



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



ESTUDIO GEOLÓGICO PARA LA PROSPECCIÓN DE NUEVAS
ZONAS DE INTERÉS ECONÓMICO EN EL SECTOR DE
CALLANQUITAS PROYECTO IGOR - LA LIBERTAD.

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. PLATON PEDRO RAMOS YAPO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A mi padre Vidal y a mi madre Evangelina por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera profesional y haberme inculcado los valores de honestidad, respeto y solidaridad, que me hacen la persona que soy. También a mis hermanos Socrates y Taylor.

Platon Ramos



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la bendición de cada día.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, por haberme permitido desarrollar mi formación profesional, a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica en especial al Ing. Roberto Zegarra Ponce quien me motivo a seguir esta maravillosa carrera.

A la empresa “PPX MINING CORP” – Sienna Minerals SAC, donde realice mis prácticas profesionales y posteriormente recibir Training en exploraciones, también por permitirme tener el acceso a la información para la investigación y por conocer excelentes profesionales y amigos que guiaron el camino de mi profesión como Geólogo de Exploración.

A mi asesor, M. Sc. Roger Gonzales Aliaga por la valiosa orientación y apoyo profesional brindadas para la realización de este trabajo.

Agradezco a los Ingenieros Marcial Gutiérrez, Bernardino Huiza y Bedric Mory, quienes fueron mis mentores en los años que voy trabajando como geólogo de exploraciones enseñándome muchas habilidades de exploración geológica.

A mis compañeros de mi promoción 2016 II, quienes me motivaron a realizar la investigación.

A cada miembro de mi familia por su apoyo moral y recomendaciones.



ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 25

ABSTRACT..... 26

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES 28

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 30

1.2.1 Identificación del problema..... 30

1.2.2 Valoración del problema 30

1.2.3 Formulación del problema 31

1.3 HIPÓTESIS DEL TRABAJO..... 31

1.3.1 Hipótesis específica:..... 31

1.4 OBJETIVO GENERAL 32

1.4.1 Objetivos específicos 32

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 32

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GEOQUÍMICA 33

2.1.1 Exploración geoquímica..... 34

2.1.2 Asociación de elementos 35



2.1.3	Movilidad en el ambiente endógeno, dispersión primaria	37
2.1.4	Muestreo Geoquímico	38
2.1.4.1	Tipos de muestras	38
2.1.4.2	La importancia de muestreo	39
2.1.4.3	Método de toma de muestra	39
2.1.5	Anomalía Geoquímica	41
2.1.6	Fondo geoquímico o background.....	41
2.1.7	Umbral geoquímico o thershold.....	42
2.1.8	Coefficiente de correlación de Pearson (R).....	42
2.1.9	Interpretación de “R”	42
2.1.10	Anomalía geoquímica	43
2.1.11	Anomalías significantes	43
2.1.12	Distribución geoquímica	44
2.2	GEOESTADÍSTICA.....	44
2.2.1	Parámetros estadísticos	45
2.2.2	Medidas de tendencia central	45
2.2.2.1	Desviación estándar.....	46
2.2.2.2	Frecuencia relativa.....	46
2.2.2.3	Frecuencia acumulada	47
2.2.3	Interpolación con kriging	47
2.2.3.1	Kriging simple	48
2.2.3.2	Kriging ordinario	48
2.2.3.3	Semivariancia y semivariograma	48
2.2.4	Modelos de semivariograma	49
2.2.5	Estudio exploratorio de datos – EDA.....	51



CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	53
3.1.1	Recopilación de información	54
3.1.2	Fase de campo	54
3.1.2.1	Mapeo geológico	54
3.1.2.2	Método de muestreo	55
3.1.3	Etapa de laboratorio	57
3.1.3.1	Análisis por ensayos al fuego (fa) – muestras de oro.....	58
3.1.3.2	Análisis por espectrofotómetro de emisión de plasma acoplado inductivamente.....	58
3.1.3.3	Flujograma preparación de muestras geoquímicas.....	60
3.1.4	Trabajo de gabinete	61
3.1.4.1	Procesamiento de información	61
3.1.4.2	Estudio exploratorio de datos muestras de roca superficie	61
3.1.4.3	Análisis probabilístico geoquímico	62
3.2	MATERIALES UTILIZADOS.....	63

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1	UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	64
4.2	GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	66
4.2.1	Estratigrafía	66
4.2.2	Litología local	67
4.2.3	Geoquímica en la litología local	70
4.2.3.1	Arenisca cuarzosa (QA)	70



4.2.3.2	Arenisca (SST)	73
4.2.3.3	Limolita carbonosa (SILC).....	75
4.2.3.4	Limolita arcillosa (SIL)	77
4.2.3.5	Roca volcanosedimentario (VSED)	79
4.2.3.6	Dacita porfirítica (PD).....	81
4.2.3.7	Brechas hidrotermales matriz oxfe (HYBXO).....	83
4.2.3.8	Brechas hidrotermales matriz cuarzo oqueroso (HYBX).....	83
4.2.3.9	Brechas tectónicas (TBX).....	84
4.2.3.10	Brecha crackle	85
4.2.3.11	Brecha jigsaw	85
4.2.3.12	Brecha mosaico	86
4.2.3.13	Brecha rubble.....	87
4.2.4	Geología estructural	89
4.2.4.1	Sistema N-S:.....	90
4.2.4.2	Sistema NE-SW:.....	90
4.2.4.3	Sistema NW-SE:.....	90
4.3	MINERALIZACIÓN LOCAL.....	92
4.3.1	Mineragrafía.....	93
4.3.1.1	Análisis de la muestra: K154273.....	93
4.3.1.2	Análisis de la muestra: i243826	95

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE VETAS Y BRECHAS.....	99
5.1.1	Controles de calidad al muestreo (QA-QC).....	99
5.1.1.1	Blancos	99



5.1.1.2	Duplicados	102
5.1.1.3	Estándares	104
5.1.2	Estadística de las estructuras Callanquitas Este y Callanquitas Oeste con perforación diamantina.	110
5.1.2.1	Correlación geoquímica de Callanquitas Este y Callanquitas Oeste. 111	
5.1.3	Estadística descriptiva en estructuras mineralizadas.....	114
5.1.3.1	Vetas hidrotermales en las estructuras Callanquitas (V).....	114
5.1.3.2	Brechas hidrotermales (HYBX Y HYBXO)	117
5.1.3.3	Brechas tectónicas en las estructuras Callanquitas (TBX Y PEB):.	119
5.2	DETERMINACIÓN COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LOS ELEMENTOS AFINES AL ORO.....	121
5.2.1	Estadística descriptiva de muestras de exploración superficie	121
5.2.2	Correlación geoquímica de elementos para muestras de superficie....	121
5.2.2.1	Correlación de brechas/vetas vs muestras de superficie.....	123
5.2.3	Geoquímica de superficie.....	123
5.2.4	Geoquímica Au-Ag	127
5.2.4.1	Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Au.....	127
5.2.4.2	Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Ag.....	127
5.2.4.3	Distribución de cantidad de muestras del Au-Ag.....	128
5.2.4.4	Densidad de datos de Au - Ag.....	129
5.2.4.5	Variograma experimental para el Au	130
5.2.4.6	Variograma experimental para la Ag	132
5.2.5	Geoquímica Au-As.....	134
5.2.5.1	Prueba de normalidad de datos geoquímicos del As	134



5.2.5.2	Distribución de cantidad de muestras del Au-As	134
5.2.5.3	Densidad de datos de Au - As	135
5.2.5.4	Variograma experimental para el As	136
5.2.6	Geoquímica Au-Bi	138
5.2.6.1	Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Bi.....	138
5.2.6.2	Distribución de cantidad de muestras del Au-Bi.....	138
5.2.6.3	Densidad de datos de Au - Bi.....	139
5.2.6.4	Variograma experimental para el Bi.....	140
5.2.7	Geoquímica Au-Cu	142
5.2.7.1	Distribución de cantidad de datos del Au-Cu.....	142
5.2.7.2	Densidad de datos de Au - Cu	143
5.2.7.3	Variograma experimental para el Cu.....	144
5.2.8	Geoquímica Au-Fe	146
5.2.8.1	Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Fe	146
5.2.8.2	Distribución de cantidad de datos del Au-Fe	146
5.2.8.3	Densidad de datos de Au - Fe.....	147
5.2.8.4	Variograma experimental para el Fe	148
5.2.9	Geoquímica Au-Pb.....	150
5.2.9.1	Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Pb	150
5.2.9.2	Distribución de cantidad de datos del Au-Pb	150
5.2.9.3	Densidad de datos de Au - Pb.....	151
5.2.9.4	Variograma experimental para el Pb	152
5.2.10	Geoquímica Au-Sb.....	154
5.2.10.1	Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Sb	154
5.2.10.2	Distribución de cantidad de datos del Au-Sb	154



5.2.10.3	Densidad de datos de Au - Sb.....	155
5.2.10.4	Variograma experimental para el Sb	156
5.2.11	Geoquímica Au-Sn.....	158
5.2.11.1	Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Sn	158
5.2.11.2	Distribución de cantidad de datos del Au-Sn	158
5.2.11.3	Densidad de datos de Au - Sn.....	159
5.2.11.4	Variograma experimental para el Sn	160
5.2.12	Sobreposición de los elementos Au, Ag, As, Bi, Cu, Fe, Pb, Sb, Sn..	162
5.2.12.1	Zona Sur-Este del proyecto Igor.....	164
5.2.12.2	Zona - Portachuelos	164
5.2.12.3	Zona Nor-Este, Mina Callanquitas	164
5.2.12.4	Zona Nor-Oeste, Mina Callanquitas.....	164
5.2.13	Feeders principales de mineralización	165
5.2.13.1	Feeder numero 01	165
5.2.13.2	Feeder número 02 y 03	166
5.2.13.3	Feeder número 04	166
VI. CONCLUSIONES.....		168
VII. RECOMENDACIONES		169
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....		170
ANEXOS.....		173

Área: Geología de Minas.

Línea: Prospección Geológica.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 03 de febrero del 2022.



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución espacial de los halos primarios en la zona de mineral controlada por fallas durante dos etapas metalogénicas principales. (An <i>et al.</i> , 2020) ...	37
Figura 2. Delimitación de canal de muestreo Izquierda Corte superior e inferior para delimitar el ancho del canal. Derecha recolección del total de la muestra de la parte intermedia del canal (Modificado de Paredes).....	40
Figura 3. Canal punteado sobre una línea (Modificado de Paredes)	40
Figura 4. Canal punteado, recolección de incrementos dentro del canal (Modificado de Paredes)	41
Figura 5. Distribución geoquímica (Hosking, 1951).	44
Figura 6. Diagramas de distribución normal gaussiana, mostrando la posición de algunos parámetros estadísticos (Rivera, 2007).....	46
Figura 7. Histogramas que muestran la simetría (Rivera, 2007)	47
Figura 8. Ejemplo ilustrativo cómo funciona Kriging (Oliver, 1990).....	48
Figura 9. Variograma (Williams, 1998).....	49
Figura 10. Ilustración de componentes de rango, meseta y nugget. (McBratney, 1986)	50
Figura 11. Estructura de la metodología de trabajo (Fuente: Propia).....	53
Figura 12. Foto panorámica del Cerro Bola de Igor. (Fuente BD PPX Mining).....	55
Figura 13. Plan de mapeo geológico al sur de Callanquitas. (Fuente BD PPX Mining)	55
Figura 14. Muestreo en Canal de estructuras mineralizadas tipo brecha.....	56
Figura 15. Muestreo de veta y cajas mineralizadas en distintas muestras	57
Figura 16. Muestreo de veta y caja (Fuente BD PPX Mining).....	57
Figura 17. Flujograma de preparación de muestras (Fuente SGS).	60
Figura 18. Se aprecia el trabajo realizado del tratamiento estadístico para todos los elementos realizado. (Fuente: IoGas).....	62



Figura 19. Mapa de ubicación proyecto Igor-La libertad (Fuente: Propia)	65
Figura 20. Estratigrafía local del área de Callanquitas - La libertad (Fuente: Informes PPX Mining Corp)	67
Figura 21. Mapa geológico local de proyecto Igor (Fuente: PPX Mining Corp)	69
Figura 22. Muestra de perforación de diamantina A 125.10 m. Cuarciarenita con óxidos en fracturas y pirita fina diseminada. (Fuente BD PPX Mining).....	71
Figura 23. Muestra de perforación de diamantina A 46.20 m. arenisca masiva sin alteración (Fuente BD PPX Mining).....	73
Figura 24. Muestra de perforación de diamantina A 23.70 m, Limolita arcillosa laminar con material carbonoso (Fuente BD PPX Mining)	75
Figura 25. Muestra de perforación de diamantina A 59.40 m, Limolita arcillosa con escaso niveles de arenisca. (Fuente BD PPX Mining).....	77
Figura 26. Volcanosedimentario con pseudo estratificación y pequeños niveles de SILC. (Fuente BD PPX Mining Corp).....	79
Figura 27. Muestra de perforación diamantina A_73.00m. Dacita Porfirítica con alteración argílica moderada con ojos de cuarzo y halos de oxidación. (Fuente BD PPX Mining Corp).....	81
Figura 28. Muestra de perforación diamantina A: 99.90m. Veta remplazamiento de OxFe con HYBX matriz soportada de Goetita, Limonita en oquedades, (Fuente PPX Mining).	83
Figura 29. Muestras de perforación diamantina A 39.70 m, Veta de remplazamiento de sílice blanca y gris oqueroso, (Fuente PPX Mining).....	84
Figura 30. Muestra de perforación diamantina A 145.40 m, Brecha tectónica con matriz polvo de roca con clastos cuarciarenita, (Fuente PPX Mining).	84
Figura 31. Fotografía de Bx-Crackel en sondajes diamantinos (Fuente PPX Mining) ..	85



Figura 32. Fotografía Bx-Jigsaw en sondajes diamantinos (Fuente PPX Mining).....	86
Figura 33. Fotografía de Bx-Mosaica en sondaje diamantino (Fuente PPX Mining). ...	87
Figura 34. Fotografía de sondaje diamantino Bx-Rubble (Fuente PPX Mining)	87
Figura 35. Mapa geológico regional (Fuente: PPX Mining Corp & INGEMMET).....	88
Figura 36. Vista al Sureste del yacimiento donde observamos el eje del anticlinal en la imagen satelital (Fuente: Informes internos).....	89
Figura 37. Mapa estructural del proyecto Igor-La libertad (Fuente: PPX Mining corp)	91
Figura 38. Microfotografía muestra K154273. Microfotografía de bajo aumento tomada en lupa binocular sobre la sección pulida.....	94
Figura 39. Muestra K154273. Cristal de oro de 35 μm en goethita. Aum.: 32x10; Nic. Paralelos (fotomicrografía lado izquierdo).	95
Figura 40. Muestra I243826: microfotografía de bajo aumento tomada en lupa binocular sobre la sección pulida.	96
Figura 41. Muestra I243826: goethita con abundantes y bien desarrolladas estructuras coloformes. Aum.: 32x10; Nic. paralelos. (.....	97
Figura 42. Muestra I243826: Cristal de pirita preservado como sulfuro relicto en el cuarzo sobrecrecido en un cristal de cuarzo original (marcado por inclusiones submicroscópicas en su superficie. Aum.: 32x10; Nic. paralelos. (Fuente laboratorio).....	97
Figura 43. Muestra I243826: Cristales euhedrales de arsenopirita encapsulados en cuarzo en clastos silíceos. Aum.: 32x10; Nic. Paralelos.....	98
Figura 44. Muestra I 243826: Misma microfotografía anterior pero tomada bajo nicoles cruzados. Aum.: 32x10; Nic. cruzados. (Fuente laboratorio)	98
Figura 45. Gráfico en el tiempo de los resultados de Au con límite de contaminación de muestra. (Fuente: Propia)	102



Figura 46 Grafico de valores de Au de las muestras originales vs las muestras duplicadas (fuente propia).....	104
Figura 47. Estándar AuOx28 (Fuente: propia)	105
Figura 48. Estándar AuOx29 (Fuente: propia)	106
Figura 49. Estándar AuOx34 (Fuente: propia)	107
Figura 50. Estándar OxF100 (Fuente: propia)	108
Figura 51. Estándar PAL-11 (Fuente: propia)	109
Figura 52. Litología filtrada con interés económico y/o Anomalía geoquímica. (Fuente Software IoGAS).....	110
Figura 53. Muestra de perforación diamantina A 188.00 m, Veta de cuarzo oqueroso (Fuente PPX Mining)	115
Figura 54. Muestra de perforación de diamantina A 9.10 m, del sondaje CA-12-67. Brecha hidrotermal.....	117
Figura 55. Foto de Pebble Dyke tomada del sondaje CA-12-26 a una profundidad de 403.20 m. fábrica mosaico a rubble, clastos de cuarciarenita, arenisca y limolita. (Fuente BD PPX Mining)	119
Figura 56. Mapa de targets proyecto Igor (Fuente: PPX Mining Corp).....	125
Figura 57. Mapa Geoquímico de Au - Proyecto Igor (Fuente: PPX Mining Corp)	126
Figura 58. Distribución de datos geoquímicos del Au. (Fuente: Propia)	127
Figura 59. Distribución de datos geoquímicos de la Ag (Fuente: Propia).....	128
Figura 60. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Ag, se puede observar una buena distribución de la campana de Gauss para la Ag. (Fuente: Propia)	129



Figura 61. Ploteo de valores del Au y la Ag. Se observa una mayor densidad poblacional entre 0.2 ppm a 4 ppm de Au para alcanzar leyes entre 1 ppm a 100 ppm de Ag. (Fuente: Propia).....	129
Figura 62. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para la Au. (Fuente: Propia).....	130
Figura 63 Mapa de interpolación para Au método Kriging esférico con dirección de 105 grados, resalte de nuevas zonas anómalas. (Fuente: Propia).....	131
Figura 64. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para la Ag. (Fuente: Propia).....	132
Figura 65. Mapa de interpolación para Ag método Kriging esférico con dirección de 105 grados, resalte de nuevas zonas anómalas. (Fuente: Propia).....	133
Figura 66. Distribución de datos geoquímicos del As. (Fuente: Propia).....	134
Figura 67. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Ag, se puede observar una distribución regular de la campana de Gauss para la As, (Fuente: Propia).....	135
Figura 68. Ploteo de valores del Au y la As. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 2 a 10 ppm de Au para alcanzar leyes entre 8000 ppm a 10000 ppm de As. (Fuente: Propia)	135
Figura 69. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el As. (Fuente: Propia).....	136
Figura 70. Mapa de interpolación para As método Kriging esférico con dirección de 105 grados, resalte de nuevas zonas anómalas. (Fuente: Propia).....	137
Figura 71. Distribución de datos geoquímicos del Bi (Fuente: Propia).....	138



Figura 72. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Bi, se puede observar una distribución buena de la campana de Gauss para el Bi. (Fuente: Propia)	139
Figura 73. Ploteo de valores del Au y la Bi. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 0.8 ppm a 6 ppm de Au para alcanzar leyes entre 10 ppm a 50 ppm de Bi. Existen altos erráticos de Bi según la interpolación. (Fuente: Propia)...	139
Figura 74. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el Bi. (Fuente: Propia).....	140
Figura 75. Mapa de interpolación para Bi método Kriging esférico con dirección de 105 grados, resalte de nuevas zonas anómalas, (Fuente: Propia).....	141
Figura 76. Distribución de datos geoquímicos del Cu (Fuente: Propia).....	142
Figura 77. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Cu, se puede observar una distribución regular de la campana de Gauss para el Cu. (Fuente: Propia)	143
Figura 78. Ploteo de valores del Au y la Cu. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 1.0 ppm a 15 ppm de Au para alcanzar leyes entre 40 ppm a 1000 ppm de Cu. Existen altos erráticos de Cu y Au que no llegan a formar densidades importantes. (Fuente: Propia).....	143
Figura 79. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el Cu. (Fuente: Propia).....	144
Figura 80. Mapa de interpolación para Cu método Kriging esférico con dirección de 105 grados., resalte de nuevas zonas anómalas. (Fuente: Propia).....	145
Figura 81. Ploteo probabilístico del Au y Fe. Se puede observar una distribución regular de datos para realizar ensayos de Kriging. (El Fe se encuentra en %) (Fuente: Propia)	146



Figura 82. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Fe, se puede observar una distribución buena de la campana de Gauss para el Fe %. (Fuente: Propia)	147
Figura 83. Ploteo de valores del Au ppm y Fe%. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 0.8 ppm a 10.0 ppm de Au para alcanzar leyes entre 5% a 15% de Fe. Existen altos erráticos de Fe. (Fuente: Propia)	147
Figura 84. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el Fe. (Fuente: Propia)	148
Figura 85. Mapa de interpolación para Fe método Kriging esférico con dirección de 105 grados, resalte de nuevas zonas anómalas. (Fuente: Propia)	149
Figura 86. Ploteo probabilístico del Au y Pb. Se puede observar una distribución regular de datos para realizar ensayos de Kriging. (Fuente: Propia)	150
Figura 87. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Pb, se puede observar una distribución buena de la campana de Gauss para el Pb. (Fuente: Propia)	151
Figura 88. Ploteo de valores del Au y la Pb. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 1.0 ppm a 10 ppm de Au para alcanzar leyes entre 200 ppm a >10000 ppm de Pb. Existen altos erráticos de Pb y Au que no logran tener mayor densidad. (Fuente: Propia)	151
Figura 89. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el Pb. (Fuente: Propia)	152
Figura 90. Mapa de interpolación para Pb método Kriging esférico con dirección de 105 grados, resalte de zonas anómalas. (Fuente: Propia)	153
Figura 91. Ploteo probabilístico del Au y Sb. Se puede observar una distribución regular de datos para realizar ensayos de Kriging. (Fuente: Propia)	154



Figura 92. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Sb, se puede observar una distribución buena de la campana de Gauss para el Sb. (Fuente: Propia)	155
Figura 93. Ploteo de valores del Au y la Sb. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 0.2 ppm a 5 ppm de Au para alcanzar leyes entre 20 ppm a 1000 ppm de Sb. Existen altos erráticos de Sb según la interpolación. (Fuente: Propia)..	155
Figura 94. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el Sb. (Fuente: Propia)	156
Figura 95. Mapa de interpolación para Sb método Kriging esférico con dirección de 105 grados. (Fuente: Propia)	157
Figura 96. Ploteo probabilístico del Au y Sn. Se puede observar una distribución regular de datos para realizar ensayos de Kriging. (Fuente: Propia).....	158
Figura 97. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Sn, se puede observar una distribución mala de la campana de Gauss para el Sn, Probablemente debido a la cantidad de muestras y leyes muy erráticas. (Fuente: Propia)...	159
Figura 98. Ploteo de valores del Au y la Sn. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 0.7 ppm a 3 ppm de Au para alcanzar leyes entre 10 ppm a 200 ppm de Sn. Existen altos erráticos de Sn según la interpolación. (Fuente: Propia)..	159
Figura 99. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el Sn. (Fuente: Propia)	160
Figura 100. Mapa de interpolación para Sn método Kriging esférico con dirección de 105 grados con resalte de las zonas más anómalas. (Fuente: Propia)	161
Figura 101. Mapa de superposición con transparencia del 80% de los elementos Au, Ag, As, Bi, Cu, Fe, Pb, Sb, Sn donde muestra zonas calientes de mineralización. (Fuente: Propia).....	163



Figura 102. Mapa Geoquímico con superposición de capas donde se muestra el feeder Nro.01. (Fuente: Propia).....	165
Figura 103. Mapa Geoquímico con superposición de capas donde se muestra el feeder Nro. 02 y 03 (Fuente: Propia).....	166
Figura 104. Mapa Geoquímico con superposición de capas donde se muestra el feeder Nro. 04 (Fuente: Propia).....	167



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1. Contenido promedio, normal, de algunos elementos trazas	33
Tabla 2. Elementos con afinidad geoquímica y elementos guías asociados usados en exploración de depósitos	36
Tabla 3. Elementos indicadores y exploradores de algunos tipos de depósitos.	36
Tabla 4. Muestras de la prospección geoquímica	38
Tabla 5 Interpretación para la correlación de Pearson.....	43
Tabla 6. Los códigos de servicio que se solicitó en el laboratorio SGS fueron:	58
Tabla 7. Análisis por ensayos al fuego, brochure minerales SGS	58
Tabla 8. Tabla tomada de brochure laboratorio SGS.....	59
Tabla 9. Tabla de materiales necesarios para realizar la presente investigación	63
Tabla 10. Distancia y tiempo hacia el Proyecto Igor	64
Tabla 11. Tabla estadística en Au de todos los tipos de litologías de proyecto Igor.	70
Tabla 12. Datos faltantes en la cuarciarenita por elemento químico.	71
Tabla 13. Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Cuarciarenita.....	72
Tabla 14. Datos faltantes en la arenisca por elemento químico.....	73
Tabla 15. Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Arenisca	74
Tabla 16. Datos faltantes el cuarciarenita por elemento químico.....	75
Tabla 17. Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Limolita Carbonosa	76
Tabla 18. Datos faltantes en la limolita arcillosa por elemento químico.....	77
Tabla 19. Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Limolita Arcillosa.....	78
Tabla 20. Datos faltantes del volcanosedimentario por elemento químico	79
Tabla 21. Geoestadística y parámetros geoquímicos en el Volcanosedimentario	80
Tabla 22. Datos faltantes la dacita porfirítica por elemento químico	81
Tabla 23. Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Dacita Porfirítica	82



Tabla 24. Observaciones microscópicas de la muestra K154273.....	94
Tabla 25. Observaciones microscópicas de la muestra I 243826	96
Tabla 26. Tabla de muestras de control de Blancos.	99
Tabla 27. Tabla estadística de muestras duplicadas	102
Tabla 28. Tabla de muestras de control de Blancos.	103
Tabla 29. Estadística del estándar AuOx28	104
Tabla 30. Resultado de muestras analizadas del estándar AuOx28.....	105
Tabla 31. Estadística del estándar AuOx29	105
Tabla 32. Resultado de muestras analizadas del estándar AuOx29.....	106
Tabla 33. Estadística del estándar AuOx34.....	106
Tabla 34. Resultado de muestras analizadas del estándar AuOx34.....	107
Tabla 35. Estadística del estándar OxF100.....	107
Tabla 36. Resultado de muestras analizadas del estándar OXF100	108
Tabla 37. Estadística del estándar PAL-11	108
Tabla 38. Resultado de muestras analizadas del estándar PAL-11.....	109
Tabla 39. Escala de interpretación R	111
Tabla 40. Correlación estadística total de brechas hidrotermales en las estructuras principales mineralizantes Callanquitas este y Callanquitas oeste	113
Tabla 41. Geoquímica de las litologías de alta ley económica brechas y vetas.	114
Tabla 42. Geoestadística y parámetros geoquímicos en Vetas.....	116
Tabla 43. Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Brecha Hidrotermal y Estructuras mineralizadas.....	118
Tabla 44. Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Brecha Tectónica	120
Tabla 45. Estadística descriptiva para los elementos correlacionados con el Au.....	121
Tabla 46. Correlación estadística de Au, Ag.	122



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

%:	: Porcentaje
µm	: Micra
Ag	: Plata
As	: Arsénico
Au	: Oro
Aum	: Aumento
Bi	: Bismuto
Bx	: Brecha
CA	: Callanquitas
Cd	: Cadmio
Cu	: Cobre
Dsv.	: Desviación
Dip	: Buzamiento
Dy	: Dyke
Eh.	: Potencial Oxido Reducción
Eq	: Equivalente
Fe	: Hierro
Feeder	; Alimentador de mineralización
Fm	: Formación
Fon.	: Fondo
G/tn	: Gramos por tonelada
Hg	: Mercurio
HYBX	: Brecha hidrotermal
HYBXO	: Brecha hidrotermal con óxidos de hierro



ICP-ms	: Plasma de acoplamiento inductivo con espectrometría de masas
IDW	: Inverse Distance Weighting
IGN	: Instituto Geográfico Nacional
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
Km	: Kilómetro
Log	: Base Logarítmica
m.s.n.m	: Metros sobre el nivel del mar
mm	: Milímetros
N°	: Numero
NaN	: No presentan datos
NI 43-101	: Norma canadiense
Nic	: Nicoles
Nv	: Nivel
°C	: Grado Centígrado
Ox	: Óxidos
Par.	: Parámetro
Pb	: Plomo
PD	: Dacita porfirítica
PEB	; Pebble Dyke
Ph.	: Potencial de Hidrogeno
Ppb	: Partes por billón
Ppm	: Partes por millón
QA	: Cuarciarenita
Q-al	: Cuaternario aluvial
Q-col	: Cuaternario coluvial



S.A.C	: Sociedad Anónima Cerrada
Sb	: Antimonio
SD	: Desviación Estándar
SIL	: Limonita arcillosa
SILC	: Limonita carbonosa
Sn	: Estaño
SST	: Arenisca
TBX	: Brecha tectónica
Ths	: thershold
Tr	: Traza
UTM	: Universal Transverse Mercator
V	: Veta
VSED	: Volcano sedimentario
W	: Wolframio



RESUMEN

La investigación se realizó en el Proyecto Igor, se ubica en caserío Callanquitas, distrito de Huaranchal, provincia de Otuzco, departamento de La Libertad, a una distancia de 155 km de la ciudad de Trujillo. La zona está circunscrita en la franja epitermal de oro-plata del Oligoceno-Plioceno que comprende mineralizaciones auríferas relacionadas a las formaciones Chimu, Chicama y Carhuaz, que son parte del grupo Goyllarisquiza. En el sector de Callanquitas, se conoce que existe zonas de mineralización con bonanza económica de Au en brechas y vetas siendo las estructuras principales Callanquitas Este y Callanquitas Oeste. Los objetivos de esta investigación fueron caracterizar la geoquímica de las estructuras mineralizadas vetas y brechas, y ver el comportamiento espacial del oro para la búsqueda de nuevos centros mineralizados. El método de investigación fue descriptivo, cuantitativo y consto de 4 fases; en donde se utilizó información geoquímica histórica de sondeos diamantinos y muestras superficiales; con los sondeos se determinó los elementos correlacionados al Au en profundidad y con los datos de muestras superficiales se elaboró mapas probabilísticos con los elementos afines al Au. Los elementos con moderada a fuerte afinidad con el Au fueron: Ag, As, Bi, Cu, Fe, Pb, Sb y Sn. Los mapas probabilísticos de los elementos correlacionados al Au demostraron que existen 4 nuevas zonas anómalas; Portachuelos, Zona Noroeste, Zona Noreste y Zona Sureste, que tienen gran potencial económico ligadas al Au. Los elementos afines al Au en profundidad tienen concentraciones medias de Au de 8.79 ppm y en Ag es 206.99 ppm.

Palabras Clave: Correlación, Estructuras mineralizadas, Brechas, Vetas, Probabilístico



ABSTRACT

The research was carried out in the Igor Project, located in Callanquitas hamlet, Huaranchal district, Otuzco province, La Libertad department, at a distance of 155 km from the city of Trujillo. The area is circumscribed in the gold-silver epithermal band of the Oligocene-Pliocene that includes gold mineralizations related to the Chimu, Chicama and Carhuaz formations, which are part of the Goyllarisquiza group. In the sector of Callanquitas, it is known that there are zones of mineralization with economic bonanza of Au in breccias and veins being the main structures Callanquitas East and Callanquitas West. The objectives of this research were to characterize the geochemistry of mineralized structures veins and breccias, and to see the spatial behavior of gold for the search of new mineralized centers. The research method was descriptive, quantitative and consisted of 4 faces; where historical geochemical information from diamond drill holes and surface samples was used; the elements correlated to the Au in depth were determined with the soundings and probabilistic maps with the elements related to the Au were made with the surface sample data. Elements with moderate to strong affinity with the Au were: Ag, As, Bi, Cu, Fe, Pb, Sb and Sn. The probabilistic maps of the elements correlated to the Au showed that there are 4 new anomalous zones; Portachuelos, Northwest Zone, Northeast Zone and Southeast Zone, which have great economic potential linked to the Au. Au-like elements in depth have mean Au concentrations of 8.79 ppm and in Ag is 206.99 ppm.

Keywords: Correlation, Mineralized structures, Breccias, Veins, Probabilistic



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación de carácter geoquímico, se hizo para brindar información a partir del análisis geoestadístico para los elementos químicos que se asocian al Au y Ag en vetas y brechas que se ubican en el proyecto Igor de la localidad de Callanquitas, con muestras geoquímicas de superficie y muestras de perforación diamantina.

La finalidad de encontrar los elementos asociados al Au y Ag se hizo para que estos puedan ser utilizados como guías en futuras exploraciones en este tipo de yacimientos, en donde las formaciones Chicama, Chimu, Carhuaz, sean las rocas hospedantes de mineralización.

La litología del área de estudio, comprende lutitas carbonosas, con niveles de arenisca, sobre yaciendo a este tipo de litología se encuentran cuarciarenitas con niveles de lutitas finas y en el tope se encuentran, areniscas y niveles de lutitas ferruginosas. Dentro la zona de estudio también se distinguen estructuras intrusivas como diques y sills de composición dacita y de textura porfírica las cuales se asocian a brechas.

Las estructuras mineralizadas en la zona de estudio se denominaron “Callanquitas este y Callanquitas oeste” y tienen un control estructural Norte – Sur; estas vetas están asociadas a brechas hidrotermales silicificadas con contenido de óxidos de hierro.

En la actualidad el proyecto Igor abarca 4 targets principales: Callanquitas, Portachuelos, Domo y Tesoros del cual el target Callanquitas está siendo explotado con el nombre “Mina Callanquitas” por la empresa contratista PLP (Proyectos la Patagonia), subsidiaria de la empresa PPX Mining Corp en Canadá.



1.1 ANTECEDENTES

Castillejo (2014) en su tesis menciona que la mineralización de Shahuindo es de Au y Ag y corresponde a estructuras brechadas, controladas principalmente por contactos litológicos y estructurales, la misma que sigue un alineamiento de azimut y buzamiento promedio 300° y -85° SE con una continuidad de comportamiento irregular en 1000 m en la horizontal, 250 m en la vertical y potencia media de 20 m.

Chuquiruna W. (2018) en el artículo Análisis Geoestadístico Multivariable para identificación de anomalía del oro, Ayahuanca – Puno, concluyeron que los patrones geoquímicos del Au se determinaron a partir de aplicación análisis de multivariante con transformación Ln, en donde se ha identificado una correlación media (0.6) del Au con Sb y una correlación alta (0.8) con el Bi que corresponden en la clasificación de elementos típicos de minerales comúnmente asociados con Oro, se ha determinado las anomalías geoquímicas del Oro utilizando la herramienta Kriging de la geoestadística, dado que esta la técnica del Kriging es un estimador insesgado y hace las predicciones soportándose en los variogramas experimentales para una variable y variogramas cruzados para la correlación de 2 variables.

De la Cruz & Chacaltana (2003) en la Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Carhuaz 19-h realizado por el INGEMMET, menciona la Formación Chicama, consiste de lutitas y algunos horizontes de areniscas finas que afloran en la parte sureste y noreste de la hoja, la Formación Chimu, esta unidad está conformada por cuarcitas, areniscas y arcillitas, con algunas capas de carbón (antracita), Formación Carhuaz, esta Formación consiste de areniscas y areniscas cuarzosas color beige en capas delgadas intercaladas con arcillitas.

Espinel (2018) en el reporte denominado Informe General QA/QC Junio 2018 Proyecto Igor de la empresa Sienna Minerals SAC, detalla que del análisis de los



estándares se observa que en los años 2010 y 2018 se tiene un sesgo del 7.03% y 6.56% respectivamente considerándose como cuestionables estos valores ya que podrían influir en los resultados de sus muestras vecinas.

Ppx Mining Corp (2021) menciona que desde el 2008 hasta el 2018 se perforó varios pozos exploratorios dentro y fuera de las zonas Domo, Tesoros y Callanquitas. Interceptando mineralización importante de oro y plata. Se definió estructuras principales denominadas Callanquitas Este, Callanquitas Oeste de aproximadamente 5-20 metros de ancho, además de 900 metros de largo, que se extiende desde la superficie hasta una profundidad de 300-400 metros.

Reyes Luis (1980) Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Bol. No. 31 INGEMMET. Menciona que, en el flanco oriental del anticlinal del cerro Bola de Igor, donde afloran los clásticos de las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat y los calcáreos de las formaciones Inca y Chúlec, todas ellas cortadas por una serie de diques y sills dacíticos, relacionados con la mineralización, siendo el stock del cerro Blanco el más conspicuo en los alrededores de la mina.

Tietz *et al.* (2018) en el reporte NI43-101 Technical report and Pre-Feasibility Study on the Igor project at the request of PPX Mining Corp. In Vancouver, British Columbia. Concluyen que la mineralización de oro y plata del proyecto Igor ocurre principalmente dentro de brechas estructuralmente controladas, están alojadas dentro de las limolitas, la arenisca y la cuarciarenitas de la edad mesozoica. Las zonas de brechas contienen múltiples etapas de cuarzo, brechas hidrotermales silicificada de forma variable, y posterior emplazamiento de brechas tectónicas. Se han identificado cuatro áreas objetivo: Callanquitas, Tesoros, Domo y Portachuelos.

Vallance *et al.* (2018) en el artículo oro y material orgánico en el depósito de shahuindo (Cajamarca, Xix Congreso Peruano De Geología, October, 2016–2019).



Proponen que fluidos hidrotermales procediendo de un centro magmático profundo serían responsables de la formación de la mineralización aurífera. Los cuerpos mineralizados están hospedados en zonas permeables primarias (areniscas medias a gruesa) o secundarias (brecha, fracturas, fallas). Se requiere más estudios para definir el papel de las Formaciones infrayacentes ricas en pirita y material orgánico, como las Formaciones Chicama y Santa, fuente potencial de una parte del oro encontrado en el yacimiento de Shahuindo.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el sector de Callanquitas, proyecto Igor se conoce que existe zonas de mineralización con bonanza económica de Au en brechas y vetas. En tal sentido estas estructuras mineralizadas tienen correlación geoquímica directa con elementos asociados al Au, por cual amerita hacer un estudio geológico y prospectar estas estructuras mediante la aplicación de la geoquímica y la geoestadística. El principal problema que se tiene es que no se conocen los elementos correlacionados al oro y si estos pueden vectorizar nuevas estructuras y zonas con similar característica geoquímica.

1.2.1 Identificación del problema

El sector de Callanquitas proyecto Igor requiere un estudio geológico, para determinar nuevas zonas de prospección con interés económico de Au.

1.2.2 Valoración del problema

Hacer un estudio geológico permitirá zonificar las áreas con potencial económico, identificando mineralización relacionada con el Au utilizando elementos guía.



1.2.3 Formulación del problema

¿Cuáles son los elementos guías y que comportamiento espacial tienen los elementos que se relacionan con el oro en el proyecto Igor, sector Callanquitas – La Libertad?

Como problemas específicos tenemos las siguientes interrogantes:

- a) ¿Qué características geoquímicas tienen las brechas y vetas en el proyecto Igor, sector Callanquitas – La Libertad?
- b) ¿Cuál es el comportamiento geoestadístico de los elementos relacionados con el oro (Au) en el proyecto Igor, sector Callanquitas?

1.3 HIPÓTESIS DEL TRABAJO

La ocurrencia del Au y Ag en el sector de Callanquitas en estructuras mineralizadas brechadas pueden tener relación con elementos guía como S, V, W, Sn, Sb, Pb, Bi. El estudio permitirá descartar o corroborar esta suposición haciendo correlaciones geoquímicas para el Au, así mismo también se podrá realizar de acuerdo a los resultados la interpolación en un mapa probabilístico para encontrar nuevos focos mineralizados con características ligadas al Au.

1.3.1 Hipótesis específica:

- a) La ocurrencia de mineralización en el sector de Callanquitas es de Au, entonces puede estar relacionado y/o acompañado a otros elementos, es así que estos valores correlacionados al Au pueden indicar la presencia de estructuras mineralizadas.
- b) Se espera encontrar nuevas zonas prospectables a partir de las asociaciones geoquímicas ubicadas espacialmente en superficie. Así mismo las anomalías encontradas pueden indicar nuevas estructuras mineralizadas como vetas, brechas hidrotermales y mantos.



1.4 OBJETIVO GENERAL

Determinar los elementos guías y el comportamiento espacial del oro en el proyecto Igor, sector Callanquitas – La Libertad.

1.4.1 Objetivos específicos

- a) Caracterizar la geoquímica de las estructuras mineralizadas vetas y brechas, sector de Callanquitas – La Libertad.
- b) Determinar el comportamiento espacial de los elementos afines al oro en el proyecto Igor, sector Callanquitas – La Libertad.

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Es necesario hacer un estudio a los elementos guía para la exploración que presentan estas muestras, ya que nos pueden dar indicativos para buscar nuevas zonas de interés económico y así ampliar las expectativas de exploración y poder dar credibilidad para un estudio más detallado. El análisis que se hará se justifica por la anomalía que presentan estas zonas en cuanto a efectos pepita de Au, Ag en brechas hidrotermales polimíctica con mineralización de OxFe y algunos Sulfuros. Para hacer un estudio complementario de la fiabilidad de dichas anomalías se justifica hacer un mapeo a detalle siguiendo las secuencias estratigráficas, sacando muestras geoquímicas y haciendo una interpretación geológica de eventos en dicha zona. Finalizado el trabajo se podrá discernir mejor el área de Callanquitas en cuanto a anomalías mineralizantes de Au y sus elementos asociados, también se podrá focalizar las nuevas áreas a prospectar y servirá para tomar decisiones de exploración por parte de la empresa que tiene esta concesión minera. Es así que la investigación también aportará a la comunidad de científica de geólogos exploradores que tienen intención de prospectar en esta franja epitermal de oro-plata.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GEOQUÍMICA

La geoquímica tiene por objetivo investigar la distribución de los elementos químicos en las distintas “esferas” y compartimentos de la Tierra, así como las leyes que explican esa distribución. Entre los pioneros de esta ciencia destaca el químico del U.S.G.S. F.W. Clarke, quien reunió, sistematizó y publicó un importante volumen de información geoquímica (Oyarzun, 2013).

Según la definición original de (Rose, 1979) la geoquímica se ocupa de dos ramas:

- La determinación de la abundancia relativa y absoluta de los elementos de la tierra. (Tabla 1)
- El estudio de la distribución y de la migración de elementos individuales en varias partes de la tierra con el objetivo de descubrir los principios, que controlan la distribución y la migración de los elementos.

Tabla1. *Contenido promedio, normal, de algunos elementos trazas y su utilidad en exploración*

Elemento	Contenido en Suelos (ppm)	Unidades Litológicas Típicas	Movilidad Superficial	Utilidad en Exploración
Antimonio	1		Baja	Indicador
Arsénico	10	Sombrero de Hierro	Intermedia	Indicador Au
Bario	300	Arenisca	Baja	
Berilo	1	crystal	Alta	Uso Ocasional
Boro	30	crystal	Moderada	Para Boratos
Bismuto	1	crystal	Baja	
Cadmio	100 ppb	Arcillolitas Negras	Alta	Depósitos de Zn
Cromo	45	Ultramáficas	Baja	Arenas Negras
Cobalto	10	Ultramáficas	Moderada	Diversos Usos



Cobre	15	Igneas básicas	Moderada	Diversos Usos
Fluor	300	Igneas Alcalinas	Alta	Depósitos de F
Oro	1 ppb	Arcillolitas Negras	Baja	Depósitos de Au
Plomo	15	Arenisca	Baja	Uso General
Litio	20	cristal	Moderada	Depósitos Sn
Manganeso	300		Moderada	Asoc.a Cu,Ni,Co
Mercurio	50 ppb		Alta	Indicador
Molibdeno	3	Arcillolitas Negras	Moderada	Uso general
Níquel	17	Ultramáficas	Baja	Uso General
Platino	1 ppb	Ultramáficas	Muy Baja	
Tierras Raras	30 ppb	Arenas Costeras	Muy Baja	
Selenio	300 ppb	Arcillolitas Negras	Alta	Poco Uso
Plata	100 ppb		Alta	Difícil de usar
Teluro	10 ppb	Intrusivas Acidas	Baja	Difícil usar
Talio	200 ppb		Baja	Au Epitermal
Estaño	10	cristales	Muy Baja	Arenas Negras
Tungsteno	1	cristales	Muy Baja	Schelita en rayos ultravioleta
Uranio	1	Fosforitas	Muy Alta	Contador Geiger
Vanadio	55	Igneas máficas	Moderada	Poco Uso
Zinc	35	Arcillolitas Negras	Alta	Uso General
Zirconio	270	Igneas Alcalinas	Muy Baja	Poco Uso

Datos Tomado de Rose *et al.*, 1979

2.1.1 Exploración geoquímica

Los términos exploración y prospección son utilizados con connotaciones distintas por diferentes autores y muchas veces indiferentemente. En el presente texto utilizaremos exploración para referirnos al proceso en su forma más integral y estructurada, y prospección para el proceso más directo de aplicación de metodología particulares. Al respecto tiene bastante sentido la posición de Marjoribanks, (2010) que asigna a la prospección la función de establecer “prospectos” y a la exploración la de su reconocimiento y evaluación que permiten en caso favorable convertirlos en yacimientos (Oyarzun, 2013).



