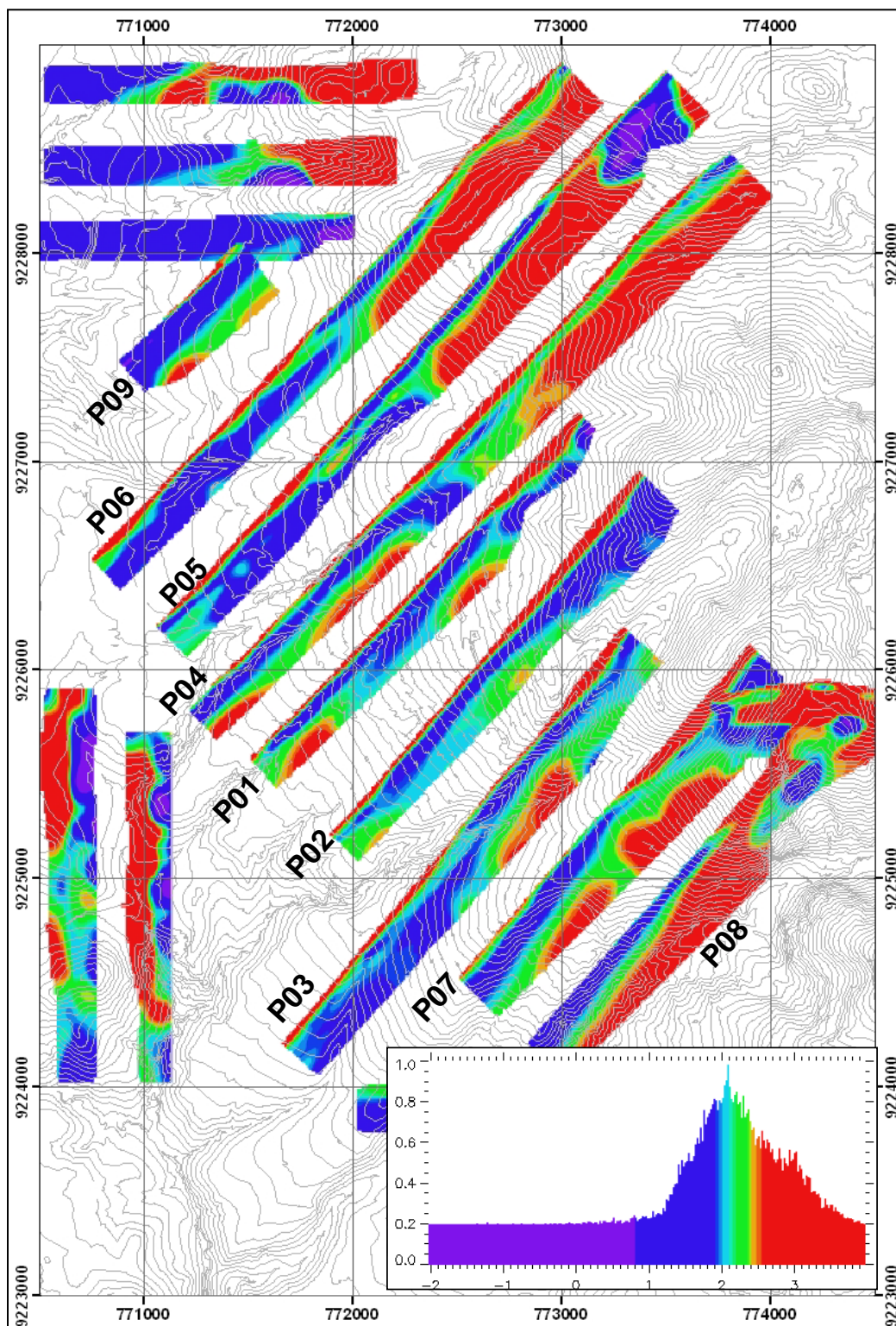


Figura 24. Secciones geoelectricas en La Quinoa.

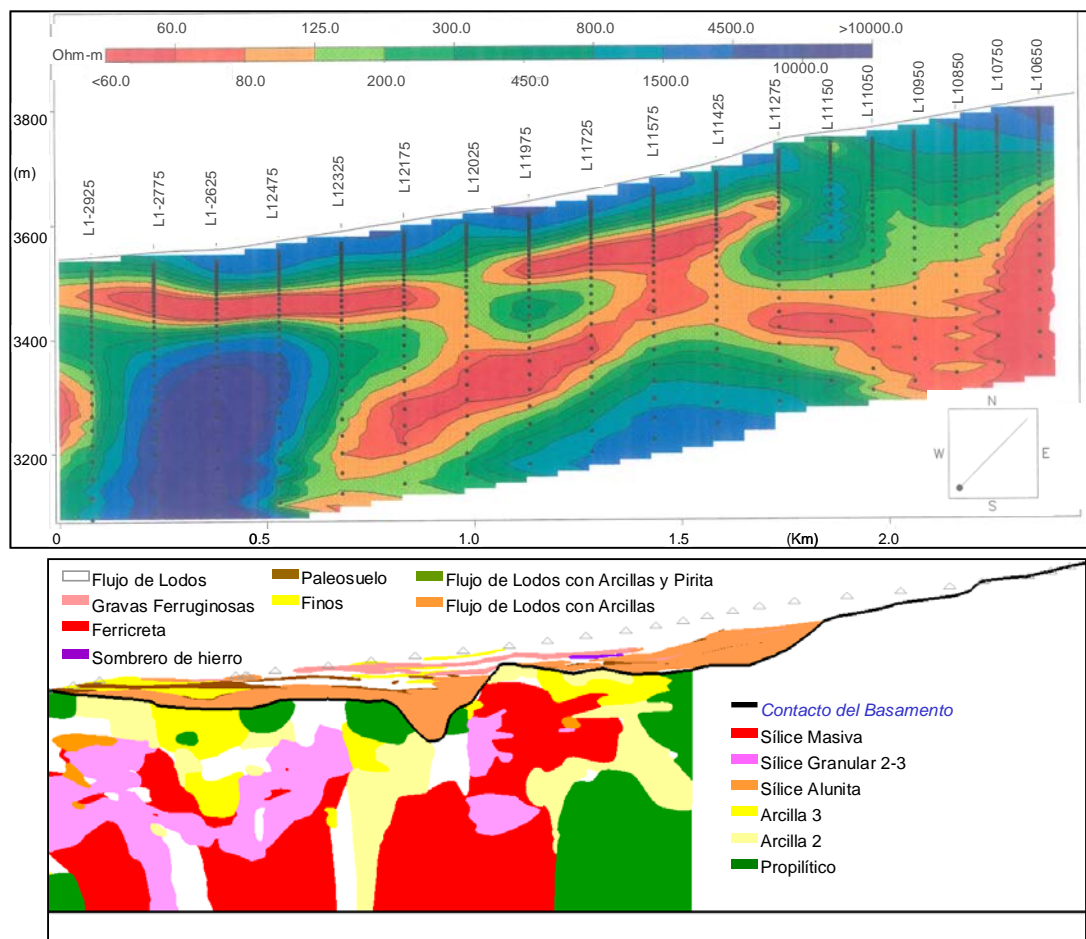


Figura 25. Sección geoelectrica P01 N45°E y geología en La Quinua

### 3.4.6 Interpretación cualitativa

Se pudieron reconocer capas específicas a través de la secuencia geológica que prevalece en La Quinua. Desde los valores resistivos a los conductivos, se pueden agrupar las capas como sigue:

> 2000 Ohm-m: Corresponde principalmente a la morrena de la superficie (Gravas de la Secuencia Superior - con presencia de fragmentos silíceos) en la parte noreste de las líneas 3, 7, y 8. La línea 2 y la línea 1 (Figuras 25 y 26) están todas cubiertas por el mismo tipo de material hasta cierto punto. Otros valores resistivos son observados a una profundidad intermedia (50 a 250m) en

las líneas 4, 5, y 6, en la mitad noreste de las líneas. Mas al sur, la misma unidad parece ‘sumergirse’ a una mayor profundidad. En las líneas 1 (Figura 25) y 4, un domo de alta resistividad sugiere la presencia de una intrusión en la parte suroeste de las líneas. La perforación de este domo de alta resistividad resultó en el descubrimiento del yacimiento de alta sulfuración Corimayo (1999), conocido actualmente como Tapado Oeste.

200 - 800 Ohm-m: Corresponde a la capa superior al lado de la capa altamente resistiva que prevalece en la superficie como es descrito en el párrafo anterior. Sobre la sección, ese rango de valores puede ocurrir en la interfase de las capas resistivas y conductivas.

80 - 200 Ohm-m: Este rango ocurre en la extensión de las capas más conductivas descritas en el párrafo siguiente. Como en la categoría anterior, este es más bien otro rango de valores intermedios. Sin embargo, en las líneas 4, 5 y 6 se observan aquellos valores a profundidades poco profundas en la parte noreste de las líneas.

< 80 O-m: Aquellas capas ocurren en cada una de las líneas, a diferentes profundidades. Tienden a ser consistentes a lo largo de las secciones. Estas capas constituyen horizontes marcadores y generalmente están bien determinadas con sus inversiones. La perforación realizada en los años subsiguientes nos han ayudados a determinar que estas capas corresponden a la Secuencia porfirítica superior Yanacocha descrita en el Capítulo 2 que se encuentra debajo de las Gravas de la Secuencia Inferior y presenta alteraciones propilítica y argílica (Figuras 25 y 26).

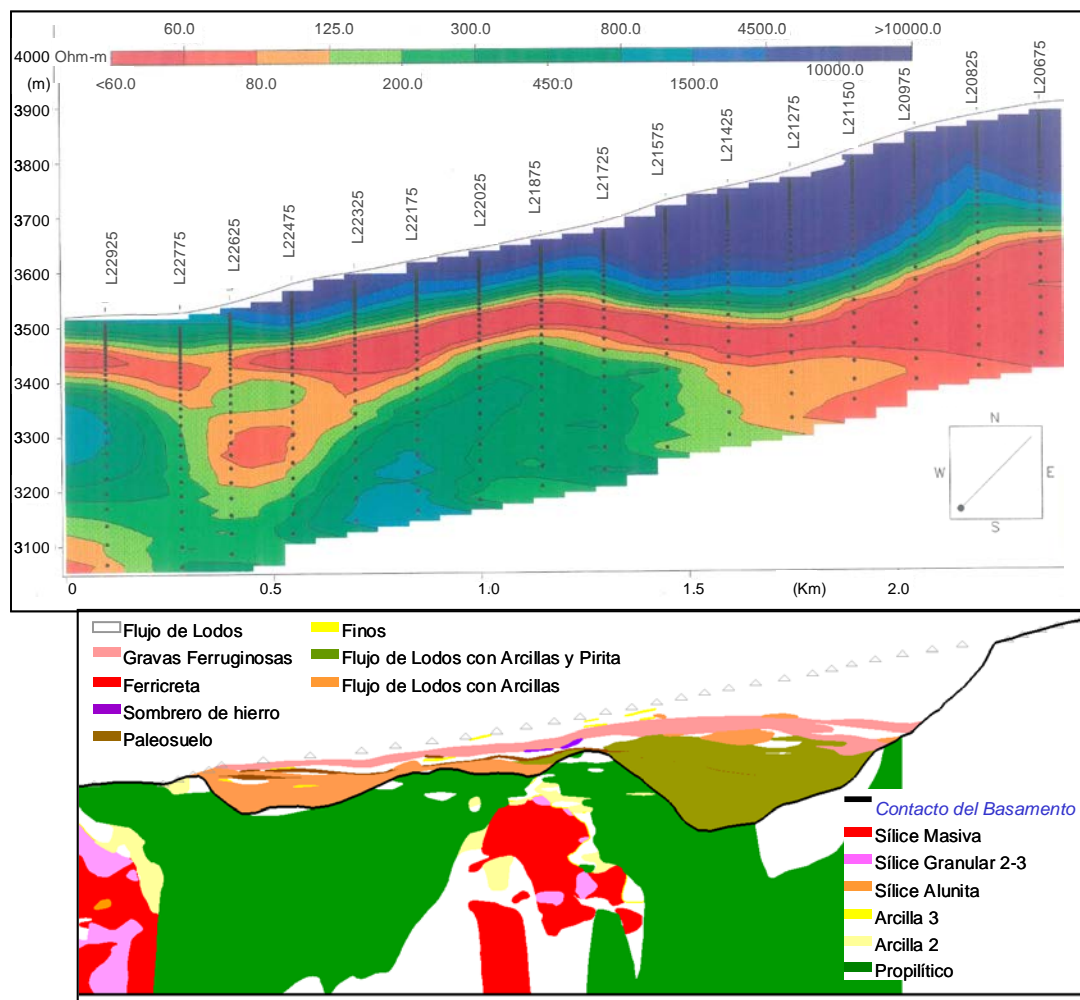


Figura 26. Sección geoelectrica P02 N45°E y geología en La Quinua

Las descripciones de las gravas mostradas en las Figuras 25 y 26 fueron determinadas en el año 1998 (Williams y Calderón), luego fueron modificados por Mallette (2002). La Tabla 1 nos muestra una cercana equivalencia entre ambas clasificaciones.

Tabla 1 - Tipos de Materiales del yacimiento La Quinua

Tipo de Material (Williams y Calderón, 1998)		Tipo de Material (Mallette, 2002)
Flujo de Lodos (con presencia de Finos)	→	Gravas de la Secuencia Superior
Ferricreta	→	Gravas Ferruginosas
Sombrero de hierro	→	Depósitos de hierro y materia orgánica
Paleosuelo	→	
Flujo de Lodos con Arcillas	→	
Flujo de Lodos con Arcillas y Pirita	→	Gravas de la Secuencia Inferior

### 3.5. Mineralización de La Quinua

La Quinua es mayormente un yacimiento de gravas no consolidadas que hospedan oro diseminado derivado de la erosión de los yacimientos epitermales de oro hospedados en rocas volcánicas. El oro es de grano extremadamente fino y está presente principalmente como partículas diseminadas en fragmentos de roca y como partículas liberadas del tamaño de limos hasta arcillas en la matriz de las gravas. Debido a que una gran cantidad del oro parece haber sido transportado físicamente de los yacimientos fuentes adyacentes, se pueden hacer algunas comparaciones con los yacimientos del tipo placer. La Quinua se diferencia de los placeres aluviales debido a que el oro no ocurre localizado en concentraciones, más bien está diseminado con variaciones graduales laterales y verticales de la ley en líneas generales.

#### 3.5.1 Distribución espacial del oro

La distribución vertical y lateral del oro a través de La Quinua Central se muestra en las Figuras 16, 23, y 27. En la vista de planta (Figura 27) la huella de la mineralización de oro es claramente de forma de abanico. Los ápices de los cuerpos de oro de La Quinua Central y La Quinua Norte ladera arriba coinciden cercanamente con las actuales Quebradas La Pajuela y Quinua Corral. En el yacimiento La Quinua Central, las Gravas de la Secuencia Superior y las Gravas Ferruginosas llevan el 88% de toda la reserva de oro (Figuras 16 y 23).

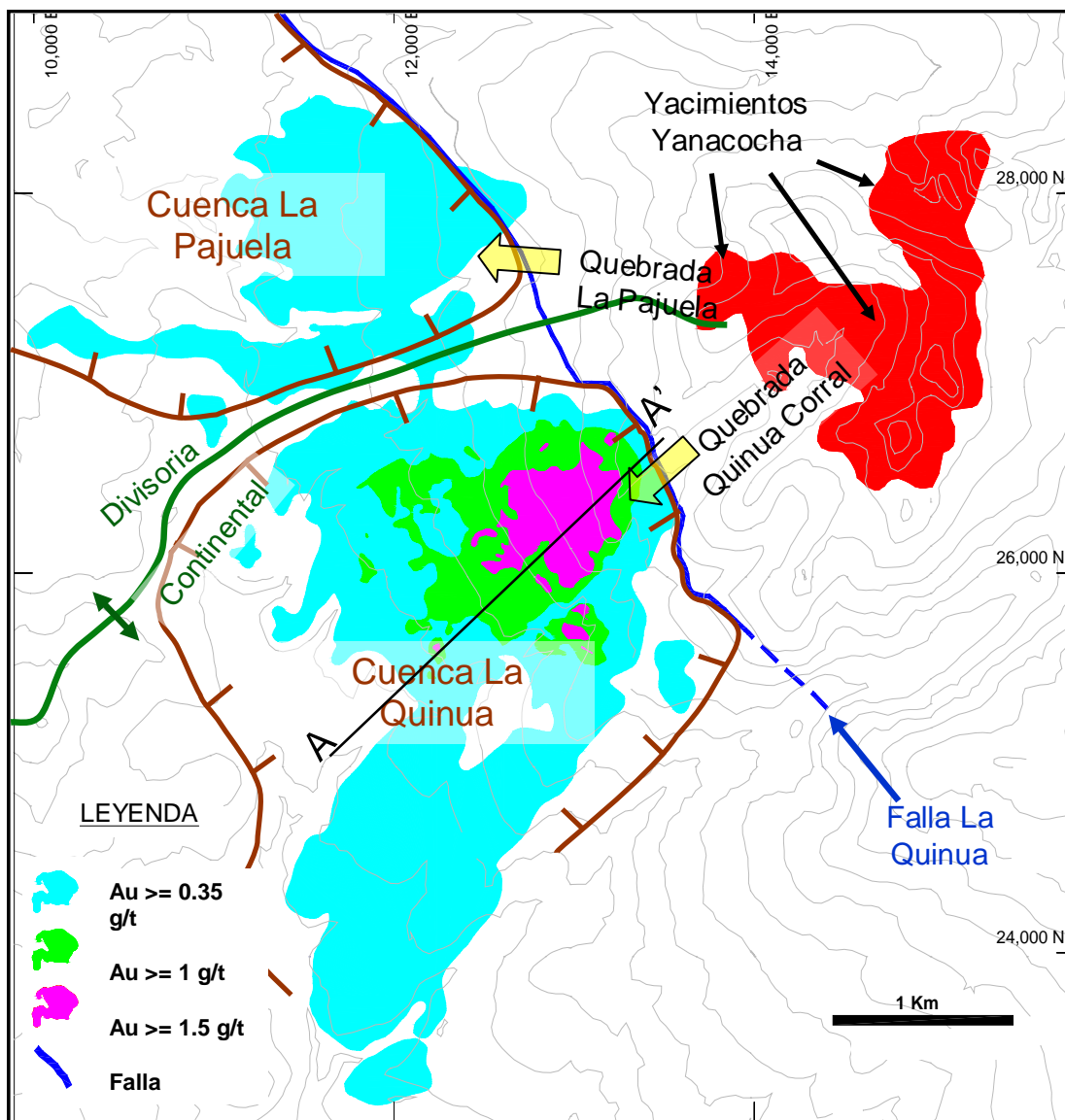


Figura 27. Contornos de leyes de oro de las gravas que rellenan las cuencas La Pajuela y La Quinua. El oro proviene de los yacimientos Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste, estos son mostrados al este de la falla La Quinua. Las rutas principales del transporte de sedimentos y del oro coinciden con las Quebradas La Pajuela y Quinua Corral. La sección en la Figura 23 es mostrada por la línea A-A'

La distribución estratigráfica del oro en los sedimentos de La Quinua es atribuida a la distribución del oro con respecto a las facies de alteración en los yacimientos fuentes. El oro es generalmente más abundante y de más alta ley en las rocas volcánicas alteradas a sílice en Yanacocha Sur y Oeste, lo opuesto ocurre en las rocas alteradas a sílice-alunita y sílice-arcilla. Las Gravas de la Secuencia Inferior

están caracterizadas por clastos alterados a sílice-arcilla y sílice-alunita con moderada presencia de clastos alterados a sílice, mientras que las Gravas de Secuencia Superior están alteradas a sílice predominantemente. Los sedimentos de La Quinua reflejan las facies originales de alteración hidrotermal en los yacimientos fuentes pero en una sucesión vertical invertida.