La base conceptual de la prospección geoquímica es sencilla: ya que los yacimientos minerales son concentraciones económicas de elementos químicos o minerales, es muy probable que ellos se encuentren rodeados de aureolas con contenidos anormales de los elementos químicos acumulados en el depósito. Tales aureolas, al tener un mayor tamaño que los yacimientos, constituyen “blancos de exploración” fáciles de detectar. En consecuencia, la prospección geoquímica tiene por finalidad detectar tales anomalías y corresponde a la exploración geoquímica establecer su probable relación con yacimientos desconocidos situados debajo o lateralmente respecto a ellas (Oyarzun, 2013).

2.1.2 Asociación de elementos

Se manifiestan en general por las condiciones de formación, mostrando asociaciones de características en cualquier condición geológica, tales como rocas ígneas particulares, rocas sedimentarias y ciertas menas, esto es porque algunos elementos pueden viajar juntos durante los procesos ígneos y metamórficos, pero que pueden separarse durante el ciclo de meteorización (Vasquez, 2009), se puede distinguir como:

- Elemento indicador (Target). - Elemento indicador, indicador directo o elemento blanco “Target element” se refiere a uno de los elementos principales del depósito mineral que se espera encontrar (Tabla 1 y 2).
- Elemento explorador (Pathfinder). – Debido a que los elementos muestran diferentes grados de movilidad controlados inicialmente por la estabilidad de los minerales que los contiene posteriormente por el ambiente en el cual están migrando, un elemento “Pathfinder element” puede ser definido como un elemento fácilmente detectable (Tabla 2 y 3).

El hecho de que uno o más elementos y minerales puedan estar estrechamente asociados y puedan constituir un halo, ayudan en el descubrimiento de depósitos minerales después de buscados lo que lleva al concepto de elemento guía, elemento indicador o Pathfinder (Warren *et al.*, 1956).

Tabla 2. *Elementos con afinidad geoquímica y elementos guías asociados usados en exploración de depósitos*

CATEGORIA DE DEPÓSITO	COMPONENTES MAYORES	ELEMENTOS ASOCIADOS
DEPÓSITOS MAGMÁTICOS		
Depósitos de Cromita (Bushveld)	Cr	Ni, Fe, Mg
Magnetita en Estratos (Bushveld)	Fe	V, Ti, P
Sulfuros de Cu-Ni inmiscibles	Cu, Ni, S	PGE, Co, As, Au
Óxidos de Fe-Ti inmiscibles (Lago Allard)	Fe, Ti	P
PGE-Ni-Cu en intrusiones estratificadas	PGE, Ni, Cu	Sr, Co, S
Carbonatitas con Nb-Ta (Oka)	Nb, Ta	Na, Zr, P
Pegmatitas con REE	Be, Li, Cs, Rb	B, U, Th, REE
DEPÓSITOS HIDROTERMALES:		
Pórfidos Cupríferos (Bingham)	Cu, S	Mo, Au, Ag, Cu, Zn
Pórfidos Molibdeníferos (Clímax)	Mo, S	W, Sn, F, Cu
Skarn con Magnetita (Iron Springs)	Fe	Cu, Co, S
Skarn con Cu (Yerington)	Cu, Fe, S	Au, Ag
Skarn con Pb-Zn (Hanover)	Pb, Zn, S	Cu, Co
Skarn con W, Sn y Mo (Bishop)	W, Mo, Sn	F, S, Cu, Be, Bi
Venas con metales base	Pb, Zn, Cu, S	Ag, Au, As, Sb, Mn

Datos Tomado de Rose *et al.*, 1979

Tabla 3. *Elementos indicadores y exploradores de algunos tipos de depósitos.*

ASOCIACIÓN DE MENAS	ELEMENTO INDICADOR	ELEMENTO EXPLORADOR
Pórfido cuprífero	Cu, Mo	Zn, Au, Re, Ag, As, F
Depósitos complejos de sulfuros	Zn, Cu, Ag, Au	Hg, As, S (en forma de SO ₄), Sb, Se, Cd, Ba, F, Bi
Vetas de metales preciosos	Au, Ag	As, Sb, Te, Mn, Hg, I, F, Bi, Co, Se, Ti
Depósitos del tipo "Skarn"	Mo, Zn, Cu	B, Au, Ag, Fe, Be
Uranio en areniscas	U	Se, Mo, V, Rn, He, Cu, Pb
Uranio en vetas	U	Cu, Bi, As, Co, Mo, Ni, Pb, F
Cuerpos ultramáficos de oro	Pt, Cr, Ni	Cu, Co, Pd
Vetas de fluorita	F	Y, Zn, Rb, Hg, Ba

Tomado de Rose *et al.*, 1979

2.1.3 Movilidad en el ambiente endógeno, dispersión primaria

La dispersión primaria generada bajo superficie, está relacionada a las rocas frescas, no meteorizadas. La movilidad de los elementos en ambientes profundos (ambiente primario) está influenciada por la temperatura y presión altas, restringida a la circulación de fluidos y bajo contenido de oxígeno libre. Los eventos volcánicos, aguas termales, minerales de alteración asociados y fenómenos similares pueden incluirse en este ambiente (An *et al.*, 2020).

Tres tipos básicos de zonificación se producen en halos primarios geoquímicos de yacimientos minerales estos son: axiales, longitudinales y transversales. La investigación tridimensional de halos geoquímicos primarios en depósitos minerales se ha centrado principalmente en zonificación axial, que está vinculada a la dirección de flujo y de fluidos portadores de minerales (*feeders*), ver (figura 1). En una zona perfectamente vertical depósito, la zonificación axial coincide con la zonificación vertical. Por lo tanto, durante un análisis de la distribución de metales en perfiles se determina la dirección de flujo, altos valores son enriquecimientos y los valores bajos de concentraciones indican el agotamiento. Sin embargo, para una zona vertical incompleta la distribución de halos primarios en un solo perfil no refleja plenamente la información. (An *et al.*, 2020).

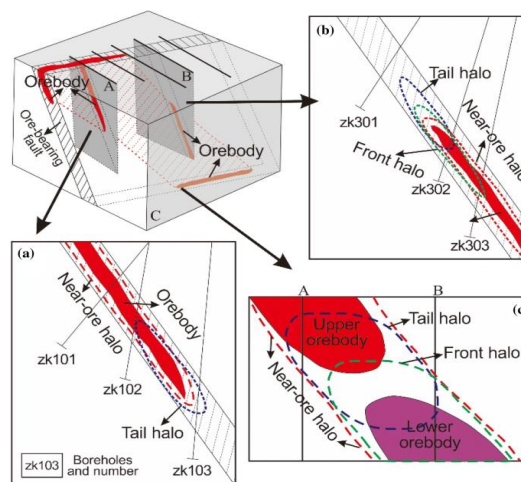


Figura 1. Distribución espacial de los halos primarios en la zona de mineral controlada por fallas durante dos etapas metalogénicas principales. (An *et al.*, 2020)

2.1.4 Muestreo Geoquímico

El muestreo geológico es la forma corriente de obtener muestras representativas de un determinado material natural, colectado de una manera estandarizada. La cantidad de material debe estar adecuada a la finalidad del muestreo, a los requerimientos analíticos y la conservación del remanente en repositorios como material de referencia para futuras investigaciones,(Galliski, 2006).

Partiendo del principio que una muestra es una porción pequeña representativa de un conjunto o masa mayor, se deduce que esa pequeña porción debe reunir las mismas características y propiedades del material representado y estar de acuerdo con el grado de exactitud requerido en base a la calidad y al número de muestras (Blanco, 1985) por lo tanto, se puede considerar que los 3 tópicos fundamentales del muestreo radican en:

- Obtener muestras de la mejor calidad.
- Tomar el menor número posible de muestras.
- Obtener la mayor representatividad del sistema bajo estudio.

Tabla 4. *Muestras de la prospección geoquímica*

Geoquímica	Tipo de muestra
DISPERSIÓN PRIMARIA	Roca madre fresca. Roca madre alterada Minerales separados de la roca. Mena Minerales separados de la mena. Fluidos ocultos en los minerales de la roca madre o de la mena.

(Modificado de Hurtado, 2002).

2.1.4.1 Tipos de muestras

Los diferentes tipos de muestra constituyen el total de los datos sobre los que se apoya el análisis estadístico aplicado al cálculo de los parámetros geoquímicos, indispensables para la delimitación de zonas anómalas (Rivera, 2007). Estos tipos de muestra son:



- **Normales.** - Componen la mayoría de las muestras y son más sencillas de obtener.
- **Control.** - Su objetivo, además de ser utilizadas para hacer análisis fraccional, es controlar el muestreo.
- **Duplicadas.** - Se toman muestras pares en cada uno de los puntos correspondientes. Consiste en tomar pequeñas porciones en el punto y sus cercanías con las que se forman una muestra compuesta, luego es homogenizada, cuarteada y ensobrada (Rivera, 2007).

2.1.4.2 La importancia de muestreo

El muestreo por ser la fase inicial de toda estimación repercute en todas las actividades subsecuentes: de allí su importancia. De nada vale el uso de equipos sofisticados durante el análisis químico, ni de herramientas sofisticadas durante la estimación de recursos si no están controlados los errores, sobre todo durante el muestreo primario, que son los más importantes y gravitantes. Los errores son acumulativos aditivos; por lo tanto, se debe minimizar su contribución durante todas las fases: enfoque sistémico (Canchaya, 2016).

Casi todas las decisiones que se hacen respecto de un Proyecto Minero, desde la exploración hasta el cierre de la mina, están basadas en valores obtenidos de material muestreado. Estas decisiones significan millones de dólares (Alfaro, 2012).

2.1.4.3 Método de toma de muestra

Muestreo por canales

Es el de mayor difusión, consiste en la toma de material de un canal, ubicado perpendicularmente al cuerpo mineralizado tanto en afloramientos superficiales como en las labores mineras subterráneas. El canal se realiza sobre la potencia visible de la estructura. Esto facilitará los cálculos en la determinación de los contenidos promedios

y estimación de recursos minerales. Existen diversos métodos para la recolección de la muestra que son aplicables a los canales (Buenaventura, 2016).

Canal completo

La recolección de la muestra es completa en toda la sección del canal, para ello se hacen los cortes superior e inferior que limitarán al canal y se procede a recolectar toda la muestra comprendida entre los cortes (Buenaventura, 2016).

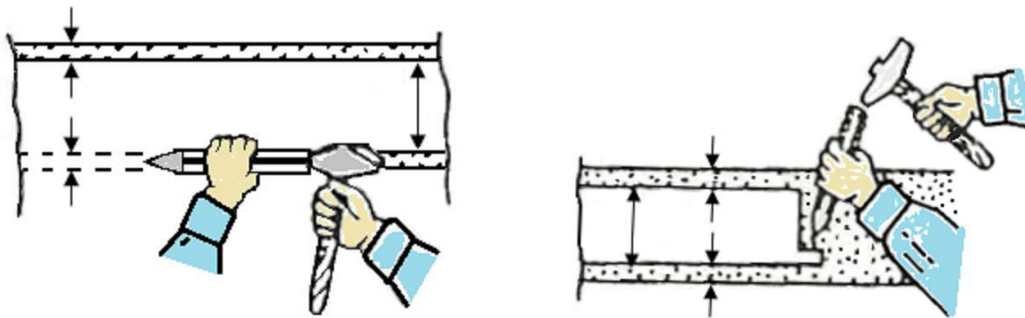


Figura 2. Delimitación de canal de muestreo Izquierda Corte superior e inferior para delimitar el ancho del canal. Derecha recolección del total de la muestra de la parte intermedia del canal (Modificado de Paredes).

Canal Punteado

En algunos depósitos de mineral se toma el material sin conservar una sección correcta de canal, este es el llamado “canal punteado”, que se conforma de una serie de fragmentos o incrementos recolectados dentro del canal (Buenaventura, 2016).

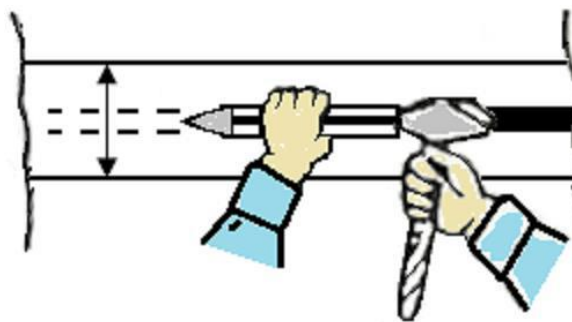


Figura 3. Canal punteado sobre una línea (Modificado de Paredes)

Canal por puntos

El muestreo por canales punteados es de mayor facilidad, pero menos representativa comparado con el muestreo de canal completo.



Figura 4. Canal punteado, recolección de incrementos dentro del canal (Modificado de Paredes)

La discrepancia entre estos métodos aumenta con el incremento del grado de heterogeneidad de la población que se quiere muestrear, para ello es importante realizar investigaciones realizando muestreos comparativos sobre el mismo canal o en canales paralelos para analizar la discrepancia; si esta no es significativa se podrá elegir el método más rápido y de menor costo, por el contrario, si fuese mayor la discrepancia se debe cuidar que el muestreo se realice tomando un canal completo (Buenaventura, 2016).

2.1.5 Anomalía Geoquímica

Una anomalía geoquímica es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico. Se expresa por medio de números, que se puede separar de un grupo más amplio de números constituyendo el fondo geoquímico. Para ser detectada una anomalía tiene que desviar claramente de este fondo (Alfaro, 1980).

2.1.6 Fondo geoquímico o background

Parámetro conocido como el valor promedio normal que muestra la abundancia o concentración de un elemento en un material terrestre, el contenido de fondo es sujeto a variaciones según la constitución de la roca u otro material terrestre en que el elemento ocurre. Este valor está representado estadísticamente como el promedio geométrico de la población (Calcina, 2008).

(Background=Media geométrica de la población).



2.1.7 Umbral geoquímico o thershold

Es definido como el límite superior de los valores normales de background. El valor de thershold varía para cada elemento, en cada tipo de roca y en cada área. En prospección geoquímica el thershold puede ser determinado a través del método matemático obtenido de la siguiente expresión (Vasquez, 2009).

$$\text{Thershold} = \text{Media geométrica} + 2 \text{ veces la desviación estándar (SD).}$$

2.1.8 Coeficiente de correlación de Pearson (R)

Describe la intensidad de la relación lineal entre dos conjuntos de variables a nivel de intervalo. El valor del coeficiente de correlación “r” puede tomar valores desde menos uno hasta uno, indicando que mientras más cercano a uno sea el valor del coeficiente de correlación en cualquier dirección, más fuerte será la asociación lineal entre las dos variables. Mientras más cercano a cero sea el coeficiente de correlación indicará que más débil es la asociación entre ambas variables. Si es igual a cero se concluirá que no existe relación lineal alguna entre ambas variables (Vasquez, 2009).

2.1.9 Interpretación de “R”

Es un valor que indica el grado de correlación existente en la ocurrencia de un ambiente determinado de dos elementos, este coeficiente está comprendido entre +1 y -1 (ver tabla 5), pasando por el cero (0). Los valores cercanos a +1 y -1 indican una excelente correlación tanto como positiva como negativa de los elementos. Los valores cercanos a (0) indican que no existe correlación entre los elementos muestreados (Sinclair, 1986).

Tabla 5 Interpretación para la correlación de Pearson

R	Interpretación
-1	correlación negativa perfecta
-0.9	correlación negativa muy fuerte
-0.75	correlación negativa considerable
-0.5	correlación negativa media
-0.25	correlación negativa débil
-0.1	correlación negativa muy débil
0	No existe correlación alguna entre las variables
0.1	correlación positiva muy débil
0.25	correlación positiva débil
0.5	correlación positiva media
0.75	correlación positiva considerable
0.9	correlación positiva muy fuerte
1	correlación positiva perfecta

(Fuente: Fernández & Baptista, 2016)

2.1.10 Anomalía geoquímica

Una anomalía geoquímica es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico (Morales, 1985).

2.1.11 Anomalías significantes

Son anomalías relacionadas con un depósito mineral, que se puede usar como guías para la prospección, pues tiene valores que exceden a los valores de fondo. Es determinado mediante los tratamientos estadísticos. (Rivera, 2007).

Anomalías negativas o no significativas

Se define una anomalía negativa como una concentración muy por debajo del contenido normal (Background), a diferencia de las anomalías positivas podrían ser posibles descubrir patrones de anomalías negativas en ambientes secundarios, tales como sedimentos de quebrada y suelos (Rivera, 2007).

Los rangos considerados de las anomalías significativas, para el presente estudio son la siguiente:

Anomalía débil = 1 a 2 Thershold.

Anomalía moderada = 2 a 3 Thershold.

Anomalía fuerte = Mayor a 3 Thershold.

2.1.12 Distribución geoquímica

La distribución geoquímica de un elemento, en rocas, suelos y otros materiales, es una respuesta a la suma total de todos los procesos que conciernen al movimiento en los materiales de la tierra. En muchos casos esta distribución refleja simplemente la distribución de unidades litológicas. (Hosking, 1951)

Esquemas de la distribución de elementos por zonas en el distrito minero del SW de Inglaterra (según HOSKING, 1951). El granito reemplazó en sedimentos convirtiéndolos a metasedimentos. Las zonas caracterizadas por distintos elementos son desde el interior hacia la periferia: Sn en verde-azulado, Cu en café dorado, Pb-Zn en verde-amarillo, Fe en verde. La mineralización se concentra en los diques. Los metasedimentos no mineralizados son amarillos ver (figura5).

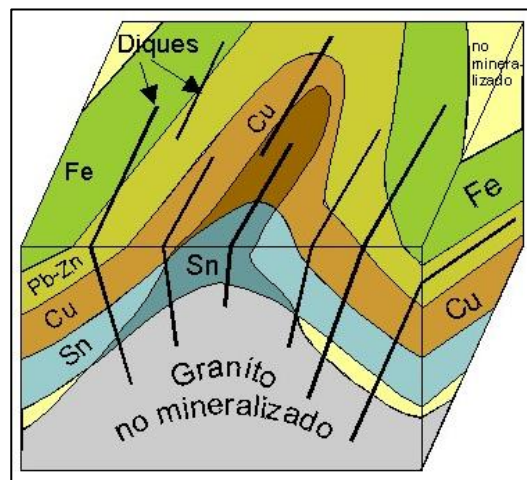


Figura 5. Distribución geoquímica (Hosking, 1951).

2.2 GEOESTADÍSTICA

La palabra “geoestadística” fue inventada por Georges Matheron en 1962. El prefijo “geo” alude a las ciencias de la tierra, que ha sido históricamente la disciplina donde la geoestadística se ha desarrollado. Los campos de aplicación actuales alcanzan los dominios más variados, como la evaluación de recursos naturales (mineros, forestales, gas, petróleo, etc.), ciencias del suelo y medio-ambientales, topografía,



oceanografía, geofísica, agricultura y análisis de imágenes, por nombrar algunos. El término “estadística” se refiere al uso de herramientas estadísticas y probabilísticas. Con respecto a la estadística clásica, la geoestadística busca tomar en cuenta las dependencias entre las observaciones disponibles, considerando que ellas están ubicadas en el espacio.(Emery, 2013)

2.2.1 Parámetros estadísticos

Los datos deben ser de calidad apropiada, representativos y la técnica de la medición para obtener los "números" debe tener la precisión adecuada. Este punto se dirige hacia la evaluación rigurosa de datos cuantitativos encontrados en la prospección de muestreo dando uso al énfasis al uso de métodos estadísticos. En algunos casos no será necesario o deseable continuar a los procedimientos interpretativos complicados, pues en la estadística no importa qué métodos complejos se utilicen, las variables individuales sus histogramas (funcionamiento de la densidad de probabilidad) y la magnitud que pueden usarse los métodos simples para entender la importancia de estas variables. Semejante comprensión lleva a un nivel más alto de confianza, para entender los métodos multivariantes que podría ser el caso por otra parte (Vasquez, 2009).

2.2.2 Medidas de tendencia central

Entre las medidas de tendencia central que se aplican en el presente estudio para análisis estadístico son: La media aritmética, media geométrica y mediana.

Medidas de Posición no Central (Vasquez, 2009).

Las medidas de posición no centrales permiten conocer otros puntos característicos de la distribución que no son los valores centrales. Entre otros indicadores, se suelen utilizar una serie de valores que dividen la muestra en tramos iguales:

- Los Cuartiles, que dividen a la distribución en cuatro partes.

- Los Quintiles, que dividen a la distribución en cinco partes.
- Los Deciles, que dividen a la distribución en diez partes.
- Los Percentiles, que dividen a la distribución en cien partes.

2.2.2.1 Desviación estándar

La desviación estándar es la raíz cuadrada de la suma de las desviaciones alrededor de la media, elevadas al cuadrado y divididas entre el número de casos menos uno (Dicovski, 2012). En prospección geoquímica la desviación estándar involucra la fórmula para el cálculo del umbral geoquímico (Media geométrica +2 la desviación estándar) (Rivera, 2007).

$$S = \sqrt{\left(\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2\right) / (n - 1)}$$

2.2.2.2 Frecuencia relativa

La base para el estudio geoquímico – estadístico es la construcción del histograma de frecuencia relativa, que es también conocida como distribución o función densidad (frecuencia). Una distribución normal o (gaussiana) tiene la forma gráfica de una campana simétrica y se define por expresión (Rivera, 2007).

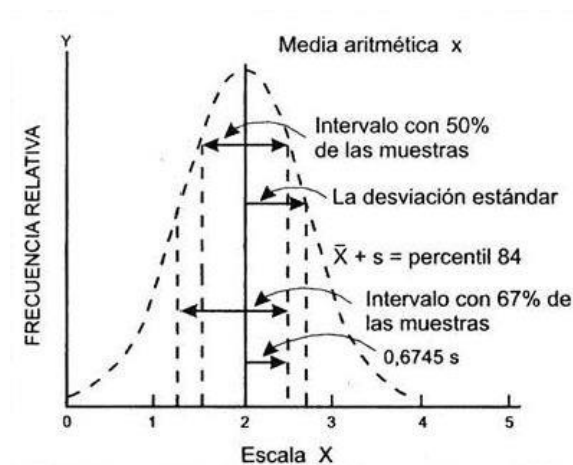


Figura 6. Diagramas de distribución normal gaussiana, mostrando la posición de algunos parámetros estadísticos (Rivera, 2007)

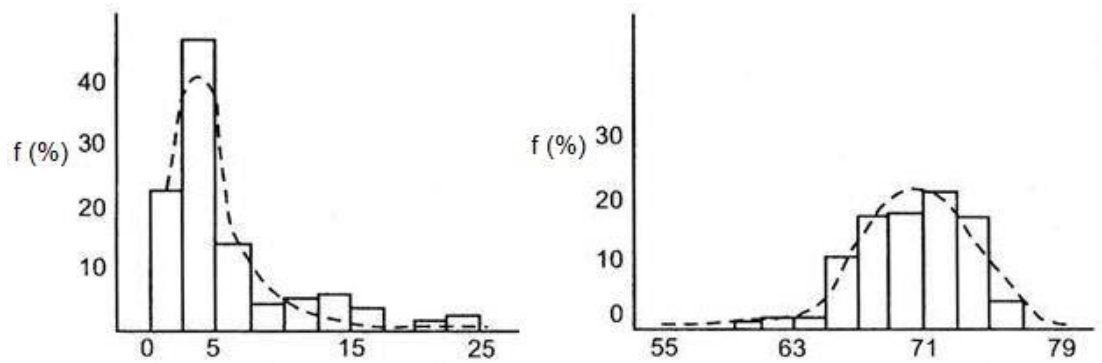


Figura 7. Histogramas que muestran la simetría (Rivera, 2007)

2.2.2.3 Frecuencia acumulada

Para la naturaleza normal o log-normal de la distribución geoquímica de una población de datos se recurre al papel de probabilidad. Para el primer caso de distribución normal ordenada a escala lineal y para la segunda a escala logarítmica la escala de probabilidad sirve para trazar la frecuencia acumulada (Rivera, 2007).

2.2.3 Interpolación con kriging

Para entender realmente el kriging, hay que saber lo que es la interpolación. Como en toda interpolación, estamos prediciendo valores desconocidos en otros lugares. Con un método de interpolación como la ponderación de distancia inversa, usted está haciendo predicciones sin decir cuán seguro está (Oliver, 1990).

Aquí hay un ejemplo:

Predecimos el punto púrpura, tomando una distancia ponderada inversa de los tres puntos de entrada más cercanos (los valores de 12, 10 y 10). Basándonos en la distancia, calculamos hasta dónde llega cada punto de entrada y obtenemos un valor de 11.1.

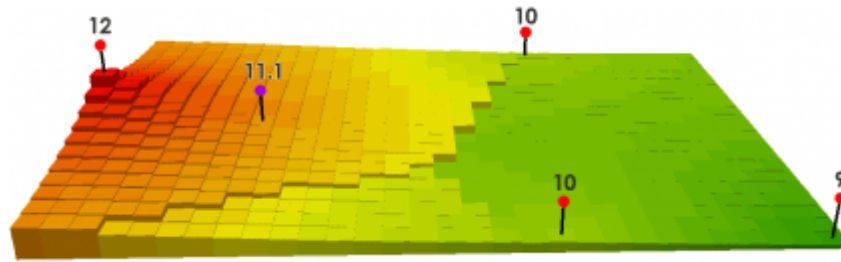


Figura 8. Ejemplo ilustrativo cómo funciona Kriging (Oliver, 1990)

$$((12/350) + (10/750) + (10/850)) / ((1/350) + (1/750) + (1/850)) = 11.1$$

Así es exactamente cómo funciona la interpolación determinista. Simplemente, utiliza una función predefinida y es lo que es. Pero no te dice lo seguro que estás (Oliver, 1990).

2.2.3.1 Kriging simple

Asume que las medias locales son relativamente constantes y de valor muy semejante a la media de la población que es conocida. La media de la población es utilizada para cada estimación local, en conjunto con los puntos vecinos establecidos como necesarios para la estimación (Williams, 1998).

2.2.3.2 Kriging ordinario

Las medias locales no son necesariamente próximas de la media de la población, usándose apenas los puntos vecinos para la estimación. Es el método más ampliamente utilizado en los problemas ambientales (Williams, 1998).

2.2.3.3 Semivariancia y semivariograma

Una semivariancia es la medida del grado de dependencia espacial entre dos muestras. La magnitud de la semivariancia entre dos puntos depende de la distancia entre ellos, implicando en semivariancias menores para distancias menores y semivariancias mayores para distancias mayores. El gráfico de las semivariancias en función de la distancia a un punto es llamado de semivariograma. A partir de una cierta distancia, la semivariancia no más aumentará con la distancia y se estabilizará en un

valor igual a la variancia media, dando a esa región el nombre de meseta, silo o patamar (sill). La distancia entre el inicio del semivariograma al comienzo del silo recibe el nombre de rango. Al extrapolar la curva del semivariograma para la distancia cero, podemos llegar a un valor no nulo de semivariancia. Ese valor recibe el nombre de efecto pepita (Nugget Effect) (Williams, 1998).

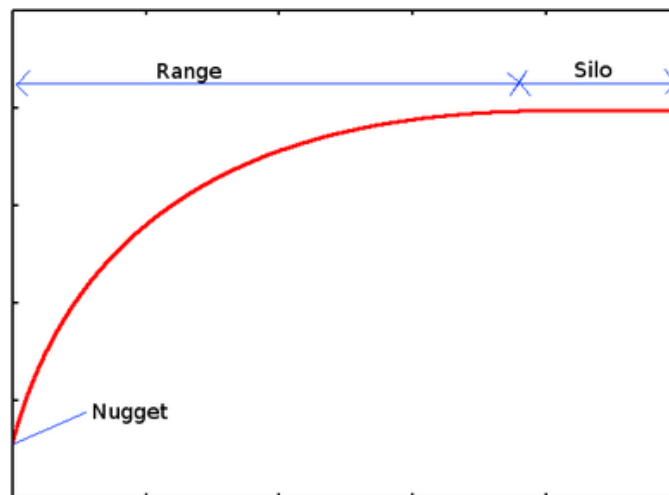


Figura 9. Variograma (Williams, 1998)

2.2.4 Modelos de semivariograma

La herramienta Kriging proporciona las siguientes funciones para elegir el modelado del semivariograma empírico:

- Circular
- Esférica
- Exponencial
- Gaussiana
- Lineal

El modelo seleccionado influye en la predicción de los valores desconocidos, en particular cuando la forma de la curva cercana al origen difiere significativamente. Cuanto más pronunciada sea la curva cercana al origen, más influirán los vecinos más cercanos en la predicción. Como resultado, la superficie de salida será menos suave.

Cada modelo está diseñado para ajustarse a diferentes tipos de fenómenos de forma más precisa. Rango, meseta y nugget (McBratney, 1986).

Rango y meseta

Al observar el modelo de un semivariograma, notará que, a una determinada distancia, el modelo se nivela. La distancia a la que el modelo comienza a aplanarse se denomina rango. Las ubicaciones de muestra separadas por distancias más cortas que el rango están autocorrelacionadas espacialmente, mientras que las ubicaciones que están más alejadas que el rango, no lo están (McBratney, 1986).

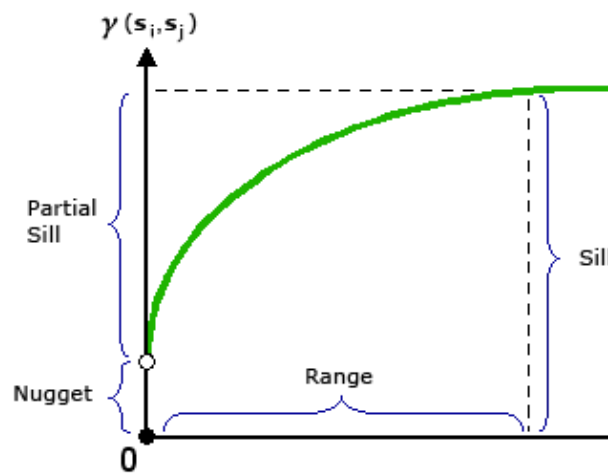


Figura 10. Ilustración de componentes de rango, meseta y nugget. (McBratney, 1986)

El valor en el cual el modelo de semivariograma alcanza el rango (el valor en el eje Y) se denomina meseta. Una meseta parcial es la meseta menos el nugget. El nugget se describe en la siguiente sección.(McBratney, 1986)

Nugget

En teoría, a una distancia de separación cero (por ej. intervalo = 0), el valor del semivariograma es 0. No obstante, a una distancia de separación infinitamente inferior, el semivariograma a menudo muestra un efecto nugget, que es un valor mayor que 0. Si el modelo de semivariograma intercepta el eje Y en 2, entonces el nugget es 2. (Royle, 1981)



El efecto nugget puede atribuirse a errores de medición o a fuentes espaciales de variación a distancias que son menores que el intervalo de muestreo (o a ambas cosas). Los errores de medición ocurren debido al error inherente a los dispositivos de medición. Los fenómenos naturales pueden variar espacialmente en un rango de escalas. La variación a microescalas más pequeñas que las distancias de muestreo aparecerán como parte del efecto nugget. Antes de recopilar datos, es importante lograr comprender las escalas de variación espacial en las que está interesado.(Royle, 1981)

2.2.5 Estudio exploratorio de datos – EDA

El análisis exploratorio de datos es una forma de analizar datos definido por John W. Tukey (E.D.A.: Exploratory data analysis) es el tratamiento estadístico al que se someten las muestras recogidas durante un proceso de investigación en cualquier campo científico. Para mayor rapidez y precisión, todo el proceso suele realizarse por medios informáticos, con aplicaciones específicas para el tratamiento estadístico. Los E.D.A., no necesariamente, se llevan a cabo con una base de datos al uso, ni con una hoja de cálculo convencional; no obstante, el programa SPSS y R (lenguaje de programación) son las aplicaciones más utilizadas, aunque no las únicas.(García, 1992)

La geoestadística busca estudiar una o varias variables regionalizadas conocidas vía una toma de muestra. Previo al uso de métodos geoestadísticos propiamente tal, conviene realizar un estudio exploratorio de los datos disponibles, el cual tiene tres objetivos:(Emery, 2013)

- Analizar (mediante herramientas estadísticas simples) la cantidad, la calidad y la ubicación de los datos disponibles.(Emery, 2013)
- Definir la(s) zona(s) de estudio. Una división del campo en varias sub-zonas puede ser relevante si uno observa cambios abruptos en la distribución espacial de valores, si la geología del fenómeno lo indica.(Emery, 2013)



- Anticipar dificultades o problemas que puedan surgir en la fase de estimación local (por ejemplo, presencia de valores atípicos que se destacan de aquellos de los datos vecinos).(Emery, 2013)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

La metodología de investigación fue descriptiva, porque se describió cada característica geológica encontrada en la zona y cuantitativa porque se utilizó las concentraciones de elementos químicos para la correlación geoquímica y aplicación del método Kriging esférico. Este método es ideal para identificar tendencias, promedios, realizar predicciones, comprobar relaciones y obtener resultados generales de poblaciones grandes. La investigación constó de cuatro etapas de trabajo; una de recopilación de información, otra de campo, laboratorio y finalmente trabajo de gabinete ver (figura 11)

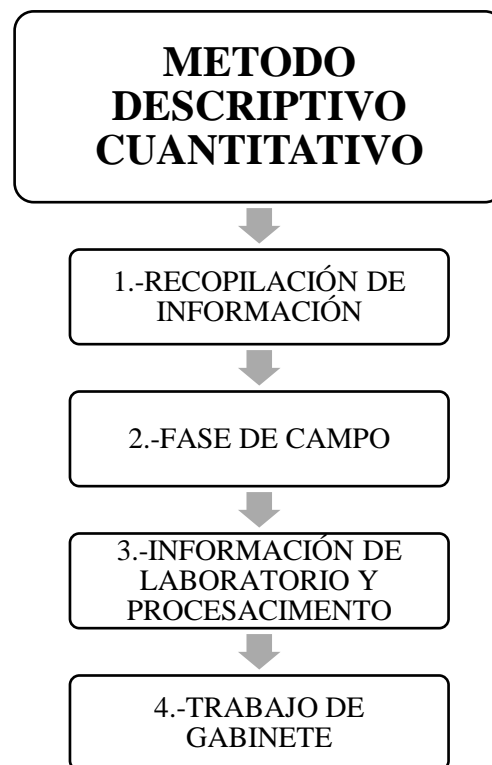


Figura 11. Estructura de la metodología de trabajo (Fuente: Propia).

Cabe aclarar que la metodología aplicada es usada para la prospección de yacimientos minerales y otros estudios geológicos.



3.1.1 Recopilación de información

Esta etapa se consiguió el permiso de la empresa Sienna Minerals SAC para la utilizar la información de muestras históricas de roca que fueron analizadas por ICP-MS, a su vez se solicitó:

- Base de datos geoquímicos de muestra de roca superficie.
- Base de datos de análisis de muestras mineralógicas en estructuras.
- Información digital de Mapas como es: litología, geología estructural y secciones longitudinales (geológicas).
- Fotos de sondajes diamantinos y fotos panorámicas de proyecto Igor.
- Uso de informes internos de la empresa.

3.1.2 Fase de campo

En esta etapa se recolecto 2 tipos de información; la primera, es mapeo geológico detallado y el segundo fue el muestreo geoquímico superficial de rocas (para obtener más muestras en lugares estratégicos).

3.1.2.1 Mapeo geológico

Se describió y caracterizo la litología en un mapa geológico a una escala de 1/1000 tomando información histórica (para comparar y verificar); en algunos sectores se tuvo que interpretar litología en zonas donde existía demasiada cobertura vegetal o eran inaccesibles. El método de mapeo empleado, fue el de *travers* cortando todos los niveles de estratos posibles ya que el área de estudio está fuertemente influenciada por estratos plegados con buzamientos muy variables desde 87° hasta los 30°, ver (figura 12). En esta fase fue necesario utilizar imágenes satelitales de *Google earth* y *Big maps*.



Figura 12. Foto panorámica del Cerro Bola de Igor. (Fuente BD PPX Mining)

Plan de mapeo geológico

En el plan de mapeo geológico para la zona Sur del proyecto Igor se utilizó una malla de doble entrada de números y letras para identificar las zonas a mapear. El área total de mapeo fue 190 Ha a una escala de 1/1000; la zona tuvo que ser sectorizada por cuadrículas que tenían 270m x 170m, ver (figura 13).

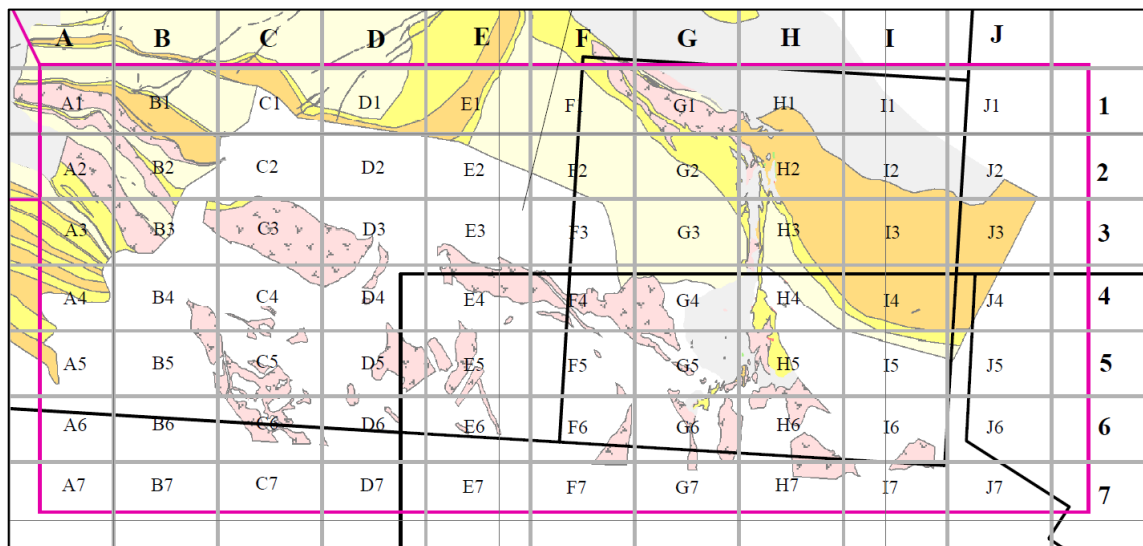


Figura 13. Plan de mapeo geológico al sur de Callanquitas. (Fuente BD PPX Mining)

3.1.2.2 Método de muestreo

En el Proyecto Igor, se realizó un programa de muestreo superficial, el tipo de muestro fue por canales lineales, el cual se utilizó desde el año 2005 hasta el 2018; el programa cubrió la mayor parte del área de estudio. Los canales de muestreo tenían

0.20m x 0.10m x Ancho de la estructura mineralizada, ver (figura 14). En este proceso se tomó en cuenta las litologías de interés económico como (brechas, vetas y/o mantos). También se obtuvo muestras de la roca caja para saber si existe diseminación de la mineralización.



Figura 14. Muestreo en Canal de estructuras mineralizadas tipo brecha. (Fuente BD PPX Mining)

Datos a tomar en el muestro

El muestreo que se realizó en Callanquitas se hizo tomando en cuenta la mineralización que ocurría en óxidos de hierro y sulfuros. Este último cuando se presentaba diseminado o como parches que definían estructuras mineralizadas. Normalmente se tomaba en cuenta la potencia y posteriormente se marcaba con pintura el canal a muestrear diferenciado las cajas mineralizadas como muestra la siguiente imagen (ver figura 15).



Figura 15. Muestreo de veta y cajas mineralizadas en distintas muestras (Fuente BD PPX Mining)

Luego se describía el tipo de litología, en el cual se diferenciaba entre veta y/o brechas, seguidamente se colocaba el código de muestreo y finalmente se empaca para ser trasladado a laboratorio (ver figura 16).



Figura 16. Muestreo de veta y caja (Fuente BD PPX Mining)

3.1.3 Etapa de laboratorio

Las muestras extraídas en campo se enviaron al laboratorio SGS SAC el cual cuenta con certificación, con los debidos protocolos de seguridad. Este procedimiento tiene una cadena de custodia, para que las muestras no sean alteradas; se realizó el

análisis por ICP-AES (38 elementos) además de ellos se realizó análisis adicionales en caso de que exceda el límite superior de detección en los elementos Au, Ag, Cu, Pb, Zn. Los métodos de análisis y disolución que se solicitó al laboratorio SGS, se muestran en el cuadro (Tabla 6).

Tabla 6. *Los códigos de servicio que se solicitó en el laboratorio SGS fueron:*

Elementos	Código de Servicio (3)
Au 30gr FA - AA finish	FAA313
Au 30gr FA - Grav finish	FAG303
38 elementos, agua regia ICP-AES	ICP12B
Ore grade Ag - agua regia/ AA	AAS11B
Ore grade Cu - agua regia/ AA	AAS11B
Ore grade Pb - agua regia/ AA	AAS11B
Ore grade Zn - agua regia/ AA	AAS11B

Resalte en amarillo ICP-AES (Fuente: BD PPX Mining)

3.1.3.1 Análisis por ensayos al fuego (fa) – muestras de oro

Como se muestra en la (Tabla 7) el límite de detección para el Au, es 0.005 ppm o 5 ppb y sobre el límite de detección para el oro con el código FAA313 es de 5 ppm; entonces cuando superaba la concentración del límite superior de detección se realizaba el ensayo FAG303 (gravimetría).

Tabla 7. *Análisis por ensayos al fuego, brochure minerales SGS*

ANÁLISIS POR ENSAYOS AL FUEGO (FA) - Muestras de Oro.		L.D.	L.S.
FAA313	AAS 30g	5ppb	5000ppb
FAA515	AAS 50g	5ppb	5000ppb
FAG303	Gravimetría 30g	20ppb	-
FAG505	Gravimetría 50g	20ppb	-
FAS31K	Retallas 500g(malla - 140)	5ppb	-
FA1303	ICP 30g	1ppb	10000ppb
FA1305	ICP 50g	1ppb	10000ppb

(Fuente: brochure de laboratorio SGS)

3.1.3.2 Análisis por espectrofotómetro de emisión de plasma acoplado

inductivamente

En la (Tabla 8) vemos los límites de detección para los 38 elementos en ICP-AES brindados por el laboratorio SGS. Para esta investigación se solicitó el código ICP12B digestión de agua regia.



Tabla 8. *Tabla tomada de brochure laboratorio SGS*

Elemento	Símbolo	ICP12B	Digestión Regia
		L.D.	L.S.
Aluminio	Al	0.01%	15%
Antimonio	Sb	5 ppm	1%
Arsénico	As	3 ppm	0.01
Azufre	S	1 ppm	0.01
Bario	Ba	1 ppm	0.01
Berilio	Be	0.5 ppm	0.01
Bismuto	Bi	5 ppm	0.01
Cadmio	Cd	1 ppm	0.01
Calcio	Ca	0.01%	15%
Circonio	Zr	0.5 ppm	1%
Cobalto	Co	1 ppm	1%
Cobre	Cu	0.5 ppm	10000 ppm
Cromo	Cr	1 ppm	1%
Escandio	Sc	0.5 ppm	1%
Estaño	Sn	10 ppm	1%
Estroncio	Sr	0.5 ppm	5000 ppm
Galio	Ga	10 ppm	1%
Hierro	Fe	0.01%	15%
Fosforo	P	0.01%	15%
Itrio	Y	0.5 ppm	1%
Lantano	La	0.5 ppm	1%
Litio	Li	-	-
Magnesio	Mg	0.01%	15%
Manganeso	Mn	2 ppm	1%
Mercurio	Hg	1 ppm	1%
Molibdeno	Mo	1 ppm	1%
Níquel	Ni	1 ppm	1%
Niobio	Nb	1 ppm	1%
Plata	Ag	0.2 ppm	1%
Plomo	Pb	2 ppm	1%
Potasio	K	0.01%	100 ppm
Selenio	Se	10 ppm	10000 ppm
Sodio	Na	0.01%	15%
Talio	Tl	2 ppm	1%
Teluro	Te	10 ppm	10000 ppm
Titanio	Ti	0.01%	15%
Wolframio	W	10	1%
Vanadio	V	2 ppm	1%
Zinc	Zn	0.5 ppm	10000 ppm

(Fuente: Laboratorio SGS)

3.1.3.3 Flujograma preparación de muestras geoquímicas

La secuencia de trabajo en laboratorio SGS se muestra en la (figura 17), para controles de calidad la empresa SGS, se inserta cuarzo de la siguiente granulometría (1/2", 1/4") y sílice inerte para que sean analizadas mensualmente como parte del control interno. Los restos de fragmentos del chancado y pulverizado son almacenados y algunas de ellas son analizadas mensualmente, para controlar la contaminación.