### 3.5.2 Distribución del oro por tamaño de partícula

Los yacimientos de oro primario hospedados en rocas volcánicas en Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste se caracterizan por la presencia de oro de un tamaño del orden de los micrones, diseminado y controlado por fracturas (Turner, 1997; Harvey et al., 1999; Teal et al., 2002; y Loayza, 2002, [Figura 28](#)).

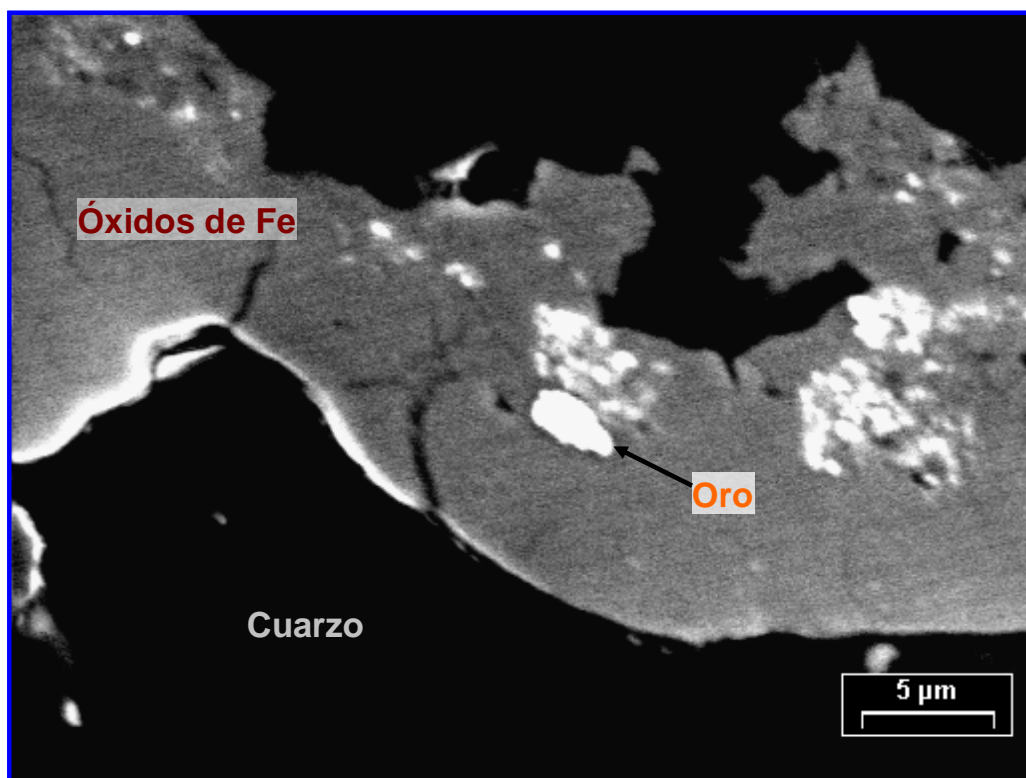


Figura 28.- Imagen en el microscopio electrónico mostrando un grano de oro libre dentro de óxidos de Fe. Las áreas de color negro alrededor de los óxidos de Fe son cristales de cuarzo. Las otras manchas blancas dentro de los óxidos de Fe son producidas por interferencias (muestra YS-35 456m; Loayza, 2002).



En La Quinoa, el oro ocurre como partículas liberadas en la matriz limo-arcillosa y como disseminaciones dentro de los fragmentos de las gravas. Pruebas de lavado de oro y de tablas Géminis han recuperado partículas de oro del tamaño de la arena de manera ocasional (62–220 $\mu$ m) pero estas son raras.

Pruebas de lixiviación metalúrgica (Columnas de 6 pulgadas) indican una recuperación de oro del 75% aproximadamente para las Gravas de la Secuencia Superior y 60 a 70% para las Gravas de la Secuencia Inferior, con concentraciones estándares de cianuro. Las pruebas de recuperación por lixiviación sugieren que los tamaños de las partículas de oro están predominantemente en el rango de ~10 a 20 $\mu$ m (Larry Todd y César Vidal, comentarios personales, 2002).

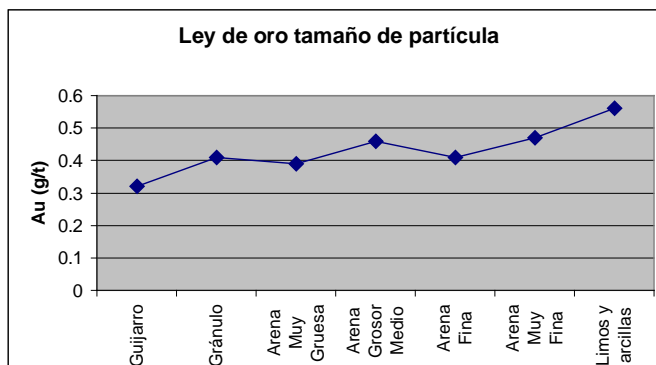
La [Figura 29](#) muestra la distribución del oro dentro de las diferentes clases de tamaño de los sedimentos en las Gravas de la Secuencia Superior de las actuales paredes de la mina. La ley de oro se incrementa típicamente desde las fracciones gruesas hacia las más finas. El contenido total de oro es similar en las gravas y en los limos más las fracciones de arcillas con un menor porcentaje en la fracción de arena. Los resultados mostrados en la [Figura 29](#) están algo sesgados hacia la fracción fina porque las grandes guijas y los bloques son excluidos usualmente de las pruebas de ensayo granulométrico debido a las limitaciones de la recolección y el procesamiento. Muestras de esquirlas de grandes guijas y bloques contienen comúnmente 1.0 g/t de oro.

La distribución del oro mostrada en la [Figura 29](#) se explica por la disgregación mecánica progresiva de los fragmentos mineralizados con oro durante el transporte. En los yacimientos primarios Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste, el oro está disseminado en las rocas volcánicas alteradas a sílice masiva y ocurre asociado a limonitas que rellenan fracturas (Harvey et al., 1999; Teal et al., 2002).

## LQG-016

Ley de cabeza calculada: 0.37 g/t Au

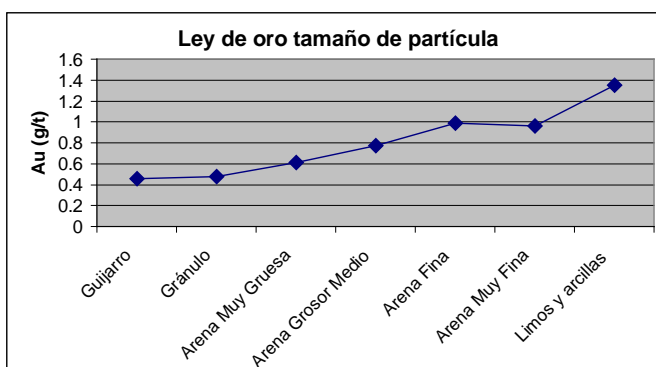
Tipo de Tamaño	Malla	Tamaño (mm.)	Au g/t
Gujarro	+6	> 3.36	0.32
Gránulo	-6 +10	2 - 3.36	0.41
Arena Muy Gruesa	-10 +20	0.84 - 2	0.39
Arena Grosor Medio	-20 +50	0.3 - 0.84	0.46
Arena Fina	-50 +140	0.105 - 0.3	0.41
Arena Muy Fina	-140 +200	0.074 - 0.105	0.47
Limos y arcillas	-200	< 0.074	0.56



## LQG-018

Ley de cabeza calculada: 0.64 g/t Au

Tipo de Tamaño	Malla	Tamaño (mm.)	Au g/t
Gujarro	+6	> 3.36	0.46
Gránulo	-6 +10	2 - 3.36	0.48
Arena Muy Gruesa	-10 +20	0.84 - 2	0.61
Arena Grosor Medio	-20 +50	0.3 - 0.84	0.77
Arena Fina	-50 +140	0.105 - 0.3	0.99
Arena Muy Fina	-140 +200	0.074 - 0.105	0.96
Limos y arcillas	-200	< 0.074	1.35



## LQG-019

Ley de cabeza calculada: 0.79 g/t Au

Tipo de Tamaño	Malla	Tamaño (mm.)	Au g/t
Gujarro	+6	> 3.36	0.66
Gránulo	-6 +10	2 - 3.36	0.53
Arena Muy Gruesa	-10 +20	0.84 - 2	0.55
Arena Grosor Medio	-20 +50	0.3 - 0.84	0.59
Arena Fina	-50 +140	0.105 - 0.3	0.77
Arena Muy Fina	-140 +200	0.074 - 0.105	1.14
Limos y arcillas	-200	< 0.074	1.74

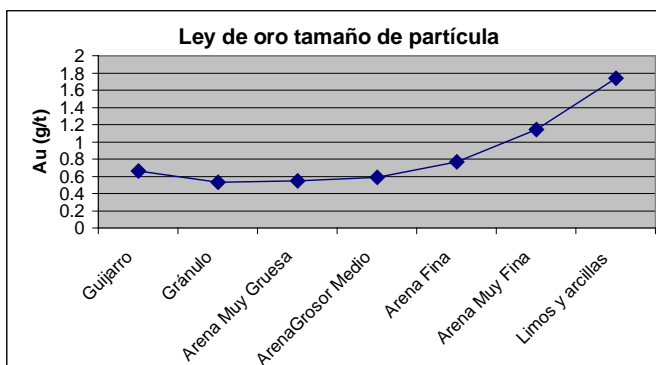


Figura 29. Ley de oro versus tipo de tamaño de partícula para tres muestras típicas de las Gravas de la Secuencia Superior en La Quinua Central.

Como los yacimientos de oro primario fueron erosionados y el material mineralizado fue transportado ladera abajo hacia la cuenca La Quinua, los fragmentos grandes tendieron a romperse a lo largo de fracturas pre-existentes. Por consiguiente, el oro de grano fino y la limonita que ocuparon las fracturas fueron expuestas a la abrasión y fueron liberados en la matriz de lodo. El oro que originalmente estaba alojado en las fracturas fue añadido progresivamente a la

fracción de lodo a medida que el transporte y la fragmentación continuaron. La ley de oro de las partículas del tamaño de la arena refleja que la ley del componente de oro diseminado es menor que el oro relacionado a las fracturas.

### *3.5.3 Fuente y transporte del oro*

El oro de La Quinua fue suministrado desde la zona de los yacimientos Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste y fueron transportados hacia las cuencas La Quinua y La Pajuela como oro diseminado en clastos de mena primaria y como partículas de granos de oro liberado del tamaño de limo a arcilla.

Sin embargo, la presencia de leyes anómalas de oro (>100ppb) en estratos de turba y en horizontes de pantanos de hierro químicamente precipitado sugiere que una porción del oro de La Quinua puede haber sido transportada en solución y reprecipitada en las gravas. El oro en solución puede haber sido derivado localmente de las gravas con contenido de oro o, menos probable, de los yacimientos Yanacocha Sur-Yanacocha Oeste gradiente arriba, o ambos.

Las evidencias que apoyan la solución-reprecipitación del oro incluyen las siguientes: (1) cambios graduales de la ley de oro verticales y laterales a través del yacimiento; (2) leyes de oro más altas asociadas a hierro autigénico en la capa ferruginosa en la base de las Gravas de la Secuencia Superior; (3) concentraciones significativas de oro (>100ppb) en materia orgánica casi pura y en sedimentos precipitados químicamente; y (4) presencia de un horizonte de oro reducido (lixiviado?) en los primeros 6m de gravas en la mayor parte de La Quinua.

La movilización y precipitación del oro en los ambientes cercanos a la superficie, particularmente en lateritas y en placeres químicos relacionados a una meteorización química extrema en ambientes tropicales, esta bien documentada en la

literatura (Boyle, 1987). Mientras no haya evidencia de meteorización química extrema o de condiciones climáticas tropicales en el distrito Yanacocha, algunos estudios se han realizado para investigar el modo de la depositación del oro con un énfasis particular en los sedimentos ferruginosos ricos en oro y sedimentos ricos en materia orgánica.

El transporte y el enriquecimiento del oro pueden haber resultado de procesos mecánicos y de solución-transporte, aunque se piensa que un proceso mecánico fue el dominante. Leyes anómalas de oro ocurren en goethita precipitada químicamente (pantanos de hierro) que contienen poca o ninguna dilución debido a componentes detríticos, una observación que indica que el oro está disponible y es tomado de la solución. Sin embargo, si el oro tomado de la solución hubiera sido el proceso de mineralización dominante, estos sedimentos precipitados químicamente casi puros tendrían leyes de oro más altas que los sedimentos puramente detríticos de las Gravas de la Secuencia Superior.

#### *3.5.4 Estudio del origen del oro alojado en la goethita*

- *Horizontes con anomalías de oro*

Como ha sido mencionado anteriormente, la presencia de leyes anómalas de oro (>100 ppb) en estratos de turba y en horizontes de pantanos de hierro químicamente precipitado sugiere que una porción del oro de La Quinoa puede haber sido transportada en solución y reprecipitada en las gravas.

Asimismo, se hizo notar que las evidencias que apoyan la solución-reprecipitación del oro incluyen las siguientes: (1) cambios graduales de la ley de oro verticales y laterales a través del yacimiento; (2) leyes de oro más altas asociadas a hierro autogénico en la capa ferruginosa en la base de las Gravas de la Secuencia Superior; (3) concentraciones significativas de oro (>100ppb) en

materia orgánica casi pura y en sedimentos precipitados químicamente; y (4) presencia de un horizonte de oro reducido (lixiviado?) en los primeros 6m de gravas en la mayor parte de La Quinua.

- *Estudio del origen del oro*

El autor del presente Informe de Suficiencia realizó un estudio (2006) para investigar si las leyes de oro presentes en algunas muestras de goethita precipitada químicamente, tomadas de núcleos de perforación de La Quinua Central, tendrían su origen en componentes detríticos presentes en las muestras o en una solución que contenía oro.

Se seleccionaron 11 muestras de núcleos de perforación de goethita precipitada químicamente de 18cm de largo en promedio. Un requisito indispensable para seleccionar cada muestra fue que no tuviesen clastos visibles al ojo humano, es decir que cada muestra seleccionada fuera de goethita pura precipitada químicamente. Asimismo, cada muestra corresponde a un intervalo de 2m en promedio, del cual se tenía un análisis previo de oro realizado en el trabajo de rutina en el laboratorio SGS en Lima. Los 11 intervalos de 2m en promedio con sus respectivas leyes se ven en la [Tabla 2](#).

- *Posible origen químico del oro*

Al comparar las leyes de las 11 muestras de 18cm en promedio con aquellas de los intervalos de 2m en promedio se puede hacer las siguientes observaciones:

(1) En dos casos las leyes de las muestras pequeñas fueron mucho mayor que las de los intervalos de 2m. (LQ-340 y LQ-854, 60-62m.), lo que indica que muy localmente se puede tener leyes anómalas de oro en medio de un intervalo mayor de muy baja ley y sugiere el posible origen químico del oro.

(2) En tres casos las leyes de las muestras pequeñas fueron menores que las de los intervalos de 2m. (LQ-890, 16.2-18m.; TAP-016, 80-82m.; LQ-854, 48.15-50m) pero aun eran anómalas lo que indicaría que la variabilidad local de las leyes de oro en estos tres casos no es de consideración y también indicaría un posible origen químico del oro.

(3) En cuatro casos las leyes de las muestras pequeñas fueron mucho menores que las de los intervalos de 2m y por debajo de valores anómalos (LQ-877, LQ-854, 42.6-44m.; TAP-016, 36-42m.; y LQ-890, 39.6-42.6m.) ello indica que muy localmente se puede tener leyes muy por debajo de las anomalías de oro en medio de un intervalo mayor de alta ley y también indicaría un posible origen químico del oro para las zonas de alta ley de dicho intervalo.

(4) En los dos últimos casos las leyes de las muestras pequeñas fueron un poco mayores que las de los intervalos de 2m (LQ-340 y LQ-854, 60-62m) lo que indicaría que la variabilidad local de las leyes de oro en estos dos casos no es de consideración y también indicaría un posible origen químico del oro.

Sin embargo, a pesar de que en las 11 muestras de 18cm no se observó la presencia de componentes detríticos y que sus respectivas leyes sugerirían que el origen del oro presente en la goethita precipitada químicamente sería de una solución es necesario hacer algunas secciones pulidas para que se les aplique un rayo de partículas cargadas para determinar la presencia o ausencia del componente detrítico. Estos estudios confirmarían el origen químico del oro presente en la goethita precipitada químicamente.

Tabla 2. Leyes de oro de los 11 intervalos de 2m en promedio de goethita pura precipitada químicamente con muy escaso componente detrítico versus las leyes de oro de los 11 intervalos de 18cm. en promedio de goethita pura precipitada químicamente sin presencia de componente detrítico visible

Taladro	Tipo de Perforación	De (m.)	A (m.)	Longitud (m.)	SGS	De (m.)	A (m.)	Longitud (cm.)	UNI
					Au (g/t) <sup>(1)</sup>				Au (g/t) <sup>(2)</sup>
LQ-340	Diamantina-PQ	54.3	56	1.7	0.04	55.3	55.4	17.5	0.16
LQ-890	Diamantina-PQ	16.2	18	1.8	0.53	17.6	17.8	21	0.20
LQ-877	Diamantina-PQ	52.65	54	1.35	0.15	53.9	54.1	16.5	0.02
LQ-854	Diamantina-PQ	60	62	2	0.07	60.9	61.0	17.5	0.33
TAP-016	Diamantina-HQ	80	82	2	0.26	80.5	80.7	18	0.20
TAP-016	Diamantina-HQ	70.25	72	1.75	0.19	70.5	70.7	17.5	0.27
LQ-854	Diamantina-PQ	42.6	44	1.4	0.17	43.5	43.7	20.5	0.03
LQ-854	Diamantina-PQ	48.15	50	1.85	0.36	49.1	49.3	23.5	0.16
LQ-891	Diamantina-PQ	55.5	56.35	0.85	0.10	55.9	56.0	14	0.40
TAP-016	Diamantina-HQ	36	42	6	0.21	38.6	38.9	26	0.02
LQ-890	Diamantina-PQ	39.6	42.6	3	0.10	40.4	40.5	11	0.07

<sup>(1)</sup> Se analizó la mitad del núcleo de perforación

<sup>(2)</sup> Se analizó un cuarto del núcleo de perforación

### 3.6 Perforación, muestreo y calidad de la muestra

#### 3.6.1 Tipos de perforación y orientación

La base de datos de La Quinua consiste de 2,086 taladros de perforación sumando un total de 398,389.31 metros. La [Tabla 3](#) muestra el número de metros perforados por tipo de perforación. Esta tabla incluye todos los taladros perforados dentro del área conocida como Complejo La Quinua que es aproximadamente igual al área de la [Figura 27](#). Los principales proyectos del área son La Quinua Central, Tapado y Tapado Oeste (hidrotermales), La Quinua Sur y La Quinua Norte.

Los taladros de perforación generalmente son planificados para interceptar la mineralización. En el yacimiento La Quinua, la variación de la ley de oro es gradual de manera horizontal y ligeramente mayor de manera vertical; por lo tanto, casi la totalidad de los taladros han sido perforados con una orientación vertical. La recuperación de los núcleos de perforación es mayor que el 90% en los sedimentos de La Quinua.

Tabla 3 – Resumen de la base de datos de los taladros de perforación de la zona conocida como Complejo La Quinua

N° TALADROS						
Núcleo	SM_Detritos_Núcleo	Detritos	Núcleo_Vibración	SM	NN	TOTAL
851	236	970	27	1	1	2,086

N° METROS						
Núcleo	SM_Detritos_Núcleo	Detritos	Núcleo_Vibración	SM	NN	TOTAL
190,750.14	85,239.12	120,518.15	1,532.90	203.00	146.00	398,389.31

N° METROS_DETritos_TIPO DE DIAMETRO							
Con Tubo	Martillo_Corto	Martillo	MR	CR	CR (B)	SM	NN
46,925.90	3,814.70	58,700.05	3,031.20	2,036.00	15,864.50	7,824.40	1,882.00

N° METROS_NUCLEO_TIPO DE DIAMETRO				
HQ	NQ	PQ	SM	NN
137,078.74	2,033.25	52,202.10	17,014.40	35,643.82

N° METROS_TOTAL	
SM	
	12,659.35

SM: SIN MUESTRA  
 NN: DESCONOCIDO  
 CR: CIRCULACION REVERSA

### 3.6.2 Procedimientos de muestreo y calidad de la muestra

Las muestras geológicas utilizadas para el modelamiento de los recursos y reservas se originaron de una combinación de perforaciones del tipo circulación reversa convencional (RC), RC-Con tubo, Martillo Corto, Martillo Largo, perforaciones diamantinas de diámetro HQ (2.4') y PQ (3.3'), y perforaciones tipo Sonic (vibración).

Las muestras obtenidas de las perforaciones del tipo circulación reversa convencional (RC), RC-Con tubo, Martillo Corto, Martillo Largo fueron recolectadas y procesadas de manera similar en las máquinas de perforación. El agua es inyectada en el pozo durante la perforación y la muestra triturada es sacada del pozo como un



lodo. El lodo es pasado a través de un ciclón rotatorio dividido para dividir la muestra en un tamaño menor (2-5kg). Las muestras fueron recolectadas en intervalos de cada 2 metros. Las muestras húmedas fueron secadas en el horno, luego fueron chancadas y pulverizadas para producir una pulpa, la cual fue analizada en un laboratorio comercial certificado fuera de las instalaciones de la mina.

Las muestras de núcleos de perforación diamantina y de perforación tipo Sonic (vibración) se recolectan y son colocadas en cajas en la plataforma de perforación. Luego son transportadas a un almacén temporal donde se realiza el registro geológico y a veces geotécnico. Asimismo, cada 4m se toma una muestra de 20cm para el cálculo de la densidad. Estas muestras son analizadas en el laboratorio de Yanacocha. Luego de hacer el registro geológico los núcleos de perforación son fotografiados y luego son divididos por la mitad. Una mitad es utilizada para el análisis de elementos, la otra mitad es guardada en un almacén para futuras revisiones y re-análisis. Algunas veces los núcleos de perforación se utilizan completamente para análisis metalúrgicos, en estas instancias, el intervalo completo es utilizado.

### *3.6.3 Métodos analíticos*

Para los proyectos El Tapado y La Quinoa, se han hecho análisis de oro por ensaye al fuego con Absorción Atómica. Para El Tapado solo un grupo pequeño de taladros fueron analizados por oro por ensaye al fuego con Absorción Atómica y con el método gravimétrico.

Para el Tapado Oeste, se han hecho análisis de oro por ensaye al fuego con Absorción Atómica y con el método gravimétrico.

Para los tres proyectos se han hecho los análisis de oro cianurado que dan una idea de cuanto oro es posible recuperar.

La relación que se da entre el contenido total de oro (por ensaye al fuego con Absorción Atómica y con el método gravimétrico) y el oro recuperado (cianurado) es conocida como el ratio. El ratio se utiliza en todas las ecuaciones metalúrgicas necesarias para la determinación del modelo de recuperación de oro.

## **CAPITULO 4**

### **MODELO GENÉTICO DE LA QUINUA**

La acumulación de grandes concentraciones económicas de oro detrítico en La Quinoa dependió de al menos cuatro factores críticos locales y medioambientales. Estos incluyeron (1) una gran fuente de oro primario durante el ciclo de erosión; (2) un régimen paleo-climático que favoreció la meteorización mecánica y una rápida producción de sedimentos en el área de la fuente de oro; (3) una corta distancia de transporte de sedimentos que permitieron una pequeña disgregación aluvial, retrabajo, o dilución; y (4) acomodación tectónica en las cuencas deposicionales.

#### **4.1 Fuente del oro**

Los yacimientos de oro primario en Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste tuvieron reservas y recursos pre-minados de casi 10Moz (Harvey et al., 1999). Los yacimientos se formaron en un ambiente epitermal cercano a la superficie (Harvey et al., 1999; Teal et al., 2002). La erosión subsecuente condujo a exponer la mineralización de oro con leyes económicas en la superficie. El yacimiento Yanacocha Sur suministró sedimentos clásticos con presencia de oro principalmente hacia la cuenca La Quinoa mientras que Yanacocha Oeste contribuyó con material mineralizado hacia la cuenca La Pajuela.

El vector de los contornos de las leyes de oro de La Quinua hacia las áreas fuentes indica puntos de fuente coincidentes con el abanico proximal en o muy cerca de la desembocadura de la quebrada Quinua Corral y de la quebrada La Pajuela (Figura 27).

#### **4.2 Efectos del paleoclima en la meteorización y la producción de sedimentos**

Los abanicos de las gravas de La Quinua actualmente están en un estado de erosión global. Una producción de sedimentos muy pequeña esta ocurriendo ladera arriba y fuera de las cuencas para alimentar un sistema agradacional. Por lo tanto, es lógico concluir que La Quinua se formó bajo diferentes condiciones climáticas que aquellas que actúan en el presente. Se sugiere que La Quinua representa una respuesta a la ciclicidad climática Cuaternaria. Estrías glaciales sobre el basamento expuesto en elevaciones mas altas del distrito Yanacocha indican condiciones climáticas mas frías en el pasado reciente.

En la Figura 30 se muestra un modelo genético idealizado que relaciona los ciclos deposicionales-erosivos con la variabilidad paleo-climática. En un régimen climático más frío, la meteorización mecánica – de ciclos de congelamiento y deshielo y con la presencia de un glacial alpino erosivo – fue predominante, la actividad de la vegetación que estabiliza la roca y el suelo fue reducida. Ambos factores causaron el incremento de la producción de sedimentos, aunque los sedimentos pueden permanecer junto al hielo durante periodos de máximo frío. A medida que el clima cambió, con el derretimiento del paquete de nieve y glaciares alpinos, el suministro de sedimentos hacia elevaciones más bajas incrementó, dando como resultado una agradación global en las cuencas adyacentes. Con un mayor cambio climático, la cobertura de vegetación llegó a ser estable para poder estabilizar el suelo y el regolito; el suministro de sedimentos de las montañas adyacentes fue reducido, y las cuencas alcanzaron un equilibrio deposicional-erosivo. La erosión global – como la que actualmente ocurre en La Quinua – ocurrió durante periodos extensos de

moderada a alta precipitación junto con escasa cobertura de vegetación y poco o nada de suministro de sedimentos hacia la cuenca.

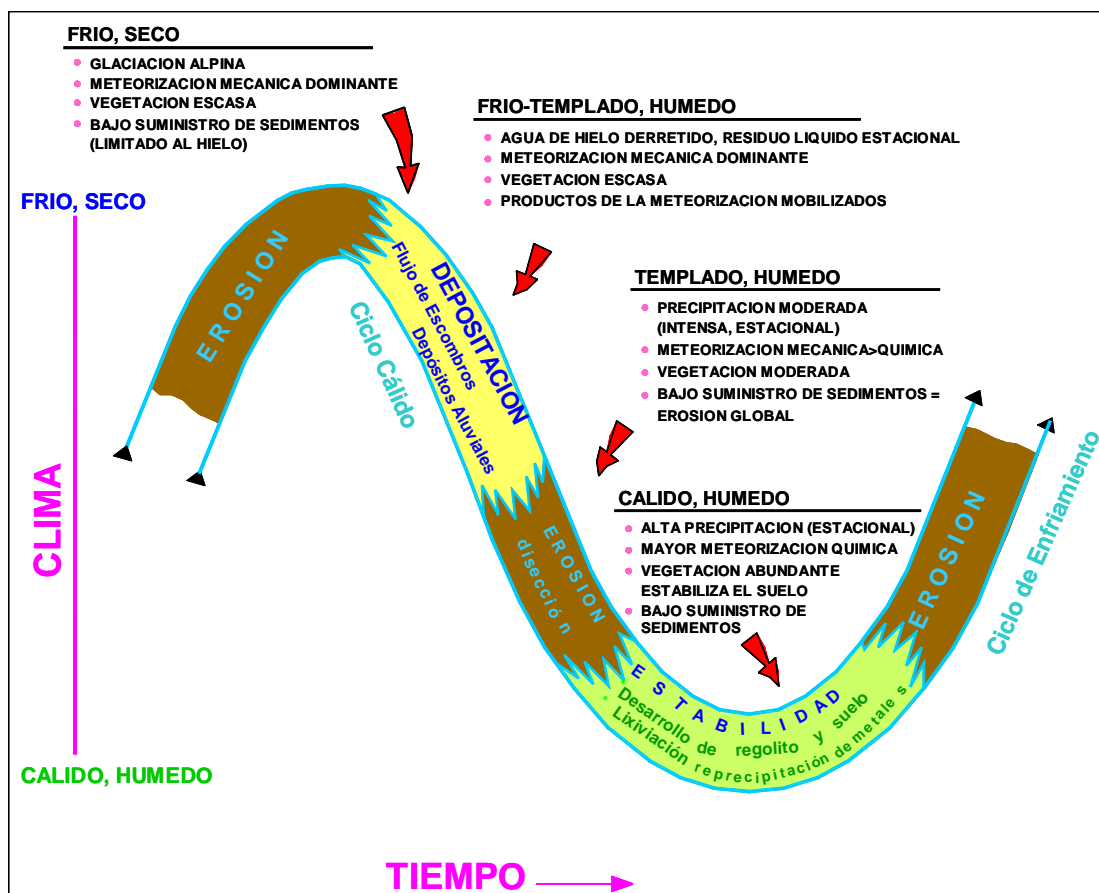


Figura 30. Modelo idealizado describiendo la influencia del clima en el ciclo erosivo-deposicional en La Quinua (Malette, 2002).

La Quinua es un yacimiento relativamente joven en comparación con los yacimientos emplazados en rocas volcánicas del distrito Yanacocha de ~ 11Ma (Turner, 1997). Los patrones deposicionales en los yacimientos de gravas pueden estar directamente relacionados con la geomorfología actual, pero el tiempo absoluto del llenado de la cuenca es desconocido. Una muestra de turba del intervalo que separa las Gravas de la Secuencia Superior de las Gravas de la Secuencia Inferior excedió las limitaciones de las técnicas de datación Carbono 14 en >44,710 BP. Sin

embargo, es razonable concluir que La Quinoa se formó como una respuesta a las fluctuaciones climáticas muy frecuentes durante el Cuaternario. Investigaciones de la variación climática del Holoceno en los Andes centrales del sur del Perú y Bolivia sugirieron que las perturbaciones climáticas ocurrieron a una frecuencia de 1,000 a 20,000 años lo que afectó grandemente el registro geológico en el Lago Titicaca y en el Salar de Uyuni (Baker et al., 2000; Cross et al., 2000). El sistema deposicional La Quinoa podría representar una respuesta a similares fluctuaciones climáticas, a frecuencias similares o menores. Las perturbaciones climáticas debido a la variación de la frecuencia pueden ser reflejadas por las secuencias de primer, segundo, tercer y posiblemente cuarto orden deposicional que llenan las cuencas La Quinoa y La Pajuela. Es necesario realizar trabajos adicionales para colocar a La Quinoa en un contexto crono-estratigráfico y comparar los patrones de deposición con los modelos paleo-climáticos regionales.

#### **4.3 Transporte de sedimentos y depositación**

La ley promedio de oro de las gravas de La Quinoa indica una ligera dilución con respecto a los yacimientos fuentes en Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste. La ley promedio de la reserva global pre-minada en La Quinoa Central es 0.78 g/t Au. Esta se compara a la ley promedio de oro de ~1.0 g/t Au en Yanacocha Sur y sugiere menos del 25 por ciento de dilución durante el transporte. Para permitir tal dilución mínima, los procesos erosivos deben haber estado extremadamente enfocados en los yacimientos de oro Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste. Adicionalmente, fue necesario un camino corto y directo de distribución de sedimentos para enviar material con leyes de mineralización hacia las cuencas La Quinoa y La Pajuela. Es igualmente posible que las porciones superiores erosionadas de los yacimientos Yanacocha fueran de mayor ley que las actuales reservas (L. Teal, comentario personal, 2002). Aun así, fue necesaria una erosión focalizada y una distancia corta de transporte para minimizar la dilución por material no mineralizado.

#### 4.4 Tectónica de la cuenca

Si La Quinua hubiese sido expuesta a un significativo re-trabajo y disgregación aluvial antes que su entierro, las concentraciones económicas de oro de grano fino del tamaño de micrones no se habrían preservado. Los frentes de minado y exposiciones naturales en cañones que disecan el abanico indican relativamente pocos canales aluviales llenados. La ausencia de canales y de superficies canalizadas sugiere que la tasa de agradación de los sistemas de abanicos dejó atrás por mucho a la erosión y el re-trabajo aluvial, particularmente en las facies proximales y media donde ocurre la mayor parte de la reserva de oro. La preservación de los sedimentos y el oro en La Quinua dependieron de una continua subsidencia de la cuenca para acomodar el influjo de sedimentos y minimizar la disgregación aluvial y el re-trabajo; la cuenca fue provista por un movimiento recurrente a lo largo su límite y las fallas en su interior. La acomodación tectónica, junto con un alto suministro de sedimentos, permitieron el enterramiento rápido y la preservación de las gravas de La Quinua y contuvieron el oro de grano fino.

La inclinación hacia el noreste de los estratos que conforman las Gravas de la Secuencia Inferior y las Gravas de la Secuencia Superior en la zona proximal hacen ver un sentido de basculamiento en esta dirección que posiblemente se desarrollaba durante la sedimentación, esta hipótesis se refuerza con la observación de estructuras sedimentarias observadas en el tajo como son estructuras de deslizamiento y resbalamiento de bloques en dirección noreste. Estos aspectos son característicos de bloques basculantes que crean depocentros debido a la rotación de los bloques que bajan en el lado suroeste de las fallas La Quinua y Tapado (Jacay, 2007). Véanse las [Figuras 31 y 32](#).