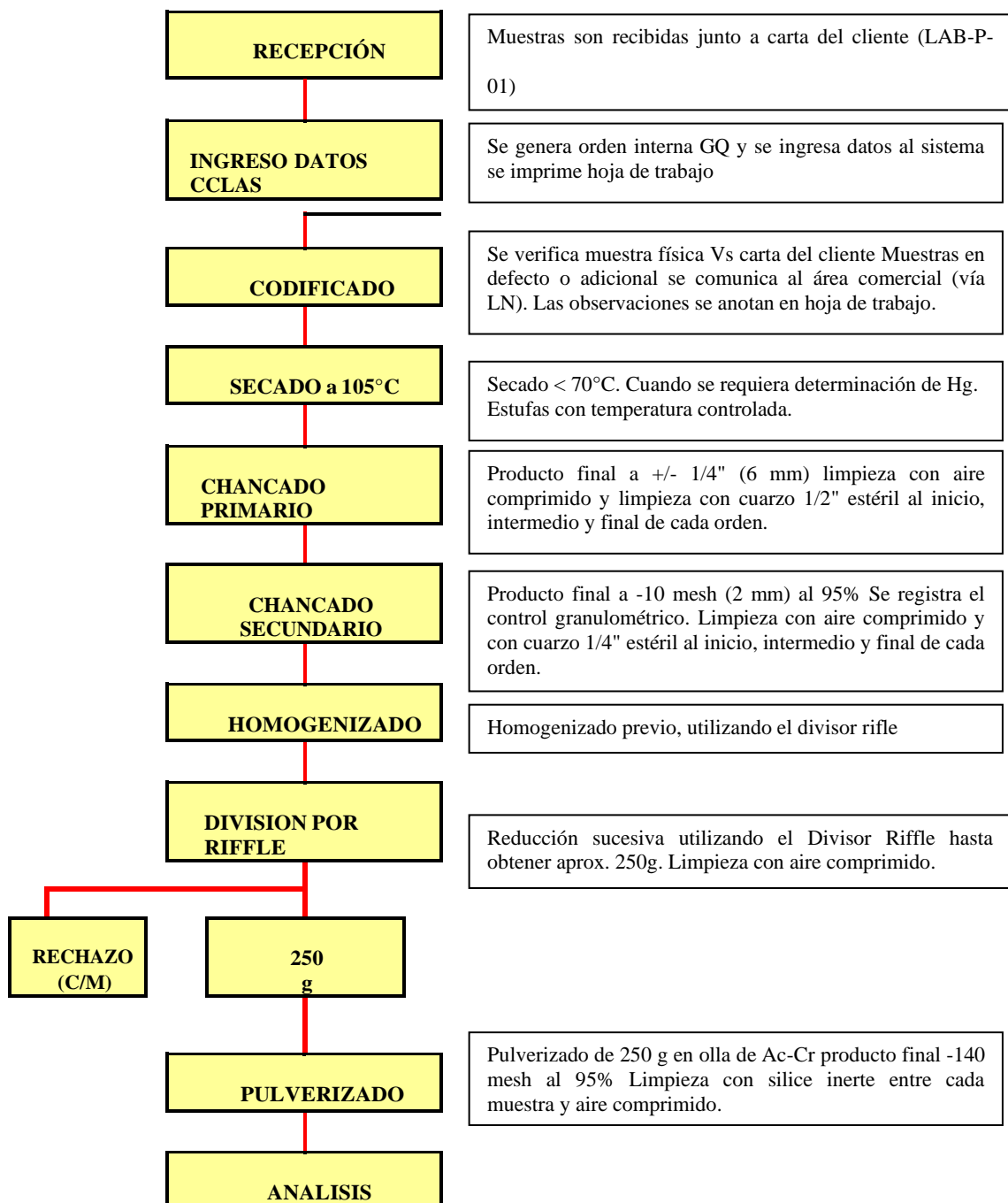


Figura 17. Flujograma de preparación de muestras (Fuente SGS).



3.1.4 Trabajo de gabinete

3.1.4.1 Procesamiento de información

La etapa consistió en procesar toda la información recopilada, haciendo tratamientos estadísticos EDA (*exploratory data analysis*) en los datos geoquímicos. Una vez realizado el tratamiento estadístico se empieza a hacer las correlaciones estadísticas para ver la afinidad entre elementos químicos, el cual se hizo con la correlación de Pearson. Esto se hizo para cada litología analizada (brechas y vetas) poniendo énfasis en la mineralización de Au. Para lo cual se usó los siguientes softwares.

- IoGAS versión 7.0 (versión demo).
- IBM-SPSS Statistics versión 24.

3.1.4.2 Estudio exploratorio de datos muestras de roca superficie

Durante el tiempo de estudio del proyecto Igor se logró recolectar 1999 muestras de roca (superficie) la cual fue nuestra población. Aquí se observó que las muestras presentaban límites de detección inferior, campos en blanco y valores numéricos en formato texto. Esto insisto a hacer un trabajo de corrección estadística para que cumplan ciertos parámetros y estándares que son requeridos en este tipo de estudios. La corrección estadística se realizó con la ayuda del software IoGas la cual reporta todos los datos a corregir, se hizo la corrección con los siguientes criterios.

- Si existe valores negativos es porque no alcanzo el límite de detección por el método analizado, en tal sentido el valor se hará positivo y se dividirá a la mitad el límite de detección.
- Si existe valores con formato texto (celda) estos se eliminarán y las muestras no serán consideradas; en este caso los valores de elementos químicos la denominación -999.

- No deberá existir valores con "0" o con otros símbolos ya que estos alterarían cualquier análisis estadístico, es mejor eliminarlos y dejar la casilla en blanco para no tener errores.
- Para este trabajo se filtró solo las muestras que sean anómalas y aquellas que tiene valores desde >0.20 ppm de Au. Estas muestras nos ayudaran a vectorizar y focalizar nuevos centros mineralizados (ver figura 18).

The screenshot shows the 'Data Problems' window in Data Doctor. The window title is 'Data Doctor [AU_PPM_FN, AU_PPM_FA, AU_PPM_DUP, AU_PPM_GRA, AG_PPM_FNL, AG_PPM_ICP, (+47... X'. The table below lists the variables and their associated problems.

Variable	Problem	Value	Count	%	Apply Attributes	Replacement Value	Replace Value
AU_PPM_FN	No Probs						
AU_PPM_FA	No Probs						
AU_PPM_DUP	Null	Null	1875		<input type="checkbox"/>	null	<input type="checkbox"/>
AU_PPM_GRA	Null	Null	1938		<input type="checkbox"/>	null	<input type="checkbox"/>
AG_PPM_FNL	No Probs						
AG_PPM_ICP	No Probs						
AG_PPM_AA	Null	Null	1907		<input type="checkbox"/>	null	<input type="checkbox"/>
AL_							

Below the table, there are several options: Suggest row by row, Suppress Negative Rule, Attribute All, and Replace All. At the bottom, it says '0/1999 rows without any problems'. There are also buttons for 'Show Log', 'Apply', 'Undo', 'Copy', and 'Close'.

Figura 18. Se aprecia el trabajo realizado del tratamiento estadístico para todos los elementos realizado. (Fuente: IoGas).

- Luego del filtrado quedó la cantidad de 564 muestras para tratamiento estadístico.

3.1.4.3 Análisis probabilístico geoquímico

En esta etapa se elaboró mapas probabilísticos con los elementos correlacionados al Au, que fueron hallados en la etapa anterior. El método usado fue el Kriging esférico con un strike de 105° (porque las estructuras mineralizadas en la zona estudio tienen esa dirección) para buscar posibles zonas mineralizadas relacionado a brechas, vetas y/o



mantos. Para la interpolación espacial se utilizó la extensión Target for GIS (Geochemistry) versión 3.0.

3.2 MATERIALES UTILIZADOS

Los materiales utilizados para las diferentes etapas en la investigación fueron:

Tabla 9. *Tabla de materiales necesarios para realizar la presente investigación*

FASE GABINETE	
HUMANO	EQUIPO E INSTRUMENTOS
Geólogo (01)	Software's Geológicos de geoquímica, geoestadística, Laptop Gamer Impresora Libreta de apuntes Escalímetro Protactor Colores, Lápiz y Lapiceros Plumones negro, verde, azul y rojo.
FASE CAMPO	
HUMANO	EQUIPO E INSTRUMENTO
Geólogo (01) Ayudante Guía (01)	GPS Brújula Picota Lupa Iwamoto 20X Camioneta Alimentos y Hospedaje Cámara Fotográfica.

(Fuente: Propia)

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El Proyecto Igor se ubica en Perú, en el departamento de La Libertad, provincia de Otuzco, distrito de Huaranchal; a una distancia de 155km de la ciudad de Trujillo, cuyas coordenadas son 781,746E y 9,153,629N (UTM WGS84 Zona 17S). El área de estudio está enmarcada entre las minas Sayapullo, Shahuindo y Algamarca.

Existe dos posibles rutas de acceso al proyecto Igor, de las cuales la principal vía es la de Lima – Trujillo - Callanquitas – Igor, en el cual se tiene una distancia de 176 km aproximadamente, de los cuales 145 km son asfalto y 31 km aproximadamente es trocha carrozable ver (figura 19). La otra ruta es la de Trujillo - Otuzco - Huaranchal – Igor, que tiene una distancia de 157km (Ver Tabla 10).

Tabla 10. *Distancia y tiempo hacia el Proyecto Igor*

RUTA	DISTANCIA Km	TIEMPO	TIPO DE CARRETERA
Lima - Trujillo	560	9 h 30 min	Asfaltada - Panamericana norte
Trujillo - Lucma	145.6	3 h 22 min	Asfaltada
Lucma - Mina Callanquitas	33.3	1 h 41 min	Trocha Carrozable
Lima – Proyecto Igor	738.9	14 h 30 min	

Los datos de tiempo se consideran en vehículo de tipo pick up (Fuente: Propia)



Figura 19. Mapa de ubicación proyecto Igor-La libertad (Fuente: Propia)

4.2 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.2.1 Estratigrafía

La estratigrafía que se tiene en el área de estudio es circunscrita por parte del Grupo Goyllarisquizga, y comprende principalmente las siguientes formaciones Chimú del Cretácico inferior, Chicama del Jurásico superior y finalmente estructuras intrusivas, ver (figura 20).

Formación Chicama

No se logra identificar o corroborar la base de la formación Chicama, según perforaciones diamantinas se corta el tope de esta unidad con presencia de limolitas arcillosas y paquetes de carbón. La litología y el alto contenido de pirita en los sedimentos de la formación Chicama, sugieren que el material se depositó en una cuenca anaeróbica, en donde prevaleció un ambiente reductor. Se evidencia claramente la transición de una roca carbonosa con las Areniscas y cuarcitas del Chimú, (Gutierrez, 2018).

Formación Chimú

La formación Chimú, sobreyace en forma concordante sobre la formación Chicama y consta de una secuencia sedimentaria que se caracteriza por presentar bancos potentes de cuarcitas blancas las cuales se intercalan con areniscas, y lutitas gris clara, pardas con pequeños horizontes carbonosos centimétricos a métricos, (Gutierrez, 2018).

Rocas Ígneas

Las rocas intrusivas que afectan la secuencia estratigráfica del área están generalmente relacionadas con los procesos de mineralización y pertenecen al Cretáceo Superior a Paleógeno. La relación paragenética sería granitoides - dacitas porfídicas, donde la edad de las rocas magmáticas intrusivas por el método K-Ar hecha en biotitas es de 43 M.a. (Toribio 2001).

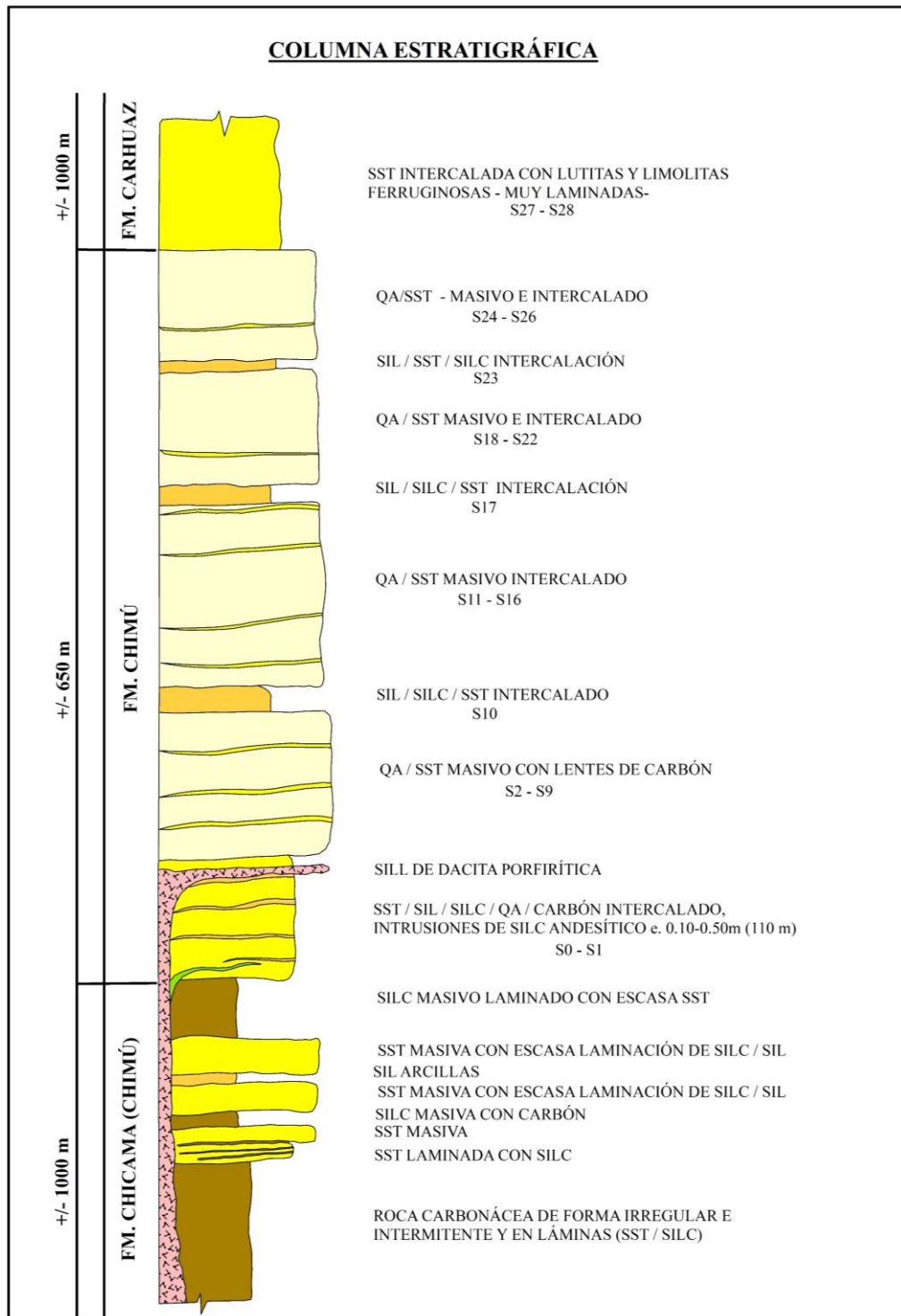


Figura 20. Estratigrafía local del área de Callanquitas - La libertad (Fuente: Informes PPX Mining Corp)

4.2.2 Litología local

Según el cartografiado geológico hecho a escala 1/1000 se encontró 11 tipos litológicos en la zona de estudio ver (figura 21).



- Cuarciarenitas o arenisca cuarzosa.
- Areniscas
- Limolitas carbonosas
- Limolitas arcillosas
- Volcanosedimentarios
- Dacitas porfiríticas
- Vetas de cuarzo
- Brechas Hidrotermales (OxFe y cuarzo oqueroso)
- Brechas tectónicas
- Mantos
- Diques y Sills

Las estructurales mineralizadas que se tienen en el proyecto Igor son dos: Callanquitas Este y Callanquitas Oeste, estas estructuras están conformadas por vetas y brechas hidrotermales encajas en paquetes de cuarciarenita con silicificación de intensidad pervasiva (moderado a fuerte).

La brecha Callanquitas Oeste tiene una longitud y espesor de real de 1340 metros con 0.40 a 3.4 metros de ancho. El máximo encampane de esta brecha es de 410m desde la superficie al intercepto con el pozo de perforación más profundo (sondaje CA-18-96 ubicado a los 2830 m.s.n.m), (ver figura 21), ver anexo 07 (plano geológico local).



Figura 21. Mapa geológico local de proyecto Igor (Fuente: PPX Mining Corp)

4.2.3 Geoquímica en la litología local

Para la caracterización geológica se usó 17466 muestras geoquímicas de perforación diamantina de los cuales se loguearon arenisca cuarzosa, arenisca, limolita carbonosa, limolita arcillosa, volcanosedimentario, dacita porfirítica, brechas hidrotermales, brechas tectónicas, la estadística descriptiva de cada litología en el elemento Au dio como resultado ver (tabla 11).

Tabla 11. *Tabla estadística en Au de todos los tipos de litologías de proyecto Igor.*

Estadística PPM	QA	SST	SILC	SIL	VSED	PD	HYBX	TBX
Mínimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Máximo	45.03	7.21	4.50	6.70	2.32	6.83	27.46	20.08
Media	0.13	0.09	0.09	0.10	0.17	0.08	2.25	0.75
Mediana	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.63	0.16
Media geométrica	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.01	0.58	0.16
Rango	45.03	7.21	4.50	6.70	2.32	6.83	27.46	20.08
Rango intercuartil	0.06	0.04	0.04	0.05	0.08	0.03	2.85	0.59
Desviación estándar	0.68	0.31	0.34	0.37	0.47	0.32	3.54	1.67
Varianza	0.47	0.10	0.12	0.14	0.22	0.10	12.53	2.79
Coefficiente de variación	518.09	363.2	371.0	363.9	278.47	398.1	157.16	221.9
Threshold	1.40	0.65	0.70	0.77	0.98	0.66	7.66	3.50

Cuadro de resumen estadístico en cada tipo de litología para el elemento Au (Fuente propia)

4.2.3.1 Arenisca cuarzosa (QA)

La cuarciarenita, en la zona de estudio se describe como a una arenisca recristalizada y compacta de color gris clara, en el cual no se observa porosidad entre los granos de la roca, es de grano medio a grueso y los bancos cuarzosos que presenta son de 0,1m a 1m de potencia, estos en su mayoría son masivos, con escasas estructuras sedimentarias como estratificación cruzada y estilolitos. La alteración que presenta es la silicificación en zonas próximas a la estructura mineralizada (Gutierrez, 2018), ver la (figura 22). En esta roca es donde se emplaza la mineralización en el Proyecto Igor.



Figura 22. Muestra de perforación de diamantina A 125.10 m. Cuarciarenita con óxidos en fracturas y pirita fina diseminada. (Fuente BD PPX Mining)

Geoquímica en arenisca cuarzosa (QA)

La geoquímica en esta unidad litológica se trabajó en base a datos de perforación diamantina DDH un total de 8899 muestras logueadas con la denominación de cuarciarenitas o arenisca cuarzosa (para la base datos estadística). La data histórica que se utilizó en este trabajo muestra que el Au, Ag, As, Cu, Fe, Pb, Sb y Sn en esta litología tiene datos faltantes como muestra la (Tabla 12).

Tabla 12. *Datos faltantes en la cuarciarenita por elemento químico.*

Nro. Bloque	Vacíos	Au	Ag	As	Cu	Fe_	Pb_	Sb_	Sn_
1	119	X	X	X		X	X	X	X
2	60				X		X		
3	1			X					X
4	1772								X
5	18			X					
CASILLAS									
TOTALES SIN INFORMACION		119	119	138	60	119	179	119	1 892

Data total sin información de QA (Fuente propia)

Los resultados geoquímicos en QA resaltan que tiene una concentración media de Au 0.13 ppm y 6.14 ppm de Ag, ver (Tabla 13).

Tabla 13. Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Cuarciarenita

	AU	AG_PPM_FNL	AS_PPM	BI_PPM	CU_PPM_FNL	FE_%	PB_PPM_FNL	SB_PPM	SN_PPM
CUARCIARENITA	AU	AG_PPM_FNL	AS_PPM	BI_PPM	CU_PPM_FNL	FE_%	PB_PPM_FNL	SB_PPM	SN_PPM
Cantidad de muestras	8899.00	8899.00	8880.00	9018.00	8958.00	8899.00	8839.00	8899.00	7126.00
Cantidad de vacíos	119.00	119.00	138.00	0.00	60.00	119.00	179.00	119.00	1892.00
Cantidad negativos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Datos con cero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor único	817.00	506.00	1662.00	107.00	1459.00	740.00	619.00	439.00	79.00
Mínimo	0.00	0.10	2.00	0.25	0.25	0.01	0.50	1.00	5.00
Máximo	45.03	1947.00	10000.10	2176.00	60000.00	44.30	13600.00	10000.10	1329.00
Media	0.13	6.14	443.87	3.65	60.72	1.56	73.72	42.09	6.96
Mediana	0.03	0.90	138.00	0.25	15.70	0.98	13.00	10.00	5.00
Media geométrica	0.03	1.06	157.60	0.51	17.56	1.09	14.21	9.52	5.36
Rango	45.03	1946.90	9998.10	2175.75	59999.75	44.29	13599.50	9999.10	1324.00
Rango intercuartil	0.06	2.40	317.75	0.00	28.50	1.07	34.00	22.00	0.00
Desviación estándar	0.68	39.00	985.23	36.73	725.30	1.86	321.02	224.81	27.84
Varianza	0.47	1521.04	970679.65	1348.74	526061.09	3.44	103055.06	50538.31	774.83
Coefficiente de variación	518.09	635.36	221.97	1005.44	1194.43	119.16	435.47	534.15	399.90
Threshold	1.40	79.06	2128.06	73.96	1468.16	4.80	656.25	459.13	61.03

Se considera como fondo geoquímico o media geométrica que en este caso sería 0.03 PPM de Au, se considera como umbral geoquímico o Threshold ≥ 1.40 PPM de Au para el sector Callanquitas Proyecto Igor. (Fuente propia)

4.2.3.2 Arenisca (SST)

Arenisca de grano medio a grueso, de variado color presenta estructuras sedimentarias como: estratificación cruzada, rizaduras, etc. (ver figura 23). En esta unidad se incluyen facies con intercalaciones de arenisca con limolita arcillosa y la arenisca intercalada con limolita carbonácea; las dos últimas con predominancia de la arenisca y de modo laminar, (Gutierrez, 2018).



Figura 23. Muestra de perforación de diamantina A 46.20 m. arenisca masiva sin alteración (Fuente BD PPX Mining)

Geoquímica en arenisca (SST)

La geoquímica en esta unidad litológica se trabajó en base a datos de perforación diamantina DDH un total de 2648 muestras logeadas con la denominación de arenisca (para la base datos estadística). La data histórica que se utilizó en este trabajo muestra que el Au, Ag, As, Cu, Fe, Pb, Sb y Sn en esta litología tiene datos faltantes como muestra ver (Tabla 14). Los resultados geoquímicos resaltan que tiene una concentración media de 0.09 ppm Au y 6.65 ppm de Ag, respectivamente ver (Tabla 15).

Tabla 14. *Datos faltantes en la arenisca por elemento químico.*

Bloques sin información	Vacíos	Cu_ppm	Fe_pct	Pb_ppm	Sb_ppm	Sn_ppm
1	1	X	X	X	X	X
2	309					X
CASILLAS TOTALES SIN INFORMACION		1	1	1	1	310

Data total sin información de SST (fuente propia)

Tabla 15. *Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Arenisca*

ARENISCA	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Cu_ppm	Fe_pct	Pb_ppm	Sb_ppm	Sn_ppm
Cantidad de muestras	2648.00	2648.00	2648.00	2648.00	2647.00	2647.00	2647.00	2647.00	2338.00
Cantidad de textos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cantidad de vacíos	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	310.00
Cantidad negativos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Datos con cero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor único	360.00	277.00	779.00	48.00	869.00	612.00	280.00	191.00	40.00
Mínimo	0.00	0.10	1.00	0.25	0.25	0.01	0.50	1.00	5.00
Máximo	7.21	1192.00	10000.10	358.00	5336.40	15.10	21400.00	5913.00	1212.00
Media	0.09	6.65	330.01	2.46	56.86	2.23	79.84	30.26	6.94
Mediana	0.02	0.70	92.00	0.25	19.20	1.51	18.00	9.00	5.00
Media geométrica	0.02	0.87	97.88	0.51	22.48	1.56	19.66	8.56	5.28
Rango	7.21	1191.90	9999.10	357.75	5336.15	15.09	21399.50	5912.00	1207.00
Rango intercuartil	0.04	1.80	244.00	0.00	28.60	1.87	31.00	12.00	0.00
Desviación estándar	0.31	43.69	745.92	11.49	194.51	2.28	585.67	170.50	33.37
Varianza	0.10	1908.60	556389.82	132.04	37834.70	5.19	343012.92	29071.03	1113.83
Coefficiente de variación	363.21	656.75	226.03	466.42	342.07	102.09	733.60	563.45	481.09
Threshold	0.65	88.25	1589.71	23.49	411.51	6.12	1191.00	349.56	72.03

Se considera como fondo geoquímico o media geométrica que en este caso sería 0.02 PPM de Au, se considera como umbral geoquímico o Threshold ≥ 0.65 PPM de Au para el sector Callanquitas Proyecto Igor. (Fuente propia)

4.2.3.3 Limolita carbonosa (SILC)

Esta unidad litológica predomina en el techo de la formación Chicama, se describe como limolitas carbonosas finas de color gris oscuro a negro, existe pequeños niveles de carbón y normalmente esta intercalada con limolitas y areniscas de grano fino laminado, se puede ver la estratificación bien definida y se presenta en laminas (ver figura 24). También se encuentra esporádicamente entre las areniscas cuarzosas, (Gutierrez, 2018).



Figura 24. Muestra de perforación de diamantina A 23.70 m, Limolita arcillosa laminar con material carbonoso (Fuente BD PPX Mining)

Geoquímica en limolita carbonosa (SILC)

La geoquímica en esta unidad litológica se trabajó en base a datos de perforación diamantina DDH un total de 1024 muestras logueadas con la denominación de limolita carbonosa. La data histórica que se utilizó en este trabajo muestra que el Au, Ag, As, Cu, Fe, Pb, Sb y Sn en esta litología tiene datos faltantes como muestra ver (Tabla 16). Los resultados geoquímicos resaltan que tiene una concentración media de 0.09 ppm Au y 4.68 ppm de Ag, respectivamente ver (Tabla 17).

Tabla 16. *Datos faltantes el cuarciarenita por elemento químico*

Bloques sin información	Vacíos	Sn_ppm
1	1	X
CASILLAS TOTALES SIN INFORMACION		
		1

Data total sin información de SILC (fuente propia)

Tabla 17. *Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Limolita Carbonosa*

LIMOLITA CARBONOSA	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Cu_ppm	Fe_pct	Pb_ppm	Sb_ppm	Sn_ppm
Cantidad de muestras	1024.00	1024.00	1024.00	1024.00	1024.00	1024.00	1024.00	1024.00	1023.00
Cantidad de textos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cantidad de vacíos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Cantidad negativos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Datos con cero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor único	200.00	145.00	397.00	38.00	624.00	550.00	193.00	101.00	21.00
Mínimo	0.00	0.10	1.50	0.25	0.60	0.04	1.00	2.50	5.00
Máximo	4.50	625.00	10000.10	386.00	5791.60	15.10	17400.00	2334.00	130.00
Media	0.09	4.68	287.24	3.80	121.06	3.31	105.06	23.61	5.78
Mediana	0.01	0.60	61.00	0.25	29.50	2.85	21.00	7.00	5.00
Media geométrica	0.02	0.80	59.53	0.75	37.55	2.36	24.28	8.41	5.25
Rango	4.50	624.90	9998.60	385.75	5791.00	15.06	17399.00	2331.50	125.00
Rango intercuartil	0.04	1.50	194.75	4.75	36.98	2.76	35.75	13.50	0.00
Desviación estándar	0.34	26.16	739.33	13.87	440.18	2.59	779.19	100.68	6.52
Varianza	0.12	684.41	546613.02	192.30	193762.66	6.72	607143.74	10135.63	42.47
Coefficiente de variación	371.00	558.95	257.39	364.95	363.61	78.32	741.68	426.34	112.67
Threshold	0.70	53.12	1538.20	28.48	917.92	7.55	1582.66	209.77	18.29

Se considera como fondo geoquímico o media geométrica que en este caso sería 0.02 PPM de Au, se considera como umbral geoquímico o Threshold ≥ 0.70 PPM de Au para el sector Callanquitas Proyecto Igor. (Fuente propia)

4.2.3.4 Limolita arcillosa (SIL)

La litología limolita arcillosa se presenta de variado color, es bastante frágil de dureza muy baja, los granos son muy finos a finos, la estratificación es definida y se encuentra intercalada con lechos de arenisca cuarzosa ver (figura 25), usualmente las estructuras que se observan son laminas, entre las areniscas, la alteración próxima a las estructuras presenta argilización moderada con sericita.(Gutierrez, 2018).



Figura 25. Muestra de perforación de diamantina A 59.40 m, Limolita arcillosa con escasos niveles de arenisca. (Fuente BD PPX Mining)

Geoquímica en limolita arcillosa (SIL)

La geoquímica en esta unidad litológica se trabajó en base a datos de perforación diamantina DDH un total de 1975 muestras logueadas con la denominación de limolita arcillosa (para la base de datos estadística). La data histórica que se utilizó en este trabajo muestra que el Au, Ag, As, Cu, Fe, Pb, Sb y Sn en esta litología tiene datos faltantes como muestra ver (Tabla 18). Los resultados geoquímicos de la SIL (limolita arcillosa) resaltan que tiene una concentración media de 0.10 ppm de Au y 6.18 ppm de Ag, respectivamente ver (Tabla 19).

Tabla 18. *Datos faltantes en la limolita arcillosa por elemento químico*

Bloques sin información	Vacíos	Sn_ppm
1	843	X
CASILLAS TOTALES SIN INFORMACION		843

Data total sin información de SIL (fuente propia)

Tabla 19. Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Limolita Arcillosa

LIMOLITA ARCILLOSA	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Cu_ppm	Fe_pct	Pb_ppm	Sb_ppm	Sn_ppm
Cantidad de muestras	1975.00	1975.00	1975.00	1975.00	1975.00	1975.00	1975.00	1975.00	1132.00
Cantidad de textos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cantidad de vacíos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	843.00
Cantidad negativos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Datos con cero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor único	348.00	213.00	698.00	39.00	836.00	697.00	249.00	164.00	28.00
Mínimo	0.00	0.10	1.00	1.00	1.00	0.01	1.00	1.00	5.00
Máximo	6.70	624.00	10000.00	385.00	5230.00	22.80	3190.00	6733.00	353.00
Media	0.10	6.18	372.03	2.68	75.69	3.24	59.17	27.40	6.40
Mediana	0.01	0.60	73.00	1.00	29.40	2.83	24.00	8.00	5.00
Media geométrica	0.02	0.73	74.25	1.44	32.95	2.28	24.51	6.83	5.40
Rango	6.70	623.90	9999.00	384.00	5229.00	22.79	3189.00	6732.00	348.00
Rango intercuartil	0.05	1.70	327.00	0.00	41.20	3.24	39.00	18.00	0.00
Desviación estándar	0.37	35.55	893.00	10.78	204.45	2.53	161.25	175.28	12.84
Varianza	0.14	1263.54	797449.63	116.31	41799.94	6.40	26001.83	30723.11	164.82
Coefficiente de variación	363.90	575.12	240.03	402.04	270.13	78.04	272.53	639.80	200.56
Threshold	0.77	71.83	1860.25	23.01	441.85	7.34	347.01	357.39	31.07

Se considera como fondo geoquímico o media geométrica que en este caso sería 0.02 PPM de Au, se considera como umbral geoquímico o Threshold ≥ 0.77 PPM de Au para el sector Callanquitas Proyecto Igor. (Fuente propia)

4.2.3.5 Roca volcanosedimentario (VSED)

Volcanosedimentario de color gris verdoso esta litología presenta lentes de composición andesítica, esta intercalada con tramos cortos de arenisca y limonita presenta minerales de pirita $\leq 4\%$ en diseminado y en fracturas ver (figura 26). Esta roca sobreyacen al a la formación Carhuaz, con potencias de niveles no muy grandes (Gutierrez, 2018).



Figura 26. Volcanosedimentario con pseudo estratificación y pequeños niveles de SILC. (Fuente BD PPX Mining Corp).

Geoquímica en el volcanosedimentario (VSED)

La geoquímica en esta unidad litológica se trabajó en base a datos de perforación diamantina DDH un total de 35 muestras logeadas con la denominación de volcanosedimentario (para la base datos estadística). La data histórica que se utilizó en este trabajo muestra que el Au, Ag, As, Cu, Fe, Pb, Sb y Sn en esta litología tiene datos faltantes como muestra ver (Tabla 20). Los resultados geoquímicos del VSED (volcanosedimentario) resaltan que tiene una concentración media de 0.17 ppm de Au y 15.34 ppm de Ag, respectivamente ver (Tabla 21).

Tabla 20. *Datos faltantes del volcanosedimentario por elemento químico*

Bloques sin información	Vacíos	-
0	0	-
CASILLAS TOTALES SIN INFORMACION		0

Data total sin información de VSED (fuente propia)

Tabla 21. Geostatística y parámetros geoquímicos en el Volcanosedimentario

VOLCANO SEDIMENTARIO	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Cu_ppm	Fe_pct	Pb_ppm	Sb_ppm	Sn_ppm
Cantidad de muestras	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
Cantidad de textos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cantidad de vacíos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cantidad negativos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Datos con cero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor único	28.00	23.00	35.00	10.00	35.00	35.00	28.00	25.00	5.00
Mínimo	0.00	0.10	11.00	2.50	4.10	0.67	3.00	2.50	5.00
Máximo	2.32	289.00	2297.00	122.00	40900.00	10.88	546.00	300.00	23.00
Media	0.17	15.34	485.66	9.29	1469.91	3.87	74.29	33.53	6.40
Mediana	0.03	1.20	391.00	2.50	47.00	3.20	53.00	16.00	5.00
Media geométrica	0.04	1.41	249.96	4.17	75.69	3.22	38.23	16.35	5.79
Rango	2.32	288.90	2286.00	119.50	40895.90	10.21	543.00	297.50	18.00
Rango intercuartil	0.08	4.90	586.00	3.50	99.40	2.67	59.00	20.00	0.00
Desviación estándar	0.47	51.90	521.63	21.68	6906.93	2.29	104.18	56.26	4.02
Varianza	0.22	2693.38	272100.76	469.86	47705714.65	5.26	10854.21	3165.60	16.13
Coefficiente de variación	278.47	338.32	107.41	233.44	469.89	59.23	140.25	167.81	62.75
Threshold	0.98	105.21	1293.22	47.52	13889.56	7.81	246.59	128.88	13.82

Se considera como fondo geoquímico o media geométrica que en este caso sería 0.04 PPM de Au, se considera como umbral geoquímico o Threshold $>=0.98$ PPM de Au para el sector Callanquitas Proyecto Igor. (Fuente propia)

4.2.3.6 Dacita porfirítica (PD)

Roca intrusiva a las formaciones estratigráficas, se presenta como sills y diques de color blanco oxido a veces con disseminación de sulfuros, la alteración que ocurre en esta roca es argílica, con presencia de sericita – caolinita, la textura que se observa es porfirítica y evidencia ojos de cuarzo, ver la (figura 27). (Gutierrez, 2018).



Figura 27. Muestra de perforación diamantina A_73.00m. Dacita Porfirítica con alteración argílica moderada con ojos de cuarzo y halos de oxidación. (Fuente BD PPX Mining Corp).

Geoquímica en la dacita porfirítica (PD)

La geoquímica en esta unidad litológica se trabajó en base a datos de perforación diamantina DDH un total de 1699 muestras logueadas con la denominación de dacita porfirítica (para la base datos estadística). La data histórica que se utilizó en este trabajo muestra que el Au, Ag, As, Cu, Fe, Pb, Sb y Sn en esta litología tiene datos faltantes como muestra ver (Tabla 22). Los resultados geoquímicos del PD (dacita porfirítica) resaltan que tiene una concentración media de 0.08 ppm de Au y 6.94 ppm de Ag, respectivamente ver (Tabla 23)

Tabla 22. *Datos faltantes la dacita porfirítica por elemento químico*

Bloques sin información	Vacíos	Sn_ppm
1	426	X
CASILLAS TOTALES SIN INFORMACION		426

Data total sin información de PD (fuente propia)

Tabla 23. *Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Dacita Porfirítica*

DACITA PORFIRITICA	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Cu_ppm	Fe_pct	Pb_ppm	Sb_ppm	Sn_ppm
Cantidad de muestras	1699.00	1699.00	1699.00	1699.00	1699.00	1699.00	1699.00	1699.00	1273.00
Cantidad de textos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cantidad de vacíos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	426.00
Cantidad negativos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Datos con cero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor único	260.00	246.00	606.00	45.00	937.00	533.00	530.00	195.00	38.00
Mínimo	0.00	0.10	1.00	1.00	0.25	0.12	1.00	1.00	5.00
Máximo	6.83	1426.00	10000.10	183.00	5790.00	16.70	42800.00	3299.00	1136.00
Media	0.08	6.94	436.39	3.81	110.53	2.87	258.98	41.88	9.20
Mediana	0.01	0.80	85.00	1.00	34.00	2.37	63.00	8.00	5.00
Media geométrica	0.01	0.97	92.81	1.91	35.55	2.49	76.55	8.02	5.48
Rango	6.83	1425.90	9999.10	182.00	5789.75	16.58	42799.00	3298.00	1131.00
Rango intercuartil	0.03	2.40	251.00	3.00	80.70	1.89	205.00	25.00	0.00
Desviación estándar	0.32	42.73	1142.19	8.88	282.50	1.73	1202.63	162.90	47.70
Varianza	0.10	1825.97	1304589.81	78.78	79804.37	2.99	1446311.39	26536.11	2275.28
Coefficiente de variación	398.16	615.88	261.73	233.00	255.58	60.27	464.38	388.99	518.68
Threshold	0.66	86.43	2377.19	19.66	600.55	5.94	2481.81	333.82	100.88

Se considera como fondo geoquímico o media geométrica que en este caso sería 0.01 PPM de Au, se considera como umbral geoquímico o Threshold ≥ 0.66 PPM de Au para el sector Callanquitas Proyecto Igor. (Fuente propia)

4.2.3.7 Brechas hidrotermales matriz oxe (HYBXO)

Esta litología corresponde a los sectores mineralizados de la zona de estudio; la brecha es polimíctica y presenta silicificación moderada. Las leyes en cuanto a la ocurrencia de Au y Ag son moderadas en rangos que oscilan de 1 a 5ppm Au. Por las características litológicas de esta unidad, se alcanza a mineralizar inclusive la roca caja por la permeabilidad de la arenisca y limolita. Esta brecha posiblemente ha actuado como feeder de los mantos existentes en Tesoros y Domo, ver (figura 28).



Figura 28. Muestra de perforación diamantina A: 99.90m. Veta remplazamiento de OxFe con HYBX matriz soportada de Goetita, Limonita en oquedades, (Fuente PPX Mining).

4.2.3.8 Brechas hidrotermales matriz cuarzo oqueroso (HYBX)

Esta brecha es de tipo polimíctica y contiene clastos angulosos de la brecha hidrotermal con matriz de óxidos (HyBxO), se encuentra fuertemente silicificada. Sus en cuanto a concentraciones de Au y Ag son altas, y están en el rango de 5 a 10ppm Au; se interpreta que este evento inicia con inyecciones de cuarzo oqueroso que tiene un comportamiento en tramos como vetas de cuarzo (V), las cuales tienen un promedio de 20ppm Au con 500ppm Ag, ver (figura 29).



Figura 29. Muestras de perforación diamantina A 39.70 m, Veta de reemplazamiento de sílice blanca y gris oqueroso, (Fuente PPX Mining).

4.2.3.9 Brechas tectónicas (TBX)

Brecha polimíctica de fragmentos de rocas triturados ver (figura 30) sin cemento o escaso, fuerte argilización (sericita), baja ley de Au y Ag, está acompañado en paralelo a las brechas tipo Pebble dike (PEB), se ubica en el piso o techo de las vetas Callanquitas Este y Callanquitas Oeste de control estructural N-S.



Figura 30. Muestra de perforación diamantina A 145.40 m, Brecha tectónica con matriz polvo de roca con clastos cuarciarenita, (Fuente PPX Mining).

Fábrica de brecha en Callanquitas

En el área de estudio se describió e identifico 4 tipos de fábricas de brechas de acuerdo al % de matriz encontrada y al % de clasto encontrado, cada tipo de brecha descrita se encuentra en las estructuras mineralizadas Callanquitas Este y Callanquitas Oeste las cuales son guías para la exploración ya que cada una de ellas representa un clasto y una matriz en distintos porcentajes que a su vez está relacionado a zonas de bonanza de Au de acuerdo al tipo de brecha.

4.2.3.10 Brecha crackle

Brecha con clasto soportado >95% aprox. matriz de 5% aprox., se presenta relleno de pequeñas venillas menores y/o pequeñas cavidades producto de la crackelación de la roca, los fragmentos de roca se presentan no rotados, es monomíctico y como alteraciones hidrotermales puede tener, la alteración filica (cuarzo-sericita), este tipo de brecha se presenta cercanas a las estructuras principales de Callanquitas ver (figura 48).

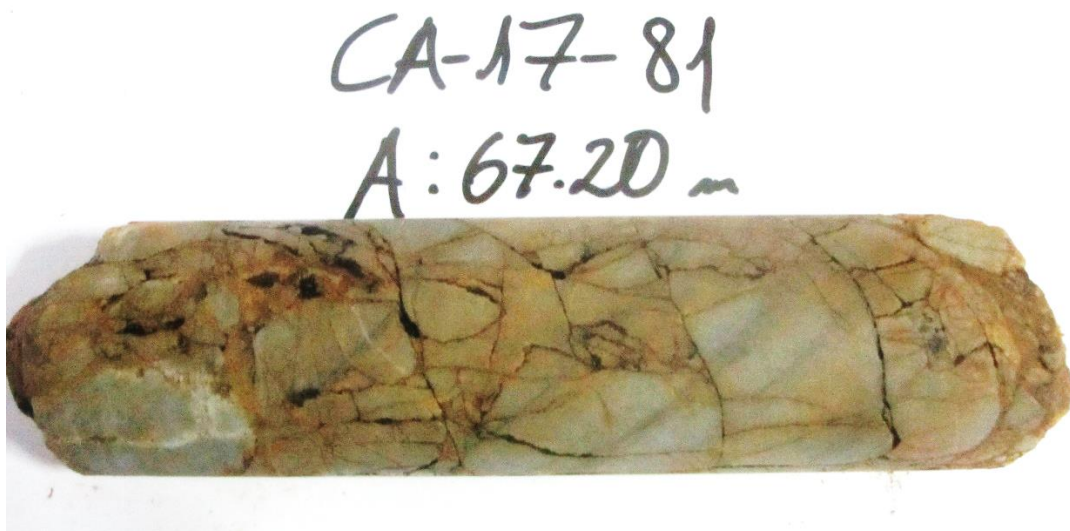


Figura 31. Fotografía de Bx-Crackel en sondajes diamantinos (Fuente PPX Mining)

4.2.3.11 Brecha jigsaw

Brecha con clasto soportado >70% aprox. Matriz 30% aprox., relleno de venillas y/o mineralización de bajo nivel, los fragmentos de roca se presentan ligeramente rotados

perdiendo su forma inicial, puede ser polimíctica o monomíctica. El relleno es mineralizado cuando existe movimiento y genera zonas de apertura para que los minerales pesados puedan ser rellenados (solo si existe hidrotermalismo) se puede verificar la mineralización con el tipo de alteración que presenta en este tipo de fábrica se considera como guía en la exploración geológica ver (figura 49).



Figura 32. Fotografía Bx-Jigsaw en sondajes diamantinos (Fuente PPX Mining)

4.2.3.12 Brecha mosaico

Brecha con matriz soportada >50% aprox. Clastos <50% aprox. Relleno de mineralización (solo si existe hidrotermalismo) generalmente silicificada, los fragmentos de roca se presentan rotados, pueden ser polimíctica y monomícticos. Esta brecha es más rotada que la bx-jigsaw lo que evidencia un mayor movimiento en los clastos posiblemente por la mayor cercanía al plano de movimiento principal NS (sistema estructural de Callanquitas) empuje por cizalla de fallas geológicas, la matriz probablemente sea mineralizada por los fluidos hidrotermales que pueden llegar a circular en este tipo de fábrica, también presenta alteración filica (Cuarzo-Seritita-Pirita) ver (figura 50).

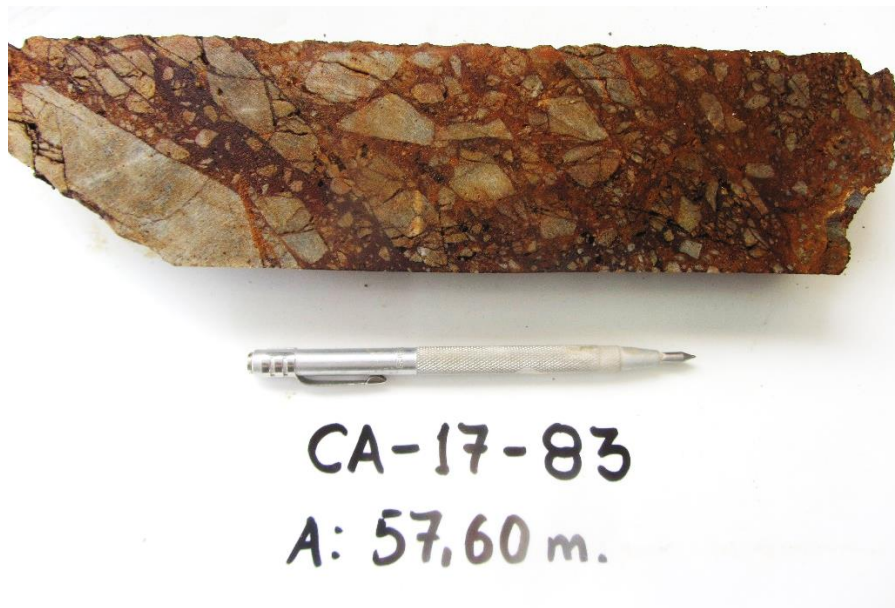


Figura 33. Fotografía de Bx-Mosaica en sondaje diamantino (Fuente PPX Mining).

4.2.3.13 Brecha rubble

Brecha con matriz soportada >60% aprox. Clasto 30% aprox. El relleno que presenta generalmente se encuentra mineralizado (solo si existe hidrotermalismo), la alteración es silicificación, los fragmentos se encuentran completamente rotados y perdiendo su forma inicial, puede ser polimíctica o monomíctica. Usualmente tiene alteración pervasiva de media a muy fuerte en las estructuras mineralizantes y se clasifican como potencial económico ver (figura 51).



Figura 34. Fotografía de sondaje diamantino Bx-Rubble (Fuente PPX Mining)



Figura 35. Mapa geológico regional (Fuente: PPX Mining Corp & INGEMMET)

4.2.4 Geología estructural

El proyecto Igor está fuertemente influenciado por la Orogenia Andina, el cual forma anticlinales (Anticlinal del Cerro Bola de Igor) y sinclinales, en donde es frecuente encontrar estratificaciones volcadas, ver (figura 36). La zona de estudio se encuentra en el cerro de nombre Bola de Igor, compuesto por un anticlinal muy cerrado cuya orientación del Mapa axial del eje del anticlinal es de NW-SE con un dip de 70° S. Los estratos varían de 0 a 90° de dip y en algunos casos con repliegues.

Producto del tectonismo se formaron los principales sistemas estructurales que a su vez funcionaron como trampas mineralizantes. Los sistemas estructurales mineralizantes de Au, Ag y Cu. en el distrito consiste en:

- Brechas hidrotermales y tectónicas controladas por sistemas de fallas con orientaciones N-S y NE-SW. En este sistema se encuentra las estructuras Callanquitas Este, Callanquitas Oeste, Tesoros, Cianuro, Gloria, Safia y Malú.
- Mantos mineralizados por *feeders* tienen orientación N-S y NE-SW. (Mantos de Domo y Tesoros).
- Diseminaciones de Au en roca craquelada de arenisca cuarzosa y limolitas, que tiene orientación Andina. (Zona de Portachuelos y Bertha).

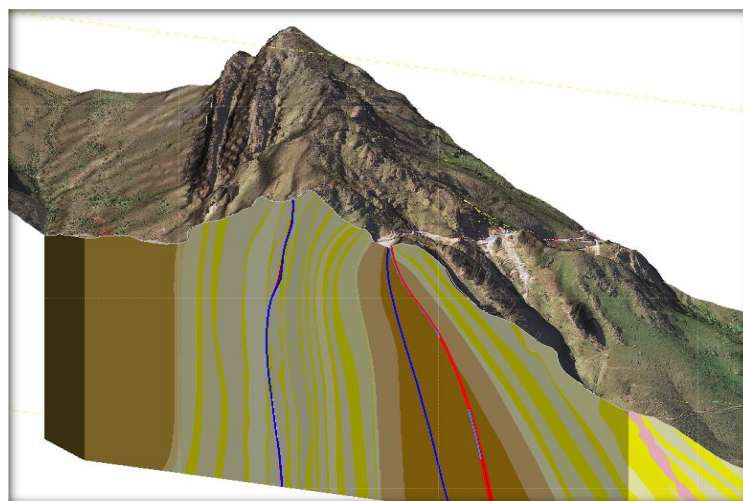


Figura 36. Vista al Sureste del yacimiento donde observamos el eje del anticlinal en la imagen satelital (Fuente: Informes internos)



4.2.4.1 Sistema N-S:

Este sistema presenta fallas tensionales que han producido varios eventos de brechamiento, siendo esta una buena trampa para mineralizarse (Callanquitas y Tesoros). El dip de este sistema es subvertical, con una apertura de 0.5 a 12m de espesor. Hay evidencia que este es el principal sistema mineralizado en el Proyecto Igor, con valores importantes de Au, Ag (Cu). Su desplazamiento es de escasos metros. ver (Figura 37).

4.2.4.2 Sistema NE-SW:

Se interpreto que estas zonas de debilidad se originaron a causa del sistema N-S, que también formaron un set de este sistema con dip de 30 a 80°. La apertura de este sistema es restringida con 0.2 a 1.5m de espesor con escaso movimiento. Este sistema también mineralizó con las estructuras: Sofia y Gloria) con Au y Ag. ver (Figura 37).

4.2.4.3 Sistema NW-SE:

Este sistema corresponde al rumbo andino por consiguiente existe fallas regionales con fuerte movimiento, provocando cabalgamiento y brechamientos en las rocas cajas, predominantemente en las areniscas cuarzosas. Este sistema ha dado camino a las intrusiones en sill-diques de rocas dacíticas. Siendo el contacto una trampa mineralizantes de Au, Ag y Cu., ver (Figura 37).



Figura 37. Mapa estructural del proyecto Igor-La libertad (Fuente: PPX Mining corp)

4.3 MINERALIZACIÓN LOCAL

En el cerro Bola de Igor fue trabajado por mineros artesanales desde antes del 2004 en donde se extraía Au y Ag de los mantos y brechas. La estructura principal mineralizada se denominó Callanquitas Este y Callanquitas Oeste, estas tienen orientaciones N-S y longitudes hasta 1.5km de largo y espesores de 0.2 a 12m. Los principales minerales que se describió con lupa en estas estructuras son: cuarzo, pirita, óxidos de hierro, arsenopirita, calcopirita, acantita, esfalerita, tennantita y/ tetraedrita, los cuales están ligados a la mineralización en las vetas mencionadas.

Veta Callanquitas Este

La veta Callanquitas Este presenta orientación N-S con ángulo sub vertical de dip promedio 78° al Oeste, la fuente de mineralización principal se cree que es de Nor-Oeste a Sur, con un plunge de mineralización de 70° que enriquece en leyes de Au y Ag en el eje del anticlinal, también hay evidencia de un flujo mineralizantes de Sur a Norte.

En la veta existe tramos de tipo rosario tanto en el eje vertical como en el horizontal, en profundidad presenta potencias reales de 0.15 m a 6.8 m, el máximo encampane que se tiene en esta estructura es de 440m desde la superficie al intercepto de sondaje CA-12-44 ubicado en la cota 3050 m.s.n.m. también se visualiza de acuerdo a los isovalores de Au que la veta queda abierta en profundidad pudiéndose encontrar valores entre 5-15 ppm de Au ver (anexo 06 sección longitudinal e isovalores de la veta Callanquitas Este).

Mineralización: El mineral predominante son los $OxFe$, como goethita y limonita hasta la cota promedio de 3200 m.s.n.m. El $OxFe$ se presenta intercrecido eventualmente con cuarzo oqueroso y se ha encontrado plata nativa vista en lupa y oro libre visto en microscopio. La zona de Óxidos aún está abierto a la exploración en profundidad, la zona de sulfuros apareció de forma discontinua observándose acantita y



de sulfosales de cobre con oro libre visto en microscopio (ver análisis de muestras K154273 y i243826)

Veta Callanquitas Oeste

La brecha Callanquitas Oeste tiene una longitud y espesor de real de 1340 m. con 0.40 a 3.4 m. de ancho verdadero. El máximo encampane es de 410m desde la superficie al intercepto de perforación (sondaje CA-18-96 ubicado a los 2830 m.s.n.m.) se destaca que esta estructura está abierta en profundidad para exploración de Au-Ag.

Mineralización: El mineral predominante son los $OxFe$, como goethita y limonita hasta la cota promedio de 3000 m.s.n.m. Los óxidos están intercrecidos eventualmente con cuarzo oqueroso, la zona de óxidos aún está abiertos y se ha encontrado plata nativa y oro libre visto en microscopio. La zona mixta y de sulfuros apareció de forma discontinua e irregular. La fuente de mineralización se cree proviene de dos sectores en específico la zona Nor-Oeste de la Mina Callanquitas y de la zona Sur (Portachuelos) ver (anexo 07 anexo 07 sección longitudinal de la veta Callanquitas Oeste)

4.3.1 Mineragrafía

En el proyecto Igor se tomó 02 muestras para ser analizadas en un laboratorio especializado en este campo (ENRIQUE TIDY Y CIA. LTDA).

4.3.1.1 Análisis de la muestra: K154273

La muestra corresponde a la cuarciarenita con abundantes limonitas goethíticas depositadas en cavidades formando agregados con estructuras coloformes muy bien desarrolladas, esto indica depositación como un gel, bastante típico de los hidróxidos de Fe, (ver figura 38). Se identificó numerosos cristales de oro de color amarillo intenso, formas irregulares y tamaños variables entre 8 y 60 μm . Estos cristales de oro están invariablemente contenidos en goethita. Adicionalmente se observó dos cristales de 0,12 y 0,15 mm de un mineral de color gris, blando (difícil de pulir) y sin efecto

anisótropo observable; se identificó tentativamente como argentita/ acantita (?). Varios cristales pequeños de pirita, entre 8-25 μm , aparecen sin haber sido afectado por los agentes oxidantes. Esto probablemente se debe a que se encuentran encapsulados en cuarzo y por lo tanto preservados como sulfuros relictos.

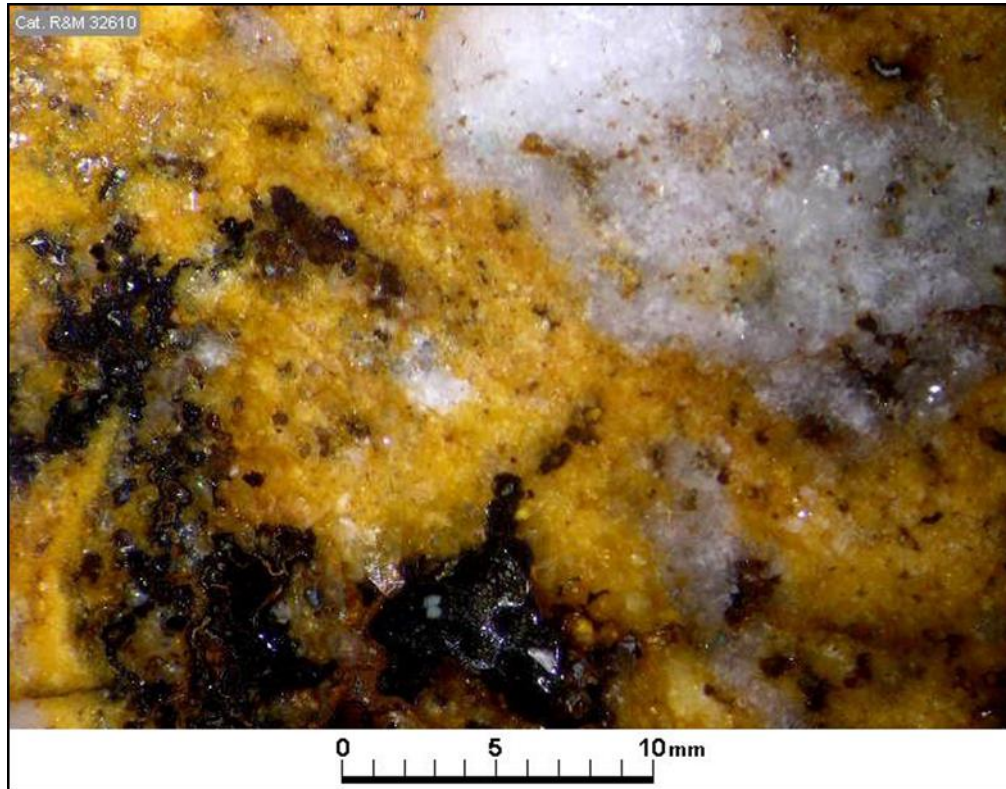


Figura 38. Microfotografía muestra K154273. Microfotografía de bajo aumento tomada en lupa binocular sobre la sección pulida. Los agregados oscuros corresponden a goethita coloforme y el resto a cuarziarenita en la mayor parte teñida por limonitas. Aum.: 0,5x10; luz natural.

Observaciones microscópicas

Tabla 24. *Observaciones microscópicas de la muestra K154273*

Míneral	%	Alteración/ Observaciones	Características/ Modo de Ocurrencia
goethita	25	corresponden a limonitas transportadas depositadas como geles.	Ocurre en agregados de aproximadamente 0,5-10 mm con estructura coloforme muy bien desarrollada. El cuarzo de la roca (cuarziarenita) aparecen gran parte teñido por limonitas goethíticas.
oro	tr	color amarillo intenso.	Se observó numerosos (aproximadamente 10) cristales de oro de formas irregulares contenidos en goethita. Los tamaños observados fueron de 8, 10, 12, 35 y 60 μm .

argentita /acantita	tr	sin alteración.	Se observó 2 cristales de 0,12 y 0,15 mm, de color gris, blando (difícil de pulir), sin efecto anisótropo observable. Se identificó tentativamente como argentita/ acantita.
pirita	tr	sin alteración (los cristales observados están encapsulados en cuarzo y por tal motivo no fueron afectados por los agentes oxidantes).	cristales de 8-25 μm preservados como sulfuros relictos.

(Fuente laboratorio)

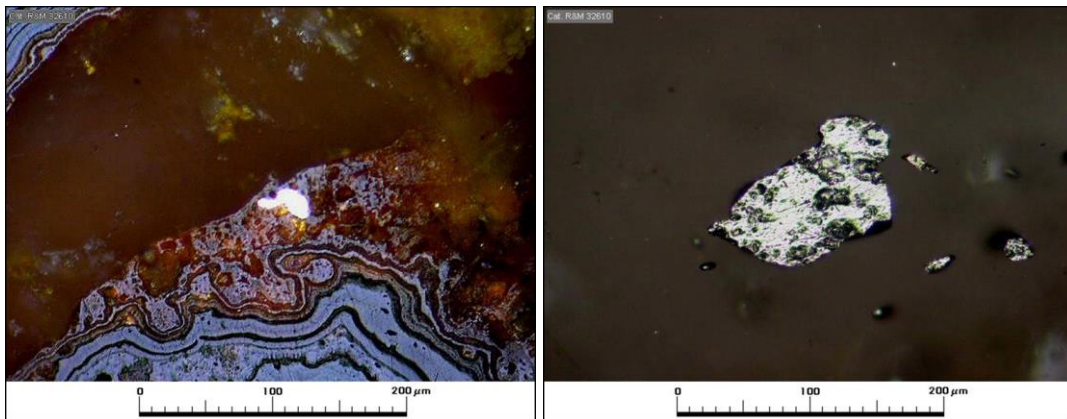


Figura 39. Muestra K154273. Cristal de oro de 35 μm en goethita. Aum.: 32x10; Nic. Paralelos (fotomicrografía lado izquierdo). Grano de 0,12 mm de color gris, isótropo, blando (difícil de pulir) identificado tentativamente como argentita/ acantita. Aum.: 32x10; Nic. Paralelos (fotomicrografía lado derecho).

4.3.1.2 Análisis de la muestra: i243826

La muestra corresponde a una brecha con clastos de limolitas laminadas/ bandeadas y en menor cantidad clastos silíceos en tamaños que varían entre unos 3-25 mm; la matriz es escasa y consiste en arcilla color ocre (tinción limonítica). Los clastos más abundantes son los que exhiben marcada laminación/ bandeamiento. Las bandas tienen espesores de aproximadamente 1-2 mm y alternan unas formadas por arenita fina y otras de arcilla con impregnación limonítica. La muestra contiene abundante goethita como relleno de cavidades y con estructuras coliformes bien desarrolladas lo cual indica que se depositó como un coloide. También se observó agregados de goethita de reemplazo de pirita. Los clastos silíceos contienen abundante goethita muy compacta,

que se ve de color oscuro. El cuarzo contiene abundantes cristales de 15-50 μm y cristales de arsenopirita de hasta 100 μm . No se observó oro ni minerales de plata, ver (figura 40).

Microfotografía (aspecto general)

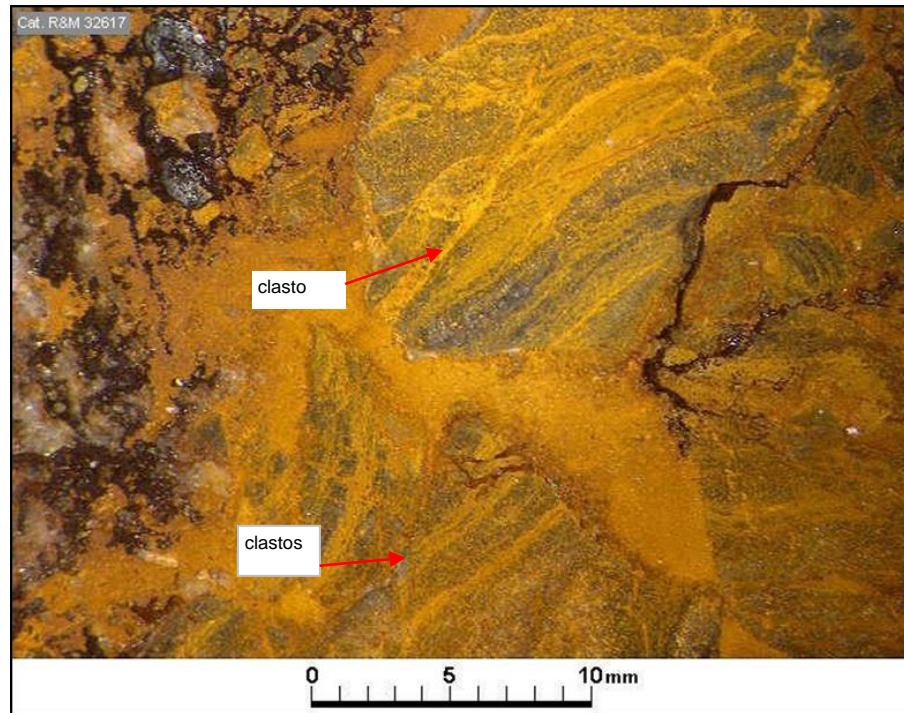


Figura 40. Muestra I243826: microfotografía de bajo aumento tomada en lupa binocular sobre la sección pulida. La muestra contiene predominancia de clastos bandeados/ laminados (arena fina/ arcilla); otros clastos corresponden a material más silíceo (¿cuarciaarenita?). Estos últimos contienen abundantes cristales de pirita y arsenopirita encapsulados en cuarzo. El material de color oscuro corresponde a goethita compacta. La matriz es escasa y corresponde a arcilla con tinción limonítica Aum.: 0,5x10; luz natural.

Observaciones microscópicas

Tabla 25. *Observaciones microscópicas de la muestra I 243826*

Mineral	%	Alteración/ Observaciones	Características/ Modo de Ocurrencia
goethita	30?	producto de oxidación de sulfuros (mayoritariamente pirita según la naturaleza de los sulfuros relictos predominantes).	ocurre como agregados coloformes rellenando cavidades de tamaños variados; también se la observa como reemplazo de cristales de probable pirita.
pirita	tr	preservada únicamente como sulfuro relicto.	pequeños cristalitos de 15-50 μm que no se oxidaron por estar encapsulados en cuarzo y por lo tanto aislados de los agentes oxidantes.
arsenopirita	tr	preservada únicamente como sulfuro relicto.	cristalitos subhedrales/ euhedrales de hasta 100 μm ; se los observó sólo en los clastos más silíceos junto a pirita.

rutilo	1	formado a partir del Ti liberado de la alteración de máficos.	cristales anhedrales de 30-60 μm dispersos en los clastos de la roca brechizada. (Se incluye al final 2 microfotografías en nícoles paralelos y cruzados porque en un momento tuve la duda de que podría estar confundiendo clorargirita con rutilo; finalmente descarté esta duda; los tamaños son uniformes y comunes a los que presenta el rutilo. Comúnmente en la clorargirita es posible observar algún cristal de plata nativa).
---------------	---	---	--

(Fuente laboratorio)

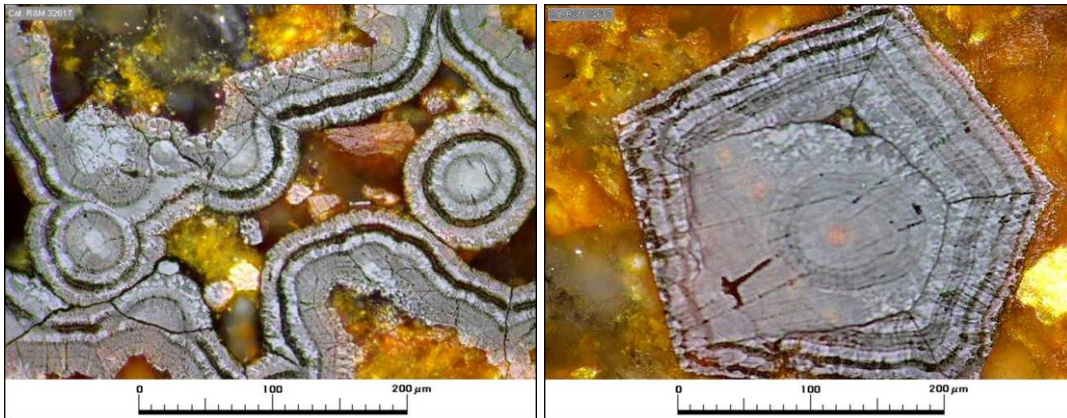


Figura 41. Muestra I243826: goethita con abundantes y bien desarrolladas estructuras coloformes. Aum.: 32x10; Nic. paralelos. (fotomicrografía lado izquierdo). Muestra I243826: goethita probablemente formada por oxidación de un cristalito de pirita. Aum.: 32x10; Nic. paralelos. (fotomicrografía lado derecho). (Fuente laboratorio).

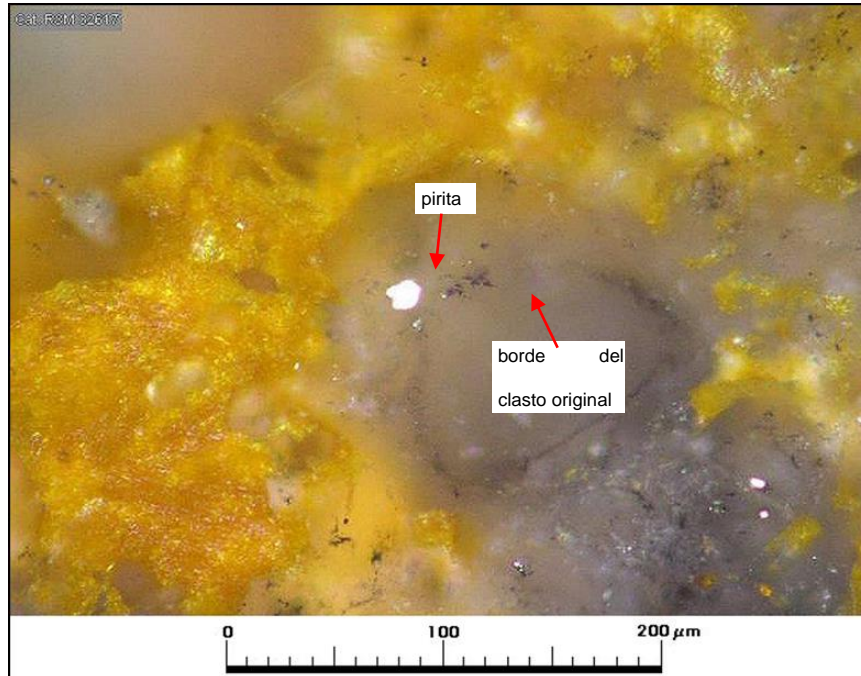


Figura 42. Muestra I243826: Cristal de pirita preservado como sulfuro relicto en el cuarzo sobrecrecido en un cristal de cuarzo original (marcado por inclusiones submicroscópicas en su superficie. Aum.: 32x10; Nic. paralelos. (Fuente laboratorio)

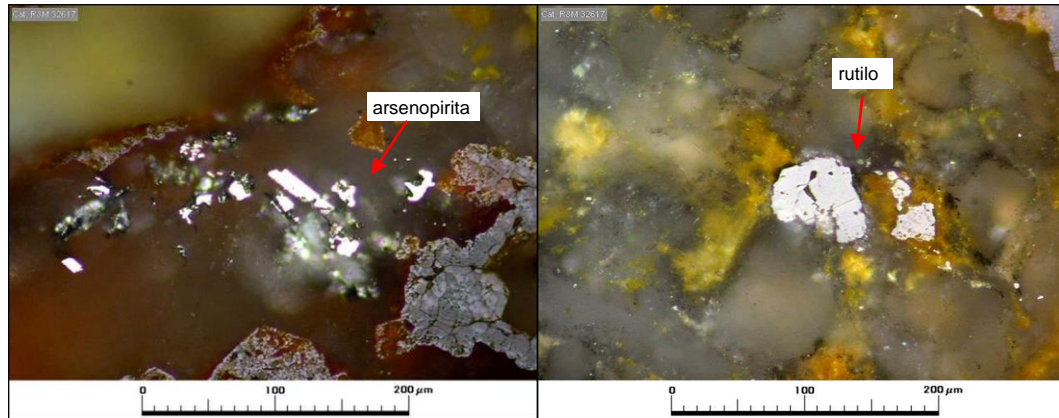


Figura 43. Muestra I243826: Cristales euhedrales de arsenopirita encapsulados en cuarzo en clastos silíceos. Aum.: 32x10; Nic. Paralelos (fotomicrografía lado izquierdo). Cristal anhedral de rutilo. (Se ha incluido esta microfotografía y la próxima porque en un momento tuve dudas de que podría estar tomando como rutilo a clorargirita; pero estoy razonablemente seguro que se trata de rutilo). Aum.: 32x10; Nic. paralelos. (fotomicrografía lado derecho), (Fuente laboratorio).

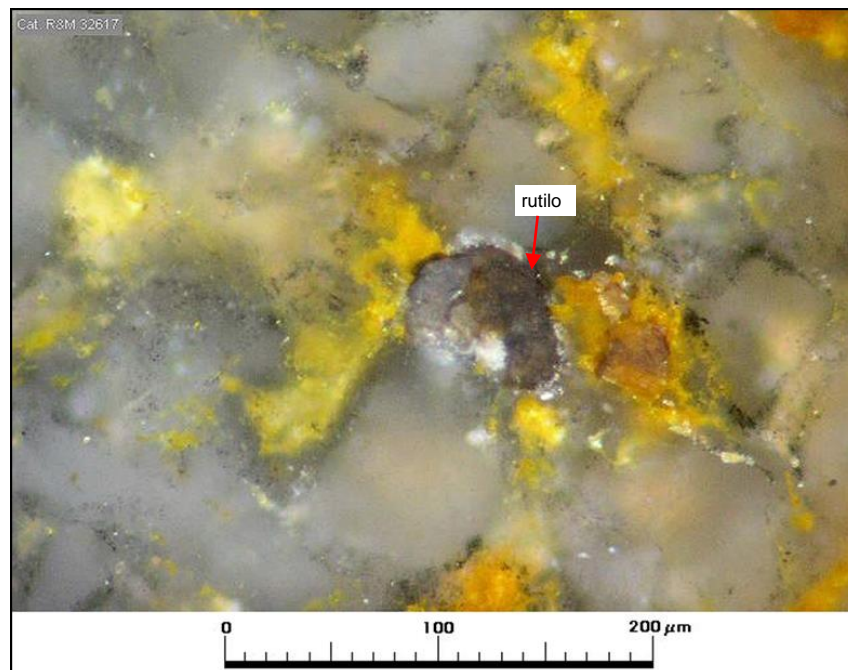


Figura 44. Muestra I 243826: Misma microfotografía anterior pero tomada bajo nicoles cruzados. Aum.: 32x10; Nic. cruzados. (Fuente laboratorio)



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE VETAS Y BRECHAS

5.1.1 Controles de calidad al muestreo (QA-QC)

En el proyecto Igor se tiene protocolos de muestreo con el fin de dar validez a nuestros datos para el posterior análisis estadístico y geoquímico. El análisis que se realizó fue en una densidad de 182 muestras de control de las cuales 91 muestras denominados como blancos, 40 muestras denominados como duplicados y 51 muestras denominados como estándar.

5.1.1.1 Blancos

Las muestras blancas nos ayudan a saber si tenemos contaminación, estas se insertaron a los lotes de muestras geoquímicas de superficie; el tipo de material utilizado fue cuarzo blanco de granulometría gruesa y fina, ver (figura 45).

- La línea limite a superar fue 0.04ppm de Au, ya que el cuarzo blanco no supera este valor, encima del límite trazado se considera como contaminado.
- El límite de detección para Au en las muestras es de 0.005 ppm.

El análisis de muestras blancas nos da como resultado que ninguna muestra excede la línea a superar de Au (0.04ppm) por lo que se considera no contaminado, pero si merece aclarar que existe 05 muestras con contaminación no significativa ya que tiene valores cercanos a la línea a superar de Au, ver (Tabla 26).

Tabla 26. *Tabla de muestras de control de Blancos.*

N	Código de Muestra	Au _ppm	Ag _ppm	Línea límite superior Au	Muestras contaminadas
1	E980520	0.005	0.2	0.04	No contaminado
2	E980549	0.005	0.2	0.04	No contaminado
3	E984507	0.005	0.5	0.04	No contaminado
4	E984520	0.005	0.1	0.04	No contaminado
5	E984545	0.005	0.1	0.04	No contaminado
6	E984020	0.005	0.2	0.04	No contaminado



7	E984035	0.005	0.2	0.04	No contaminado
8	E984050	0.005	0.2	0.04	No contaminado
9	E984090	0.005	0.2	0.04	No contaminado
10	E984110	0.005	0.2	0.04	No contaminado
11	E984130	0.006	0.2	0.04	No contaminado
12	E984150	0.008	0.2	0.04	No contaminado
13	I008501	0.005	0.2	0.04	No contaminado
14	I008530	0.005	0.2	0.04	No contaminado
15	I008560	0.005	0.2	0.04	No contaminado
16	I008590	0.005	0.2	0.04	No contaminado
17	I008620	0.005	0.2	0.04	No contaminado
18	I008650	0.005	0.2	0.04	No contaminado
19	I008680	0.005	0.2	0.04	No contaminado
20	I008710	0.005	0.2	0.04	No contaminado
21	I008740	0.005	0.2	0.04	No contaminado
22	I008770	0.005	0.2	0.04	No contaminado
23	I008800	0.005	0.2	0.04	No contaminado
24	I008830	0.005	0.2	0.04	No contaminado
25	I008860	0.005	0.3	0.04	No contaminado
26	I008890	0.01	0.9	0.04	No contaminado
27	I008920	0.005	0.2	0.04	No contaminado
28	I008950	0.005	0.2	0.04	No contaminado
29	I008981	0.005	0.2	0.04	No contaminado
30	E982960	0.005	0.2	0.04	No contaminado
31	E982979	0.005	0.2	0.04	No contaminado
32	E982980	0.005	0.2	0.04	No contaminado
33	I237560	0.005	0.2	0.04	No contaminado
34	I237590	0.03	0.2	0.04	No contaminado
35	I237620	0.037	0.2	0.04	No contaminado
36	I237650	0.005	0.3	0.04	No contaminado
37	E982680	0.031	1.3	0.04	No contaminado
38	I237724	0.005	0.2	0.04	No contaminado
39	I237754	0.007	0.2	0.04	No contaminado
40	I237784	0.028	0.4	0.04	No contaminado
41	I237814	0.005	0.2	0.04	No contaminado
42	I237844	0.005	0.2	0.04	No contaminado
43	I237849	0.005	0.2	0.04	No contaminado
44	I237850	0.005	0.4	0.04	No contaminado
45	I237868	0.005	0.2	0.04	No contaminado
46	I237869	0.005	0.2	0.04	No contaminado
47	I237879	0.005	0.2	0.04	No contaminado
48	I237880	0.005	0.2	0.04	No contaminado
49	I237888	0.005	0.2	0.04	No contaminado
50	I237889	0.005	0.2	0.04	No contaminado
51	I237908	0.005	0.6	0.04	No contaminado
52	I237909	0.005	0.4	0.04	No contaminado
53	I237937	0.005	0.2	0.04	No contaminado
54	I237938	0.005	0.3	0.04	No contaminado
55	I237954	0.005	0.2	0.04	No contaminado
56	I237955	0.005	0.2	0.04	No contaminado



57	I237965	0.005	0.3	0.04	No contaminado
58	I237966	0.005	0.3	0.04	No contaminado
59	I237995	0.005	0.2	0.04	No contaminado
60	E982755	0.005	0.3	0.04	No contaminado
61	E982756	0.005	0.2	0.04	No contaminado
62	E982783	0.005	0.2	0.04	No contaminado
63	E982798	0.005	1.2	0.04	No contaminado
64	E982828	0.006	0.2	0.04	No contaminado
65	E982862	0.005	0.2	0.04	No contaminado
66	E982882	0.005	0.4	0.04	No contaminado
67	E982909	0.005	0.8	0.04	No contaminado
68	E982939	0.005	0.2	0.04	No contaminado
69	I009001	0.005	0.2	0.04	No contaminado
70	I009013	0.006	0.2	0.04	No contaminado
71	I009026	0.005	0.3	0.04	No contaminado
72	I009035	0.005	0.2	0.04	No contaminado
73	I009054	0.005	0.2	0.04	No contaminado
74	I009071	0.005	0.2	0.04	No contaminado
75	I009079	0.005	0.2	0.04	No contaminado
76	I009109	0.005	0.2	0.04	No contaminado
77	I009113	0.005	0.4	0.04	No contaminado
78	I009130	0.005	0.2	0.04	No contaminado
79	I009142	0.005	0.8	0.04	No contaminado
80	I009601	0.005	0.2	0.04	No contaminado
81	I009602	0.005	0.2	0.04	No contaminado
82	I009634	0.005	0.2	0.04	No contaminado
83	I009635	0.005	0.2	0.04	No contaminado
84	I009701	0.005	0.2	0.04	No contaminado
85	I009702	0.005	0.2	0.04	No contaminado
86	I009720	0.005	0.2	0.04	No contaminado
87	I009746	0.005	0.2	0.04	No contaminado
88	I009747	0.008	0.2	0.04	No contaminado
89	I009771	0.005	0.4	0.04	No contaminado
90	I009772	0.006	0.4	0.04	No contaminado
91	I009787	0.005	0.2	0.04	No contaminado

(Fuente propia)

Como se puede apreciar en la tabla existe 5 muestras con una contaminación no significativa los códigos I008890, I237590, I237620, E982680, I237784 ya que sus valores en Au son los que más se aproximan a la línea a superar, ver (figura 45).

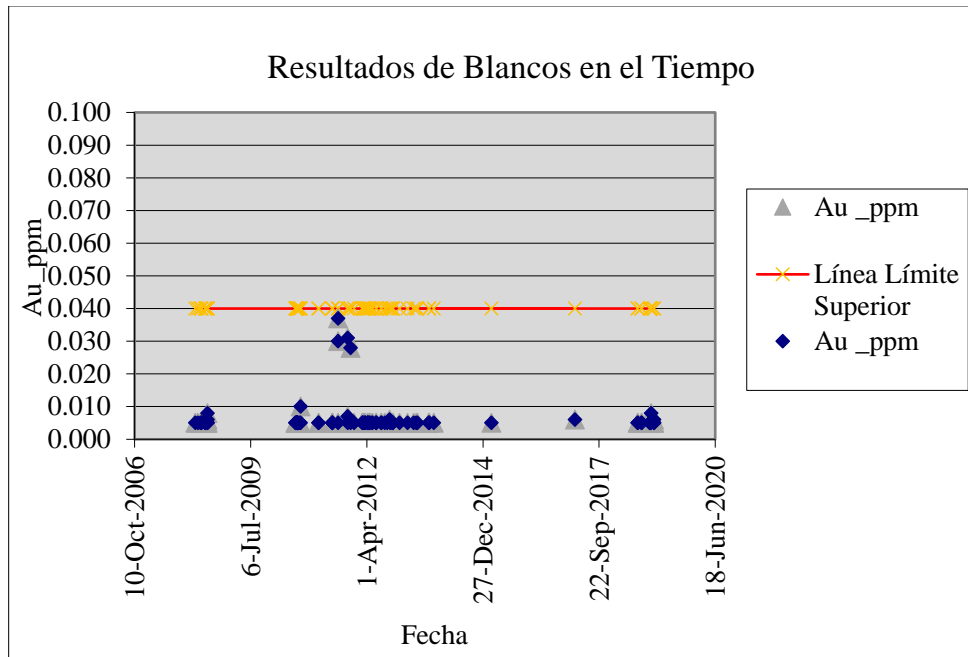


Figura 45. Gráfico en el tiempo de los resultados de Au con límite de contaminación de muestra. (Fuente: Propia)

5.1.1.2 Duplicados

Los duplicados gruesos nos ayudan a controlar la repetitividad y reproducibilidad (R&R) de la toma de muestras en campo, los duplicados finos se utilizan en los rechazos de laboratorio para verificar las leyes reportadas por este mismo, para esta investigación se tiene un total de 40 muestras como duplicados gruesos, (Ver Tabla 27), la estadística descriptiva de los duplicados es la siguiente:

Tabla 27. *Tabla estadística de muestras duplicadas*

ESTADISTICAS	ORIGINAL	DUPLICADO
N° datos	40	40
media	2.01	1.61
mediana	0.09	0.093
Moda	0.0025	0.003
varianza	44.36	19.04
Desviación estándar	6.66	4.36
Min	0.0025	0.0025
Max	39.40	23.60

(Fuente: Propia)

- Se tiene como error relativo aceptable un 25% en la variación de los resultados.
- El límite de detección para el Au en las muestras analizadas es 0.005ppm



Se puede observar un alto contenido de muestras fallidas >25% probablemente porque las muestras no son completamente frescas y existe ligera alteración ver (tabla 28).

Tabla 28. *Tabla de muestras de control de Blancos.*

ORIGINALES		DUPLICADOS		Au		
Nro. Muestra	Au_ppm	Nro. Muestra	Au_ppm	MIN	MAX	ER
I008509	0.022	I008510	0.017	0.017	0.022	26%
I008539	0.005	I008540	0.0025	0.003	0.005	67%
I008569	0.0025	I008570	0.005	0.003	0.005	67%
I008599	0.0025	I008600	0.0025	0.003	0.003	0%
I008629	0.035	I008630	0.023	0.023	0.035	41%
I008659	0.006	I008660	0.0025	0.003	0.006	82%
I008689	0.005	I008690	0.0025	0.003	0.005	67%
I008719	0.009	I008720	0.016	0.009	0.016	56%
I008749	0.067	I008750	0.077	0.067	0.077	14%
I008779	0.017	I008780	0.012	0.012	0.017	34%
I008809	0.008	I008810	0.008	0.008	0.008	0%
I008839	0.31	I008840	0.29	0.290	0.310	7%
I008869	0.041	I008870	0.045	0.041	0.045	9%
I008899	0.121	I008900	0.095	0.095	0.121	24%
I008929	0.029	I008930	0.029	0.029	0.029	0%
I008959	0.322	I008960	0.355	0.322	0.355	10%
I008989	0.408	I008990	0.522	0.408	0.522	25%
E982969	0.082	E982970	0.108	0.082	0.108	27%
E982989	0.0025	E982990	0.0025	0.003	0.003	0%
I237569	0.074	I237570	0.023	0.023	0.074	105%
I237599	4.33	I237600	5.56	4.330	5.560	25%
I237629	15.45	I237630	13.1	13.100	15.450	16%
I237659	39.4	I237660	23.6	23.600	39.400	50%
I237703	0.006	I237704	0.008	0.006	0.008	29%
I237733	0.019	I237734	0.024	0.019	0.024	23%
I237763	0.0025	I237764	0.005	0.003	0.005	67%
I237793	0.249	I237794	0.292	0.249	0.292	16%
I237823	0.587	I237824	1.41	0.587	1.410	82%
I237930	2.065	I237931	2.816	2.065	2.816	31%
I237984	2.422	I237985	2.126	2.126	2.422	13%
E982818	0.017	E982819	0.008	0.008	0.017	72%
E982847	0.089	E982848	0.113	0.089	0.113	24%
E982901	0.189	E982902	0.18	0.180	0.189	5%
E982928	0.229	E982929	0.204	0.204	0.229	12%
I009098	2.211	I009099	1.827	1.827	2.211	19%
I009616	1.984	I009617	1.919	1.919	1.984	3%
I009639	7.749	I009640	7.947	7.749	7.947	3%
I009659	1.144	I009660	1.07	1.070	1.144	7%
I009731	0.371	I009732	0.429	0.371	0.429	15%
I009765	0.239	I009766	0.09	0.090	0.239	91%

Se puede contabilizar un total de 17 muestras fallidas al error relativo de 25%. (Fuente: Propia)

Se realizó el ploteo en un gráfico de dispersión de las muestras originales vs muestras duplicadas, esto dio como resultado la (figura 46) donde se puede apreciar varias muestras que se salen de la línea central.

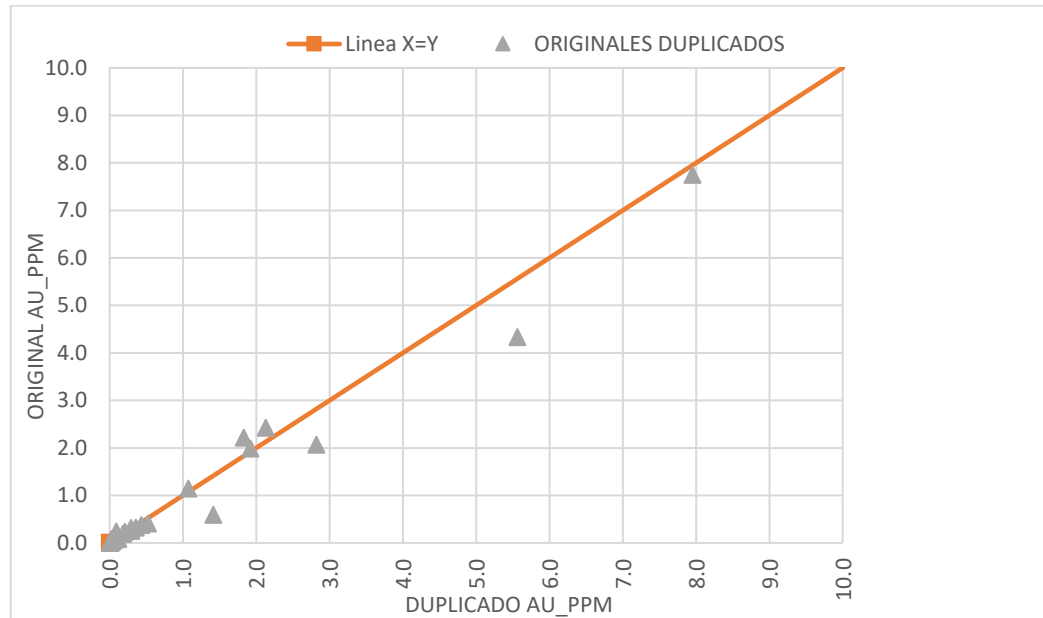


Figura 46 Grafico de valores de Au de las muestras originales vs las muestras duplicadas (fuente propia).