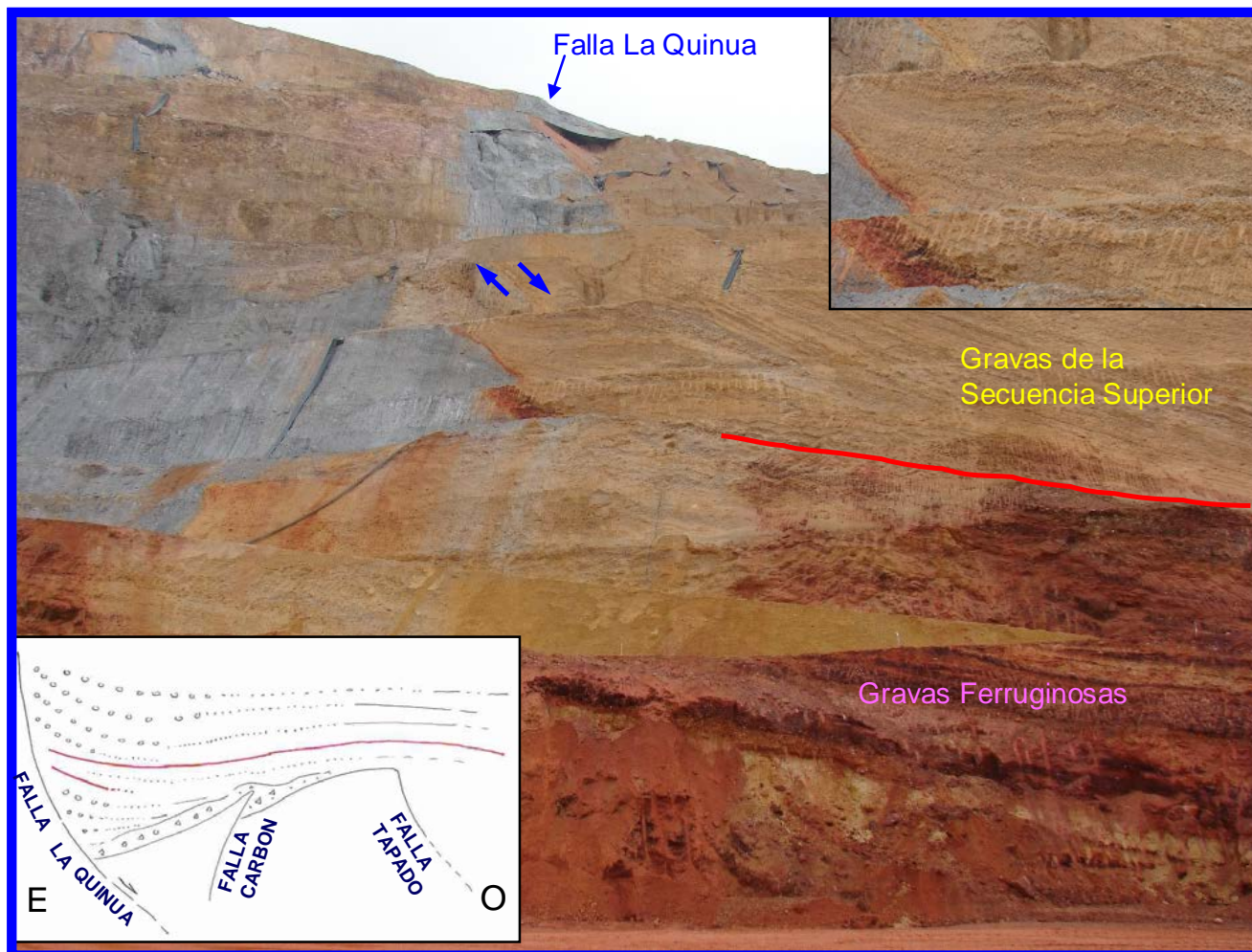


Figura 31. Discordancias progresivas que se desarrollaron al lado del frente activo de la falla La Quinua.



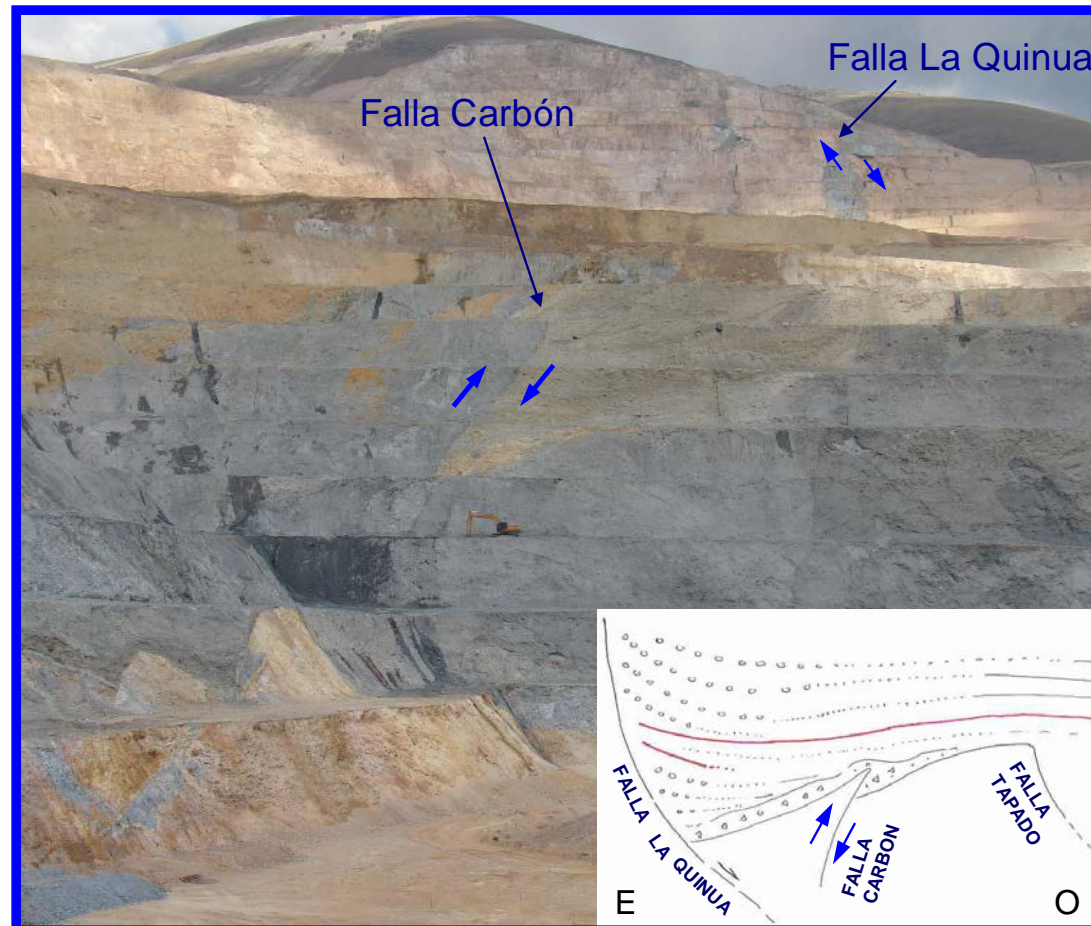


Figura 32. La rotación del bloque de La Quinua provoca que fallas antitéticas (como la falla Carbón) deformen al Regolito Temprano y las partes más inferiores de las Gravas de la Secuencia Inferior (Jacay, 2007).

## **CAPITULO 5**

### **ESTIMACIÓN DE RECURSOS DEL YACIMIENTO FLUVIOGLACIAR LA QUINUA**

#### **5.1 Introducción**

Para realizar la estimación de los recursos del yacimiento La Quinoa se utiliza todos los datos de las leyes de las muestras obtenidas de las perforaciones que se han descrito en la Sección 3.6.

Asimismo, como parte de la estimación de recursos se requiere previamente hacer una evaluación metalúrgica del yacimiento, en este caso se han hecho pruebas de recuperación de oro usando cianuro para evaluar cuanto oro se puede recuperar del contenido total que está presente en las gravas.

Finalmente, se realiza un estudio granulométrico del material para estimar la cantidad de gravas, arenas, limos y arcillas presentes en el yacimiento. Como regla general se conoce que cuanto mas limos y arcillas están presentes en el material estos van a obstruir el paso del cianuro lo que disminuye la extracción del oro.

## 5.2 Evaluación metalúrgica en el yacimiento La Quinua

### 5.2.1 Pruebas de botella y pruebas de columna

Las pruebas metalúrgicas hechas para el yacimiento La Quinua, se enfocaron en pruebas de recuperación utilizando el material que sería lixiviado en la pila de lixiviación. Se dispone de una base de datos metalúrgica completa para el yacimiento La Quinua, con análisis metalúrgicos hechos en el Laboratorio Metalúrgico de Minera Yanacocha y en el Laboratorio de los Servicios Metalúrgicos de Newmont (NMS) en Denver, Colorado, Estados Unidos.

La base de datos metalúrgica de La Quinua incluye los resultados de:

- 1) Veintiocho pruebas de botella de lixiviación con cianuro (1997 - 1998),
- 2) Tres pruebas de botella de diagnóstico (1998),
- 3) Siete pruebas de columna de 6-pulgadas a 2-metros de diámetro (1997) ([Figura 33](#)),
- 4) Treinta y ocho pruebas de columna de 6- a 13-pulgadas de diámetro (1998),
- 5) Dieciocho pruebas de columna de 6- a 13-pulgadas de diámetro de material de los tajos de prueba de minado (1999), y
- 6) Una prueba de columna de 2-metros de diámetro de material de uno de los tajos de prueba de minado (1999).

En la [Tabla 4](#) se muestra un resumen de todos los resultados válidos de las pruebas de columna. Los materiales descritos en la [Tabla 4](#) fueron definidos en el año 1998 (Williams y Calderón), luego fueron modificados por Mallette (2002), la [Tabla 1](#) (mostrada en el Capítulo 3) muestra una cercana equivalencia entre ambas clasificaciones.



Figura 33. Columnas de 2m y 15.24cm (6") de diámetro en el Laboratorio Metalúrgico de Minera Yanacocha S.R.L.

Tabla 4 - Recuperaciones modeladas por tipo de material en La Quinua

Tipo de Material Modelado	Rango de leyes (g/t)	Recuperación modelada
Flujo de Lodos y Ferricreta	> 0.50	75%
	0.45 - 0.50	68%
	0.40 - 0.45	65%
	0.35 - 0.40	60%
	0.30 - .035	54%
Flujo de Lodos con Arcillas (La Quinua Central y Sur) Flujo de Lodos con Arcillas y Pirita Sombrero de hierro	> 0.50	60%
	0.45 - 0.50	56%
	0.40 - 0.45	50%
	0.35 - 0.40	43%
Finos, Paleosuelo (todos los depósitos) Flujo de Lodos con Arcillas (La Quinua Norte)	Todas las leyes	0%*
	Todas las leyes	0%*

\* Recuperación cero fue determinada por la baja recuperación (Skurski, 1999)

En el año 2007 se realizó un programa de perforación en el proyecto La Quinua Sur (constituido en su mayoría por Gravas de la Secuencia inferior) con el objetivo de evaluar su potencial económico. Gran parte de las muestras obtenidas fueron utilizadas para realizar pruebas de botella y de columna. Los resultados indican que

la ley de cabeza de oro varía entre 0.15 y 0.83 g/t con un promedio de 0.42 g/t. La recuperación de oro basada en el protocolo analítico estándar varía entre 81 y cerca de 100% con un promedio de 90%.

### 5.2.2 Modelo de recuperación de oro

Un modelo de aproximación de recuperación de la ley total versus la ley de cola ha sido utilizado en Minera Yanacocha (Figura 34). El propósito de este modelo es crear un modelo simple de recuperación cuyos parámetros encajen fácilmente por regresión de las leyes de cola (oro no recuperado) a las leyes totales (oro contenido). Este modelo muestra que el oro recuperado es una función lineal del contenido total del oro. Este enfoque usa dos parámetros, Factor Cola y Factor Recuperación y conduce a dos casos para ley de oro recuperable calculada (AuR) y recuperación de oro (AuRec) basada en la ley de oro contenida (Au):

$$\text{AuR} = 0.0$$

$$\text{AuRec} = 0.0$$

si  $\text{Au} \leq \text{Factor Cola} / \text{Factor Recuperación}$

$$\text{AuR} = \text{Au} \times \text{Factor Recuperación} - \text{Factor Cola}$$

$$\text{AuRec} = \text{Factor Recuperación} - (\text{Factor Cola} / \text{Au})$$

si  $\text{Au} \geq \text{Factor Cola} / \text{Factor Recuperación}$

En términos generales, el modelo resta una ley fija, Factor Cola, de una ley recuperable que sería calculada usando una recuperación fija, Factor Recuperación. En términos detallados, primero, si el contenido de la ley de oro es menor que (Factor Cola / Factor Recuperación), no hay oro recuperado. Segundo, por encima de esta ley, la ley recuperable calculada es una función lineal simple de la ley contenida multiplicada por el Factor Recuperación menos el Facto Cola.

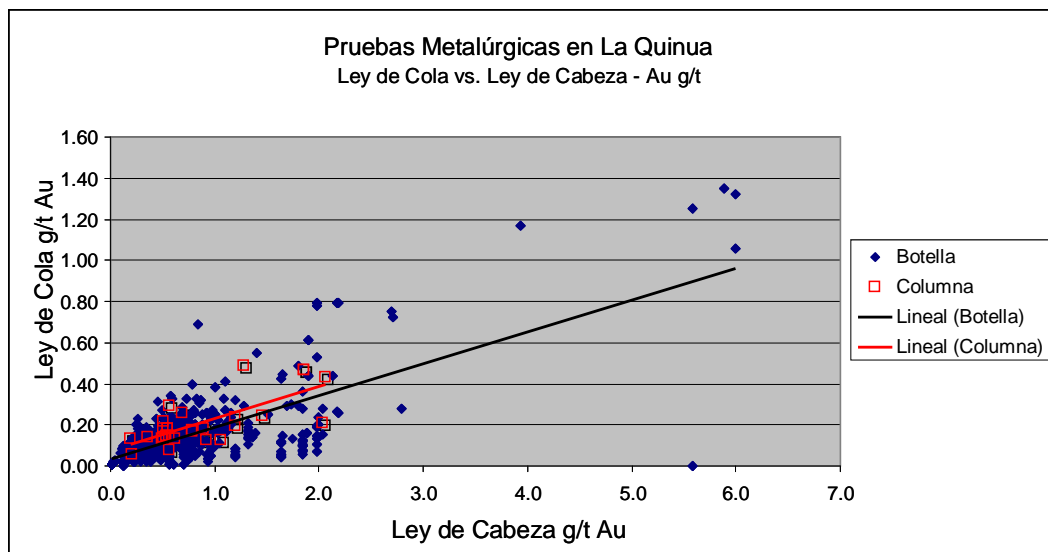


Figura 34. Pruebas Metalúrgicas en La Quinua

### 5.2.3 Clasificación Metalúrgica

Los tipos de mineral representados en el yacimiento La Quinua incluyen gravas con óxidos, gravas con pirita y roca con sulfuros (basamento debajo de las gravas, ver Figuras 25 y 26). Se construyó un modelo para representar estos tipos de mineral y en última instancia controlar las recuperaciones y definir la distribución espacial del desmonte potencialmente generador de aguas ácidas.

## 5.3 Estudio granulométrico y análisis del oro por tamaño de partícula

### 5.3.1 La granulometría como variable para estimar el recurso

Los yacimientos fluvioglaciares oxidados como La Quinua van a ser clasificados como recursos o reservas no solamente debido a su contenido de oro y/o plata sino también a su contenido de gravas, arenas, limos y arcillas.

Si parte del yacimiento fluvioglacial tiene mas gravas y arenas que limos y arcillas este material es enviado directamente a la pila de lixiviación o es mezclado

con poco material adicional de granulometría gruesa proveniente de los tajos de yacimientos de alta sulfuración. Asimismo, si otra parte del yacimiento fluvio-glaciario tiene mas limos y arcillas que gravas y arenas, esta parte es mezclada con material adicional de granulometría gruesa proveniente de los tajos de yacimientos de alta sulfuración o simplemente es enviado al depósito de desmonte independientemente de su contenido de oro. Esta medida se toma porque si el material que contiene altos contenidos de limos y arcillas es colocado en la pila de lixiviación impediría el paso de la solución de cianuro rica en oro.

Para determinar el contenido de gravas, arenas y lodos (limos + arcillas) de un yacimiento fluvio-glaciario se realiza un análisis granulométrico que consiste en pasar una muestra por cuatro mallas (a veces hasta trece mallas). De este modo se obtienen varias poblaciones de sedimentos de acuerdo al tamaño de partícula. Una vez realizado el análisis granulométrico de varias muestras de diferentes núcleos de perforación, el yacimiento fluvio-glaciario es clasificado de acuerdo a su contenido de limos y arcillas independientemente de su contenido de oro. La última clasificación granulométrica establecida de acuerdo al contenido de lodos (limos + arcillas) se puede ver en la [Tabla 5](#).

Tabla 5 - Clasificación Granulométrica de los yacimientos fluvio-glaciares de acuerdo al contenido de lodos (limos + arcillas)

<b>A</b>	Limos + arcillas < 15%
<b>C</b>	Limos + arcillas [15 - 22%>
<b>B</b>	Limos + arcillas [22 - 27%>
<b>D</b>	Limos + arcillas [27 - 35%>
<b>DH</b>	Limos + arcillas [35 - 50%>
<b>W</b>	Limos + arcillas > 50%

El destino de los diferentes materiales del yacimiento fluvio-glaciar clasificados según su contenido de limos y arcillas se explica de la siguiente manera:

- Material A: Es enviado directamente a la pila de lixiviación
- Material C: Es enviado a la pila de lixiviación y es mezclado con muy poco material adicional de granulometría gruesa proveniente de los tajos de yacimientos de alta sulfuración.
- Material B: Es enviado a la pila de lixiviación y es mezclado con poca cantidad de material adicional de granulometría gruesa proveniente de los otros tajos.
- Material D: Es enviado a la pila de lixiviación y es mezclado con moderada cantidad de material adicional de granulometría gruesa.
- Material DH: Es enviado a la pila de lixiviación y es mezclado con mucho material adicional de granulometría gruesa.
- Material W: Es enviado al depósito de desmonte independientemente de su contenido de oro debido a su alto contenido de limos y arcillas.

### *5.3.2 Análisis granulométrico en La Quinoa Sur*

Se utilizaron muestras de taladros de perforación para el estudio granulométrico en el yacimiento fluvio-glaciar La Quinoa Sur en el año 2007. Un total de 92 muestras de 8m de largo cada una fueron analizadas. Los resultados son mostrados en la [Figura 35](#).