5.1.1.3 Estándares

Los estándares nos ayudaran a saber la exactitud analítica de laboratorio, se analizó una densidad de 18 muestras estándares, estos fueron adquiridos de la empresa certificada “Smee & Associates Consulting Ltd” con los códigos AuOx28, AuOx29, AuOx34, PAL-11 y de la empresa “Rocklabs Ltd” con código OxF100.

Standard: AuOx28

Estadística

Tabla 29. Estadística del estándar AuOx28

Estadística	Au
Media	2.391
Intervalo de confianza	0.22
Media Móvil	2.489
Desv.Est	0.119
Sesgo	1.041

(Fuente propia & certificado del estándar)

En el estándar AuOx28 se tiene una población de 4 muestras analizadas (ver tabla 30)

Tabla 30. *Resultado de muestras analizadas del estándar AuOx28*

Numero de muestra	Tipo de estándar	Resultados	Au _ppm	Ag _ppm
I009609	AuOx28	2018-08-19	2.361	493
I009650	AuOx28	2018-09-22	2.646	489
I009710	AuOx28	2018-12-04	2.455	506
I009755	AuOx28	2018-12-14	2.492	504

(Fuente propia)

Resultados

Resulta que existe 1 muestra que supera +2SD, se considera 1 outlier que representa el 25% del total, (ver figura 47)

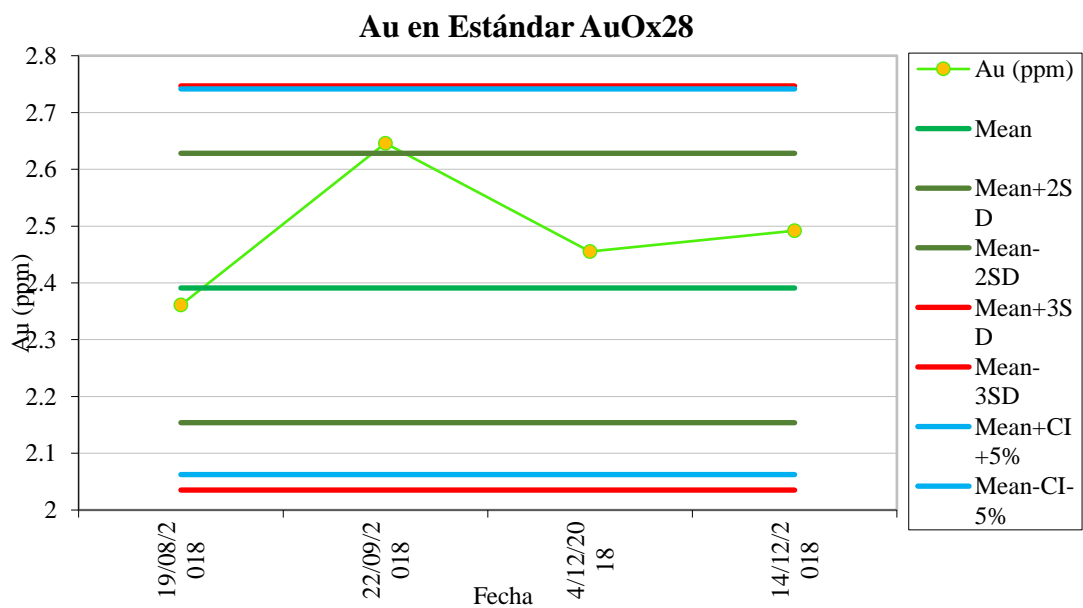


Figura 47. Estándar AuOx28 (Fuente: propia)

Standard: AuOx29

Estadística

Tabla 31. *Estadística del estándar AuOx29*

Media	0.606
Intervalo de confianza	0.05
Media Móvil	0.581
Desv.Est	0.042
Sesgo	0.958

(Fuente propia & certificado del estándar)

En el estándar AuOx29 se tiene una población de 2 muestras analizadas (ver tabla 32)

Tabla 32. *Resultado de muestras analizadas del estándar AuOx29*

Numero de muestra	Tipo de estándar	Resultados	Au _ppm	Ag _ppm
I009627	AuOx29	2018-08-19	0.551	174
I009780	AuOx29	2019-01-08	0.61	181

(Fuente propia)

Resultados

Resulta que no existe muestras que se excedan al intervalo confianza, también resalta que el coeficiente de variación es 7.2% (ver figura 48).

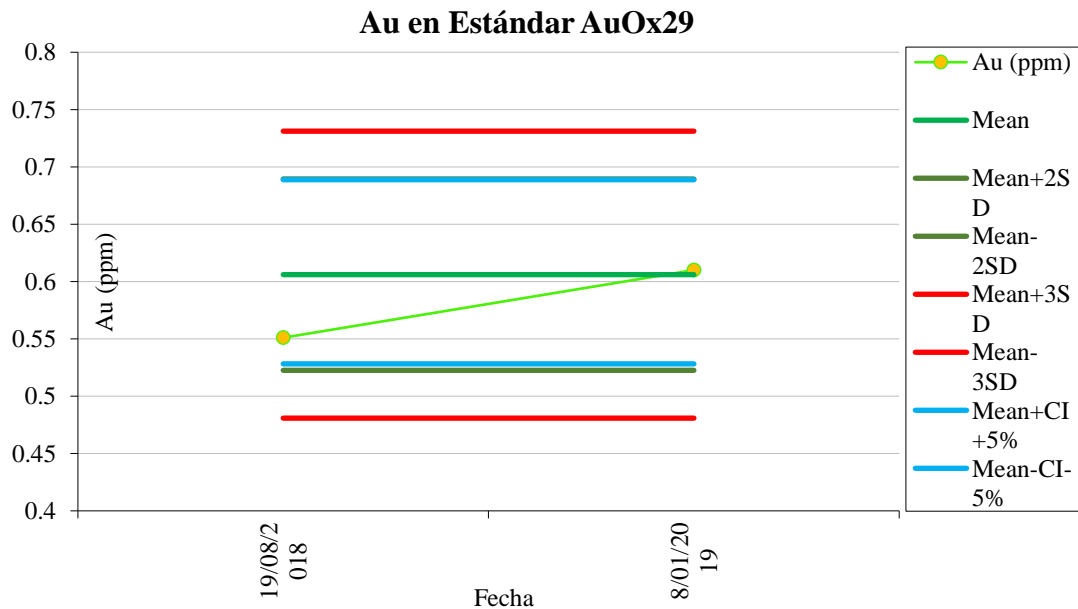


Figura 48. Estándar AuOx29 (Fuente: propia)

Standard: AuOx34

Estadística

Tabla 33. *Estadística del estándar AuOx34*

Media	8.81
Intervalo de confianza	0.52
Media Móvil	8.996
Desv.Est	0
Sesgo	1.021

(Fuente propia & certificado del estándar)

En el estándar AuOx34 se tiene 1 muestra analizada (ver tabla 34).

Tabla 34. *Resultado de muestras analizadas del estándar AuOx34*

Numero de muestra	Tipo de estándar	Resultados	Au _ppm	Ag _ppm
I009741	AuOx29	2018-08-19	8.996	1149

(Fuente propia)

Resultados

Resulta que no excede al intervalo confianza, también se menciona que no se puede ver la desviación estándar ya que es solo una muestra, para tema de visualización se repitió la misma muestra como se ve en la (ver figura 49)

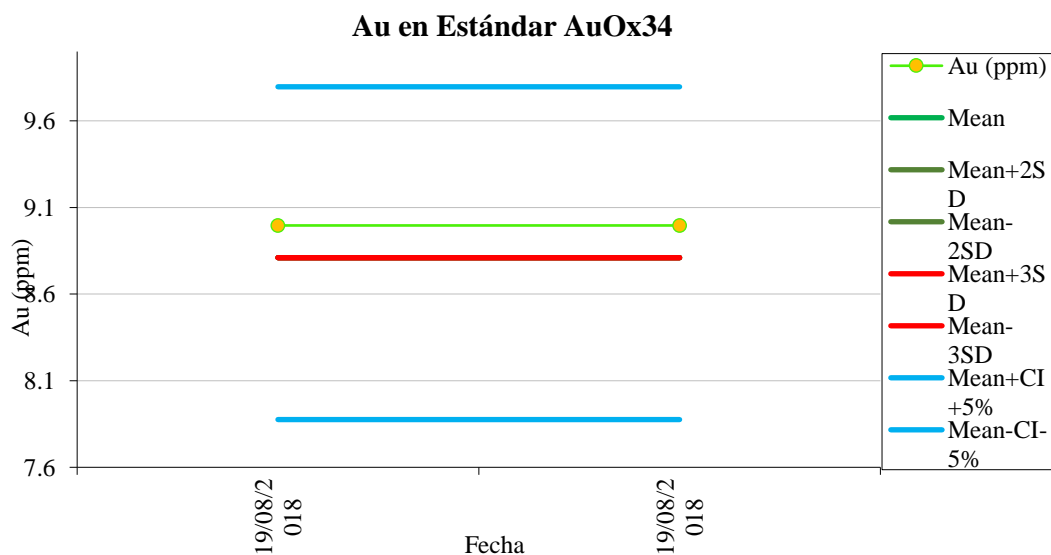


Figura 49. Estándar AuOx34 (Fuente: propia)

Standard: OxF100

Estadística:

Tabla 35. *Estadística del estándar OxF100*

Media	0.804
Intervalo de confianza	0.006
Media Móvil	0.782
Desv.Est	0.041
Sesgo	0.973

(Fuente propia & certificado del estándar)

En el estándar OxF100 se tiene una población de 8 muestras analizadas (ver tabla 36)

Tabla 36. Resultado de muestras analizadas del estándar OXF100

Numero de muestra	Tipo de estándar	Resultados	Au _ppm	Ag_ppm
E982838	OxF100	2012-10-15	0.801	0.2
E982892	OxF100	2012-11-06	0.843	0.3
I009011	OxF100	2013-01-07	0.734	0.2
I009023	OxF100	2013-02-25	0.771	-0.2
I009045	OxF100	2013-05-10	0.754	-0.2
I009064	OxF100	2013-05-31	0.73	-0.2
I009089	OxF100	2013-09-18	0.815	-0.2
I009123	OxF100	2013-09-18	0.808	-0.2

(Fuente propia)

Resultados

Resulta que no existe muestras que se excedan al intervalo confianza, también resalta que el coeficiente de variación es 5.2% (ver figura 50).

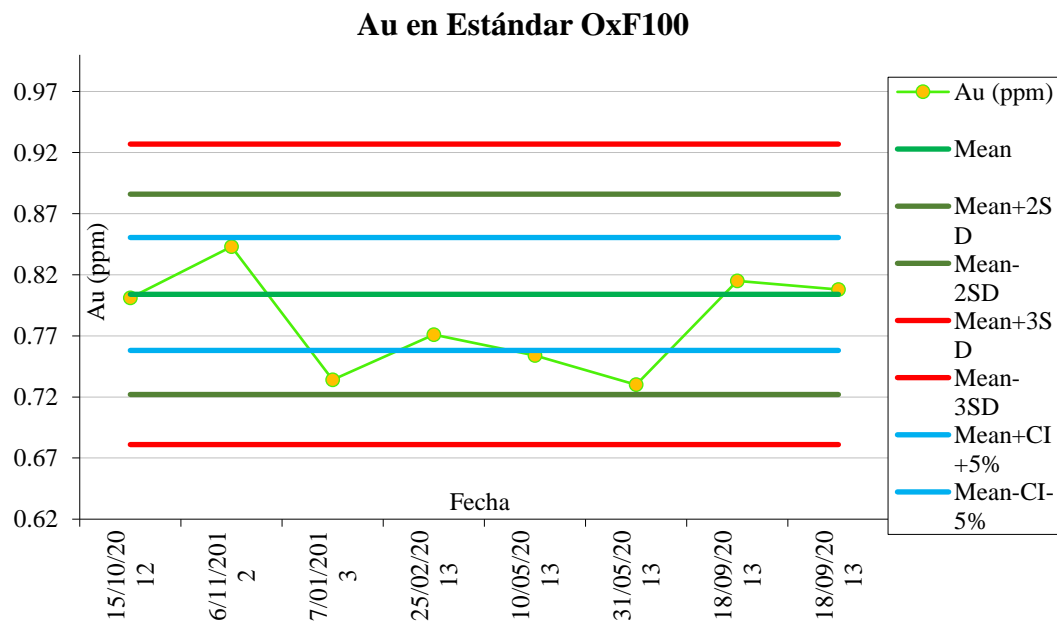


Figura 50. Estándar OxF100 (Fuente: propia)

Standard: PAL-11

Estadística:

Tabla 37. Estadística del estándar PAL-11

Media	2.05
Intervalo de confianza	0.22

Media Móvil	2.145
Desv.Est	0.036
Sesgo	1.047

(Fuente propia & certificado del estándar)

En el estándar PAL-11 se tiene una población de 3 muestras analizadas (ver tabla 38)

Tabla 38. *Resultado de muestras analizadas del estándar PAL-11*

Numero de muestra	Tipo de estándar	Resultados	Au _ppm	Ag_ppm
E982808	PAL-11	2012-09-25	2.124	507
E982872	PAL-11	2012-10-19	2.125	538
E982919	PAL-11	2012-11-12	2.187	530

(Fuente propia)

Resultados

La cantidad de muestras analizadas fueron 3, de las cuales no existen muestras que se excedan al intervalo confianza, también resalta que el coeficiente de variación es 1.7% (ver figura 51)

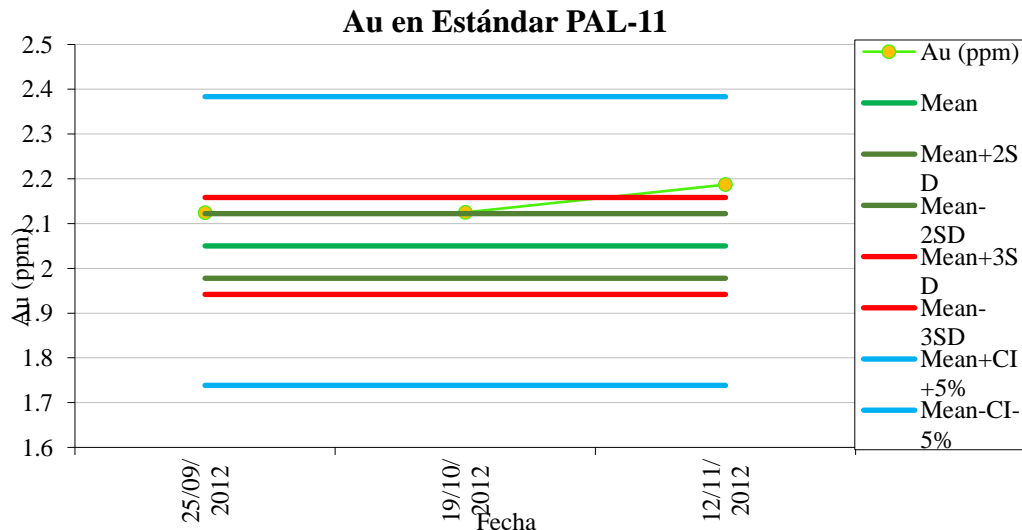


Figura 51. Estándar PAL-11 (Fuente: propia)

En resumen, se puede asumir que las muestras de control son aceptables ya que en los BLANCOS no presentan contaminación, las muestras de DUPLICADOS tienen variación por que aparentemente las muestras no están completamente frescas al momento del muestreo en campo y/o también un mal cuarteo de las muestras al

momento de sacar el duplicado y finalmente los ESTANDARES demostraron que el laboratorio entrega resultados dentro de los parámetros aceptables sin salir del índice de confianza.

5.1.2 Estadística de las estructuras Callanquitas Este y Callanquitas Oeste con perforación diamantina.

En el proyecto Igor se tiene dos estructuras principales perforadas con pozos diamantinos; las estructuras Callanquitas Este y Callanquitas Oeste de donde se obtuvieron un total 1790 muestras geoquímicas las cuales fueron logueadas (descritas) por su interés económico, ver (figura 52). El análisis químico dio como resultado concentración de por 38 elementos.

Name	Visible	Colour	Rows	Rows visible
Default Colour	<input checked="" type="checkbox"/>	●	0	0
BX	<input checked="" type="checkbox"/>	●	472	472
BX/QA	<input checked="" type="checkbox"/>	●	1	1
FL	<input checked="" type="checkbox"/>	●	12	12
HYBX	<input checked="" type="checkbox"/>	●	427	427
HYBX/TBX	<input checked="" type="checkbox"/>	●	1	1
HYBX/V	<input checked="" type="checkbox"/>	●	1	1
HYBXO	<input checked="" type="checkbox"/>	●	124	124
HYBXO/TBX	<input checked="" type="checkbox"/>	●	1	1
HYBXO/V	<input checked="" type="checkbox"/>	●	1	1
HYBXO/VR	<input checked="" type="checkbox"/>	●	1	1
SST/HYBXO	<input checked="" type="checkbox"/>	●	1	1
ST	<input checked="" type="checkbox"/>	●	39	39
STW	<input checked="" type="checkbox"/>	●	3	3
TBX	<input checked="" type="checkbox"/>	●	625	625
TBX/HYBX	<input checked="" type="checkbox"/>	●	1	1
TBX/HYBXO	<input checked="" type="checkbox"/>	●	3	3
V	<input checked="" type="checkbox"/>	●	61	61
VR	<input checked="" type="checkbox"/>	●	16	16

Figura 52. Litología filtrada con interés económico y/o Anomalía geoquímica. (Fuente Software IoGAS).

Estas muestras seleccionadas se le hizo un tratamiento estadístico verificando que cumplan los estándares requeridos para hacer la correlación geoquímica dando resultados de una correlación de 38 elementos (ver Tabla 40).

5.1.2.1 Correlación geoquímica de Callanquitas Este y Callanquitas Oeste.

En las estructuras principales Callanquitas Este y Callanquitas Oeste se realizó la correlación estadística de Pearson con 1790 muestras geoquímicas para los 38 elementos. De acuerdo a la tabla 40 se tiene: el Au con la Ag tienen una correlación de (0.7) se interpreta que tiene una correlación positiva de media a considerable, con el As (0.8) se interpreta una correlación positiva de considerable a muy fuerte, con el Bi (0.7) se interpreta una correlación positiva de media a considerable, con el Fe (0.6) se interpreta una correlación positiva de media a considerable, con el Pb (0.5) se interpreta una correlación positiva media, con el Sb (0.7) se interpreta una correlación positiva de media a considerable, con el Sn (0.5) se interpreta una correlación positiva media. En general esta correlación estadística es muy óptima ya que tiene una gran cantidad de datos (1790 muestras geoquímicas) y estos datos están en zonas mineralizadas. Las correlaciones obtenidas fueron comprobadas con ploteos de los sondajes diamantinos, en donde la data histórica muestra que los mismos elementos químicos resaltan en las vetas (ver anexo 03).

Los rangos divididos para la (tabla 40) según la correlación estadística del total de estructuras Callanquitas Este y Callanquitas Oeste se dividieron por colores de acuerdo a su valoración en los rangos ver (tabla 39).

Tabla 39. *Escala de interpretación R*

Rangos		
0.8 - 0.9		Muy fuerte
0.5 - 0.7		Media a considerable
0.3 - 0.5		Débil a media
0.0 - 0.3		Ninguna a muy débil
< 0.0		Correlación inversa

(fuente propia)

También de los resultados obtenidos se destaca la correlación entre los pares de elementos: Au-As, As-Fe, As-Sb, Pb-Sb que tienen una correlación muy fuerte (0.8 en la escala de interpretación R), ver (tabla 39) y (tabla 40).



Interpretación del Cd, Hg y W

Algo importante que se puede mencionar es la correlación débil a media de Au entre los elementos Cd, Hg y W (0.4) en las estructuras Callanquitas del cual se interpreta que:

El elemento Cd se presenta por que en las estructuras mineralizadas encontramos el mineral de esfalerita en trazas y a veces visible, el Cd por lo general está acompañando a este mineral como contaminante.

El elemento Hg se presenta en las estructuras mineralizadas en forma de sulfosales acompañado en los minerales tennantita y/o tetraedrita ya que estos minerales según los últimos estudios albergan en su estructura atómica Hg y otros elementos.

El elemento W representa ambientes de formación ácidos de alta temperatura (hidrotermalismo), generalmente está acompañado a las vetas y minerales silicatados en este caso nos indicaría que las estructuras Callanquitas Este y Callanquitas Oeste uno de los principales eventos de mineralización fueron en ambientes acidos y de alta temperatura.



Tabla 40. Correlación estadística total de brechas hidrotermales en las estructuras principales mineralizantes Callanquitas este y Callanquitas oeste

Nota: NaN significa que no presentan datos (Fuente: Propia)

5.1.3 Estadística descriptiva en estructuras mineralizadas

La estadística descriptiva se trabajó con la ayuda del Software IBM-SPSS ya que tenemos una enorme cantidad de muestras (1790 muestras) solo se realizó para los elementos correlacionados con el Au que son Ag, As, Bi, Cu, Fe, Pb, Sb, Sn dando siguientes resultados ver (Tabla 41).

Tabla 41. *Geoquímica de las litologías de alta ley económica brechas y vetas.*

Geoquímica de estructuras mineralizantes								
	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Error estándar	Desviación estándar	Varianza
Au_PPM	1790	63.13	0.00	63.13	1.54	0.09	3.99	15.92
Ag_PPM	1790	6474.90	0.10	6475.00	75.34	9.17	388.18	150682.82
As_PPM	1790	9997.10	3.00	10000.10	2592.81	70.33	2975.55	8853918.10
Bi_PPM	1790	1764.75	0.25	1765.00	25.13	2.02	85.35	7285.41
Cu_PPM	1788	92799.00	1.00	92800.00	337.81	57.78	2443.23	5969372.57
Fe_%	1790	166.41	0.09	166.50	6.02	0.19	7.96	63.39
Pb_PPM	1788	39299.00	1.00	39300.00	542.55	40.86	1727.73	2985053.38
Sb_PPM	1790	9999.10	1.00	10000.10	385.34	25.03	1059.07	1121633.49
Sn_PPM	1535	3460.00	5.00	3465.00	43.11	4.99	195.41	38184.81

Muestras filtradas con la denominación HYBX, V, BXT, F, HYBXO que son parte de las estructuras principales Callanquitas Este y Callanquitas Oeste (fuente propia).

5.1.3.1 Vetas hidrotermales en las estructuras Callanquitas (V)

Se realizó la descripción como vetas hidrotermales de alta ley de Au, Ag, cuarzo blanco y oqueroso con fuerte silicificación como alteración, óxidos de hierro rellenando oquedades, parte de los fragmentos de la brecha hidrotermal están siendo remplazados por sílice, las leyes pueden llegar hasta 63.13 ppm de Au y 6475 ppm de Ag. En este tipo de muestra se puede encontrar Ag nativa en puntos, el oro es fino se le puede encontrar como diseminado (ver figura 53).

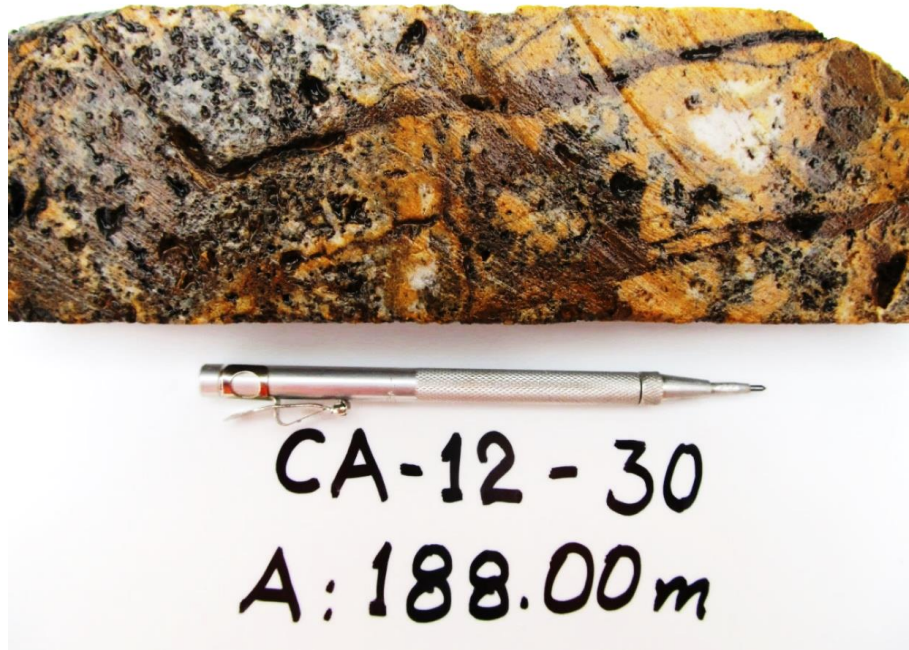


Figura 53. Muestra de perforación diamantina A 188.00 m, Veta de cuarzo oqueroso (Fuente PPX Mining)

Geoquímica en vetas Callanquitas Este y Callanquitas Oeste (V)

Las muestras geoquímicas en vetas se realizaron con la base de datos de perforación diamantina, se filtraron una cantidad total de 77 muestras logueadas con la denominación de vetas (V) cabe aclarar que estas muestras son parte de la estructura mineralizada de Callanquitas Este y Callanquitas Oeste. Las muestras analizadas indican que para el sector de Callanquitas proyecto Igor las vetas tienen una media de 8.79 ppm de Au, 206.99 ppm de Ag respectivamente ver (Tabla 42).

Tabla 42. Geoestadística y parámetros geoquímicos en Vetas.

VETA	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Cu_ppm	Fe_pct	Pb_ppm	Sb_ppm	Sn_ppm
Cantidad de muestras	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	73.00
Cantidad de textos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cantidad de vacíos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00
Cantidad negativos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Datos con cero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor único	77.00	75.00	54.00	52.00	77.00	44.00	75.00	75.00	39.00
Mínimo	0.01	0.30	259.00	0.25	13.10	1.07	15.00	5.00	5.00
Máximo	63.13	5720.00	10000.10	1146.00	92800.00	19.70	6270.00	10000.10	820.00
Media	8.79	206.99	6227.43	88.20	2033.94	11.62	794.40	1528.18	72.32
Mediana	3.64	19.50	6452.00	31.00	305.80	14.21	370.00	737.00	15.00
Media geométrica	2.43	25.05	4617.55	15.32	341.19	10.37	364.06	534.48	22.01
Rango	63.12	5719.70	9741.10	1145.75	92786.90	18.63	6255.00	9995.10	815.00
Rango intercuartil	8.32	92.50	6858.00	80.50	415.20	7.00	959.00	1441.50	66.00
Desviación estándar	13.31	718.36	3500.78	166.98	10903.97	4.42	1041.00	2329.17	148.74
Varianza	177.10	516034.08	12255460.91	27880.88	118896514.24	19.54	1083675.32	5425021.29	22124.16
Coefficiente de variación	151.48	347.05	56.22	189.32	536.10	38.05	131.04	152.41	205.69
Threshold	29.04	1461.76	11619.11	349.27	22149.12	19.21	2446.05	5192.82	319.49

Se considera como fondo geoquímico o media geométrica que en este caso sería 2.43PPM de Au, se considera como umbral geoquímico o Threshold ≥ 29.04 PPM de Au para el sector Callanquitas Proyecto Igor. (Fuente: Propia)

5.1.3.2 Brechas hidrotermales (HYBX Y HYBXO)

Se realizó la descripción como brechas hidrotermales polimícticas con fragmentos de arenisca cuarzosa, arenisca, limolitas carbonosas y arcillosa, dacitas, volcanosedimentarios, además de fragmentos de brecha. En la mayoría de los casos esta silicificada moderada a fuerte con matriz de OxFe (ver figura 54).



Figura 54. Muestra de perforación de diamantina A 9.10 m, del sondaje CA-12-67. Brecha hidrotermal con matriz de óxidos de hierro con fragmentos angulosos a sub redondeados de cuarciarenitas, limonitas, areniscas. (Fuente BD PPX Mining)

Geoquímica en brechas hidrotermales en las estructuras Callanquitas (hybx y hybxo)

Las muestras geoquímicas en brechas hidrotermales se realizaron con la base de datos de perforación diamantina, se filtraron una cantidad total de 596 muestras logeadas con la denominación de brechas hidrotermales (HYBX), brechas hidrotermales con matriz de óxido de hierro (HYBXO), cabe aclarar que estas muestras son parte de la estructura mineralizada de Callanquitas Este y Callanquitas Oeste. Las muestras analizadas indican que para el sector de Callanquitas proyecto Igor las brechas hidrotermales tienen una media de 2.25 ppm de Au y 127.86 ppm de Ag respectivamente ver (Tabla 43).

Tabla 43. Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Brecha Hidrotermal y Estructuras mineralizadas

BRECHA HIDROTHERMAL	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Cu_ppm	Fe_pct	Pb_ppm	Sb_ppm	Sn_ppm
Cantidad de muestras	596.00	596.00	596.00	596.00	596.00	596.00	594.00	596.00	562.00
Cantidad de textos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cantidad de vacíos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	34.00
Cantidad negativos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Datos con cero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor único	496.00	321.00	511.00	129.00	553.00	442.00	423.00	367.00	104.00
Mínimo	0.00	0.10	4.00	0.25	4.10	0.41	1.00	1.00	5.00
Máximo	27.46	6475.00	10000.10	1765.00	15400.00	25.40	39300.00	10000.00	3465.00
Media	2.21	123.91	3822.24	42.30	397.55	7.52	774.54	522.10	46.99
Mediana	0.63	7.30	2873.50	9.00	143.45	6.90	216.00	151.00	5.00
Media geométrica	0.56	9.13	2226.25	5.25	131.92	5.69	221.41	149.53	11.32
Rango	27.46	6474.90	9996.10	1764.75	15395.90	24.99	39299.00	9999.00	3460.00
Rango intercuartil	2.83	29.88	4958.25	29.50	220.18	7.49	667.50	407.00	15.00
Desviación estándar	3.48	515.78	3275.32	121.67	1363.44	4.72	2171.48	1161.84	197.86
Varianza	12.12	266028.20	10727710.04	14804.04	1858969.53	22.32	4715337.07	1349867.22	39147.59
Coefficiente de variación	157.73	416.27	85.69	287.61	342.96	62.80	280.36	222.53	421.07
Threshold	7.53	1040.68	8776.89	248.59	2858.80	15.14	4564.37	2473.20	407.03

Se considera como fondo geoquímico o media geométrica que en este caso sería 0.56 PPM de Au, se considera como umbral geoquímico o Threshold ≥ 7.53 PPM de Au para el sector Callanquitas Proyecto Igor. (Fuente: Propia)

5.1.3.3 Brechas tectónicas en las estructuras Callanquitas (TBX Y PEB):

Se realizó la descripción como brechas polimíctica con fragmentos de arenisca cuarzosa, arenisca, limolitas carbonosas y arcillosa, dacitas, volcanosedimentarios. En este caso los fragmentos están subangulosos a redondeados, no tienen cemento, como alteración predominantemente se encuentra argilización débil con sericita-caolinita (ver figura 55), (Gutierrez, 2018).



Figura 55. Foto de Pebble Dyke tomada del sondaje CA-12-26 a una profundidad de 403.20 m. fábrica mosaico a rubble, clastos de cuarziarenita, arenisca y limolita. (Fuente BD PPX Mining)

Geoquímica de brecha tectónica en las estructuras Callanquitas (TBX Y PEB)

Las muestras geoquímicas en brechas tectónicas y pebble dyke se realizaron con la base de datos de perforación diamantina, se filtraron una cantidad total de 629 muestras logeadas con la denominación de brechas tectónicas (TBX) y pebble dyke (PEB), cabe aclarar que estas muestras son parte de la estructura mineralizada de Callanquitas Este y Callanquitas Oeste como también se presenta en otros sistemas estructurales sean NW-SE (rumbo andino) y NE-SW. Las muestras analizadas indican que para el sector de Callanquitas las brechas tectónicas tienen una media de 0.75 ppm de Au y 32.12 ppm de Ag respectivamente ver (Tabla 44).

Tabla 44. *Geoestadística y parámetros geoquímicos en la Brecha Tectónica*

BRECHA TECTONICA	Au_ppm	Ag_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Cu_ppm	Fe_pct	Pb_ppm	Sb_ppm	Sn_ppm
Cantidad de muestras	629.00	629.00	629.00	629.00	629.00	629.00	629.00	629.00	577.00
Cantidad de textos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cantidad de vacíos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.00
Cantidad negativos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Datos con cero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor único	386.00	253.00	522.00	72.00	540.00	436.00	319.00	245.00	69.00
Mínimo	0.00	0.10	3.00	0.25	1.00	0.09	1.00	1.00	5.00
Máximo	20.08	2822.00	10000.10	515.00	7754.70	166.50	34100.00	10000.10	2827.00
Media	0.75	32.12	1681.01	13.75	180.82	4.62	417.11	249.17	46.16
Mediana	0.16	3.50	663.00	0.25	62.50	3.16	83.00	37.00	5.00
Media geométrica	0.16	4.47	639.01	1.59	63.62	2.91	91.83	45.51	8.71
Rango	20.08	2821.90	9997.10	514.75	7753.70	166.41	34099.00	9999.10	2822.00
Rango intercuartil	0.59	13.10	1703.00	9.75	121.55	4.70	224.00	111.00	6.00
Desviación estándar	1.67	150.91	2399.93	43.30	510.31	7.50	1706.78	860.73	212.99
Varianza	2.79	22774.25	5759667.32	1875.08	260413.21	56.18	2913097.13	740851.88	45363.68
Coefficiente de variación	221.96	469.81	142.77	314.95	282.22	162.20	409.19	345.44	461.38
Threshold	3.50	306.29	5438.87	88.19	1084.23	17.90	3505.39	1766.97	434.68

Se considera como fondo geoquímico o media geométrica que en este caso sería 0.16 PPM de Au, se considera como umbral geoquímico o Threshold ≥ 3.50 PPM de Au para el sector Callanquitas Proyecto Igor. (Fuente: Propia)

5.2 DETERMINACIÓN COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LOS ELEMENTOS AFINES AL ORO

5.2.1 Estadística descriptiva de muestras de exploración superficie

La base de datos que se utilizó para esta etapa tiene una distribución aleatoria en la ubicación de muestras. La estadística descriptiva se trabajó con la ayuda del Software IBM-SPSS y IoGas solo para los elementos correlacionados a estructuras mineralizantes o anómalas con >0.20 ppm Au. El resultado del análisis estadístico demuestra que hay una media de 3.01 ppm de Au y 65.74ppm de Ag ver (Tabla 45).

Tabla 45. *Estadística descriptiva para los elementos correlacionados con el Au.*

Estadística Descriptiva								
	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Error estándar	Desviación estándar	Varianza
Au_PPM	564	61.20	0.20	61.40	3.01	0.23	5.44	29.55
Ag_PPM	564	1164.90	0.10	1165.00	65.74	5.97	141.84	20117.50
As_PPM	564	9999.00	1.00	10000.00	4866.76	144.54	3432.54	11782300.90
Bi_PPM	564	2889.75	0.25	2890.00	108.88	14.07	334.09	111613.09
Cu_PPM	564	6429.30	0.00	6429.30	305.61	23.57	559.78	313354.06
Fe_	564	49.65	0.35	50.00	10.63	0.35	8.39	70.31
Pb_PPM	564	57199.00	1.00	57200.00	2962.40	283.36	6729.32	45283693.88
Sb_PPM	564	9999.00	1.00	10000.00	1187.78	87.53	2078.64	4320758.99
Sn_PPM	564	4586.00	5.00	4591.00	71.95	15.37	364.99	133216.06

La data se trabajó con el software IBM SPSS (Fuente: propia)

5.2.2 Correlación geoquímica de elementos para muestras de superficie

La correlación de Pearson realizada resalta que entre el Au y los elementos Ag, As, Bi, Cu, Fe y Sb, tienen una correlación $\Rightarrow 0.5$ (Ver Tabla 46). Esta correlación se realizó en 564 muestras con valores mayores a 0.2 ppm de Au. Se adjunta el resultado total (Ver Anexo 02).



Tabla 46. *Correlación estadística de Au, Ag.*

Correlación	AU	AG
Log 10		
AU	1.0	0.5
AG	0.5	1.0
AL_	0.2	0.0
AS	0.5	0.4
B	-0.1	0.0
BA	0.2	0.3
BE	0.1	0.1
BI	0.5	0.5
CA	0.2	0.1
CD	0.3	0.4
CO	-0.1	-0.1
CR	0.0	-0.1
CU	0.5	0.3
FE	0.5	0.2
GA	0.2	0.2
HG	0.4	0.5
K_	0.0	0.2
LA	0.0	0.0
MG_	-0.1	0.0
MN	-0.2	0.0
MO	0.1	0.0
NA	0.0	0.0
NI	-0.1	0.0
P	0.2	0.2
PB	0.4	0.6
S_	0.3	0.5
SB	0.5	0.7
SC	0.3	0.2
SR	0.2	0.4
TI	0.1	-0.1
TL	0.1	0.0
U	0.1	0.0
V	0.2	0.0
W	0.3	0.2
ZN	0.3	0.4
NB	0.0	-0.2
SN	0.3	0.4
Y	0.2	0.0
ZR	0.1	-0.1
TE	0.1	0.0
LI_	0.1	0.0
SE	0.2	0.0

Valores en color verde ≥ 0.5 (Fuente: propia)

5.2.2.1 Correlación de brechas/vetas vs muestras de superficie con Au.

La correlación de Pearson realizada para el Au entre las muestras de tipo brechas y vetas nos da como valores mayor o igual a 0.5 que es clasificada de media a muy fuerte con 8 elementos geoquímicos la Ag, As, Bi, Cu, Fe, Pb, Sb, Sn

En cambio, para las muestras de exploración de superficie con la condicional Au >0.2 ppm solo se correlaciona con 6 elementos geoquímicos mayor o igual a 0.5 que es clasificada de media a muy fuerte están la Ag, As, Bi, Cu, Fe, Sb. Faltando el Pb y Sn. Así mismo la interpretación de R entre elementos nos arroja en las muestras de superficie tienen valores con rangos más reducido que la correlación en brechas y vetas.

Se cree que es por la cantidad o densidad de muestras utilizado en cada estudio, así mismo también es probable que las muestras de superficie no son completamente representativas como en un muestreo de testigos de diamantina.

Por lo cual se recomienda para hacer este tipo de investigación hacerlos con la mayor cantidad de datos posibles y de mayor representatividad.

5.2.3 Geoquímica de superficie

Se trabajo con la cantidad de 564 muestras geoquímicas (ver figura 57) de leyes >0.2 ppm de Au. La geoquímica que se tiene del área de estudio está focalizada en 4 targets principales, también existe 3 lugares con características geoquímicas de probable mineralización los cuales son potenciales para una posterior fase de exploración más detallada (ver figura 56).

Targets comprobados de vetas y estructuras.

- Mina Callanquitas (Zona mineralizada comprobada)
- Área Domo (Zona mineralizada comprobada)
- Área Tesoros (Zona mineralizada comprobada)
- Área de Portachuelos (Zona mineralizada parcialmente comprobada)



Áreas y lugares por comprobar y/o en fase de exploración.

- Área de Portachuelos.
- Área de Huevo cóndor.
- Área anómala de Au.

En el estudio que se realizó fue enfocado a los targets de exploración para buscar nuevas zonas de interés económico, donde existen muestras geoquímicas aleatorias que tienen altos valores correlacionados con el Au.

Para lograr el objetivo de ver el comportamiento espacial de los elementos afines al Au, primero se tiene que hacer un control de calidad a las muestras obtenidas a lo largo del tiempo, en este caso se realizó el QAQC en el capítulo 5.1.1, como segundo punto se tiene que verificar que todos los datos geoquímicos relacionados al Au estos cuenten con un estudio exploratorio de datos en busca de errores, como tercer punto es graficar la distribución de datos de cada elemento correlacionado, esto nos ayudara a saber cómo se está dividiendo la población en cuanto a cantidad y valor de cada elemento y finalmente realizar los variogramas experimentales que mejor se ajusten a los datos de cada elemento.



Figura 56. Mapa de targets proyecto Igor (Fuente: PPX Mining Corp)



Figura 57. Mapa Geoquímico de Au - Proyecto Igor (Fuente: PPX Mining Corp)

5.2.4 Geoquímica Au-Ag

La correlación de Pierson entre el Au y la Ag es 0.7, lineal positiva o directamente proporcional (de acuerdo a la caracterización geoquímica en vetas y brechas), interpretada como media a considerable. Para complementar la distribución de datos espaciales mediante *Kriging* se revisó la distribución probabilística de los elementos químicos relacionados al Au, como muestra la (figura 58).

5.2.4.1 Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Au

Se distribuyó las leyes de Au en quintiles como muestra la (figura 58), en donde se observa colores que distinguen cada quintil, del cual resultado, lo siguiente: el primer quintil 0.347ppm, segundo quintil 0.74ppm, tercer quintil 1.67ppm, cuarto quintil 3.97ppm, quinto quintil 61.4 ppm.

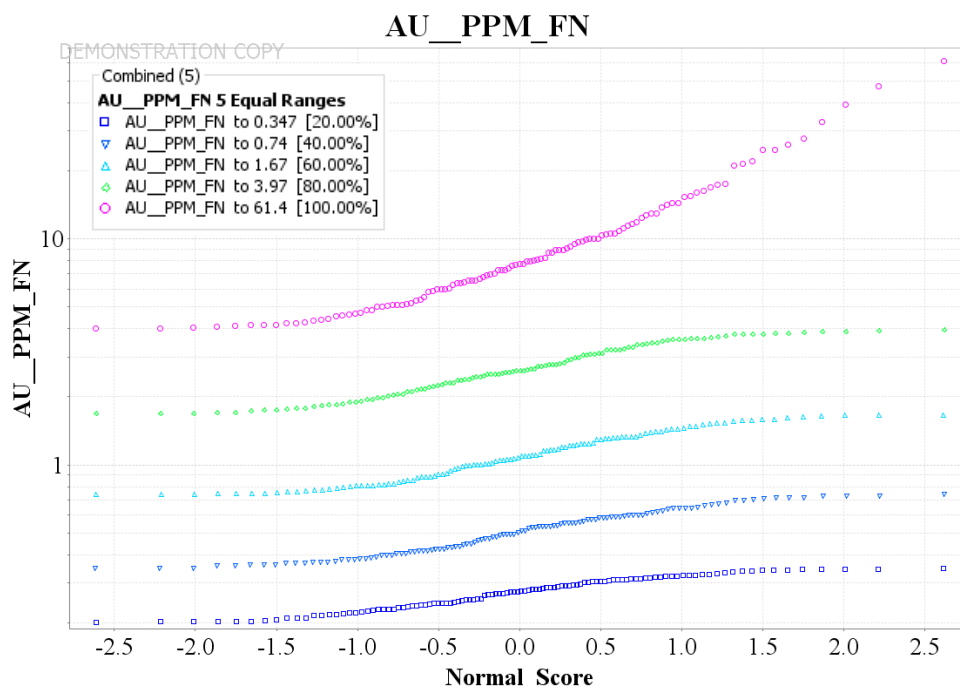


Figura 58. Distribución de datos geoquímicos del Au. (Fuente: Propia)

5.2.4.2 Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Ag

Se distribuyó las leyes de Ag en quintiles como muestra la (figura 59), en donde se observa colores que distinguen cada quintil, del cual resultado, lo siguiente: primer

quintil 2.4ppm, segundo quintil 3.9ppm, tercer quintil 23.9ppm, cuarto quintil 82.1ppm, quinto quintil 1165 ppm.

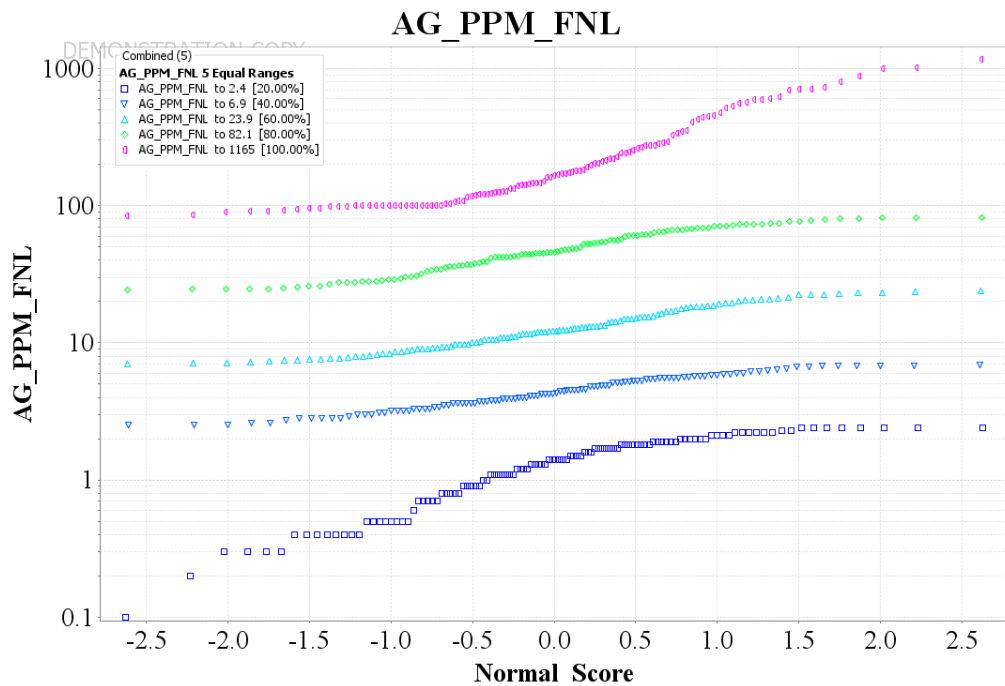


Figura 59. Distribución de datos geoquímicos de la Ag (Fuente: Propia)

5.2.4.3 Distribución de cantidad de muestras del Au-Ag

El histograma del Au y Ag tiene una transformación logarítmica para que los datos tengan un mejor ajuste a la campana de gauss. El resultado es que para el Au tenemos una mayor acumulación de datos hasta en el primer quintil; para la Ag la distribución de datos tiene un mejor comportamiento y se asemeja a la campana de gauss ver (figura 60).

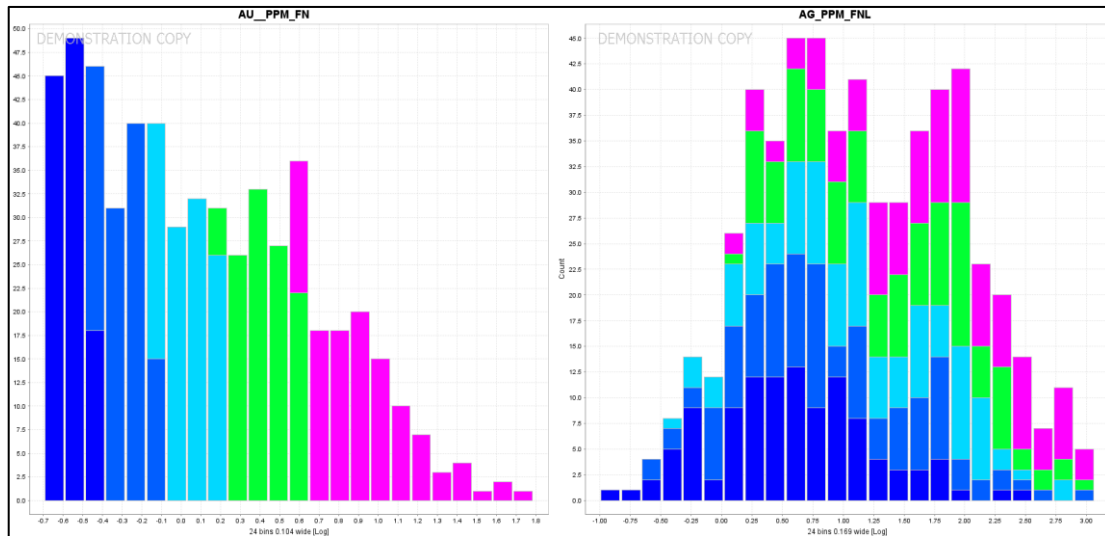


Figura 60. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Ag, se puede observar una buena distribución de la campana de Gauss para la Ag. (Fuente: Propia)

5.2.4.4 Densidad de datos de Au - Ag

Se puede observar una distribución de leyes aleatoria, pero que resalta ciertas familias de leyes entre el Au y Ag. La (figura 61) demuestra que existe correlación entre las leyes de ambos elementos y a la vez se observan familias acumuladas, sobre todo desde el primer quintil hasta el cuarto quintil, donde existe mayor concentración de muestras y finalmente una disminución en el quinto quintil.

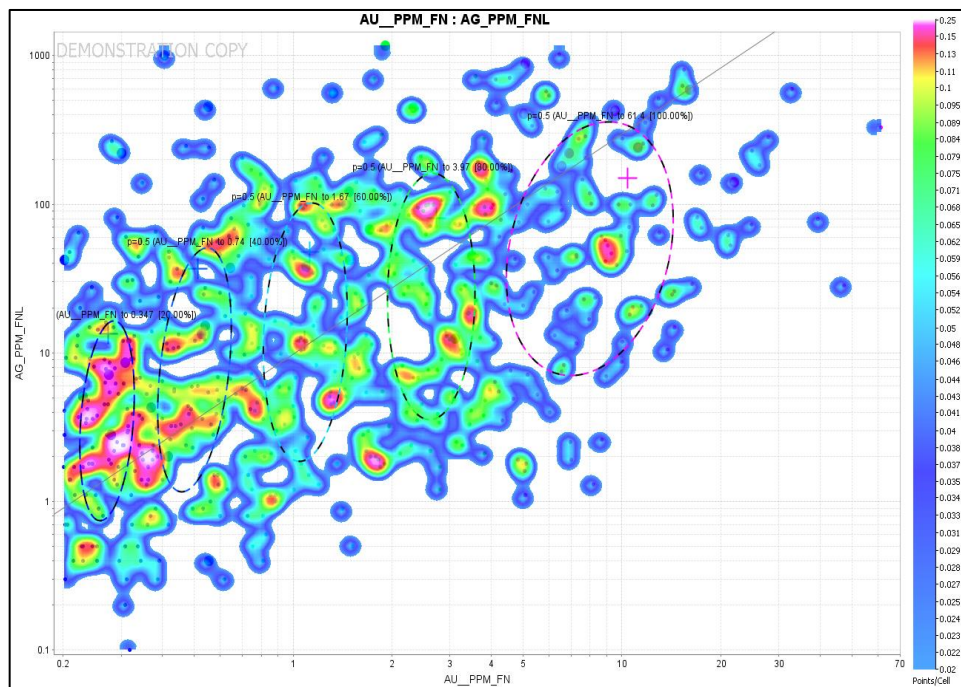


Figura 61. Ploteo de valores del Au y la Ag. Se observa una mayor densidad poblacional entre 0.2 ppm a 4 ppm de Au para alcanzar leyes entre 1 ppm a 100 ppm de Ag. (Fuente: Propia)

5.2.4.5 Variograma experimental para el Au

El variograma experimental se hizo con el Kriging esférico y se utilizó la extensión Target for ArcGis, del cual se obtuvo las siguientes características del variograma (ver figura 62):

- Nugget=0
- Sill=0.065
- Range=1500
- Strike=105 grados.

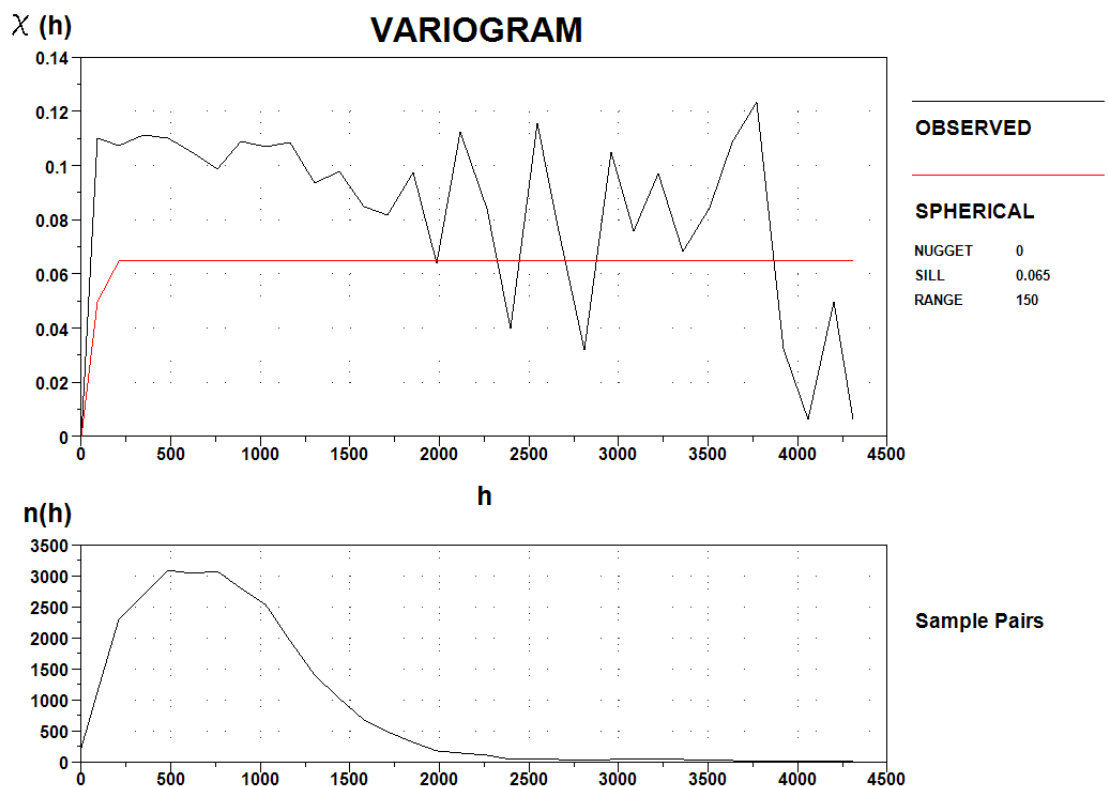


Figura 62. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para la Au. (Fuente: Propia)

Según la distribución de datos el mejor ajuste en el variograma experimental para el Au, nos da como resultado una meseta de 0.065, un rango de 1500, un nugget de 0 se está considerando que el efecto pepita no es significativo en las muestras ya que será usado con fines de exploración (ver figura 63).

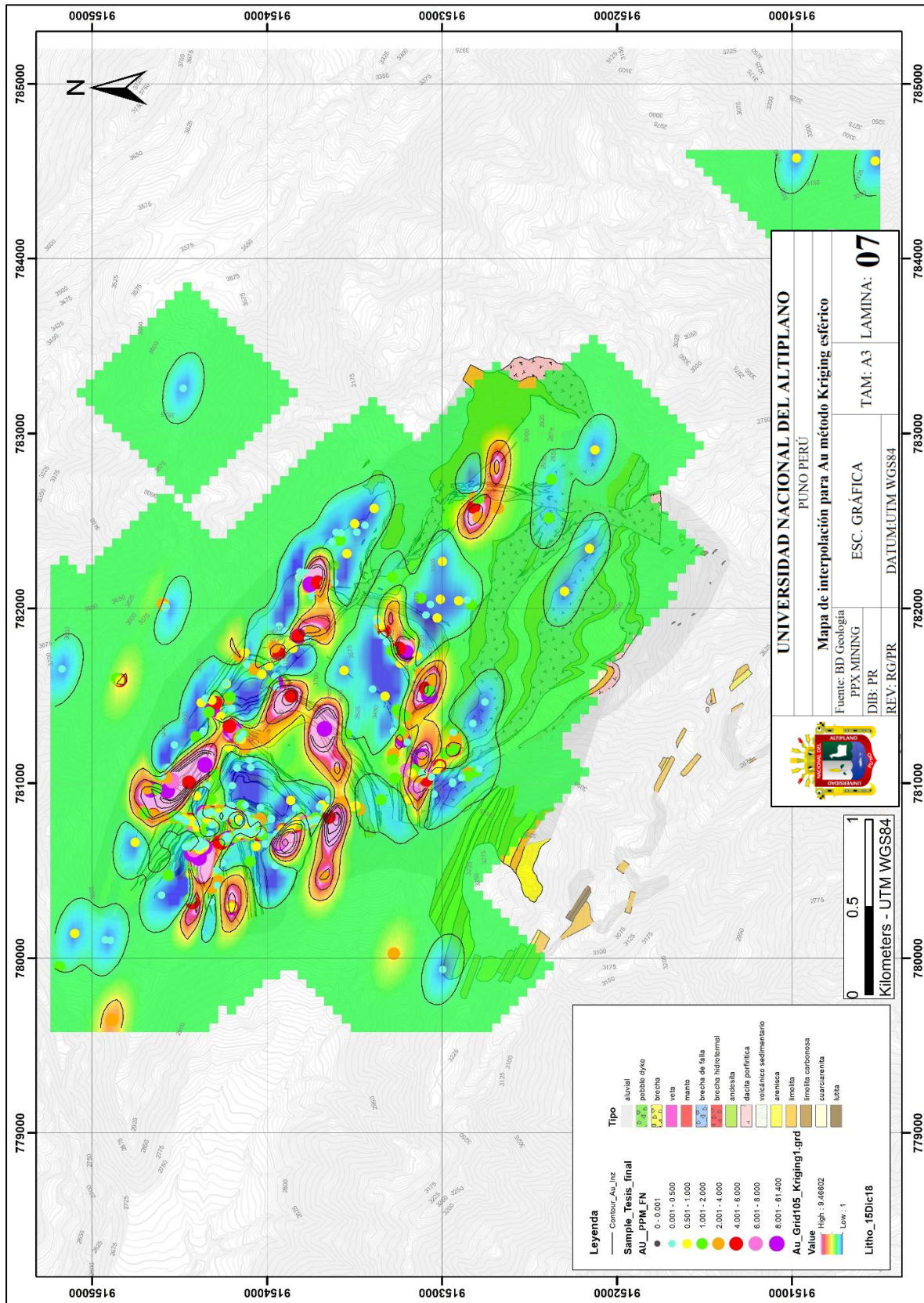


Figura 63 Mapa de interpolación para Au método Kriging esférico con dirección de 105 grados, resalte de nuevas zonas anómalas. (Fuente: Propia)

5.2.4.6 Variograma experimental para la Ag

El variograma experimental se hizo con el Kriging esférico y se utilizó la extensión Target for ArcGis, del cual se obtuvo las siguientes características del variograma (ver figura 64)

- Nugget=0
- Sill=0.45
- Range=150
- Strike=105 grados.

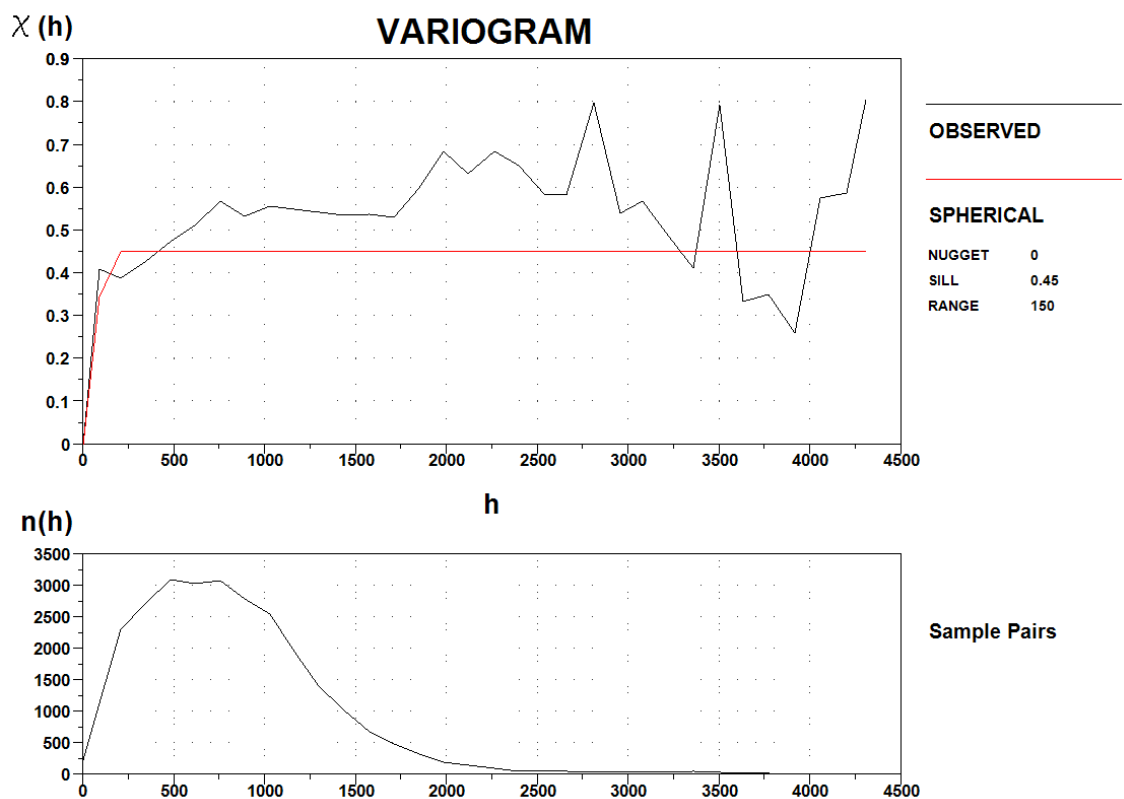


Figura 64. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para la Ag. (Fuente: Propia)

Según la distribución de datos el mejor ajuste en el variograma experimental para el Ag, nos da como resultado una meseta de 0.45, un rango de 150, un nugget de 0 se está considerando que el efecto pepita no es significativo en las muestras.

El resultado es el mapa probabilístico de Ag (ver figura 65) donde resalta los altos valores de este elemento

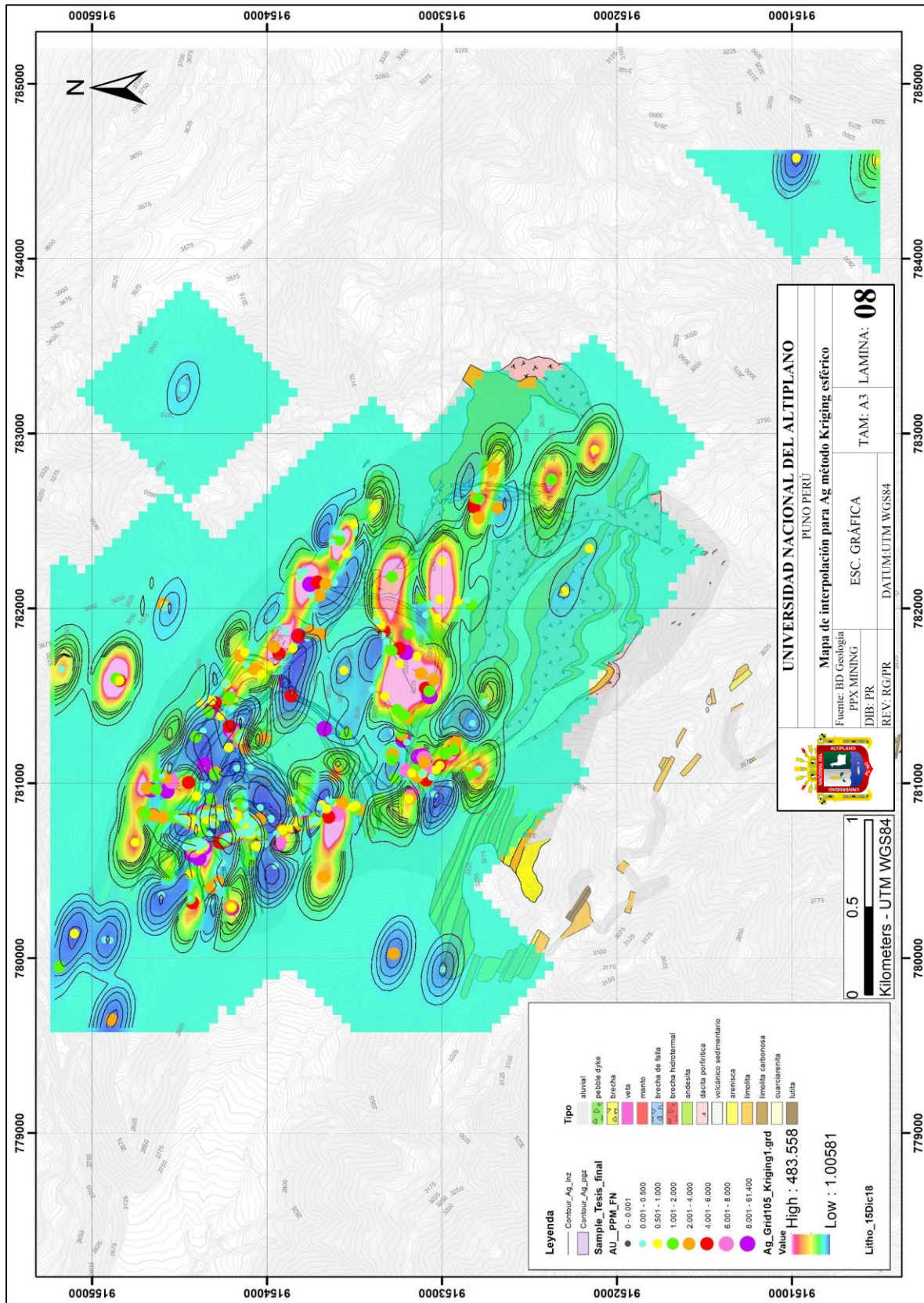


Figura 65. Mapa de interpolación para Ag método Kriging esférico con dirección de 105 grados, resalte de nuevas zonas anómalas. (Fuente: Propia)

5.2.5 Geoquímica Au-As

La correlación de Pierson entre el Au y la As es 0.8, lineal positiva o directamente proporcional (de acuerdo a la caracterización geoquímica en vetas y brechas), interpretada como muy fuerte. Para complementar la distribución de datos espaciales mediante *Kriging* se revisó la distribución probabilística de los elementos químicos relacionados al As, como muestra la (figura 66).

5.2.5.1 Prueba de normalidad de datos geoquímicos del As

Se distribuyó las leyes de Bi en quintiles como muestra la (figura 66), en donde se observa colores que distinguen cada quintil, del cual resultado, lo siguiente: el primer quintil 1390ppm, segundo quintil, 3040ppm, tercer quintil 5480ppm, cuarto quintil 9610ppm, quinto quintil 10000 ppm que es el máximo detectado por el laboratorio.

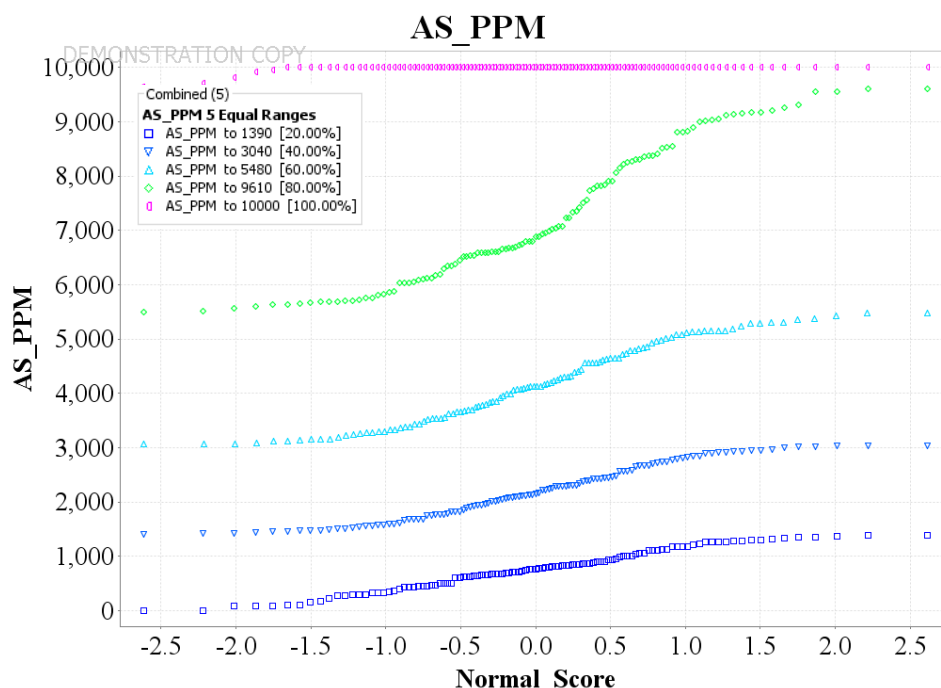


Figura 66. Distribución de datos geoquímicos del As. (Fuente: Propia)

5.2.5.2 Distribución de cantidad de muestras del Au-As

El histograma del Au y As tiene una transformación logarítmica para que los datos tengan un mejor ajuste a la campana de gauss. El resultado es que para el Au tenemos una mayor acumulación de datos hasta en el primer quintil; para la As la

distribución de datos tiene un mejor comportamiento y se asemeja a la campana de gauss ver (figura 67).

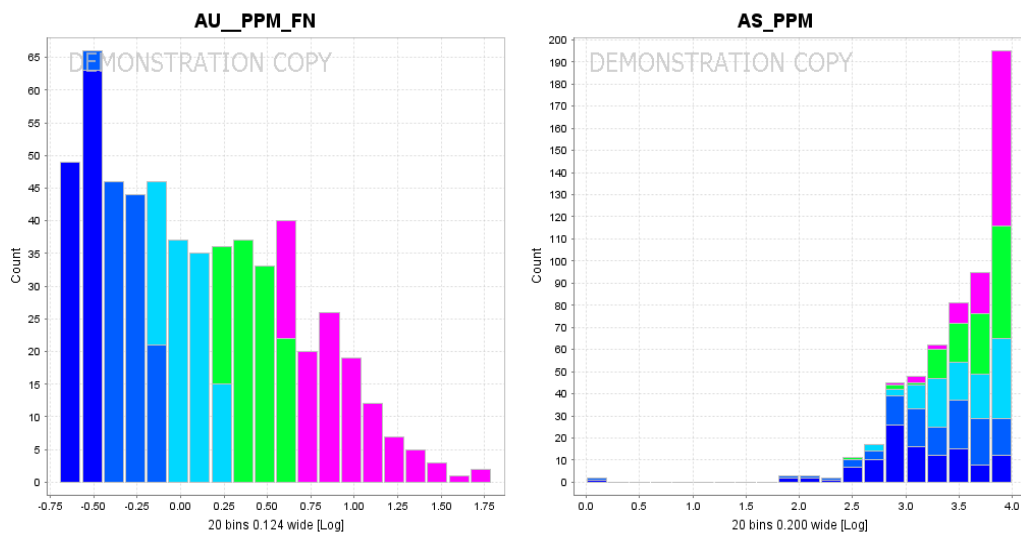


Figura 67. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Ag, se puede observar una distribución regular de la campana de Gauss para la As, (Fuente: Propia)

5.2.5.3 Densidad de datos de Au - As

Se puede observar una distribución de leyes aleatoria, pero que resalta ciertas familias de leyes entre el Au y As. La (figura 68) demuestra que existe correlación entre las leyes de ambos elementos y a la vez se observan familias acumuladas, la distribución de datos es homogénea desde el primer quintil hasta el quinto quintil.

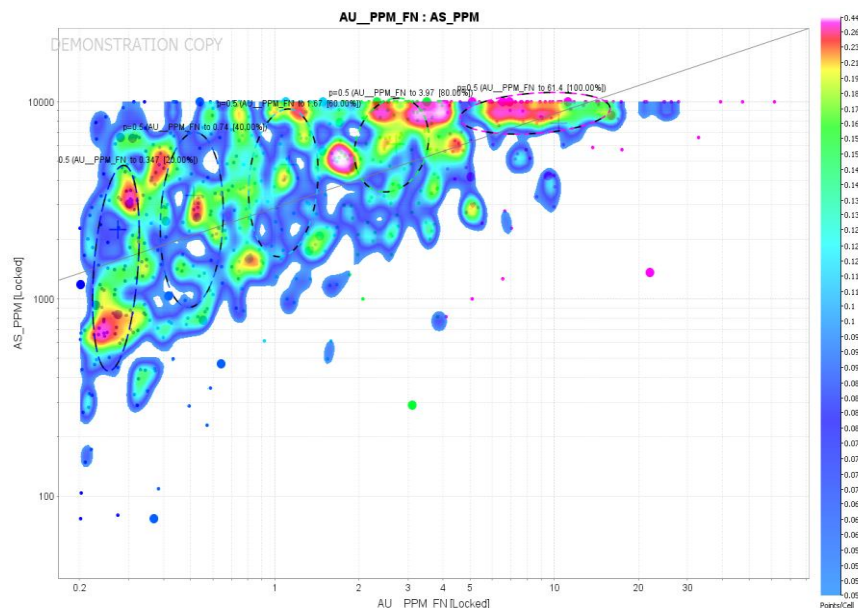


Figura 68. Ploteo de valores del Au y la As. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 2 a 10 ppm de Au para alcanzar leyes entre 8000 ppm a 10000 ppm de As. (Fuente: Propia)

5.2.5.4 Variograma experimental para el As

El variograma experimental se hizo con el Kriging esférico y se utilizó la extensión Target for ArcGis, del cual se obtuvo las siguientes características del variograma ver (figura 69)

- Nugget=0
- Sill=1.50
- Range=150
- Strike=105 grados.

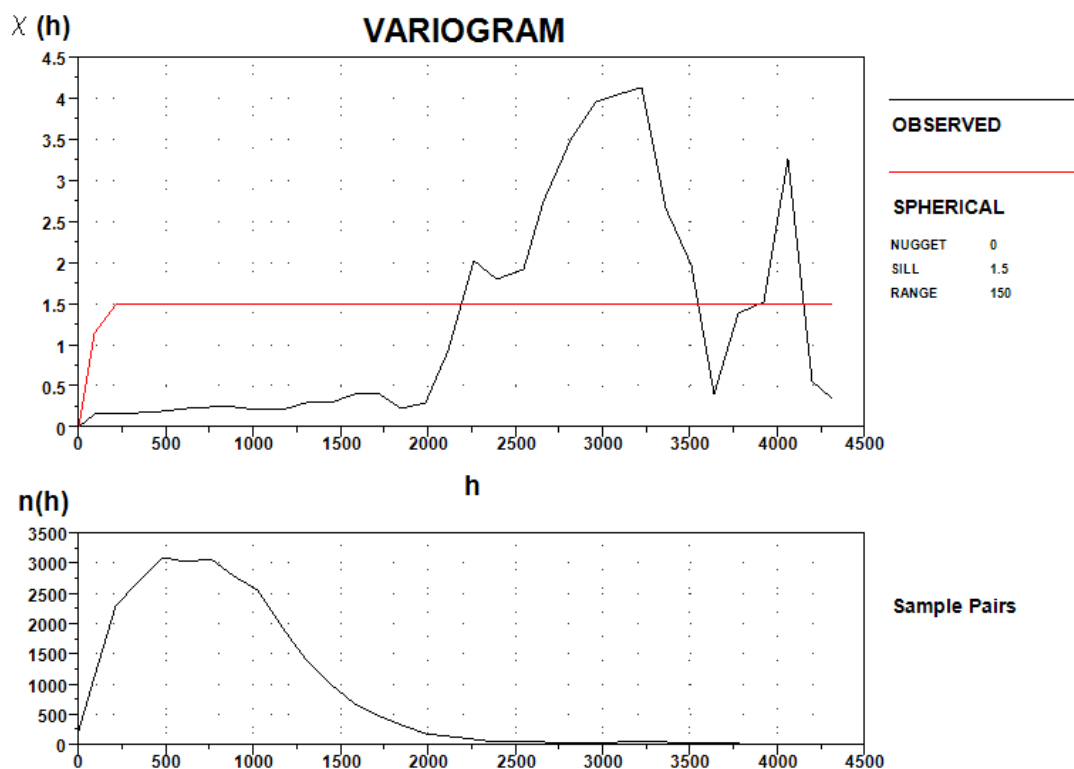


Figura 69. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el As. (Fuente: Propia)

Según la distribución de datos el mejor ajuste en el variograma experimental para el As, nos da como resultado una meseta de 1.5, un rango de 150, un nugget de 0 se está considerando que el efecto pepita no es significativo en las muestras.

El resultado es el mapa probabilístico de As (ver figura 70) donde resalta los altos valores de este elemento.

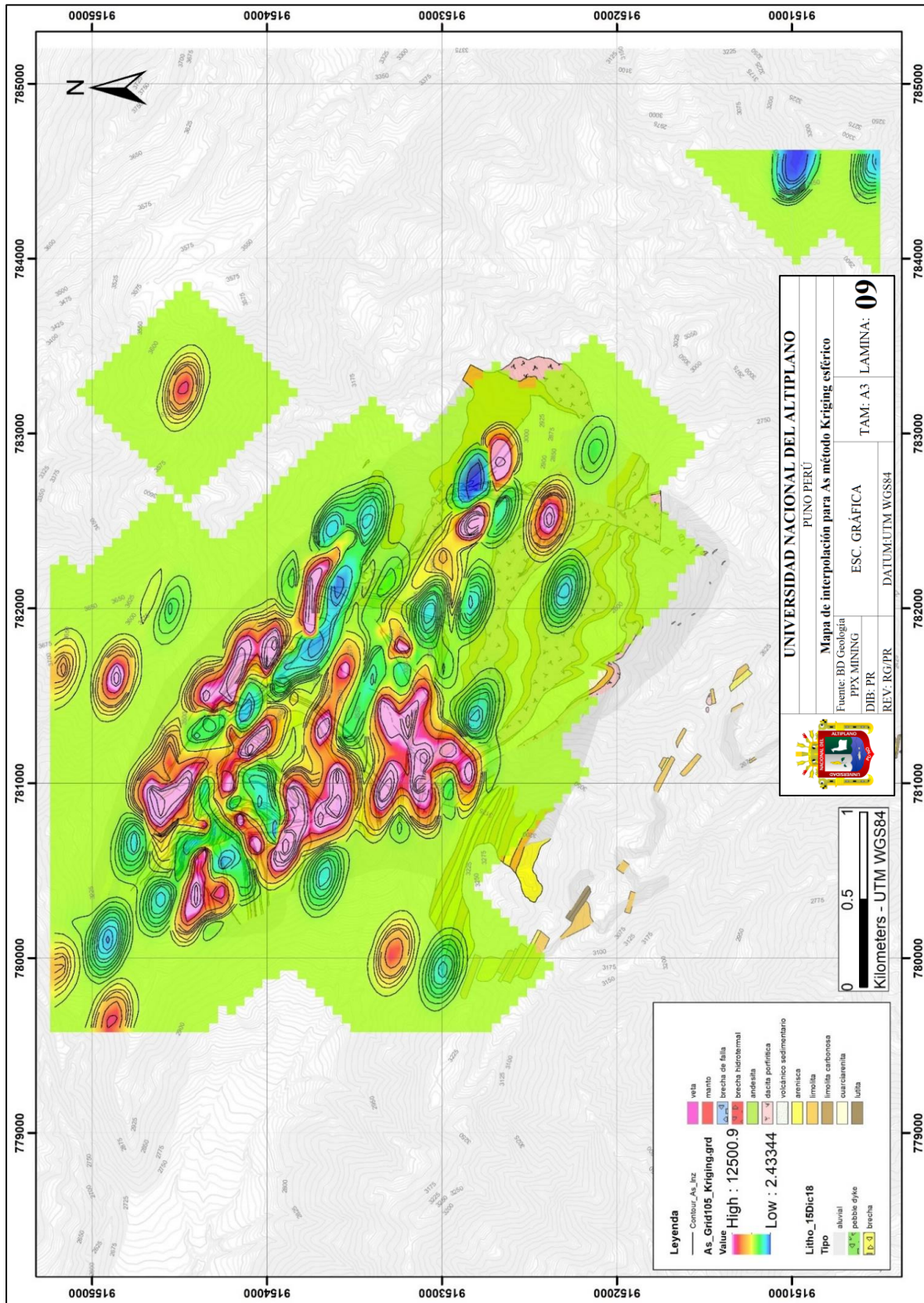


Figura 70. Mapa de interpolación para As método Kriging esférico con dirección de 105 grados, resalte de nuevas zonas anómalas. (Fuente: Propia)

5.2.6 Geoquímica Au-Bi

La correlación de Pierson entre el Au y la Bi es 0.7, lineal positiva o directamente proporcional (de acuerdo a la caracterización geoquímica en vetas y brechas), interpretada como media a considerable. Para complementar la distribución de datos espaciales mediante *Kriging* se revisó la distribución probabilística de los elementos químicos relacionados al Bi, como muestra la (figura 71).

5.2.6.1 Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Bi

Se distribuyó las leyes de Bi en quintiles como muestra la figura 71, en donde se observa colores que distinguen cada quintil, del cual resultado, lo siguiente: el primer quintil 6ppm, segundo quintil, 14ppm, tercer quintil 28ppm, cuarto quintil 76ppm, quinto quintil 2890ppm.

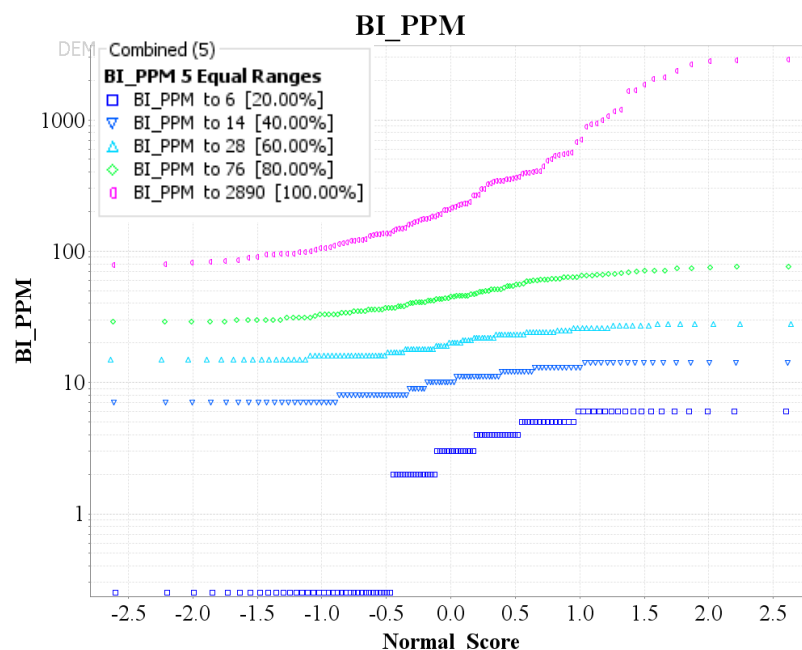


Figura 71. Distribución de datos geoquímicos del Bi (Fuente: Propia)

5.2.6.2 Distribución de cantidad de muestras del Au-Bi

El histograma del Au y Bi tiene una transformación logarítmica para que los datos tengan un mejor ajuste a la campana de gauss. El resultado es que para el Au tenemos una mayor acumulación de datos hasta en el primer quintil; para la Bi la distribución de

datos tiene un mejor comportamiento y se asemeja a la campana de gauss ver (figura 72).

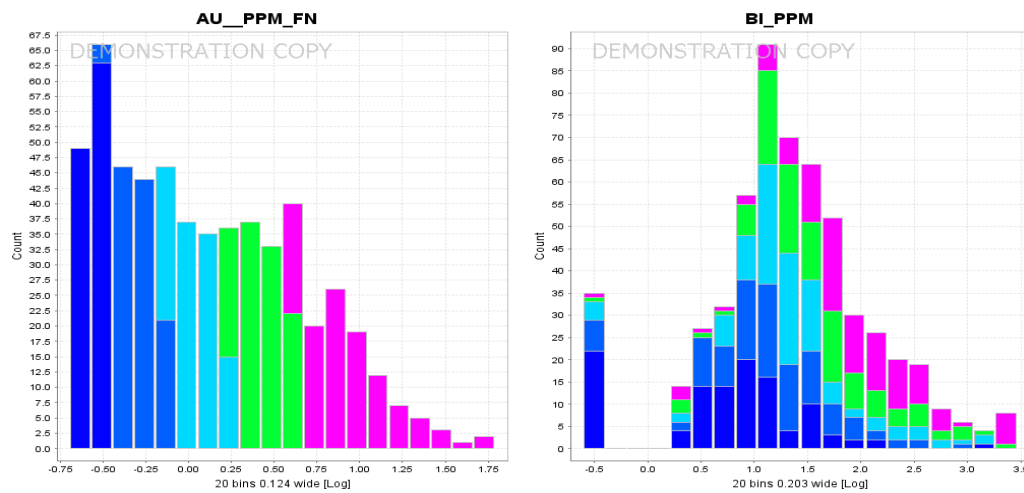


Figura 72. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Bi, se puede observar una distribución buena de la campana de Gauss para el Bi. (Fuente: Propia)

5.2.6.3 Densidad de datos de Au - Bi

Se puede observar una distribución de leyes aleatoria, pero que resalta ciertas familias de leyes entre el Au y Bi. La figura 73 demuestra que existe correlación entre las leyes de ambos elementos y a la vez se observan familias acumuladas, sobre todo desde el primer quintil hasta el cuarto quintil, donde existe mayor concentración de muestras y finalmente una disminución en el quinto quintil

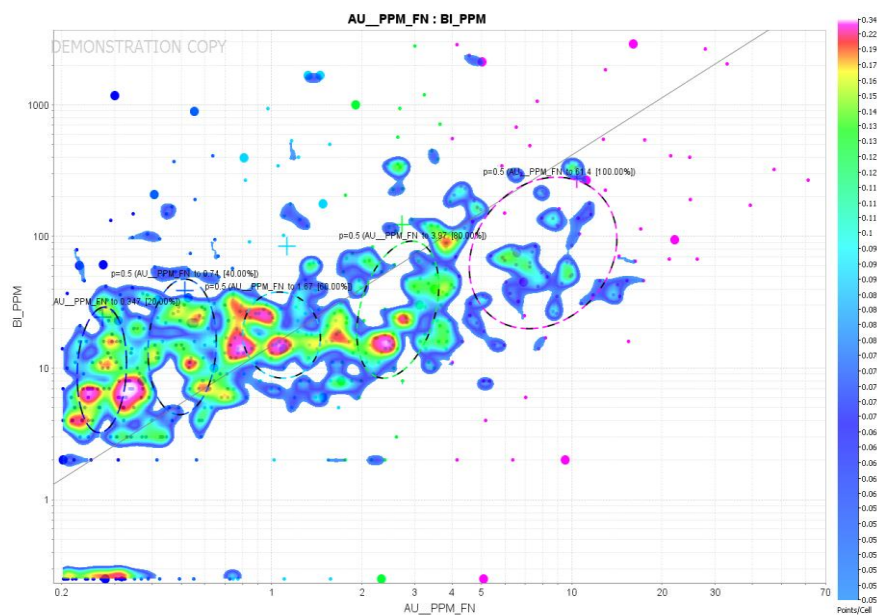


Figura 73. Ploteo de valores del Au y la Bi. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 0.8 ppm a 6 ppm de Au para alcanzar leyes entre 10 ppm a 50 ppm de Bi. Existen altos erráticos de Bi según la interpolación. (Fuente: Propia)

5.2.6.4 Variograma experimental para el Bi

El variograma experimental para hacer la interpolación estadística por el método de Kriging se trabajó con la ayuda del software Target for ArcGis. El variograma tiene las siguientes características ver (figura 74)

Método de interpolación esférico.

- Nugget=0
- Sill=0.38
- Range=150
- Strike=105 grados.