Las principales conclusiones del estudio granulométrico en el yacimiento fluvio-glaciar La Quinoa Sur fueron:



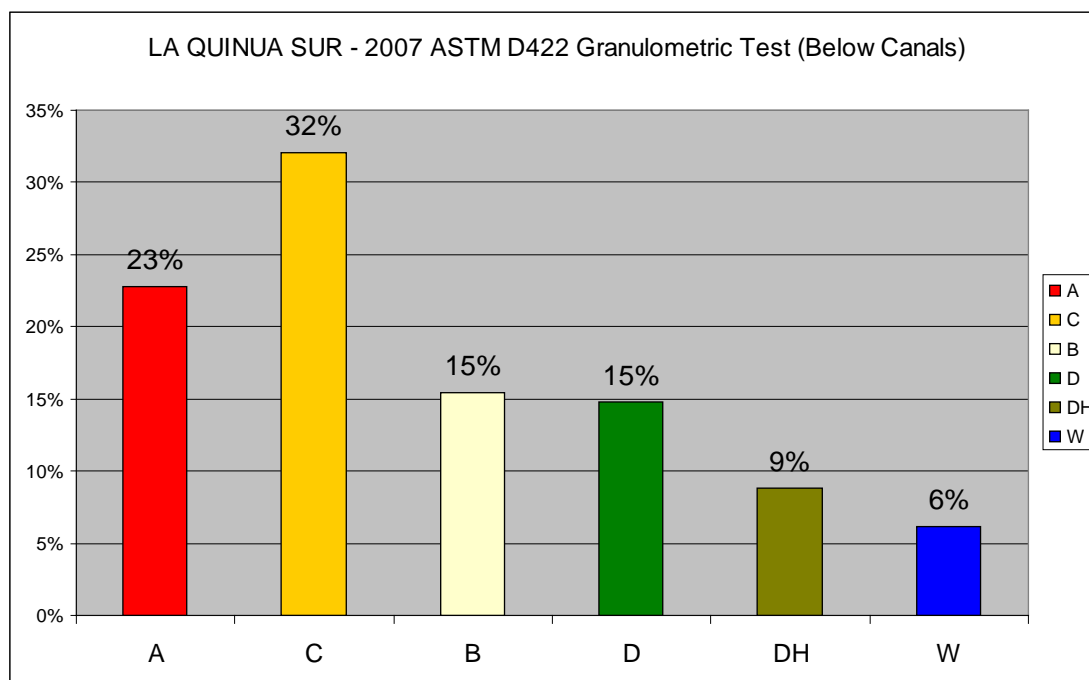


Figura 35. Resultados del estudio granulométrico en La Quinoa Sur (2007)

- 23% de todo el material (A) se puede enviar directamente a la pila de lixiviación.
- 47% de todo el material (C + B) necesita mezclarse en la pila de lixiviación con poco material de granulometría gruesa proveniente de los tajos de yacimientos de alta sulfuración.
- 24% de todo el material (D + DH) necesita mezclarse en la pila de lixiviación con bastante material de granulometría gruesa proveniente de los otros tajos.
- Solo el 6% de todo el material (W) será enviado al depósito de desmonte debido a su alto contenido de limos y arcillas, independientemente de su contenido de oro.

### 5.3.3 Análisis del oro por tamaño de partícula y su significado

Como ya se ha mencionado en la Sección 5.3.2, 92 muestras de 8m de largo provenientes de nueve (9) núcleos de perforación fueron utilizadas para un estudio

granulométrico en el año 2007. Estas muestras fueron reagrupadas en cinco grupos de la siguiente manera:

+3/4"    -3/4" +4M    -4 +40M    -40M +200M    -200M

Estas cinco poblaciones fueron pulverizadas para ser analizadas por oro. Las principales conclusiones de los resultados son (Ver Figuras 36 y 37):

#### *Distribución del peso*

- 48% del peso representa a los sedimentos gruesos y solo el 25% del total representa a la suma de los limos mas las arcillas.
- Teniendo en cuenta la clasificación granulométrica establecida de acuerdo al contenido de limos y arcillas (Tabla 5), el yacimiento La Quinoa Sur es clasificado como un yacimiento fluvio-glacial tipo B en promedio.

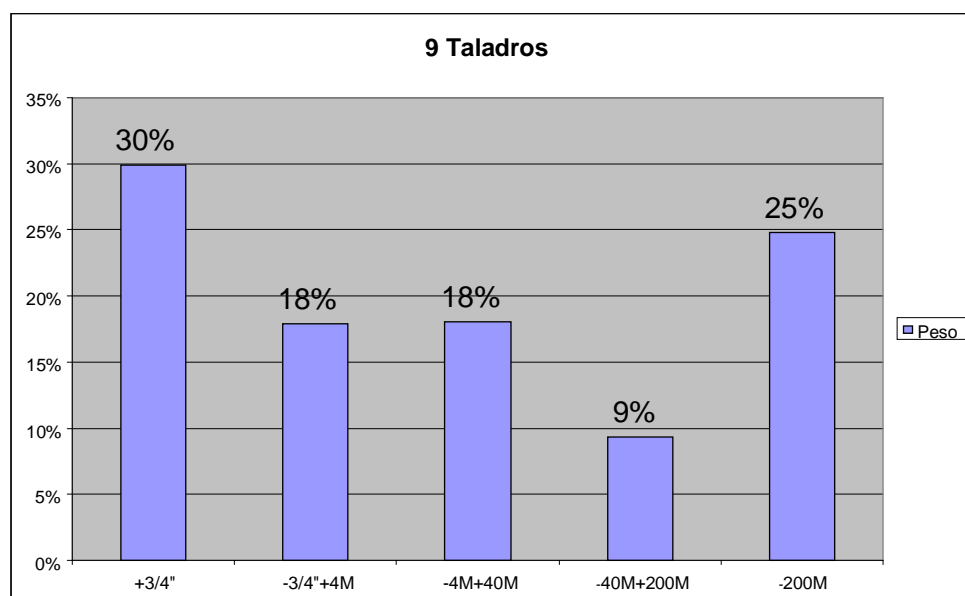


Figura 36 - Distribución del peso por tamaño de partícula en La Quinoa Sur (2007)

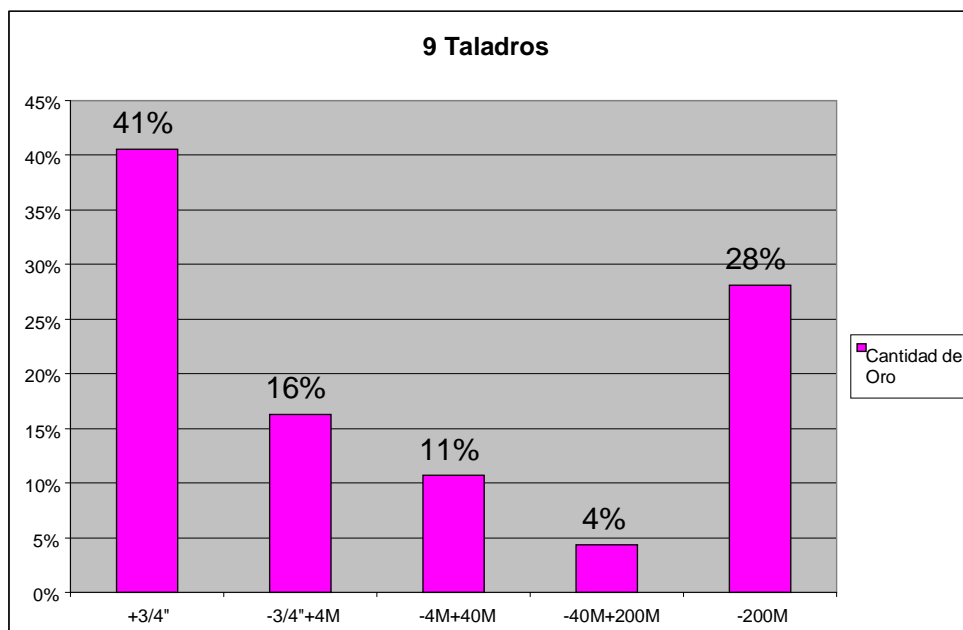


Figura 37 - Distribución del oro por tamaño de partícula en La Quinua Sur (2007)

#### *Distribución del oro*

- 57% del oro esta contenido en los sedimentos gruesos.
- Solo el 15% del oro esta contenido en las arenas.
- Hasta el 28% del oro esta contenido en los limos y arcillas.

## **5.4 Estimación de recursos del yacimiento La Quinua**

### *5.4.1 Definición de dominios*

El oro de La Quinua fue suministrado desde los yacimientos Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste y fue transportado hacia las cuencas La Quinua y La Pajuela como oro diseminado en clastos de mena primaria y como partículas de oro liberado del tamaño de limo a arcilla. Estos clastos, limos y arcillas fueron acomodados en las cuencas La Quinua y La Pajuela de acuerdo a las direcciones de flujo de los agentes transportadores tales como el agua y el hielo. La dirección de acomodo final de los clastos y lodo y por consiguiente del oro es perpendicular a la dirección del flujo de los agentes transportadores. Se ha llegado esta conclusión con la observación de la

ubicación espacial de los valores de oro de las muestras de los taladros de exploración y producción (Santivañez y Saez 2009, comentario personal).

De acuerdo a lo explicado, y utilizando la información de las leyes de oro se han definido cuatro dominios geológicos (Figura 38) que describen el comportamiento del oro en el yacimiento fluvioglacial La Quinua (Williams y Calderón, 2000; Mallette, et al., 2004; McEvers y Treloar, 2006; Santivañez y Saez, 2009).

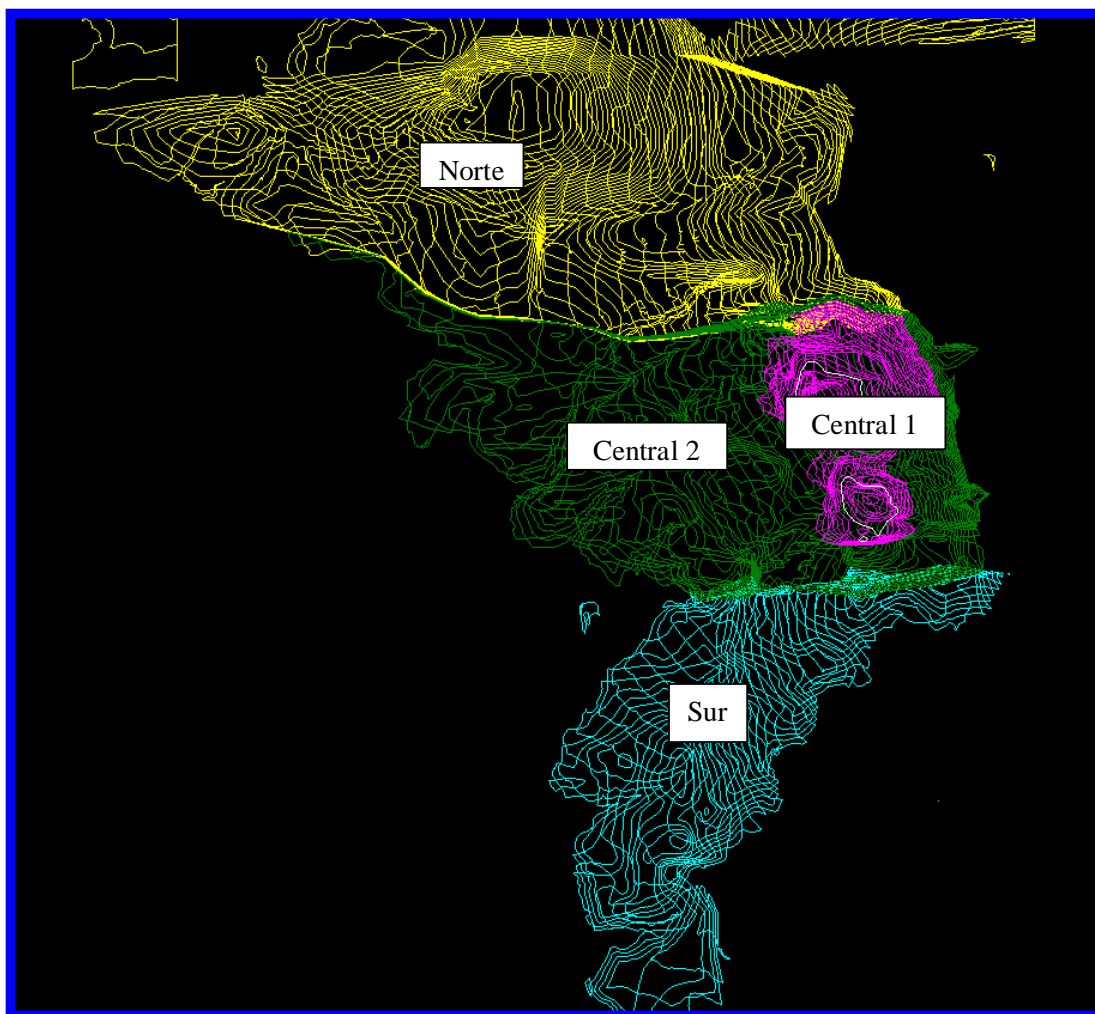


Figura 38. Dominios geológicos que describen la mineralización del oro en el yacimiento La Quinua.

- *Dominio Central 1*

Está formado por el oro contenido en los sedimentos que forman parte de las Gravas de la Secuencia Inferior y la parte inferior de las Gravas de la Secuencia Superior alojadas en la cuenca La Quinua, específicamente en la subcuenca formada por las fallas Norte por el lado norte, La Quinua por el lado este, Sur por el lado sur, y Carbón por el lado oeste (Figura 39).

La dirección de flujo de los agentes transportadores fue en promedio noreste-suroeste y la dirección de acomodamiento final de los sedimentos y por consiguiente del oro es en promedio noroeste-sureste (Santivañez, 2009).

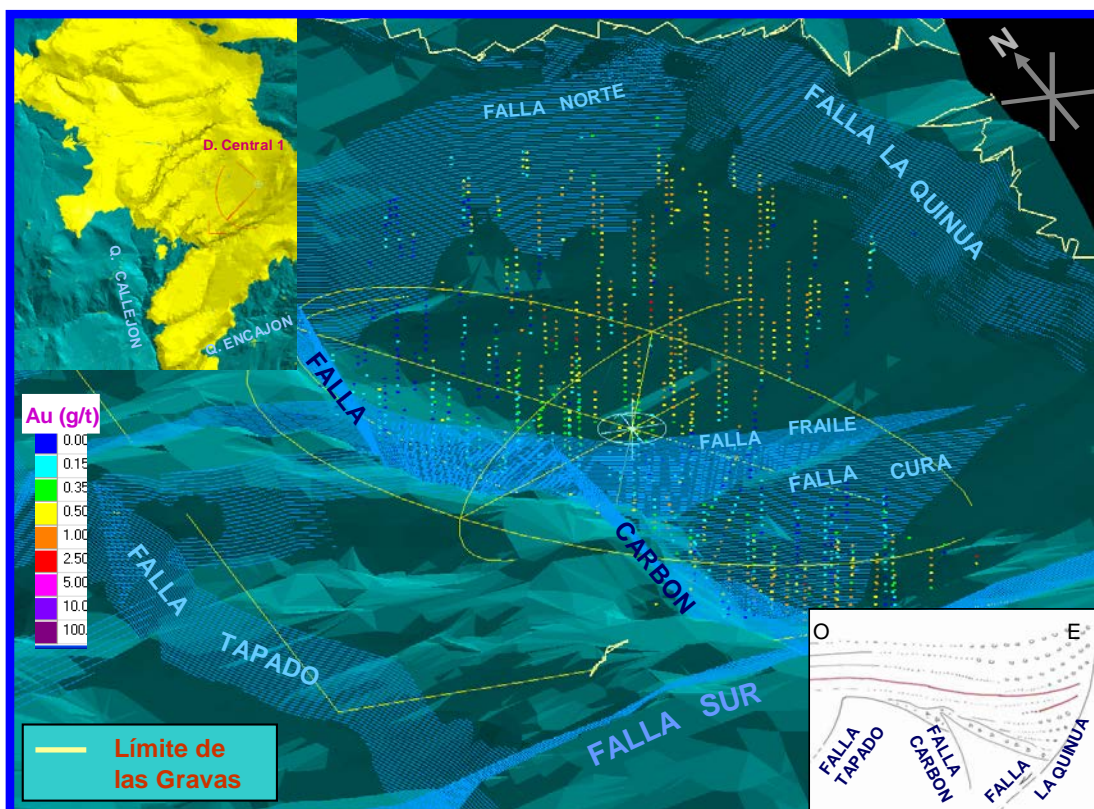


Figura 39. Orientación del elipsoide del variograma del Dominio Central 1 y las leyes de los taladros de perforación (2009)

La dirección de anisotropía del elipsoide del variograma (Tabla 7) muestra una inclinación de 15 grados en dirección N40°E, este hecho indica que al inicio de la depositación de los sedimentos de las Gravas de la Secuencia Inferior se produce el fallamiento La Quinua, originando un basculamiento de los sedimentos quedando estos en la posición indicada (Figura 39).

Esta disposición se debe a que las facies que predomina en las Gravas de la Secuencia Inferior parecen corresponder a abanicos de baja eficacia de transporte, es decir los sedimentos tenían poca área donde depositarse y una alta subsidencia tectónica (Jacay, 2007). Todo esto contribuyó a la concentración de altas leyes dentro de este dominio (Santivañez y Saez, 2009).

- *Dominio Central 2*

Es el que mayor volumen comprende y aporta mayor cantidad de onzas al yacimiento. Está formado por el oro contenido en los sedimentos que forman parte de las Gravas de la Secuencia Superior que fueron depositados en la cuenca La Quinua, encima de los sedimentos que forman parte del Dominio Central 1 y en el resto de la cuenca formada por las fallas Norte por el lado norte, La Quinua por el lado este, Sur por el lado sur y la actual Quebrada Callejón por el lado oeste.

La dirección de flujo de los agentes transportadores fue en promedio noreste-suroeste y la dirección de acomodamiento final de los sedimentos y por consiguiente del oro es en promedio noroeste-sureste (Santivañez, 2009).

La dirección de anisotropía del elipsoide del variograma muestra una inclinación de 2 grados en dirección S55°O (Figura 40).

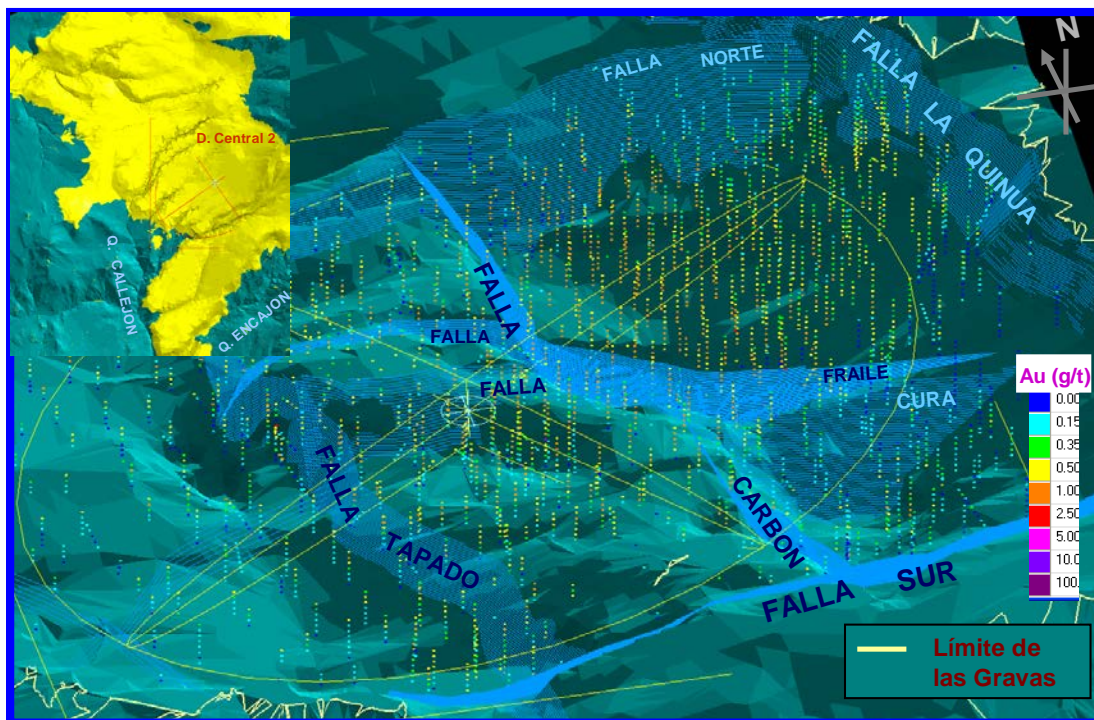


Figura 40. Orientación del elipsoide del variograma del Dominio Central 2 y las leyes de los taladros de perforación (2009)

- *Dominio Norte*

Está formado por el oro contenido en los sedimentos que fueron erosionados del yacimiento Yanacocha Oeste y que fueron depositados en la cuenca La Pajuela.

La dirección de flujo de los agentes transportadores fue en promedio este-oeste y la dirección de acomodamiento final de los sedimentos y por consiguiente del oro es en promedio norte-sur (Santivañez, 2009). La dirección de anisotropía del elipsoide del variograma muestra una inclinación de 1 grado en la dirección  $S78^{\circ}O$  (Figura 41).

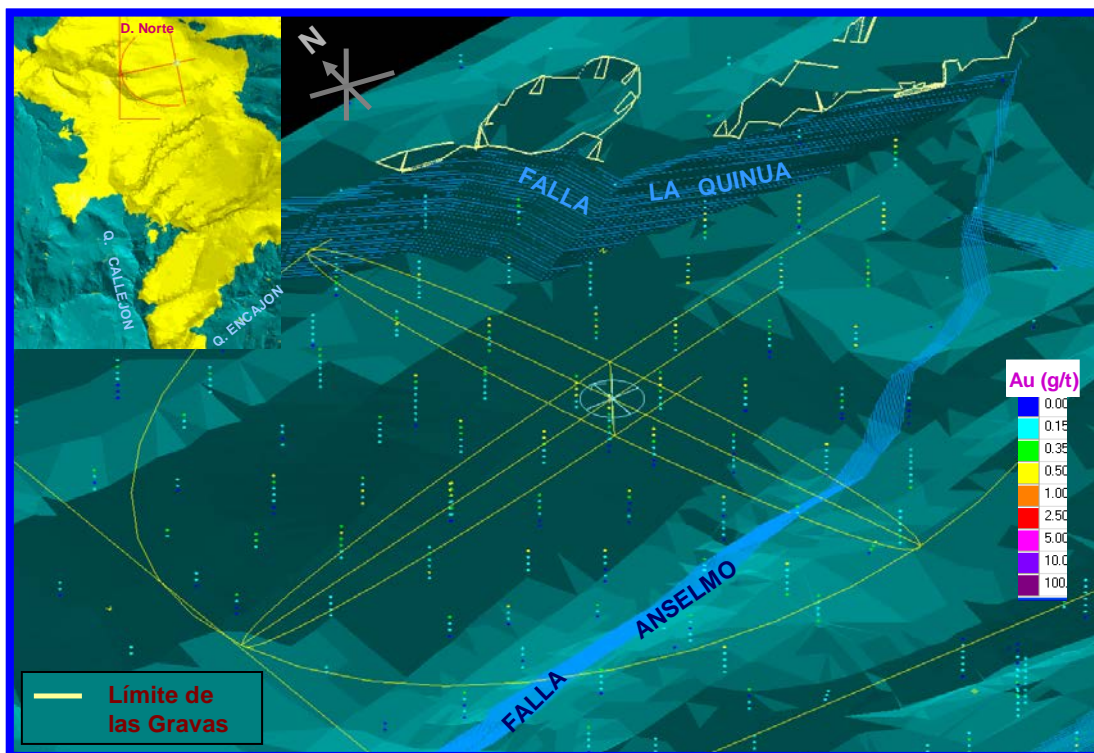


Figura 41. Orientación del elipsoide del variograma del Dominio Norte y las leyes de los taladros de perforación (2009)

Esta parte del yacimiento no ha sido explotada debido al alto porcentaje de limos y arcillas que contiene. Este dominio es el que tiene menor ley promedio.

- *Dominio Sur*

Está formado por el oro contenido en los sedimentos que fueron erosionados del yacimiento Yanacocha Sur y que fueron depositados en la parte sur de la cuenca La Quinua, específicamente sobre el alto estructural formado por la falla Sur por el lado norte, por la Quebrada Encajón por el lado sureste y por la Quebrada Callejón por el lado este.



La dirección de flujo de los agentes transportadores fue en promedio noreste-suroeste y la dirección de acomodamiento final de los sedimentos y por consiguiente del oro es en promedio noroeste-sureste (Santivañez, 2009).

La dirección de anisotropía del elipsoide del variograma muestra una inclinación hacia la dirección N53°E de 3 grados (Figura 42). Este dominio está próximo a ser explotado.

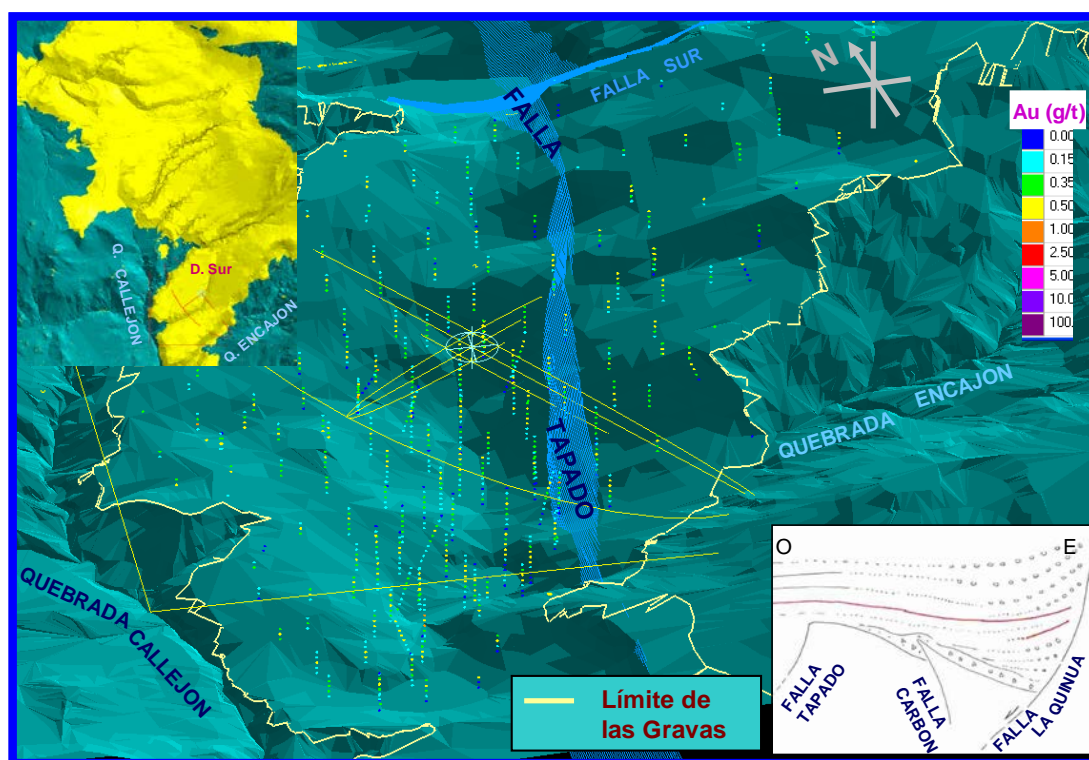


Figura 42. Orientación del elipsoide del variograma del Dominio Sur y las leyes de los taladros de perforación (2009)

#### 5.4.2 Base de datos

Las muestras geológicas utilizadas para el modelamiento de los recursos y reservas se originaron de una combinación de perforaciones del tipo circulación reversa convencional (RC), RC-Con tubo, Martillo Largo, Martillo Corto,

perforaciones diamantinas de diámetro HQ (2.4') y PQ (3.3'), y perforaciones tipo Sonic (vibración).

La base de datos de los taladros de La Quinua se encuentra en una base de datos del programa Oráculo (Oracle) que se accede a través de una interfase gráfica multicapas del programa Adquirir (Acquire). La base de datos es administrada por el administrador de la base de datos local.

El ingreso de la información a la base de datos es realizado electrónicamente para todos los análisis y toda la información relacionada, mientras que la información litológica es ingresada o a mano o directamente en el formato digital de la información del registro geológico del programa Registrador Visual (Visual Logger) desde el año 2005. La verificación de la información se logra de acuerdo a procedimientos de verificación de duplicados y estándares (Figura 43) antes del ingreso final de la información a las tablas basadas en el programa Oráculo (Oracle). La recuperación de los datos se logra a través de los servicios de extracción instalados dentro del programa Adquirir (Acquire) lo que facilita la conversión de la información a un formato de lista de Taladro Perforado (DHL = drillhole) el cual es utilizado por el programa de modelamiento para mostrar los taladros.

Las copias de seguridad de la base de datos son ejecutadas tres (3) veces por semana y toda la información relevante es almacenada en el centro de información local.

#### *5.4.3 Métodos Analíticos*

Los métodos analíticos utilizados ya han sido explicados en la Sección 3.6 del Capítulo 3.

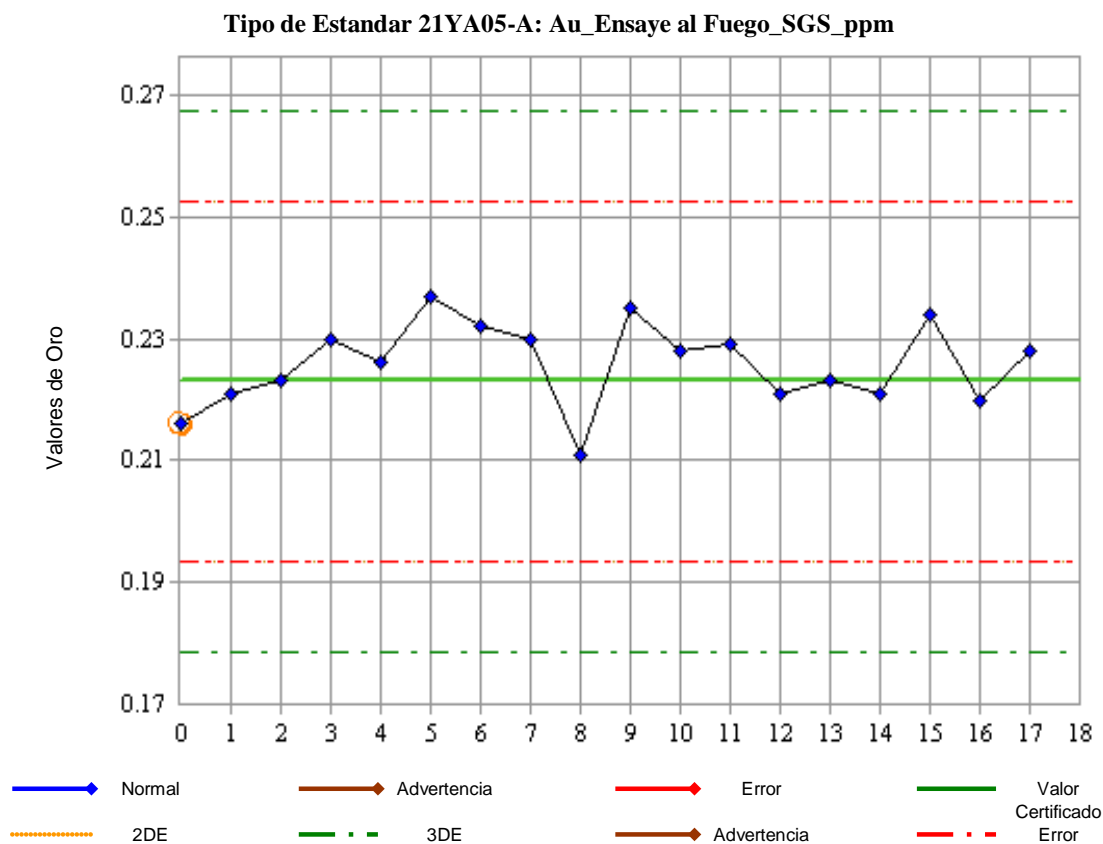


Figura 43. Gráfico QA/QC de muestras estándares

#### 5.4.4 Parámetros estadísticos de la población

Como ha sido explicado en la Sección 5.4.1, el yacimiento fluvioglacial La Quinua ha sido dividido en cuatro dominios geológicos. Estos dominios son: (1) Norte, (2) Central 1, (3) Central 2, y (4) Sur (Figura 38). Los parámetros estadísticos obtenidos para los cuatro dominios se observan en la Tabla 6.

El valor del coeficiente de variación para cada uno de los cuatro dominios es menor que 1, este valor indica que la base de datos es consistente y confiable luego de haber realizado la validación de los datos con sus respectivas revisiones y chequeos. Solo se encontraron valores altos dentro del Dominio Central 2 (Figuras 44, 45, 46 y 47) por lo que se hizo un corte de estos valores altos. Se concluye que en

todo el yacimiento La Quinua, la distribución de ley de oro es casi homogénea por lo que variabilidad de la ley de oro es baja.

Tabla 6: Parámetros estadísticos obtenidos para los cuatro dominios geológicos

Mina	Dominio	Au (g/t) Parametros Estadísticos							
		N° Datos	Min	Max	Media	DE	CV	Corte	# Cortado
La Quinua	Oro_Todo	7495	0.002	4.04	0.535	0.440	0.823	5	2
La Quinua	Oro_Dominio Central 1	1262	0.002	3.19	0.617	0.572	0.928	-	-
La Quinua	Oro_Dominio Central 2	4446	0.016	4.04	0.596	0.443	0.744	5	2
La Quinua	Oro_Dominio Norte	935	0.015	1.162	0.277	0.161	0.581	-	-
La Quinua	Oro_Dominio Sur	852	0.009	1.77	0.376	0.188	0.500	-	-

DE: Desviación Estándar  
CV: Coeficiente de Variación

Sin embargo, se debe mencionar que el valor del coeficiente de variación para el Dominio Central 1 es muy cercano a 1, esto se explica porque en esta parte del yacimiento existen muestras con leyes de oro mucho más altas que el promedio, lo que ocasiona una mayor variabilidad de la ley de oro. Asimismo, aunque el Dominio Sur no tiene la ley promedio mas baja de oro, su menor coeficiente de variación se explica porque los valores de la ley de oro de las diferentes muestras son muy parecidos entre si, mas que en los otros dominios, por lo que la variabilidad de la ley de oro es la mas baja de todos los dominios. Debido a este hecho, el espaciamiento óptimo que debe haber entre los taladros de perforación para declarar las reservas es de 100m (es el mas amplio en Minera Yanacocha).