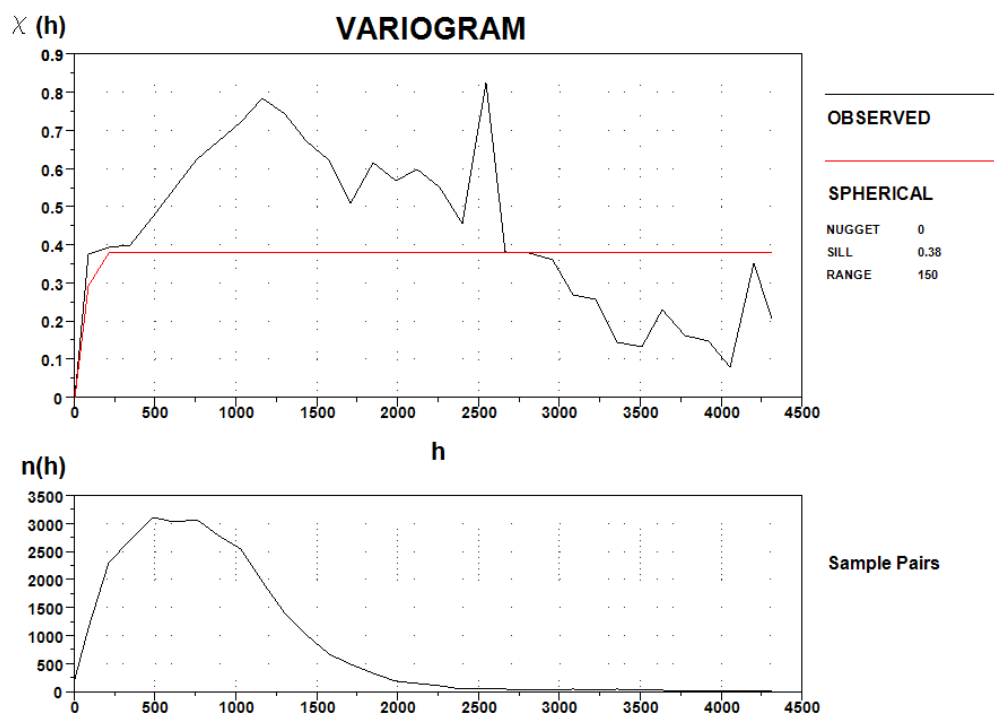


Figura 74. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el Bi. (Fuente: Propia)

Según la distribución de datos el mejor ajuste en el variograma experimental para el Bi, nos da como resultado una meseta de 0.38, un rango de 150, un nugget de 0 se está considerando que el efecto pepita no es significativo en las muestras.

El resultado es el mapa probabilístico de Bi (ver figura 75) donde resalta los altos valores de este elemento.

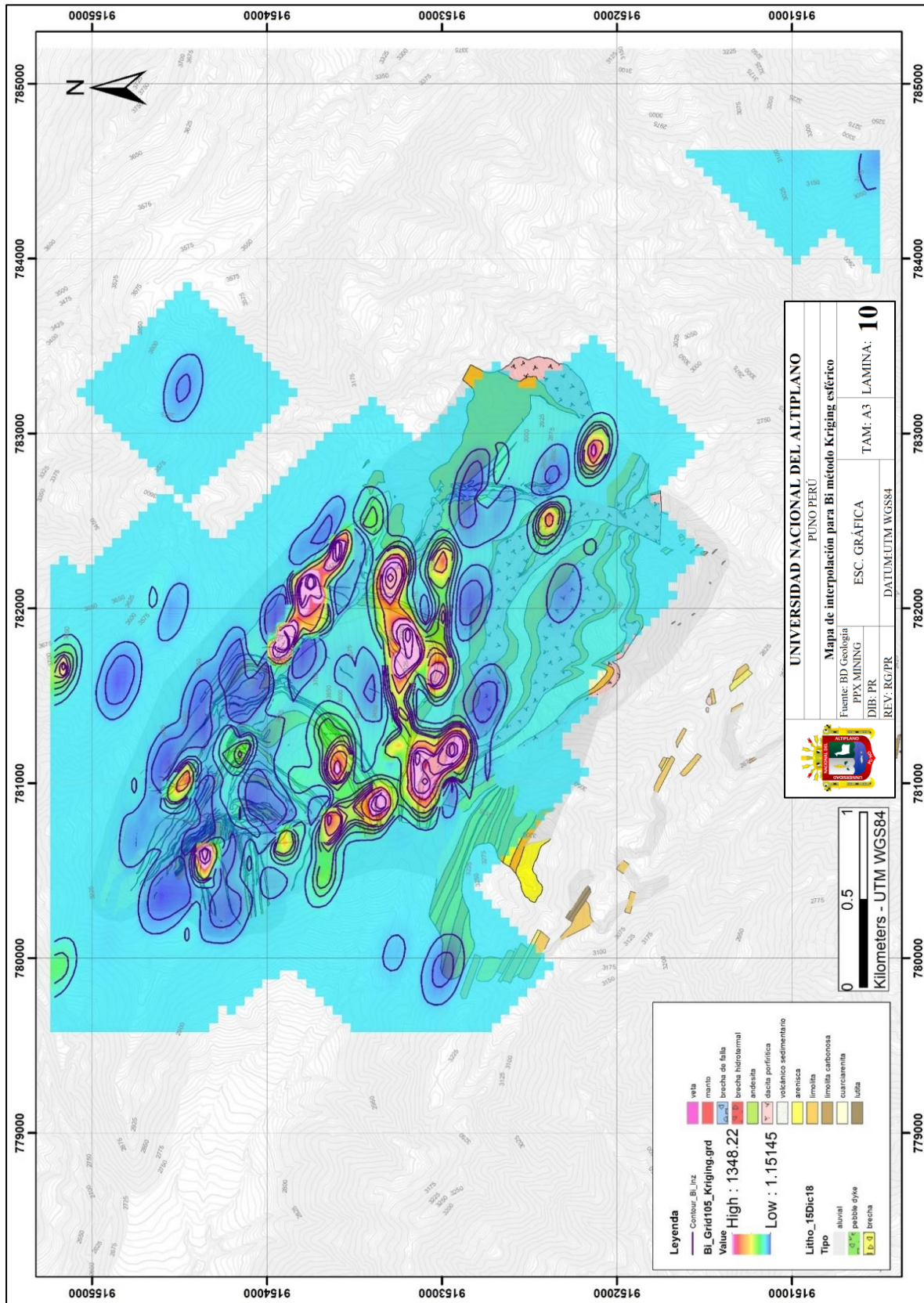


Figura 75. Mapa de interpolación para Bi método Kriging esférico con dirección de 105 grados, resalte de nuevas zonas anómalas, (Fuente: Propia)

5.2.7 Geoquímica Au-Cu

La correlación de Pierson entre el Au y la Cu es 0.7, lineal positiva o directamente proporcional (de acuerdo a la caracterización geoquímica en vetas y brechas), interpretada como media a considerable. Para complementar la distribución de datos espaciales mediante *Kriging* se revisó la distribución probabilística de los elementos químicos relacionados al Au, como muestra la figura 76.

5.1.7.1 Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Cu

Se distribuyó las leyes de Cu en quintiles como muestra la figura 76, en donde se observa colores que distinguen cada quintil, del cual resultado, lo siguiente: el primer quintil 52ppm, segundo quintil, 123.7ppm, tercer quintil 229ppm, cuarto quintil 407ppm, quinto quintil 6429.3ppm.

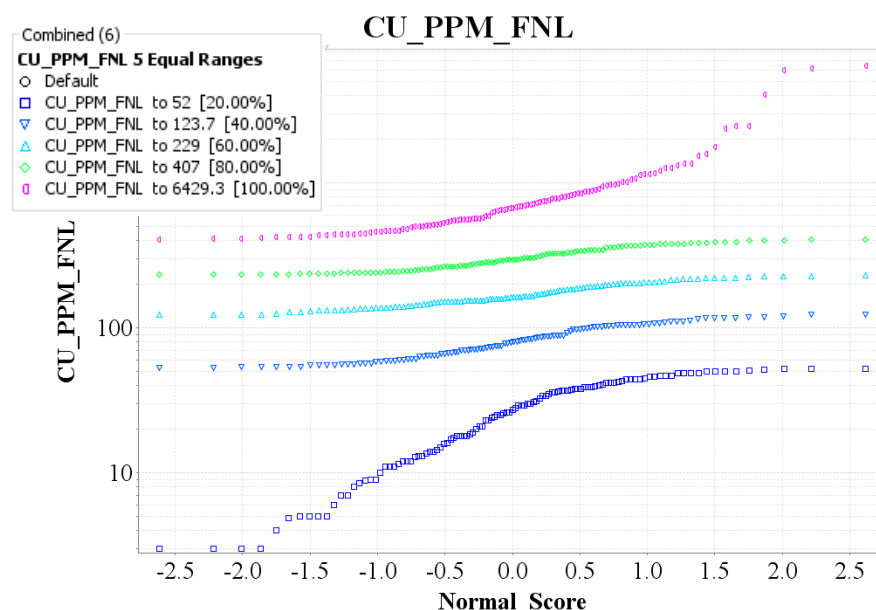


Figura 76. Distribución de datos geoquímicos del Cu (Fuente: Propia)

5.2.7.1 Distribución de cantidad de datos del Au-Cu

El histograma del Au y Cu tiene una transformación logarítmica para que los datos tengan un mejor ajuste a la campana de gauss. El resultado es que para el Au tenemos una mayor acumulación de datos hasta en el primer quintil; para la Cu la distribución de datos tiene un mejor comportamiento y se asemeja a la campana de gauss ver (figura 77).

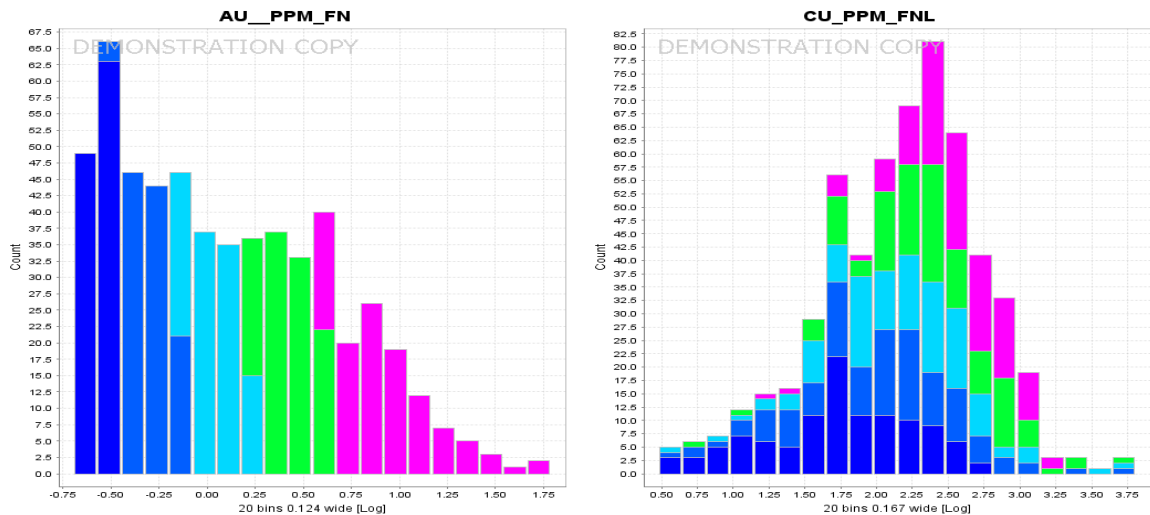


Figura 77. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Cu, se puede observar una distribución regular de la campana de Gauss para el Cu. (Fuente: Propia)

5.2.7.2 Densidad de datos de Au - Cu

Se puede observar una distribución de leyes aleatoria, pero que resalta ciertas familias de leyes entre el Au y Cu. La (figura 78) demuestra que existe correlación entre las leyes de ambos elementos y a la vez se observan familias acumuladas, sobre todo desde el primer quintil hasta el cuarto quintil, donde existe mayor concentración de muestras.

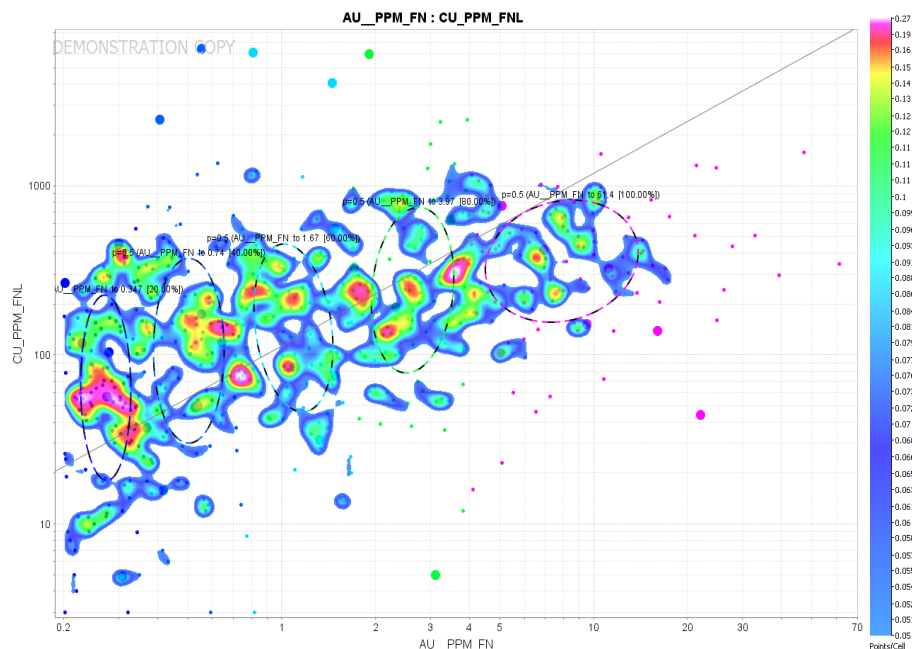


Figura 78. Ploteo de valores del Au y la Cu. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 1.0 ppm a 15 ppm de Au para alcanzar leyes entre 40 ppm a 1000 ppm de Cu. Existen altos erráticos de Cu y Au que no llegan a formar densidades importantes. (Fuente: Propia).

5.2.7.3 Variograma experimental para el Cu

El variograma experimental se hizo con el Kriging esférico y se utilizó la extensión Target for ArcGis, del cual se obtuvo las siguientes características del variograma (ver figura 79)

- Nugget=0
- Sill=0.25
- Range=150
- Strike=105 grados.

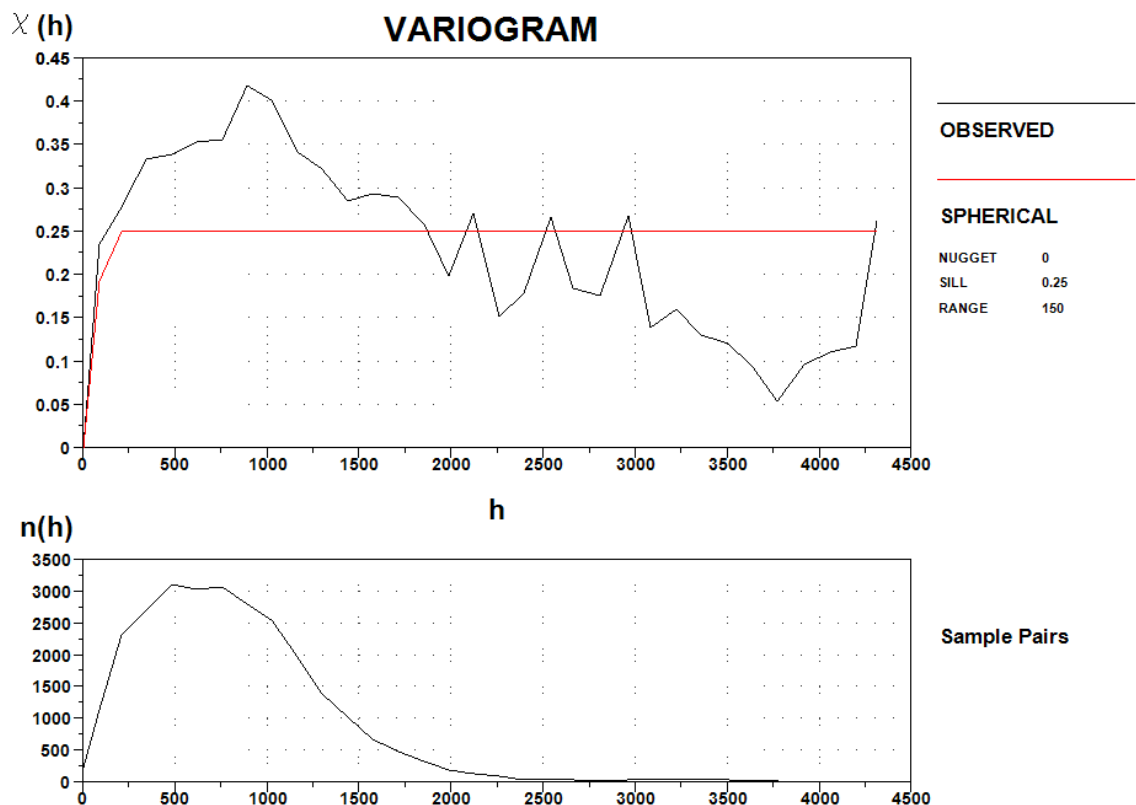


Figura 79. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el Cu. (Fuente: Propia)

Según la distribución de datos el mejor ajuste en el variograma experimental para el Cu, nos da como resultado una meseta de 0.25, un rango de 150, un nugget de 0 se está considerando que el efecto pepita no es significativo en las muestras.

El resultado es el mapa probabilístico de Cu (ver figura 80) donde resalta los altos valores de este elemento.

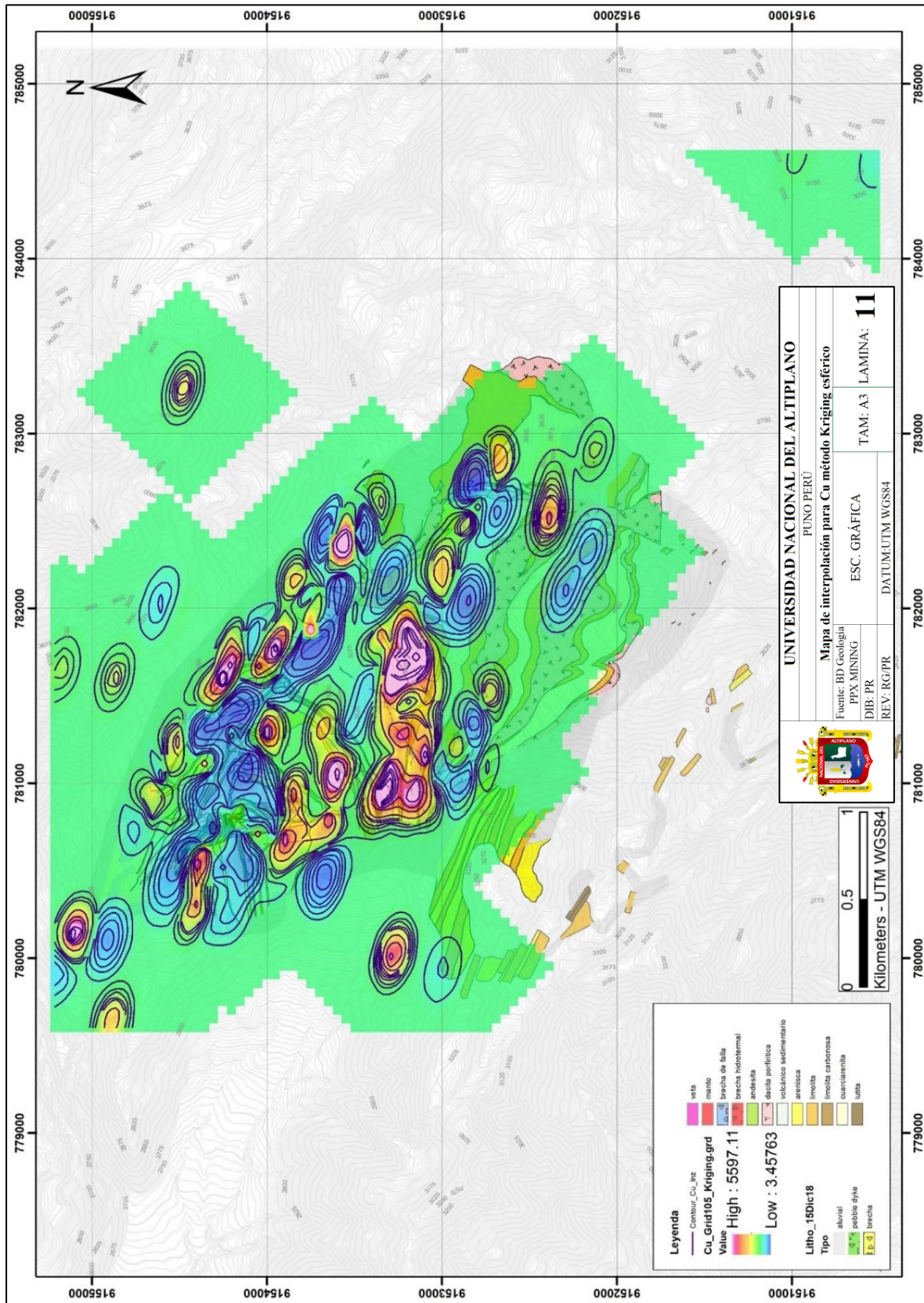


Figura 80. Mapa de interpolación para Cu método Kriging esférico con dirección de 105 grados., resalte de nuevas zonas anómalas. (Fuente: Propia)

5.2.8 Geoquímica Au-Fe

La correlación de Pierson entre el Au y la Fe es 0.6, lineal positiva o directamente proporcional (de acuerdo a la caracterización geoquímica en vetas y brechas), interpretada como media a considerable. Para complementar la distribución de datos espaciales mediante *Kriging* se revisó la distribución probabilística de los elementos químicos relacionados al Au, como muestra la (figura 81).

5.2.8.1 Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Fe

Se distribuyó las leyes de Fe en quintiles como muestra la (figura 81), en donde se observa colores que distinguen cada quintil, del cual resultado, lo siguiente: el primer quintil 3.84%, segundo quintil, 6.97%, tercer quintil 10.9%, cuarto quintil 15%, quinto quintil 50%.

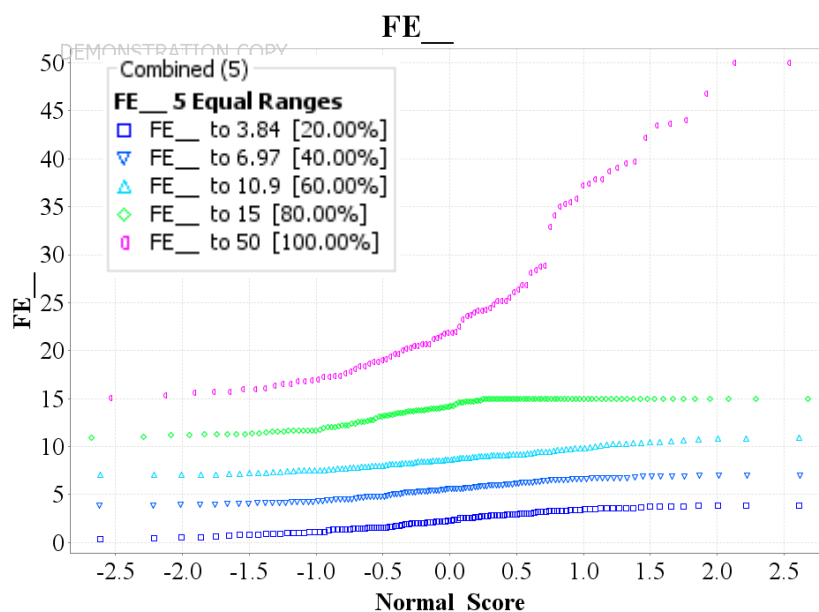


Figura 81. Ploteo probabilístico del Au y Fe. Se puede observar una distribución regular de datos para realizar ensayos de Kriging. (El Fe se encuentra en %) (Fuente: Propia)

5.2.8.2 Distribución de cantidad de datos del Au-Fe

El histograma del Au y Fe tiene una transformación logarítmica para que los datos tengan un mejor ajuste a la campana de gauss. El resultado es que para el Au tenemos una mayor acumulación de datos hasta en el primer quintil; para la Fe la distribución de

datos tiene un mejor comportamiento y se asemeja a la campana de gauss ver (figura 82).

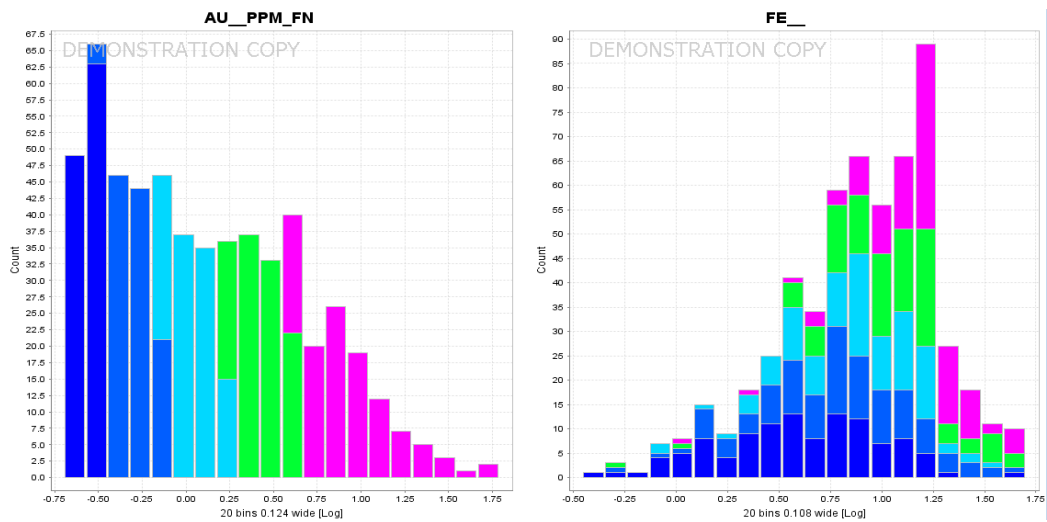


Figura 82. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Fe, se puede observar una distribución buena de la campana de Gauss para el Fe %. (Fuente: Propia)

5.2.8.3 Densidad de datos de Au - Fe

Se puede observar una distribución de leyes aleatoria, pero que resalta ciertas familias de leyes entre el Au y Fe. La figura 83 demuestra que existe correlación entre las leyes de ambos elementos y a la vez se observan familias acumuladas, sobre todo desde el primer quintil hasta el cuarto quintil, donde existe mayor concentración de muestras y finalmente una disminución en el quinto quintil.

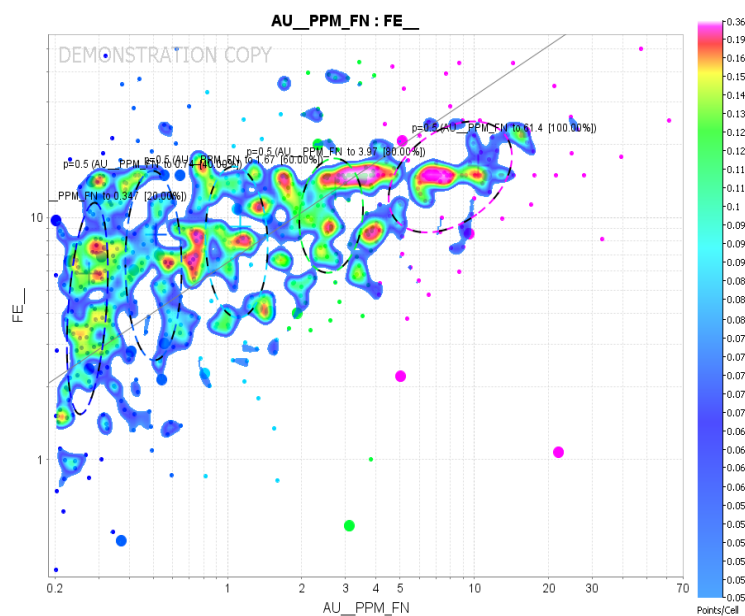


Figura 83. Ploteo de valores del Au ppm y Fe%. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 0.8 ppm a 10.0 ppm de Au para alcanzar leyes entre 5% a 15% de Fe. Existen altos erráticos de Fe. (Fuente: Propia)

5.2.8.4 Variograma experimental para el Fe

El variograma experimental se hizo con el Kriging esférico y se utilizó la extensión Target for ArcGis, del cual se obtuvo las siguientes características del variograma (ver figura 84)

- Nugget=0
- Sill=0.38
- Range=150
- Strike=105 grados.

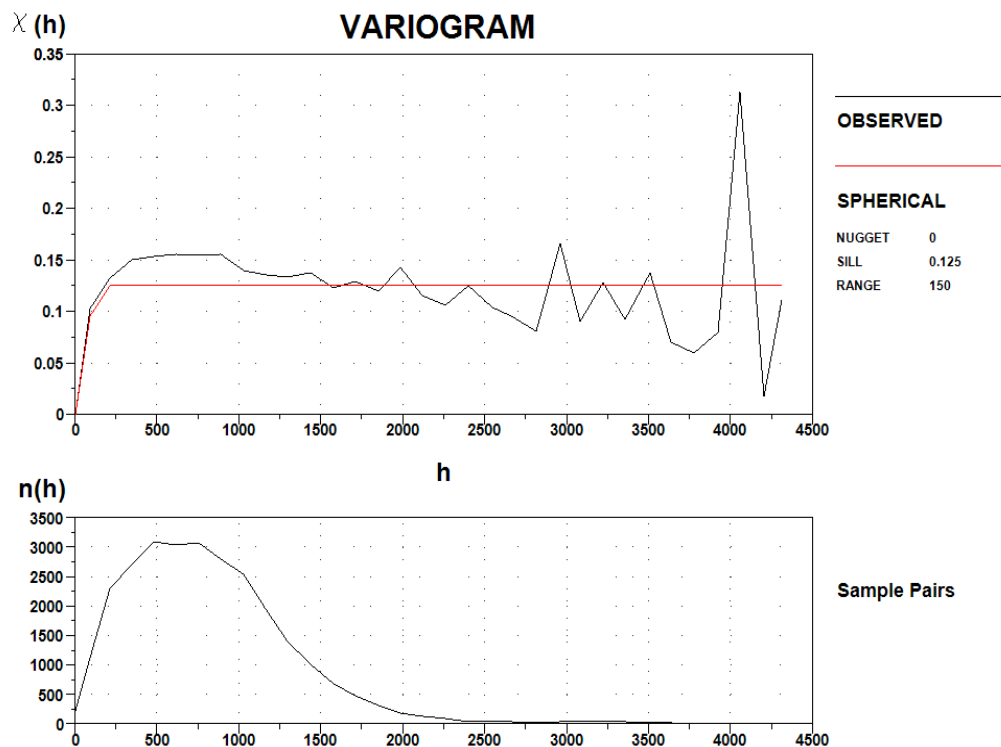


Figura 84. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el Fe. (Fuente: Propia)

Según la distribución de datos el mejor ajuste en el variograma experimental para el Fe, nos da como resultado una meseta de 0.125, un rango de 150, un nugget de 0 se está considerando que el efecto pepita no es significativo en las muestras.

El resultado es el mapa probabilístico de Fe (ver figura 85) donde resalta los altos valores de este elemento.

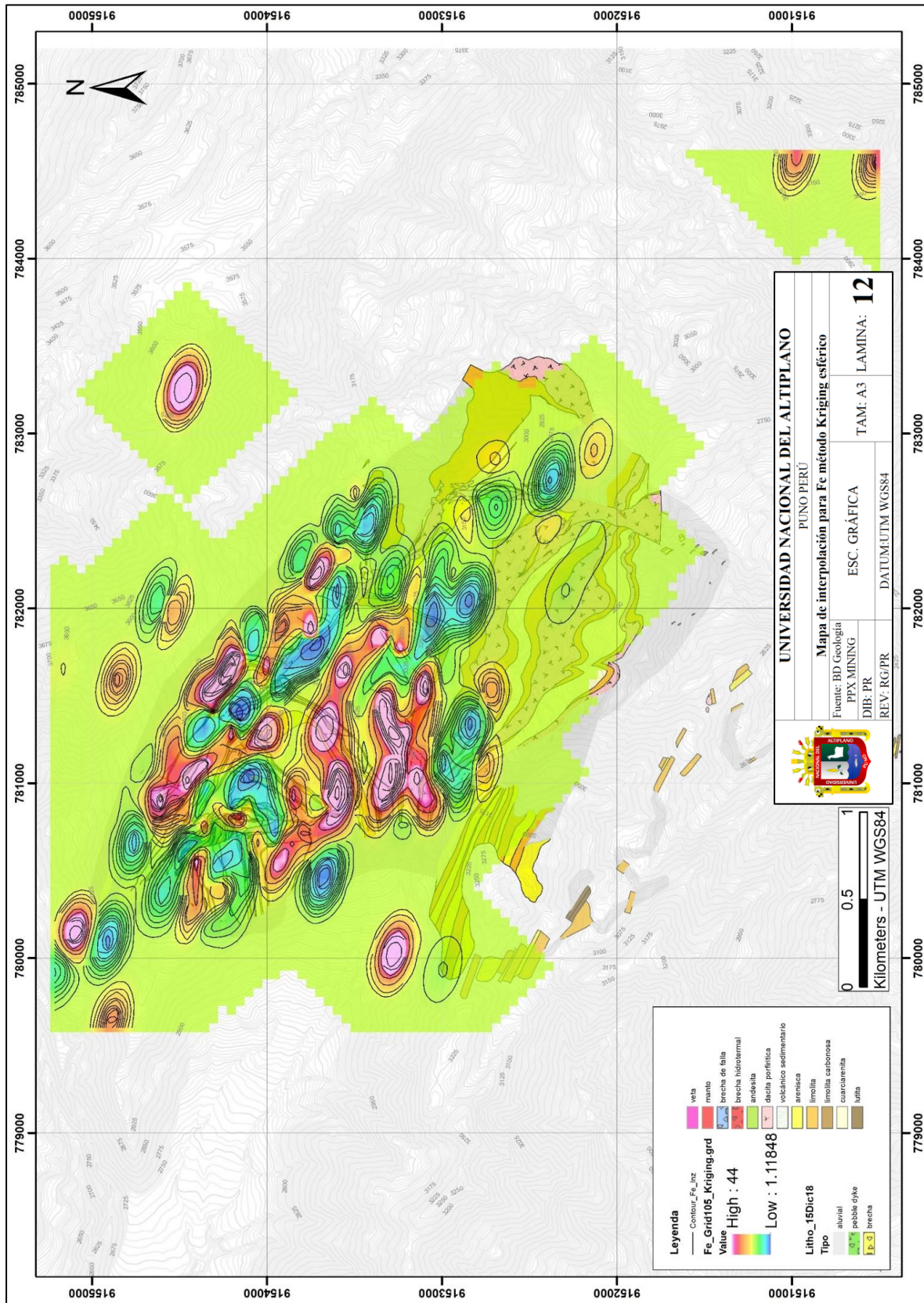


Figura 85. Mapa de interpolación para Fe método Kriging esférico con dirección de 105 grados, resalte de nuevas zonas anómalas. (Fuente: Propia)

5.2.9 Geoquímica Au-Pb

La correlación de Pierson entre el Au y la Pb es 0.5, lineal positiva o directamente proporcional (de acuerdo a la caracterización geoquímica en vetas y brechas), interpretada como media a considerable. Para complementar la distribución de datos espaciales mediante *Kriging* se revisó la distribución probabilística de los elementos químicos relacionados al Au, como muestra la (figura 86).

5.2.9.1 Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Pb

Se distribuyó las leyes de Pb en quintiles como muestra la (figura 87), en donde se observa colores que distinguen cada quintil, del cual resultado, lo siguiente: el primer quintil 113ppm, segundo quintil 387ppm, tercer quintil 960ppm, cuarto quintil 3460ppm, quinto quintil 57200ppm.

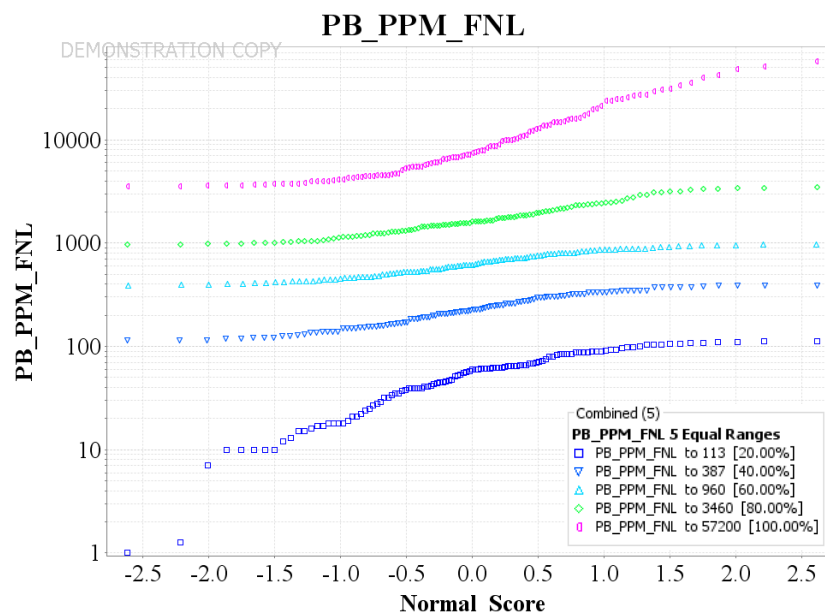


Figura 86. Ploteo probabilístico del Au y Pb. Se puede observar una distribución regular de datos para realizar ensayos de *Kriging*. (Fuente: Propia)

5.2.9.2 Distribución de cantidad de datos del Au-Pb

El histograma del Au y Pb tiene una transformación logarítmica para que los datos tengan un mejor ajuste a la campana de gauss. El resultado es que para el Au tenemos una mayor acumulación de datos hasta en el primer quintil; para la Pb la distribución de datos tiene un mejor comportamiento y se asemeja a la campana de gauss.

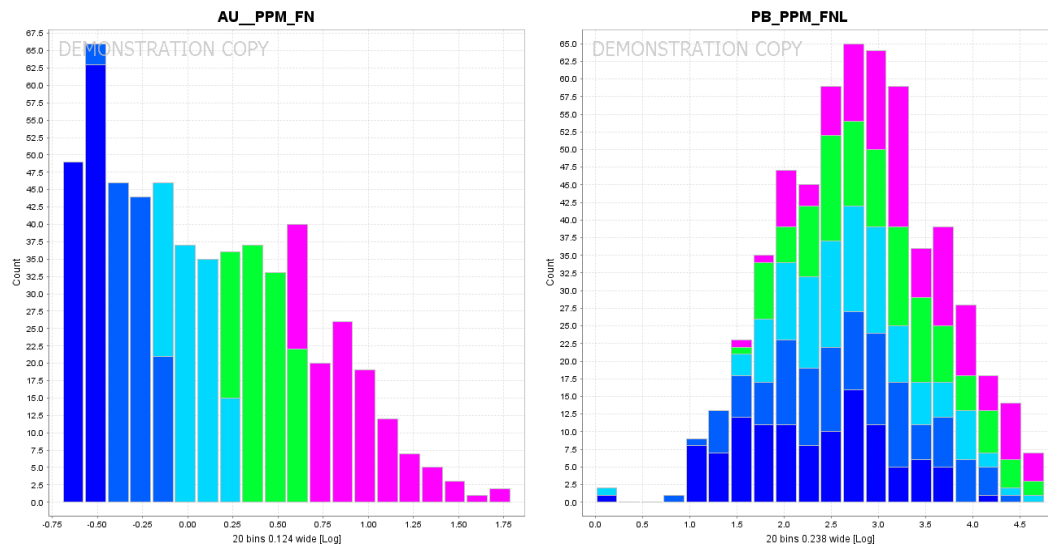


Figura 87. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Pb, se puede observar una distribución buena de la campana de Gauss para el Pb. (Fuente: Propia)

5.2.9.3 Densidad de datos de Au - Pb

Se puede observar una distribución de leyes aleatoria, pero que resalta ciertas familias de leyes entre el Au y Pb. La figura 88 demuestra que existe correlación entre las leyes de ambos elementos y a la vez se observan familias acumuladas, sobre todo desde el primer quintil hasta el cuarto quintil, donde existe mayor concentración de muestras y finalmente una disminución en el quinto quintil.

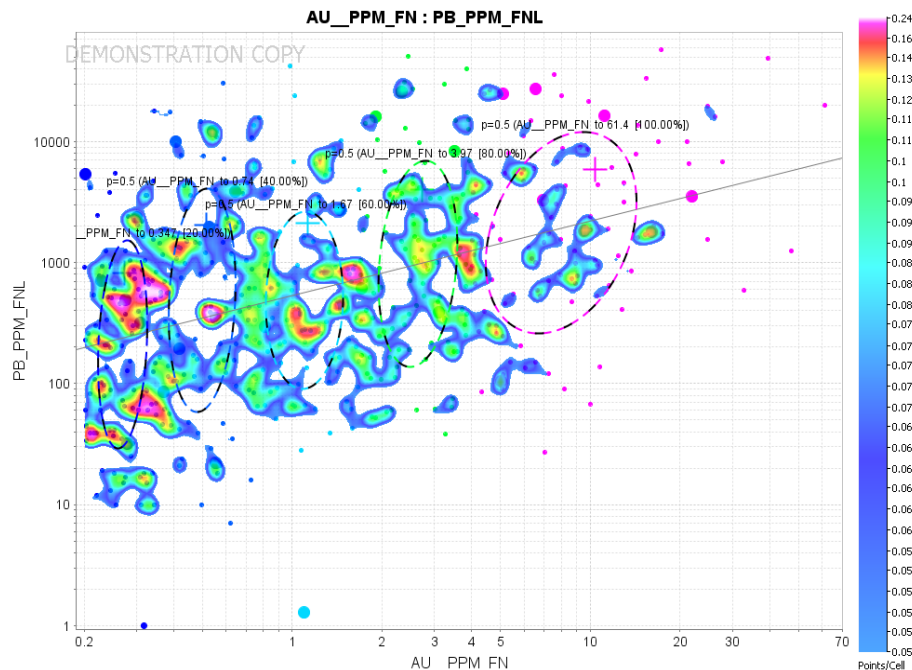


Figura 88. Ploteo de valores del Au y la Pb. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 1.0 ppm a 10 ppm de Au para alcanzar leyes entre 200 ppm a >10000 ppm de Pb. Existen altos erráticos de Pb y Au que no logran tener mayor densidad. (Fuente: Propia)

5.2.9.4 Variograma experimental para el Pb

El variograma experimental se hizo con el Kriging esférico y se utilizó la extensión Target for ArcGis, del cual se obtuvo las siguientes características del variograma (ver figura 89)

- Nugget=0
- Sill=0.6
- Range=150
- Strike=105 grados.

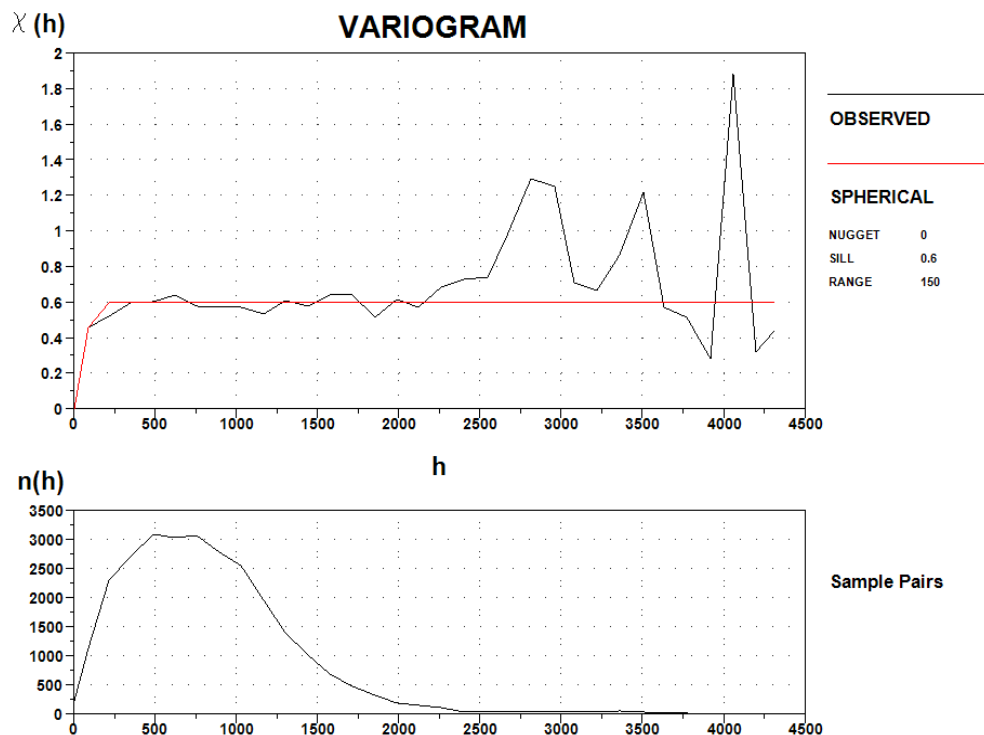


Figura 89. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el Pb. (Fuente: Propia)

Según la distribución de datos el mejor ajuste en el variograma experimental para el Pb, nos da como resultado una meseta de 0.60, un rango de 150, un nugget de 0 se está considerando que el efecto pepita no es significativo en las muestras.

El resultado es el mapa probabilístico de Pb (ver figura 90) donde resalta los altos valores de este elemento.