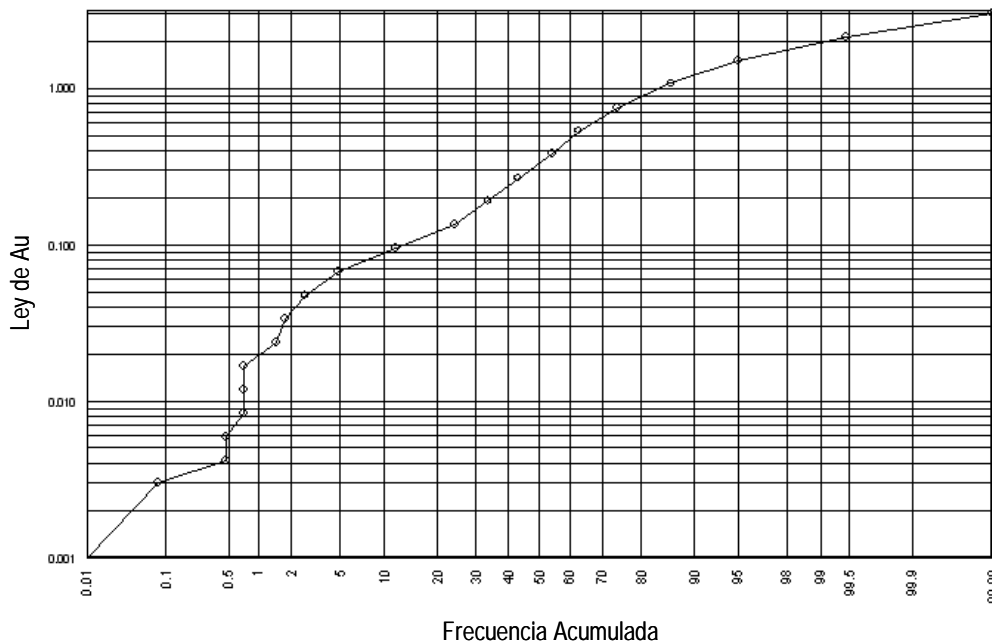


Figura 44. Gráfico de Frecuencia Acumulada que muestra la distribución de la ley de oro dentro del Dominio Central 1

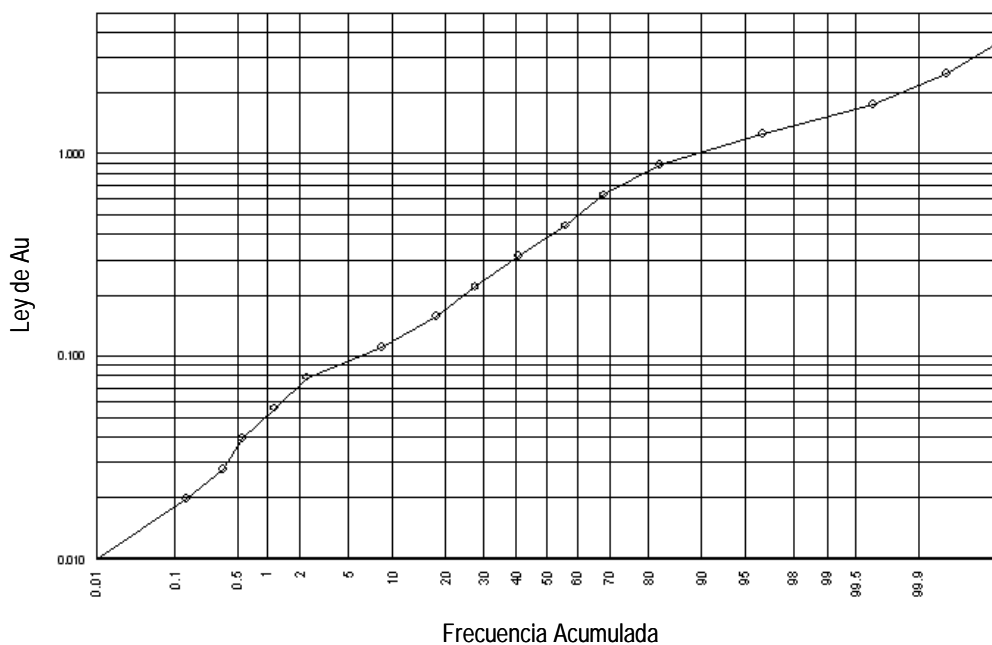


Figura 45. Gráfico de Frecuencia Acumulada que muestra la distribución de la ley de oro dentro del Dominio Central 2

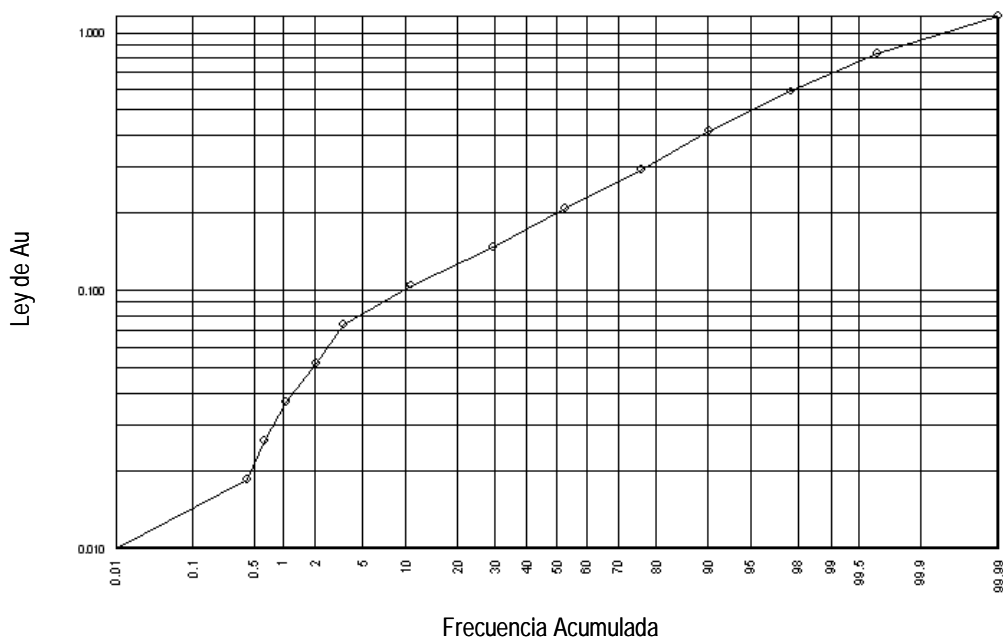


Figura 46. Gráfico de Frecuencia Acumulada que muestra la distribución de la ley de oro dentro del Dominio Norte

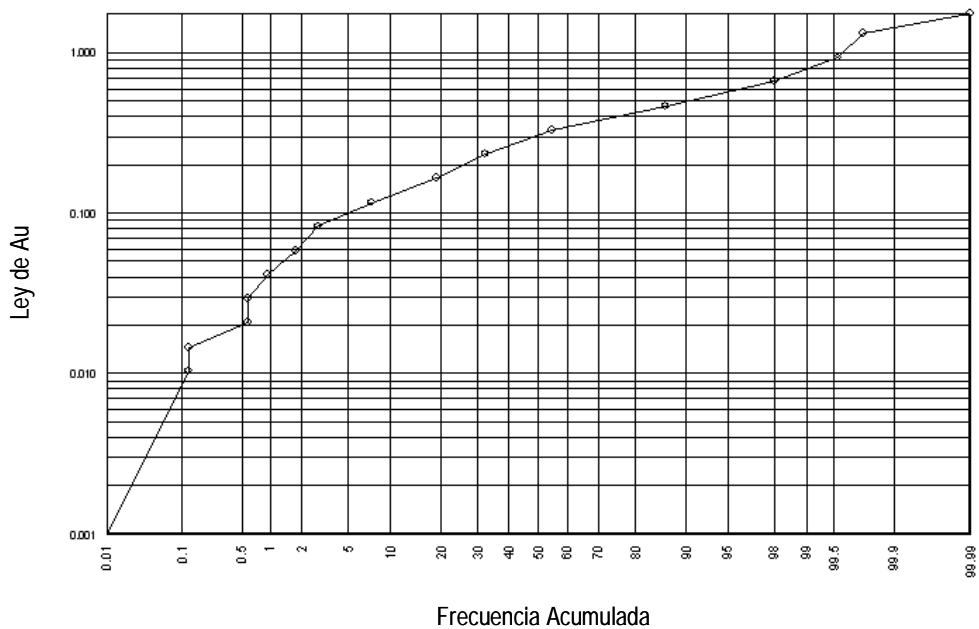


Figura 47. Gráfico de Frecuencia Acumulada que muestra la distribución de la ley de oro dentro del Dominio Sur

### 5.4.5 Análisis de la Variografía

- *Direcciones preferenciales*

Los cuatro dominios geológicos han sido definidos utilizando las leyes de las muestras de todos los taladros de exploración los que se hicieron con perforaciones del tipo circulación reversa convencional (RC), RC-Con tubo, Martillo Largo, Martillo Corto, perforaciones diamantinas de diámetro HQ (2.4') y PQ (3.3') y perforaciones tipo Sonic (vibración).

El Dominio Central 1 ha sido definido con las leyes de las muestras de los detritos de los taladros de producción, encontrándose una dirección diferente a la definida solamente con los taladros de exploración (Santivañez y Saez, 2009).

Los variogramas de los cuatro dominios han sido calculados con ayuda de los programas informáticos SAGE de Edward H. Isaaks y TSS de la compañía Newmont. Luego de hacer las respectivas evaluaciones, la dirección de la anisotropía más adecuada para cada uno de los cuatro dominios es mostrada en la [Tabla 7](#) y en las [Figuras 39, 40, 41 y 42](#).

Tabla 7. Rotación de los ejes del elipsoide de anisotropía para los cuatro dominios del yacimiento fluvio-glaciar La Quinua

Mina	Dominio	Au Parametros									Rotación TSS			
		Efecto Pepita	Estructura 1				Estructura 2				ZL	YR	ZL	
		C0	C1	X	Y	Z	C1	X	Y	Z	Ang1	Ang2	Ang3	
La Quinua	Oro_ Todo													
La Quinua	Oro_Dominio Central 1	0.1	0.25	60	120	30	0.65	550	700	150	-25	16	67	
La Quinua	Oro_Dominio Central 2	0.1	0.2	90	50	55	0.7	725	950	70	6	-3	49	
La Quinua	Oro_Dominio Norte	0.22	0.4	250	30	20	0.38	850	645	70	54	-3	-66	
La Quinua	Oro_Dominio Sur	0.19	0.45	50	40	10	0.36	350	750	33	-31	3	-6	

#### 5.4.6 Método de estimación

- *Modelo de bloques*

Para realizar el modelo de bloques se ha dividido el yacimiento fluvioglacial La Quinua en cuatro dominios geológicos (Sección 5.4.1). Los dominios y sus respectivas variografías han sido determinados de acuerdo a la distribución espacial de las leyes del oro que esta alojado en los sedimentos. Estos cuatro dominios son: (1) Norte, (2) Central 1, (3) Central 2 y (4) Sur.

Si un determinado bloque esta ubicado espacialmente en alguno de los cuatro 4 dominios el valor de la ley de oro que le corresponde será calculado utilizando las leyes de los taladros mas cercanos de acuerdo a las direcciones preferenciales de mineralización y los alcances de búsqueda del variograma de ese dominio en particular. La dirección de anisotropía de la variografía de cada uno de los cuatro dominios se muestra en la [Tabla 7](#). Las dimensiones y cantidades de los bloques de los cuatro dominios se muestran en la [Tabla 8](#).

Tabla 8. Dimensiones y cantidad de bloques para todo el yacimiento La Quinua

COMPLEJO LA QUINUA		
EJE X	EJE Y	EJE Z
25	25	12
200	235	87

- *Asignación de la densidad*

Para el cálculo del valor de la densidad de cada bloque se han establecido 14 dominios geológicos de acuerdo a las unidades y sub-unidades estratigráficas



definidas por Williams y Calderón (2000) y Mallette (2002). Estos dominios con sus respectivos valores son:

- 1 = Gravas de la Secuencia Superior (2.10)
- 2 = Gravas de la Secuencia Media (1.97)
- 3 = Gravas de la Secuencia Inferior (1.98)
- 4 = Paleosuelo
- 5 = Aluvial (2.03)
- 6 = Flujo de Lodo > 36m en La Quinoa Norte y La Quinoa Sur (2.05)
- 7 = Flujo de Lodo > 36m en La Quinoa Central (2.19)
- 8 = Ferricreta – No consolidada + Consolidada (2.21)
- 9 = Flujo de Lodo Arcilloso en La Quinoa Central (1.97)
- 10 = Flujo de Lodo Arcilloso en La Quinoa Norte (1.86)
- 11 = Flujo de Lodo Arcilloso en La Quinoa Sur (1.86)
- 12 = Flujo de Lodo Arcilloso con Pirita (Todos los yacimientos) (1.97)
- 13 = Sombrero de hierro (2.20)
- 14 = Finos 1.80

Si un determinado bloque está ubicado dentro de alguno de estos 14 dominios el valor de densidad que le corresponde será el asignado para este dominio de acuerdo a la lista del párrafo anterior.

- *Estimación del oro*

Como ya había sido mencionado, el valor de la ley de oro que le corresponde a un determinado bloque que esta ubicado espacialmente en alguno de los cuatro dominios geológicos será calculado de acuerdo a la variografía de ese dominio en particular.

En primer lugar se calcula el modelo de bloques con el método vecino más cercano, esto se hace debido a que con este método, aunque es muy simple, la ley promedio de los bloques obtenidos es la mejor ley global de cada dominio.

En segundo lugar se calculan las leyes de los bloques a través del método Ordinary Kriging que es el más confiable. Se utilizan los datos con 'corte' (análisis estadístico), variografía de cada dominio y análisis de parámetros de búsqueda (mínimo y máximo de muestra por bloque, y direcciones preferenciales de búsqueda).

Con el análisis de los parámetros de búsqueda se obtienen diferentes resultados de modelos krigeados, se escoge el mejor modelo utilizando un método de validación (validación global, validación local (por franjas), validación Herco y validación cruzada). Se han calculado hasta 3 casos distintos con diferentes ajustes para cada uno de los dominios ([Figura 48](#)).

Finalmente se valida el modelo comparando la media global de los modelos calculados por el método Ordinary Kriging con respecto a media global del modelo calculado por el método del vecino más cercano, esta variación no debe tener una diferencia mayor al 5%.

#### *5.4.7 Clasificación del recurso*

La clasificación de recursos esta muy ligada al espaciamiento de los taladros de perforación. Para evaluar que espaciamiento de taladros (de un programa de perforación para rellenar) es el más adecuado para clasificar el recurso se tomaran las siguientes consideraciones:

**Dominio Central 1**

**Kriging Ordinario (KO)**

Dominio	Muestras	Min	Max	Media	Var	Dev Est	CV
8_OK	10592	0.015	2.397	0.607	0.217	0.466	0.769
10_OK	10592	0.017	2.308	0.606	0.212	0.461	0.761
12_OK	10592	0.022	2.349	0.605	0.209	0.458	0.756

**Vecino más Cercano (VC)**

Dominio	Muestras	Min	Max	Media	Var	Dev Est	CV
NN	10592	0.003	3.190	0.618	0.341	0.584	0.946
NN	10592	0.003	3.190	0.618	0.341	0.584	0.946
NN	10592	0.003	3.190	0.618	0.341	0.584	0.946

(KO-VC)/KO

-1.81%

-1.98%

-2.08%

**Dominio Central 2**

**Kriging Ordinario (KO)**

Dominio	Muestras	Min	Max	Media	Var	Dev Est	CV
8_OK	38793	0.034	3.332	0.460	0.130	0.361	0.784
10_OK	38793	0.037	3.157	0.460	0.128	0.358	0.778
12_OK	38793	0.041	3.151	0.459	0.126	0.356	0.775

**Vecino más Cercano (VC)**

Dominio	Muestras	Min	Max	Media	Var	Dev Est	CV
NN	38793	0.004	5.000	0.455	0.169	0.411	0.904
NN	38793	0.004	5.000	0.455	0.169	0.411	0.904
NN	38793	0.004	5.000	0.455	0.169	0.411	0.904

(KO-VC)/KO

1.00%

0.96%

0.87%

**Dominio Norte**

**Kriging Ordinario (KO)**

Dominio	Muestras	Min	Max	Media	Var	Dev Est	CV
8_OK	31785	0.051	1.137	0.256	0.012	0.110	0.429
10_OK	31785	0.049	1.129	0.255	0.012	0.107	0.420
12_OK	31785	0.052	1.164	0.255	0.011	0.106	0.415

**Vecino más Cercano (VC)**

Dominio	Muestras	Min	Max	Media	Var	Dev Est	CV
NN	31785	0.005	1.553	0.258	0.023	0.152	0.592
NN	31785	0.005	1.553	0.258	0.023	0.152	0.592
NN	31785	0.005	1.553	0.258	0.023	0.152	0.592

(KO-VC)/KO

-0.78%

-0.94%

-1.02%

**Dominio Sur**

**Kriging Ordinario (KO)**

Dominio	Muestras	Min	Max	Media	Var	Dev Est	CV
8_OK	13103	0.064	1.174	0.372	0.016	0.127	0.340
10_OK	13103	0.064	1.175	0.372	0.016	0.125	0.336
12_OK	13103	0.064	1.168	0.372	0.015	0.124	0.333

**Vecino más Cercano (VC)**

Dominio	Muestras	Min	Max	Media	Var	Dev Est	CV
NN	13103	0.004	4.031	0.371	0.038	0.195	0.525
NN	13103	0.004	4.031	0.371	0.038	0.195	0.525
NN	13103	0.004	4.031	0.371	0.038	0.195	0.525

(KO-VC)/KO

0.13%

0.11%

0.08%

Figura 48. Validación global del modelo de estimación para los cuatro dominios

- Variabilidad de la mineralización: Cuando hay alta ley hay alta variabilidad, cuando hay baja ley hay baja variabilidad.
- Escala de la mineralización: Depende del tipo de mineralización del yacimiento (sistema de vetas o a un yacimiento diseminado) y de la geometría de los cuerpos (cilindro, tabular, etc.)
- Contactos duros y suaves: Para diferenciar el comportamiento de los diferentes dominios y la relación que tiene la mineralización entre ellos.
- Controles estructurales y litológicos: Ayudan a definir los dominios.
- Problemas de muestreo (oro grueso): Ocasiona alta variabilidad.
- Múltiples metales con diferentes distribuciones: Cuando tenemos más de un metal de interés económico, uno de ello se debe evaluar como un metal equivalente al otro.

- *Sistema de clasificación de recursos*

La clasificación se realiza teniendo en cuenta un estudio de espaciamiento de taladros, distancia de las muestras al bloque estimado, número de muestras con las que se estimó el bloque y la varianza de estimación del bloque. En base a estos parámetros se tiene que clasificar de acuerdo a:

- Recursos medidos: Se considera como un recurso medido cuando se tiene una diferencia del 15% entre el modelo y la producción en un mes (reconciliación).
- Recursos indicados: Se considera un recurso indicado cuando se tiene una diferencia del 15% entre el modelo y la producción en un año (reconciliación anual).
- Recursos inferidos: Se considera un recurso inferido a todo recurso potencial con alta grado de incertidumbre y muy baja confiabilidad.

En el presente informe se menciona los siguientes criterios para hacer una categorización de los recursos que pueda ser auditada:

- *Distancia de la muestra mas cercana al bloque versus la Varianza del Kriging* del mismo bloque, esto generara una nube de puntos con dos familias de datos diferenciadas, una familia corresponderá a los bloques medidos e indicados mientras que la otra familia corresponderá a los bloque inferidos (a mayores distancias y varianzas tendremos una mayor incertidumbre). Este método tendrá un mejor control de la anisotropía porque utiliza directamente la variografía (Varianza de Kriging).
- *Dar un peso a la continuidad geológica* que es utilizada en la definición de los dominios.
- *Categorizar como inferidos* aquellos bloques que hayan sido calculados con leyes provenientes de un solo taladro de perforación durante la búsqueda hecha por el elipsoide.

La nube de puntos con las dos familias que corresponden a los bloques medidos e indicados y a los bloques inferidos para los cuatro dominios se observan en las [Figuras 49 y 50](#).

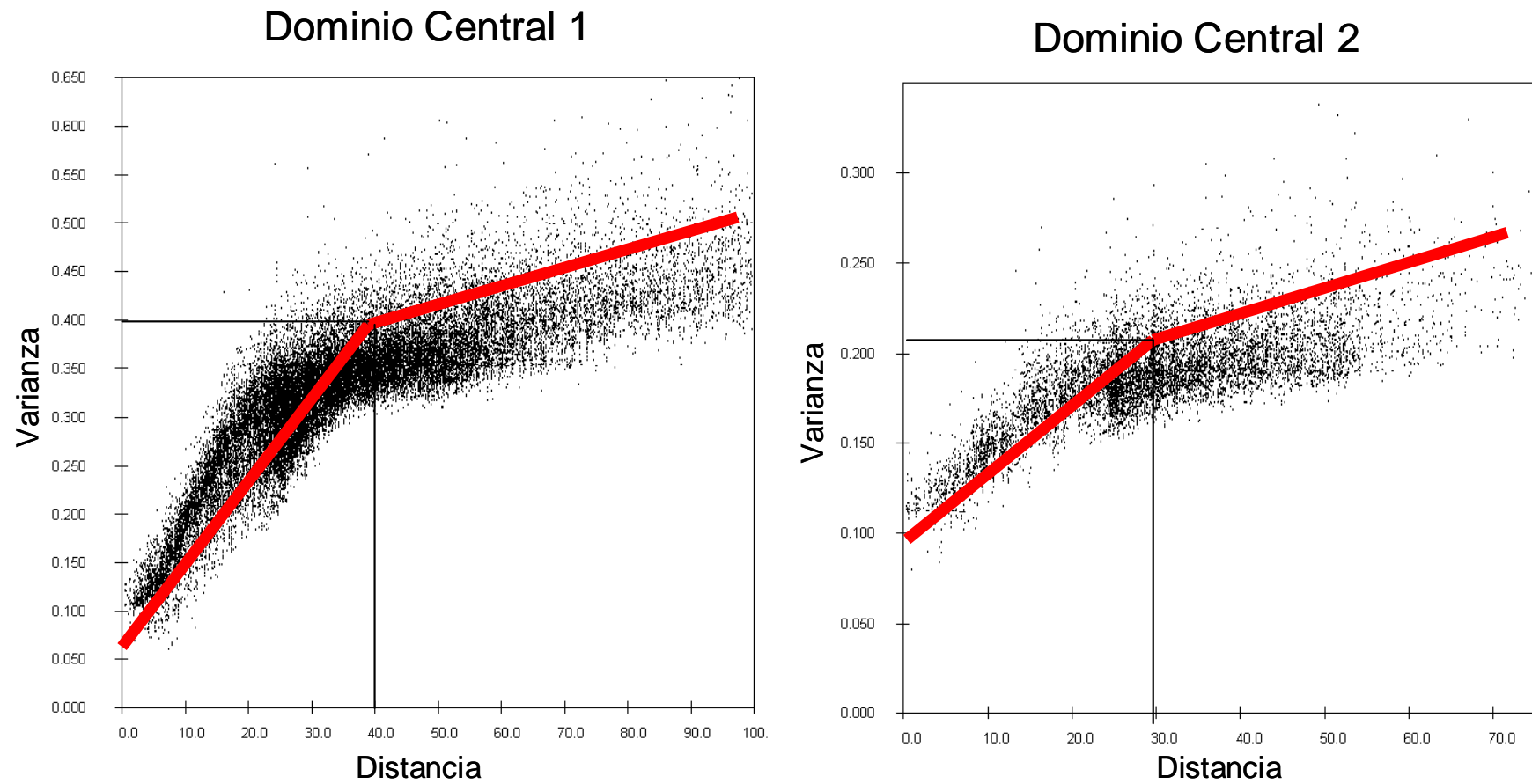


Figura 49. Distancia de la muestra mas cercana al bloque versus la Varianza del Kriging de los Dominios Central 1 y Central 2

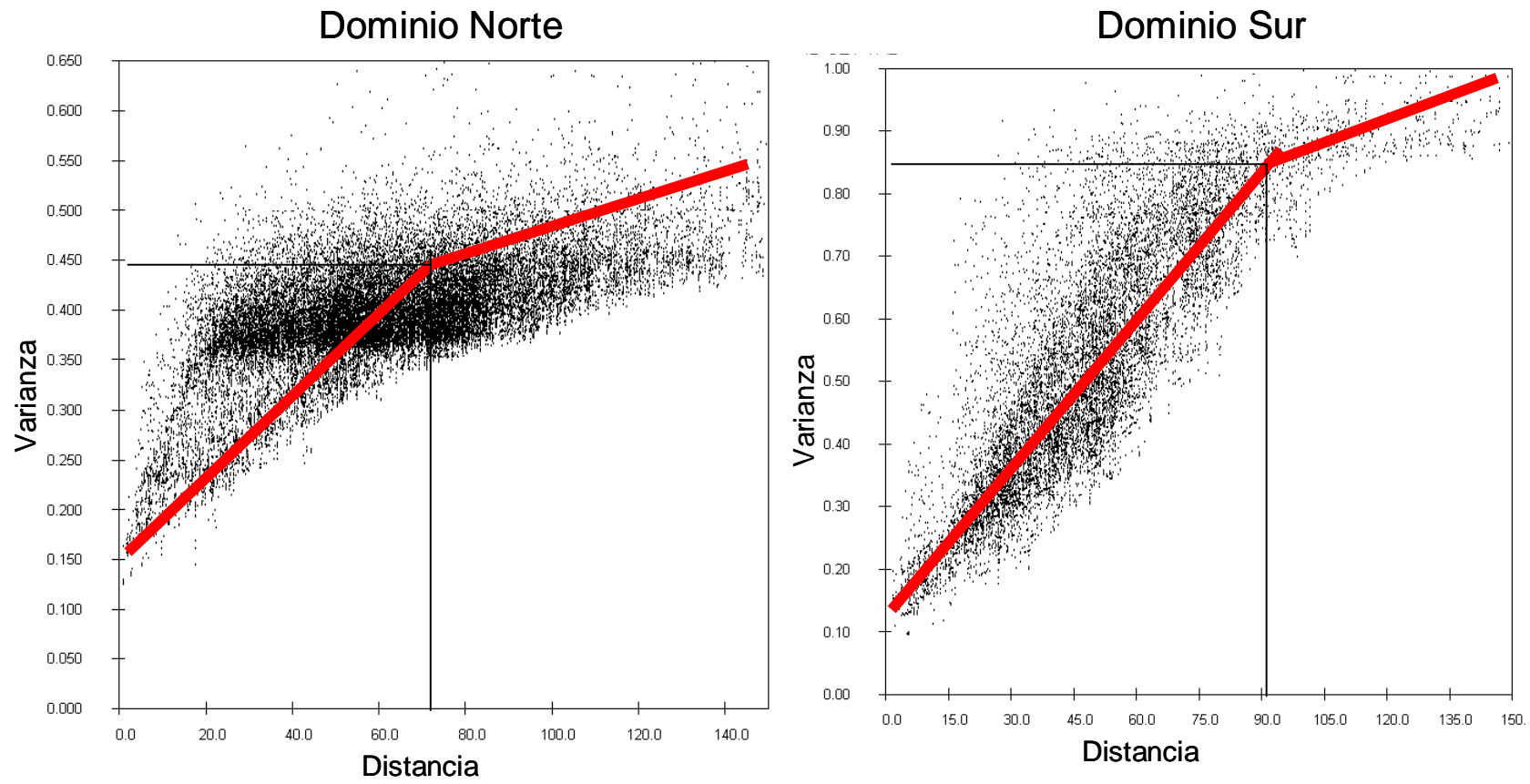


Figura 50. Distancia de la muestra mas cercana al bloque versus la Varianza del Kriging de los Dominios Norte y Sur

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

El descubrimiento de los yacimientos de oro alojado en gravas La Quinua es el resultado del trabajo de los geólogos de exploración a quienes se les permitió desarrollar conceptos de exploración con taladros de perforación. En el análisis final, el hecho de que el descubrimiento resultante no estuviese de acuerdo al concepto de exploración original es irrelevante. Lo que es relevante es que los geólogos no estuvieron enfocados a un solo tipo de yacimiento por descubrir y que se debe ser lo suficientemente firme para desarrollar la producción de oro de un tipo de yacimiento que estaba fuera de todo lo conocido hasta ese entonces.

Las gravas que cayeron de las partes altas de Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste fueron transportadas ladera abajo y llenaron dos cuencas deposicionales separadas por la divisoria continental Andina de rumbo aproximado este-oeste. Al sur de la divisoria continental, en la cuenca La Quinua, las gravas llegan hasta 320 m de espesor. Esta secuencia de sedimentos clásticos gruesos portadores de oro aloja a los yacimientos La Quinua Central y La Quinua Sur. La cuenca La Pajuela ocurre inmediatamente al norte de la divisoria continental donde las gravas llegan hasta 350 m de espesor. Las gravas portadoras de oro de leyes económicas marginales están localizadas en las unidades estratigráficas más altas. Estas unidades hospedan el yacimiento La Quinua Norte.

Las muestras geoquímicas superficiales muestran una baja a moderada anomalía de oro en promedio. Este hecho lleva a suponer que las gravas experimentaron una removilización vertical del oro desde la superficie hacia la profundidad teniendo en cuenta que la zona comprendida entre el tope de las Gravas de la Secuencia Inferior y la base de las Gravas de la Secuencia Superior es la que tiene las más altas leyes en todo el yacimiento. Esta conclusión es una herramienta



más en la búsqueda de yacimientos de gravas ya que se puede pensar que si la anomalía superficial de una morrena o depósito aluvial es baja, debajo de ella se podría encontrar un yacimiento de mayor ley promedio enriquecido por removilización del oro.

Valores de resistividad  $> 2000$  Ohm-m corresponde principalmente a la morrena de la superficie (Gravas de la Secuencia Superior - con presencia de fragmentos silíceos), mientras que valores  $< 80$  Ohm-m corresponde a las Gravas de la Secuencia Inferior (que tienen un mayor contenido de una matriz lodosa), y debajo de ellas a la Secuencia porfirítica superior Yanacocha que presenta alteraciones propilítica y argílica. Esto hecho indica que si las mediciones geofísicas muestran altos valores de resistividad pueden estar indicando la presencia de gravas con mayor presencia de fragmentos silíceos, los que a su vez podrían tener concentraciones de oro; mientras que, cuando los valores de resistividad son bajos, ellos indicarían la presencia de gravas con mayor contenido de una matriz lodosa o de una roca de alteración propilítica o argílica las cuales tiene bajos valores de oro. Esta conclusión es una herramienta más para la búsqueda de nuevos yacimientos de gravas.

Un estudio de la presencia de oro en muestras de pantanos de hierro sugiere que el origen del oro presente en la goethita precipitada químicamente sería de una solución rica en hierro y que al mismo tiempo contenía oro en solución.

El oro de La Quinoa fue suministrado desde los yacimientos primarios Yanacocha Sur y Yanacocha Oeste y fue transportado hacia las cuencas La Quinoa y La Pajuela como oro diseminado en clastos de mena primaria y como partículas de oro liberado del tamaño de limo a arcilla. Estos clastos, limos y arcillas fueron acomodados en las cuencas mencionadas de acuerdo a las direcciones de flujo de los agentes transportadores tales como el agua y el hielo siendo la dirección de acomodo final de los clastos y lodo y por consiguiente del oro perpendicular a la dirección del

flujo de los agentes transportadores. El desplazamiento estructural y el suave plegamiento de las unidades sedimentarias indican una tectónica de la cuenca que siguió a la deposición de las gravas. Esta interpretación se ha deducido de la observación de la ubicación espacial de los valores de oro y de la distribución espacial de las gravas, arenas y lodos en las paredes del tajo.

Con el uso de la información se han definido cuatro dominios geológicos a partir de los cuales se ha hecho la estimación de las reservas y los recursos de oro en el yacimiento La Quinoa. Es importante resaltar que la observación detallada de la distribución espacial de los valores de oro de las muestras de los taladros de exploración y de los taladros de producción con la ayuda del programa geomodel, el análisis de la variografía de las leyes de oro con los programas SAGE 2001 y TSS y el reconocimiento de los desplazamientos estructurales y el plegamiento de algunas unidades sedimentarias observadas en las paredes de los tajos, han sido las herramientas mas relevantes para la definición de los dominios, la estimación de las leyes de oro de los bloques y la estimación de las reservas y los recursos del yacimiento con un alto grado de confiabilidad.

La observación espacial de la ubicación de las leyes de cualquier elemento, el uso de programas de computación avanzados para realizar el análisis de la variografía de las leyes del mismo elemento y la observación detallada de la distribución espacial de las unidades litológicas con sus respectivos rasgos estructurales que alojan el elemento de interés son herramientas poderosas para hacer una estimación de alta confiabilidad de las reservas y recursos del elemento en estudio. Estos conocimientos ayudaran a definir mejor los programas de exploración en las morrenas y depósitos aluviales que aun quedan por explorar en el distrito minero Yanacocha.

**RECOMENDACIONES:**

Siempre que se haga un programa de exploración en morrenas o depósitos aluviales en el Distrito Minero Yanacocha se recomienda hacer el muestreo geoquímico de calicatas, pozas, quebradas y accesos para tener una idea del potencial económico que se podría encontrar. Aun cuando la anomalía superficial de oro sea baja, se debe realizar perforaciones de taladros ya que algunos niveles en el interior de las gravas podrían haber sido enriquecidos por procesos secundarios.

Del mismo modo, se recomienda hacer mediciones geofísicas ya que esta herramienta nos ayudará a encontrar las gravas con mayor presencia de fragmentos silíceos las cuales tienen una mayor resistividad y son las que podrían contener concentraciones importantes de oro. Del mismo modo, cuando los valores de resistividad son bajos ellos indicarían la presencia de gravas con mayor contenido de una matriz lodosa o una roca de alteración propilítica o argílica que no hospedan concentraciones importantes de oro.

Se recomienda hacer un estudio completo de la historia geoquímica de los yacimientos Yanacocha Sur y La Quinoa Central para tener un mejor entendimiento de los procesos de oxidación de los sulfuros como la pirita, formación de soluciones ricas en hierro (las cuales pueden haber transportado oro en solución) y su posterior precipitación en la base las Gravas de la Secuencia Superior del yacimiento fluvio-glaciar La Quinoa donde se han encontrado altos valores de oro.

Se recomienda que se hagan algunas secciones pulidas de muestras de pantanos de hierro para ser estudiadas mediante microscopía electrónica y difracción para determinar la presencia o ausencia del componente detrítico. Estos estudios confirmarían el origen químico del oro presente en la goethita precipitada químicamente.

Además de hacer un registro geológico detallado del área, mediciones geofísicas de alta calidad, muestreos geoquímicos en calicatas, pozas, quebradas y canales y un buen registro geológico de los núcleos de taladros de exploración; para llevar a cabo buenos programas de exploración y desarrollo en las morrenas y depósitos aluviales que aun quedan en el Distrito Minero Yanacocha se recomienda hacer la observación espacial de la ubicación de las leyes del elemento de interés, el uso de programas de computación avanzados para realizar el análisis de la variografía de las leyes del mismo elemento y la observación detallada de la distribución espacial de las unidades litológicas con sus respectivos rasgos estructurales que alojan el elemento de interés.

## BIBLIOGRAFÍA

### RESUMEN

Mallette, P.M., Rojas, R.E., y Gutierrez, A.R., 2004, Geology, Mineralization, and Genesis of the La Quinoa Gold Deposit, Yanacocha District, Northern Peru, p. 1-2.

### Capítulo 2

Longo, A., 2005, Evolution of Volcanism and Hydrothermal Activity in the Yanacocha Mining District, Northern Perú, p. 35-40 y 187-188.

### Capítulo 3

Mallette, P.M., Rojas, R.E., y Gutierrez, A.R., 2004, Geology, Mineralization, and Genesis of the La Quinoa Gold Deposit, Yanacocha District, Northern Peru, p. 3-9.

Williams, C., y Douglas, I., 1999, La Quinoa and El Tapado Feasibility Study: Geology and Models Section, p. 3-2 y 3-3.

Trujillo, J., y Bartra, R., 1997, Proyecto La Quinoa, Evaluación Geoquímica.

Pineault, R., 1997, SIROTEM (TDEM) SURVEY REPORT, LA QUINUA PROJECT, p. 1-3, 6, 10-17, Appendix 3.

Newmont Mining Corporation, MINERAL RESOURCE AND ORE RESERVE REPORT AS OF DECEMBER 31, 2007, Yanacocha District, p. 47- 48 and 80.

### Capítulo 4

Mallette, P.M., Rojas, R.E., y Gutierrez, A.R., 2004, Geology, Mineralization, and Genesis of the La Quinoa Gold Deposit, Yanacocha District, Northern Peru, p. 10-11.

Jacay, J., 2007, REPORTE SEDIMENTOLÓGICO PROVISIONAL PARA EL DEPÓSITO LA QUINUA (YANACOCCHA), p. 6.

### Capítulo 5

Williams, C., y Douglas, I., 1999, La Quinoa and El Tapado Feasibility Study: Metallurgy Section, p. 4-1 y 4-5.

Fernández, R., y Escobar, G., 2008, METALLURGICAL TESTING ON 41 SAMPLES FROM LA QUINUA SUR - 2007 CAMPAIGN, p. 1.

Newmont Mining Corporation, MINERAL RESOURCE AND ORE RESERVE REPORT AS OF DECEMBER 31, 2007, Yanacocha District, p. 80, 81, 108 y 111.

Newmont Mining Corporation, La Quinoa Sur - 2008 Drilling Report, p. 6-8.

Hardtke, W., 2008, Resource Classification (Presentation), p. 2-4