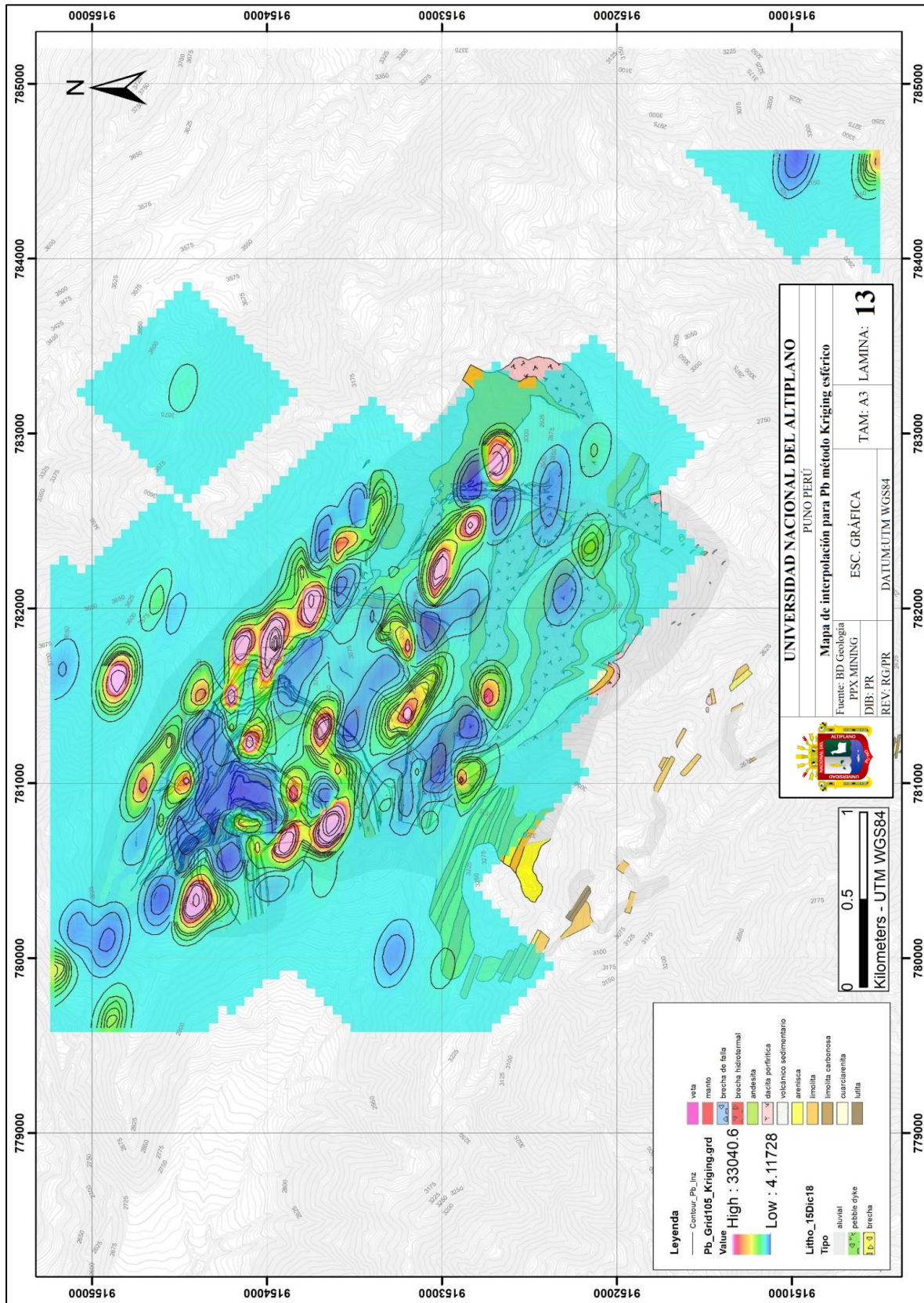


Figura 90. Mapa de interpolación para Pb método Kriging esférico con dirección de 105 grados, resalte de zonas anómalas. (Fuente: Propia)

5.2.10 Geoquímica Au-Sb

La correlación de Pierson entre el Au y la Sb es 0.7, lineal positiva o directamente proporcional (de acuerdo a la caracterización geoquímica en vetas y brechas), interpretada como media a considerable. Para complementar la distribución de datos espaciales mediante *Kriging* se revisó la distribución probabilística de los elementos químicos relacionados al Au, como muestra la (figura 91).

5.2.10.1 Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Sb

Se distribuyó las leyes de Sb en quintiles como muestra la figura 91, en donde se observa colores que distinguen cada quintil, del cual resultado, lo siguiente: primer quintil 86ppm, segundo quintil 202ppm, tercer quintil 528ppm, cuarto quintil 1589ppm, quinto quintil 10000ppm.

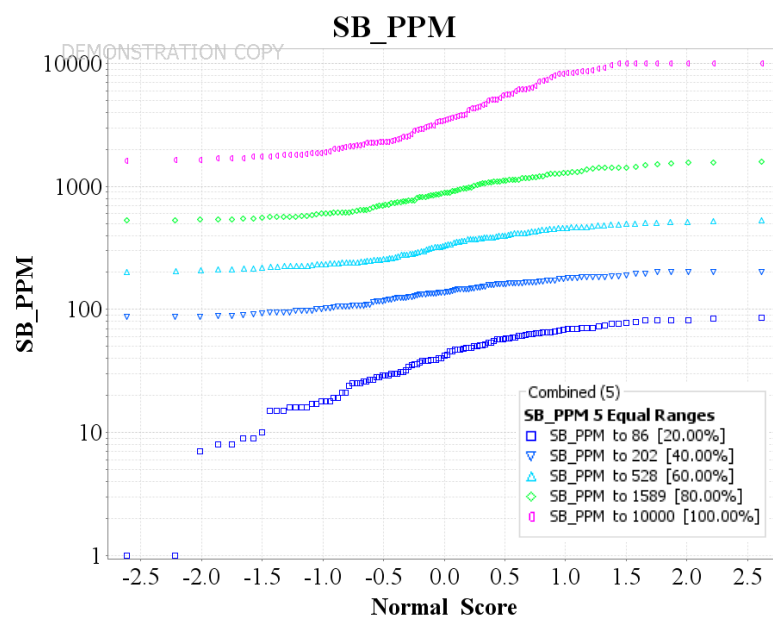


Figura 91. Ploteo probabilístico del Au y Sb. Se puede observar una distribución regular de datos para realizar ensayos de *Kriging*. (Fuente: Propia)

5.2.10.2 Distribución de cantidad de datos del Au-Sb

El histograma del Au y Sb tiene una transformación logarítmica para que los datos tengan un mejor ajuste a la campana de gauss. El resultado es que para el Au tenemos una mayor acumulación de datos hasta en el primer quintil; para la Sb la distribución de datos tiene un mejor comportamiento y se asemeja a la campana de gauss.

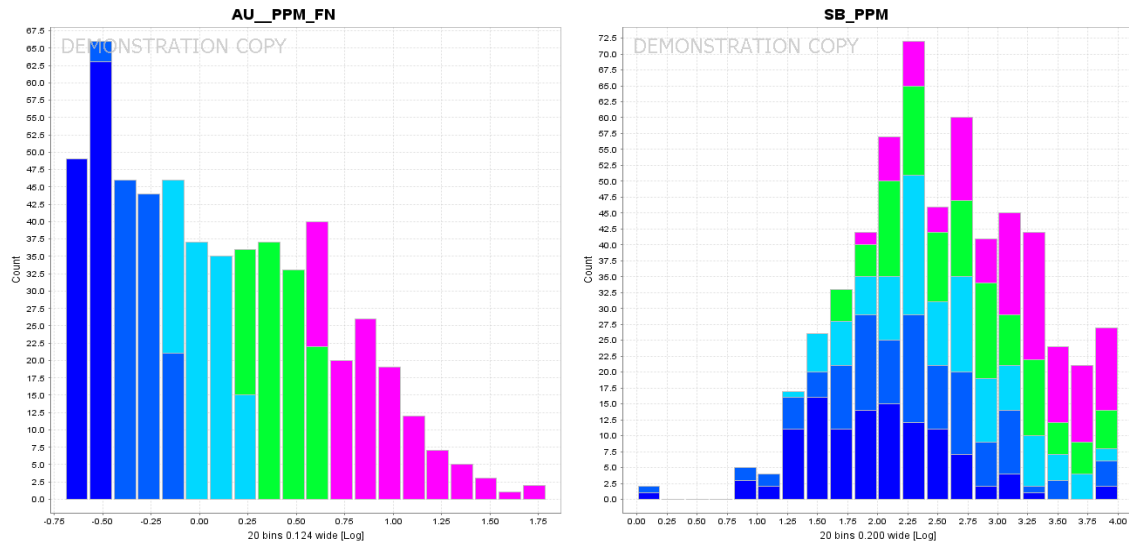


Figura 92. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Sb, se puede observar una distribución buena de la campana de Gauss para el Sb. (Fuente: Propia)

5.2.10.3 Densidad de datos de Au - Sb

Se puede observar una distribución de leyes aleatoria, pero que resalta ciertas familias de leyes entre el Au y Sb. La figura 93 demuestra que existe correlación entre las leyes de ambos elementos y a la vez se observan familias acumuladas, sobre todo desde el primer quintil hasta el cuarto quintil, donde existe mayor concentración de muestras y finalmente una disminución en el quinto quintil.

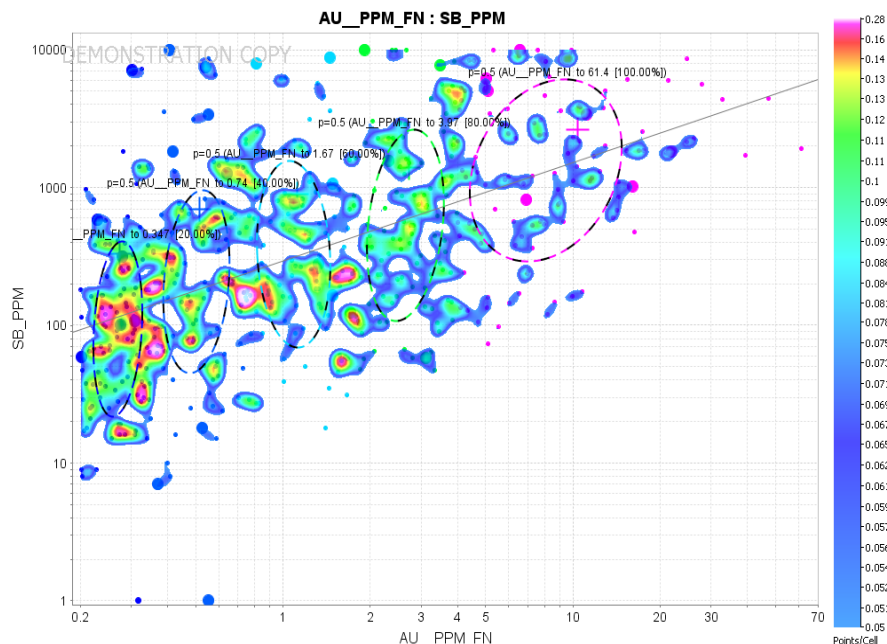


Figura 93. Ploteo de valores del Au y la Sb. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 0.2 ppm a 5 ppm de Au para alcanzar leyes entre 20 ppm a 1000 ppm de Sb. Existen altos erráticos de Sb según la interpolación. (Fuente: Propia)

5.2.10.4 Variograma experimental para el Sb

El variograma experimental se hizo con el Kriging esférico y se utilizó la extensión Target for ArcGis, del cual se obtuvo las siguientes características del variograma (ver figura 94)

- Nugget=0
- Sill=0.85
- Range=150
- Strike=105 grados.

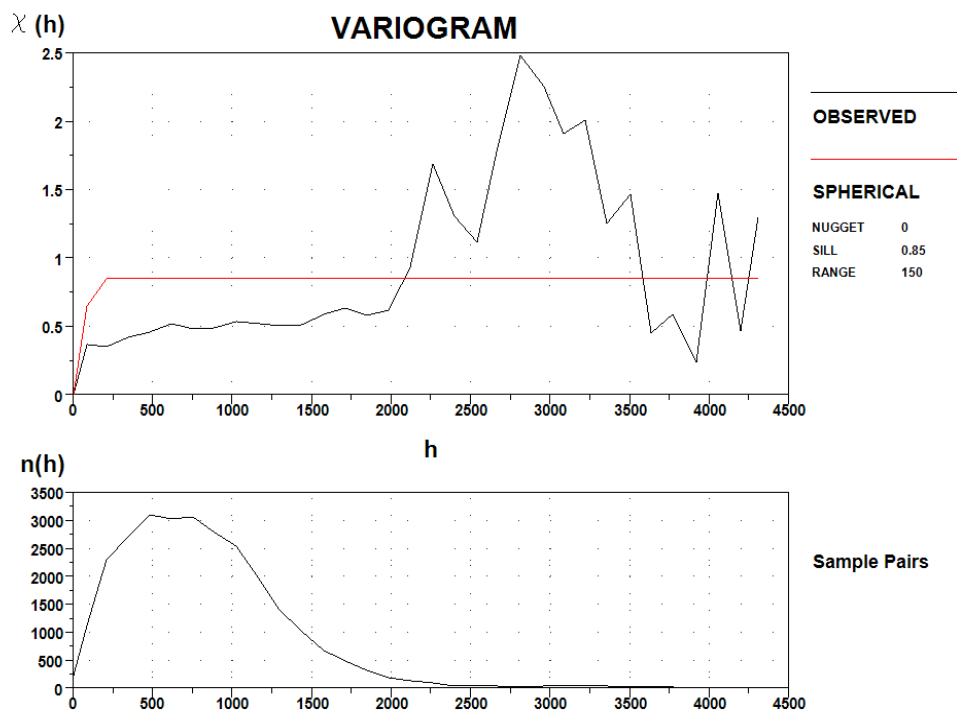


Figura 94. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el Sb. (Fuente: Propia)

Según la distribución de datos el mejor ajuste en el variograma experimental para Sb, nos da como resultado una meseta de 0.85, un rango de 150, un nugget de 0 se está considerando que el efecto pepita no es significativo en las muestras. El resultado es el mapa probabilístico de Sb (ver figura 95) donde resalta los altos valores de este elemento.

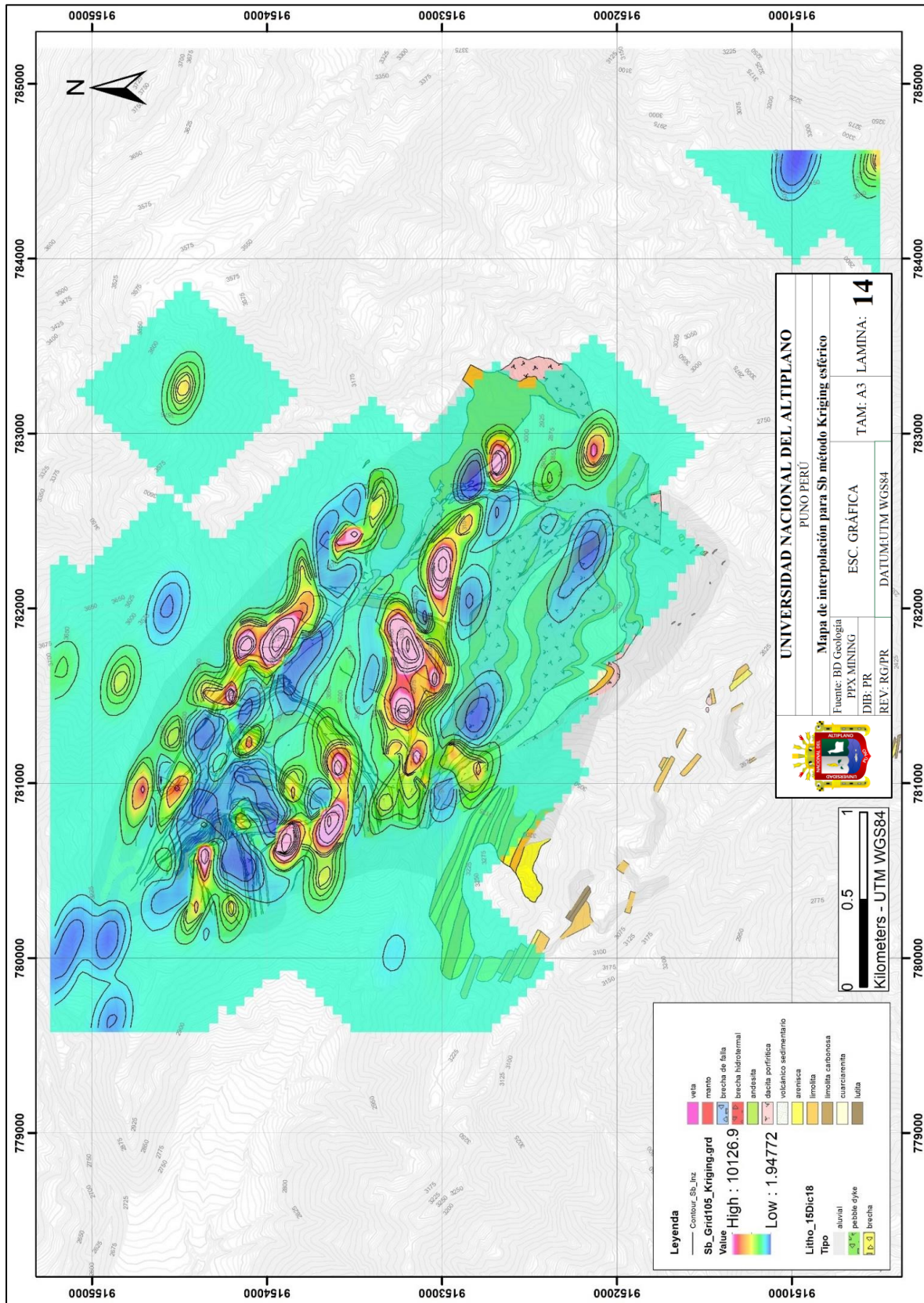


Figura 95. Mapa de interpolación para Sb método Kriging esférico con dirección de 105 grados. (Fuente: Propia)

5.2.11 Geoquímica Au-Sn

La correlación de Pierson entre el Au y la Sn es 0.5, lineal positiva o directamente proporcional (de acuerdo a la caracterización geoquímica en vetas y brechas), interpretada como media a considerable. Para complementar la distribución de datos espaciales mediante *Kriging* se revisó la distribución probabilística de los elementos químicos relacionados al Sn, como muestra la (figura 96).

5.2.11.1 Prueba de normalidad de datos geoquímicos del Sn

Se distribuyó las leyes de Sn en quintiles como muestra la figura 96, en donde se observa colores que distinguen cada quintil, del cual resultado, lo siguiente: el primer quintil 15ppm, segundo quintil 28ppm, tercer quintil 69ppm, cuarto quintil 219ppm, quinto quintil 4591ppm .

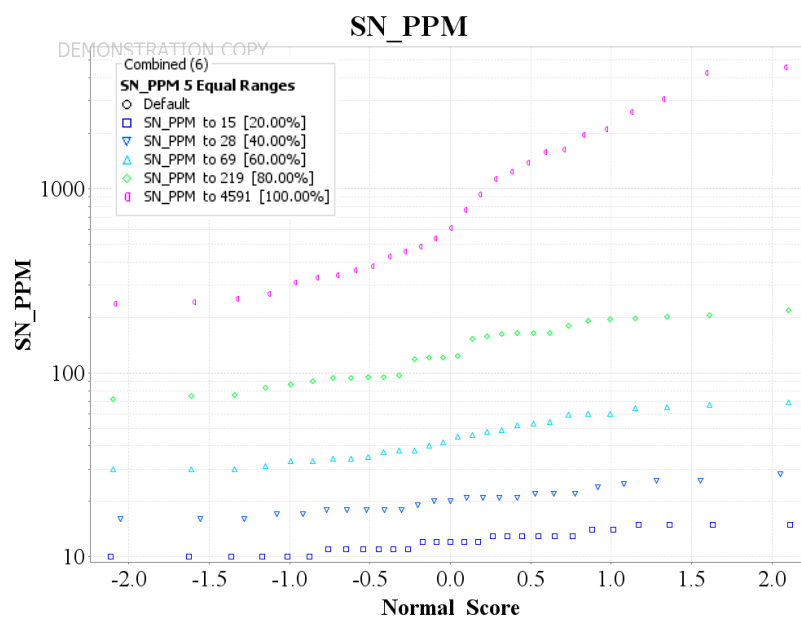


Figura 96. Ploteo probabilístico del Au y Sn. Se puede observar una distribución regular de datos para realizar ensayos de Kriging. (Fuente: Propia)

5.2.11.2 Distribución de cantidad de datos del Au-Sn

El histograma del Au y Sn tiene una transformación logarítmica para que los datos tengan un mejor ajuste a la campana de gauss. El resultado es que para el Au tenemos una mayor acumulación de datos hasta en el primer quintil; para la Ag la distribución de datos tiene un mejor comportamiento y se asemeja a la campana de gauss.

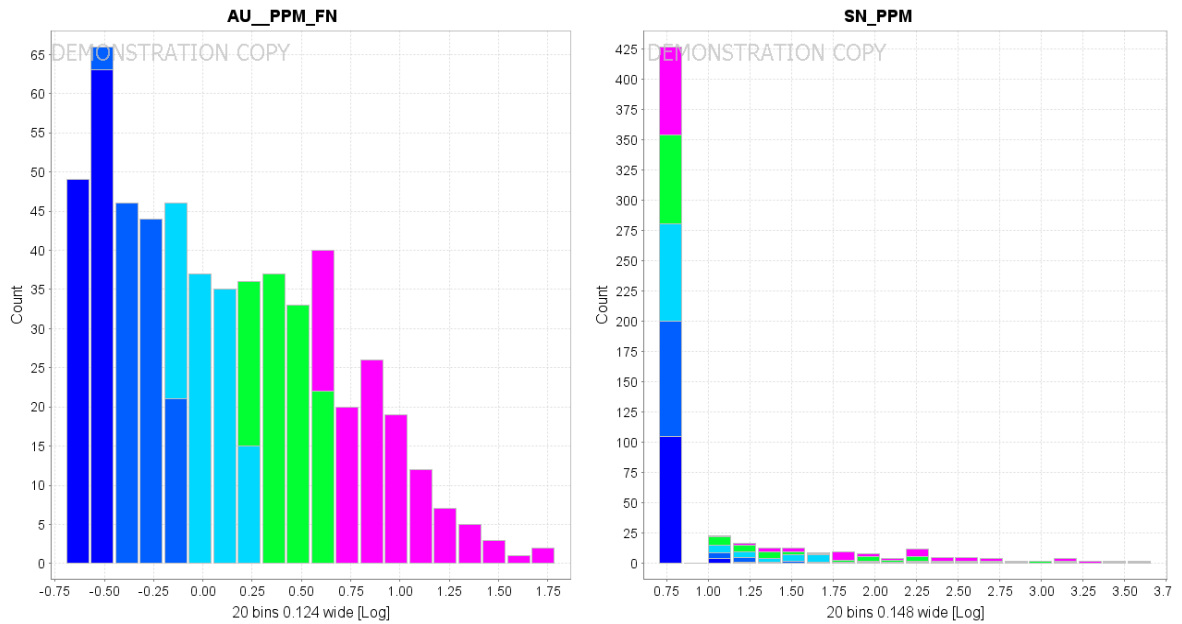


Figura 97. Distribución de frecuencia Log normal para el Au y Sn, se puede observar una distribución mala de la campana de Gauss para el Sn, Probablemente debido a la cantidad de muestras y leyes muy erráticas. (Fuente: Propia)

5.2.11.3 Densidad de datos de Au - Sn

Se puede observar una distribución de leyes aleatoria, pero que resalta ciertas familias de leyes entre el Au y Sn. La figura 98 demuestra que existe correlación entre las leyes de ambos elementos y a la vez se observan familias acumuladas.

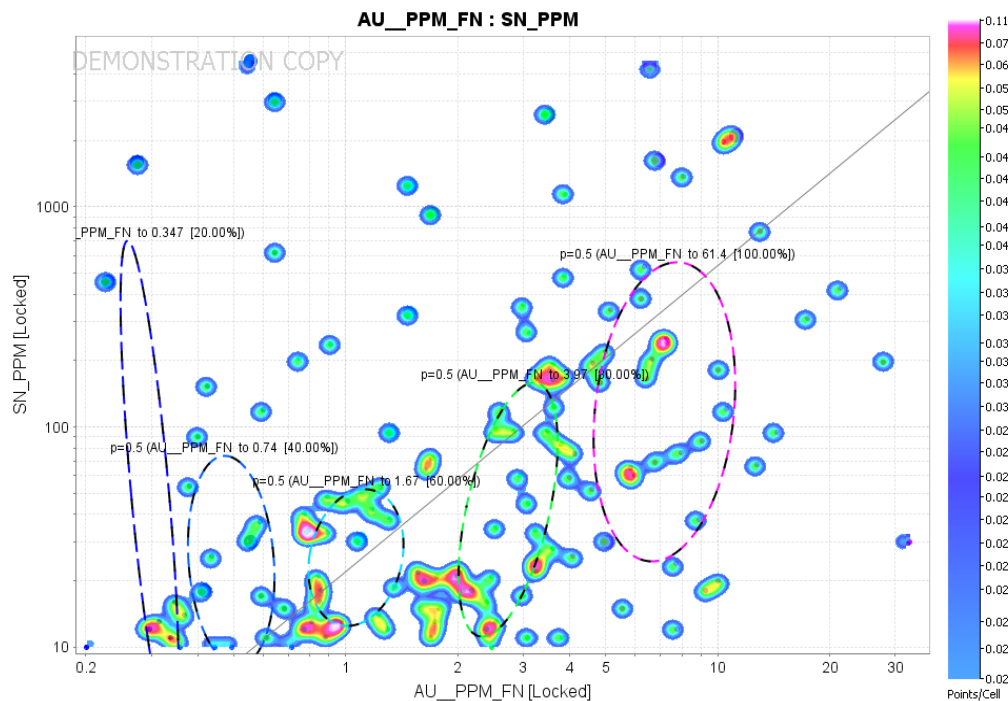


Figura 98. Ploteo de valores del Au y la Sn. Se observa una mayor bonanza de leyes entre 0.7 ppm a 3 ppm de Au para alcanzar leyes entre 10 ppm a 200 ppm de Sn. Existen altos erráticos de Sn según la interpolación. (Fuente: Propia)

5.2.11.4 Variograma experimental para el Sn

El variograma experimental se hizo con el Kriging esférico y se utilizó la extensión Target for ArcGis, del cual se obtuvo las siguientes características del variograma (ver figura 99):

- Nugget=0
- Sill=0.85
- Range=150
- Strike=105 grados.

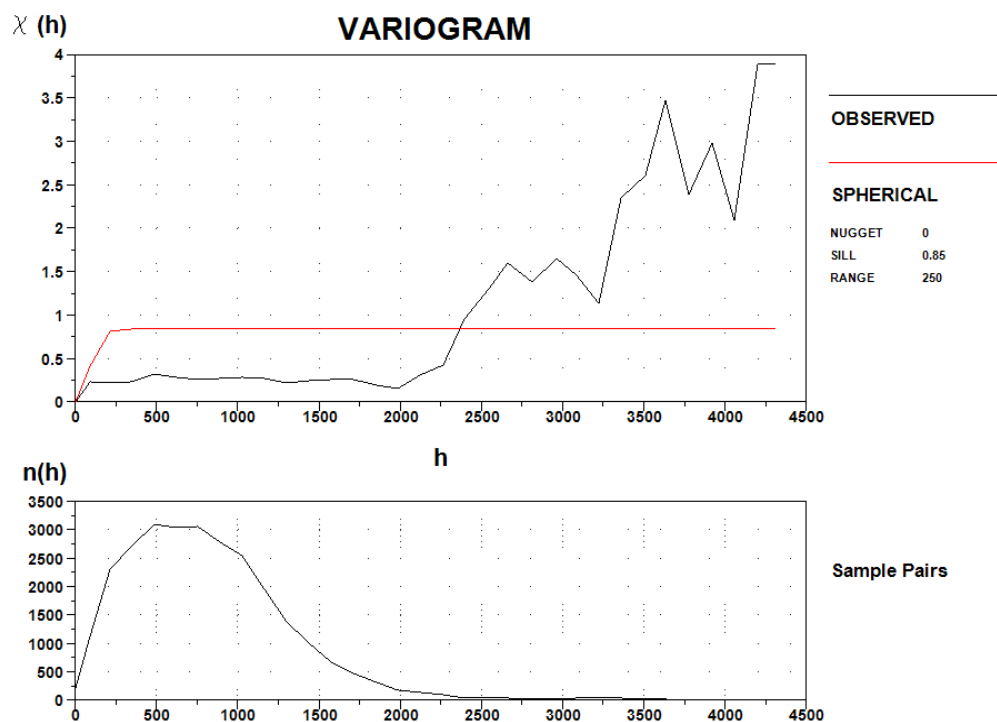


Figura 99. Variograma experimental para la interpolación por el método Kriging esférico para el Sn. (Fuente: Propia)

Según la distribución de datos el mejor ajuste en el variograma experimental para Sn, nos da como resultado una meseta de 0.85, un rango de 150, un nugget de 0 se está considerando que el efecto pepita no es significativo en las muestras.

El resultado es el mapa probabilístico de Sn (ver figura 100) donde resalta los altos valores de este elemento.

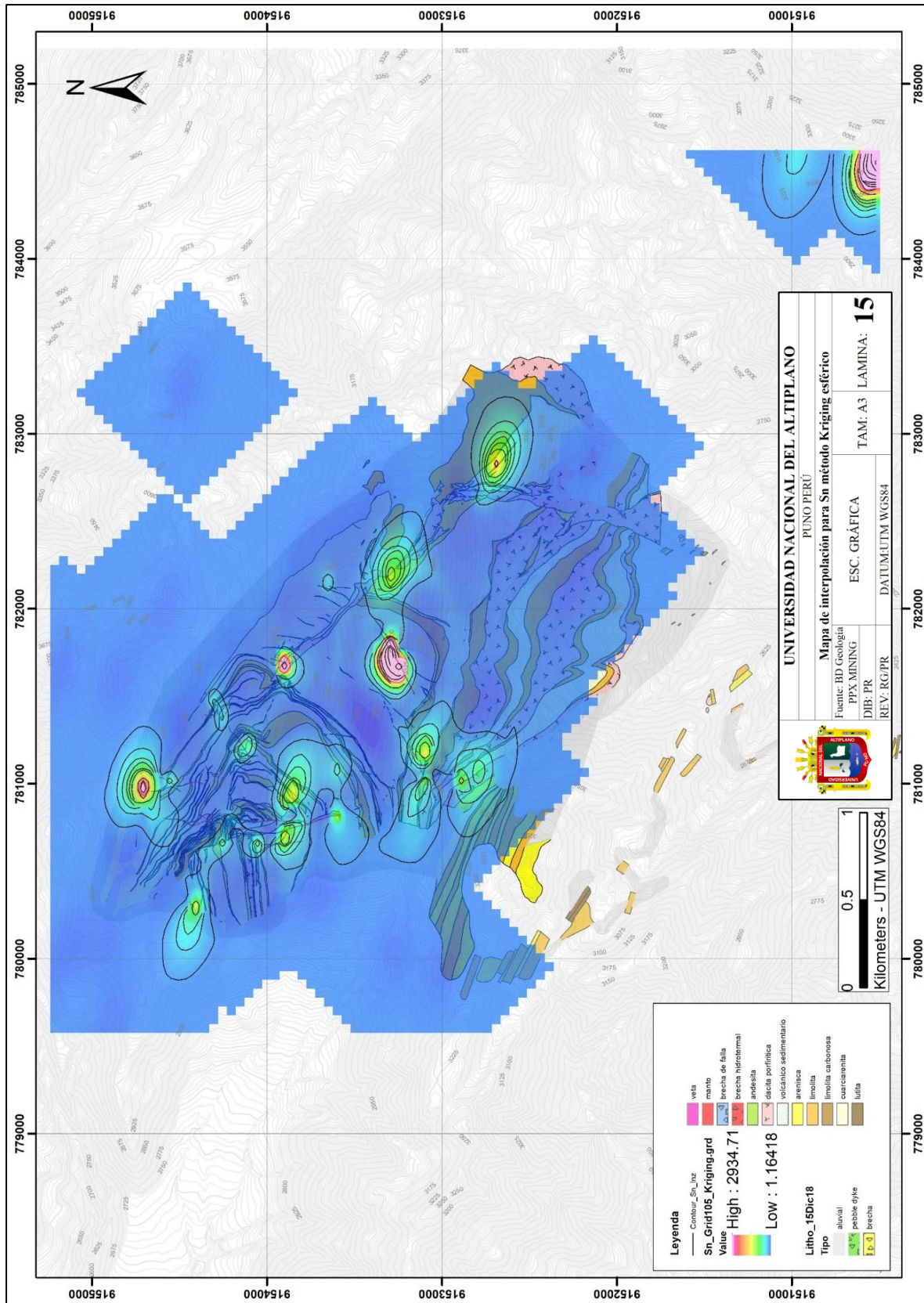


Figura 100. Mapa de interpolación para Sn método Kriging esférico con dirección de 105 grados con resalte de las zonas más anómalas. (Fuente: Propia)

5.2.12 Sobreposición de los elementos Au, Ag, As, Bi, Cu, Fe, Pb, Sb, Sn.

La superposición de capas nos dio como resultados zonas probables de mineralización relacionado a Brechas, Brechas Tectónicas, Fallas, Vetas y/o Mantos ya que estos minerales están correlacionados a estructuras mineralizadas.

Esta superposición se trabajó con el programa ArcGis en una transparencia del 80% por capa, ver (figura 101).

Los resultados muestran que el área de estudio tiene gran potencial geológico económico, en 04 nuevas zonas (áreas exploratorias) fuera de la zona de minado (Mina Callanquitas).

Zonas anómalas encontradas en nuevas áreas no conocidos

- Zona SUR-ESTE del proyecto Igor – Área con potencial geoquímico relacionado al Au.
- Zona NOR-OESTE del proyecto Igor – Área con potencial geoquímico relacionado al Au.
- Zona NOR-ESTE del proyecto Igor - Área con potencial geoquímico relacionado al Au.
- Zona PORTACHUELOS del proyecto Igor – Área con potencial geoquímico relacionado al Au.

En las zonas marcadas como anómalas están relacionadas a eventos geológicos magmáticos de alta ley económica, para dar una mayor veracidad de los resultados es necesario hacer visitas y comprobar dichas anomalías, ver (figura 101).



Figura 101. Mapa de superposición con transparencia del 80% de los elementos Au, Ag, As, Bi, Cu, Fe, Pb, Sb, Sn donde muestra zonas calientes de mineralización. (Fuente: Propia)



5.2.12.1 Zona Sur-Este del proyecto Igor.

Se pudo comprobar que la zona sur-este (Nueva zona con potencial económico) presenta gran potencial para la exploración teniendo superposición de los elementos correlacionados con el Au. Es probable que en esta área se encuentre brechas y/o vetas ricas en Au-Ag. (Ver Anexo 04 – Mapa de superposición de capas de todos los elementos).

5.2.12.2 Zona - Portachuelos

Se pudo comprobar que la zona de Portachuelos presenta gran potencial para la exploración de estructuras potentes de baja ley, pero de gran amplitud estos se correlacionan con un segmento largo desde Portachuelos hacia el sur de Huevo cóndor. Es probable que en esta área se encuentre brechas, mantos ricos Au-Ag principalmente en sulfuros ya que estas pertenecen a otro evento geológico distinto a la formación de las Vetas Callanquitas. (Ver Anexo 04) – Mapa de superposición de capas de todos los elementos).

5.2.12.3 Zona Nor-Este, Mina Callanquitas

Se pudo comprobar que la zona nor-este de la Mina Callanquitas está abierta para la exploración este sector no está ampliamente explorado existen pocas muestras, pero el indicador geoquímico tiene todas las características para encontrar estructuras mineralizadas de alta ley económica como es brechas y otros.

5.2.12.4 Zona Nor-Oeste, Mina Callanquitas

Se pudo comprobar que la zona nor-oeste de la Mina Callanquitas está abierta para la exploración ya que la dirección de convergencia de los minerales ricos en Au (Feeders) provienen de este sector presenta gran potencial para la exploración teniendo superposición de los elementos correlacionados con el Au. Es probable que en esta área

se encuentre brechas y/o vetas ricas en Au-Ag. (Ver Anexo 04) – Mapa de superposición de capas de todos los elementos).

5.2.13 Feeders principales de mineralización

De acuerdo a los resultados se tiene 4 principales feeders de mineralización o zonas calientes de rico contenido metálico correlacionado con el Au esta zona caliente se da en la en las estructuras resaltantes Callanquitas Este y Callanquitas Oeste.

Esta información se puede comprobar con las secciones longitudinales de los interceptos de perforación diamantina (Ver Anexo 05 y 06) isovalores de AuEquiv en la Veta Callanquitas Este y Oeste.

5.2.13.1 Feeder numero 01

El feeder número 01 se encuentra en la zona Nor-oeste de la Mina Callanquitas este sería uno de los alimentadores geoquímicos de las estructuras principales Callanquitas Este y Callanquitas Oeste, ver (figura 102).

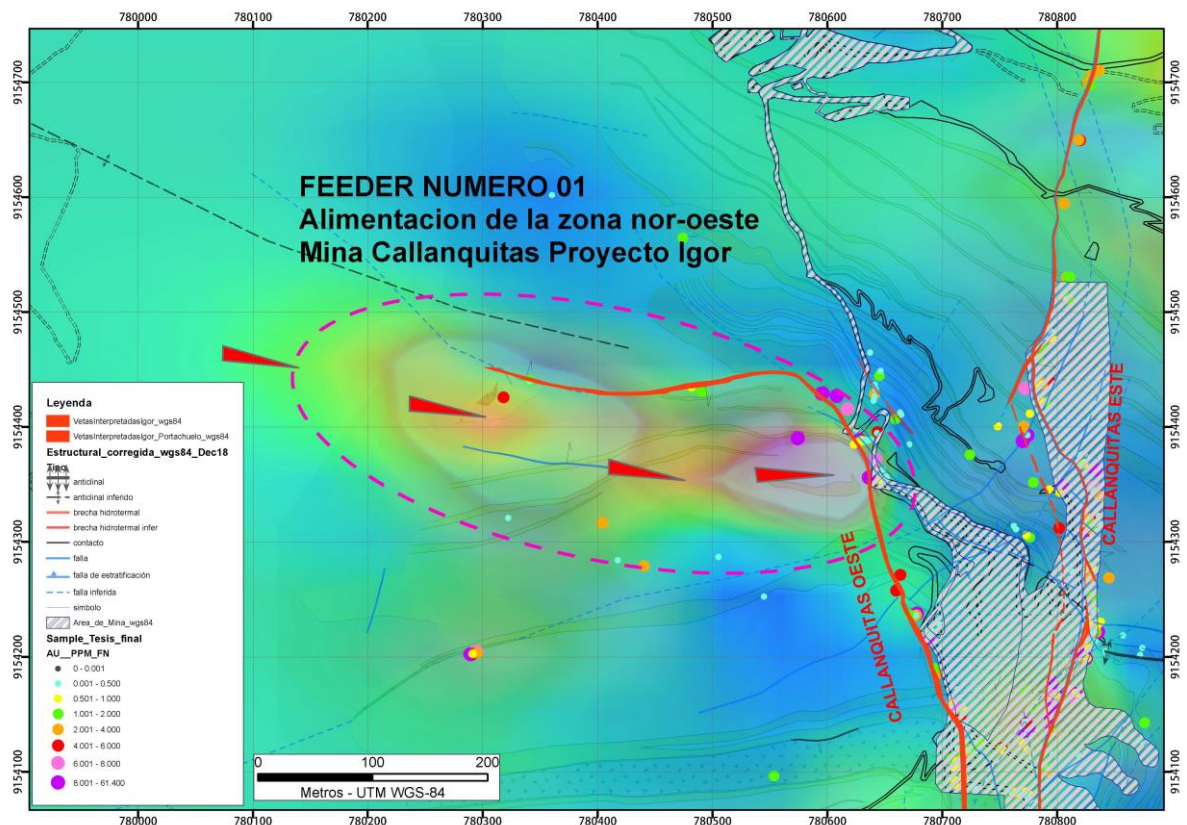


Figura 102. Mapa Geoquímico con superposición de capas donde se muestra el feeder Nro.01. (Fuente: Propia)

5.2.13.2 Feeder número 02 y 03

El feeder número 02 y 03 se encuentra en la zona Sur de la Mina Callanquitas este sería el alimentador de la veta Callanquitas Este Sur. En este sector las Vetas Callanquitas Oeste y Este se unen o se acuñan para formar una sola veta con zonas de mayor bonanza de mineralización, ver (figura 103).

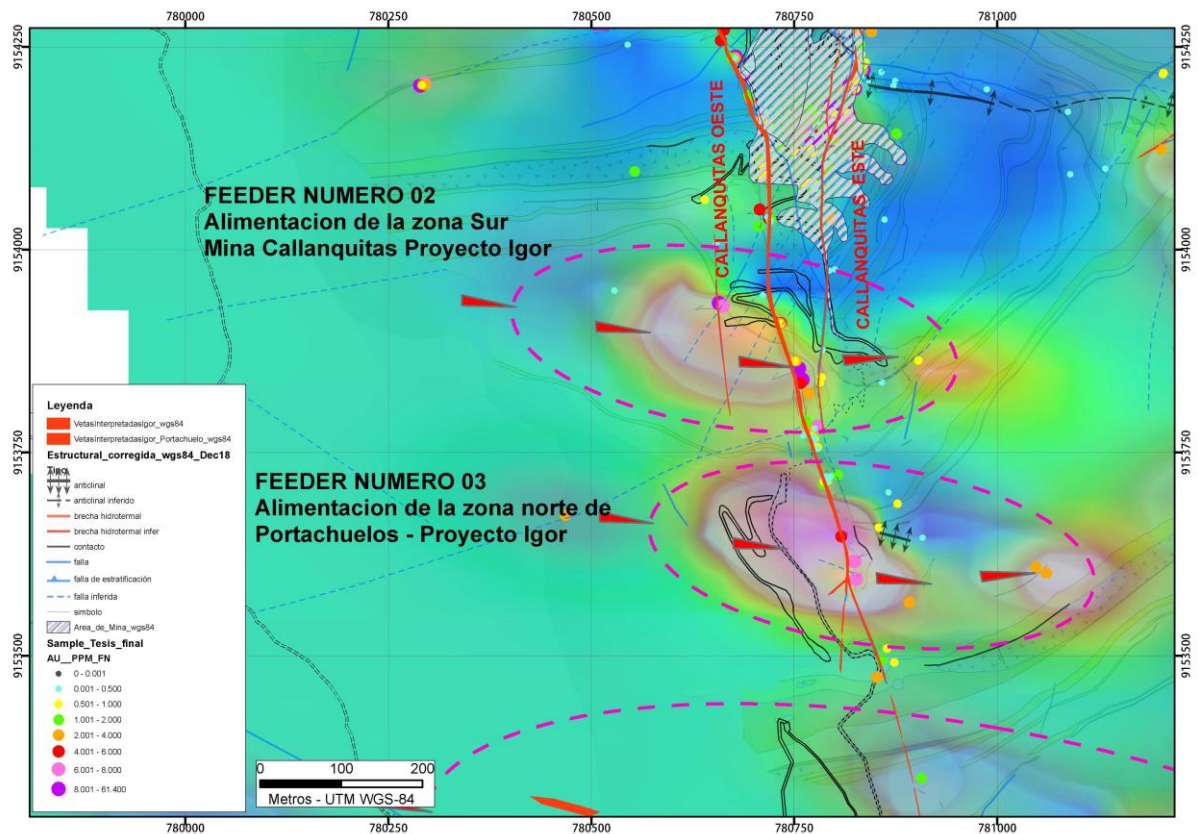


Figura 103. Mapa Geoquímico con superposición de capas donde se muestra el feeder Nro. 02 y 03 (Fuente: Propia)

5.2.13.3 Feeder número 04

El feeder número 04 se encuentra en la zona Sur del Target Portachuelos este sería el alimentador de la zona sur de este mismo sector, teniendo anomalías más bajas, pero de mayor amplitud. En este sector tenemos el feeder 04 se divide en dos zonas, ver (figura 104).

- La zona de la parte superior donde se muestran las vetas de Sofía, María, Gloria.

- La zona principal de Portachuelos con una veta inferida se le denomina como Bertha, este sector tiene potencial exploratorio amplio con zonas de hasta 30 metros de mineralización.

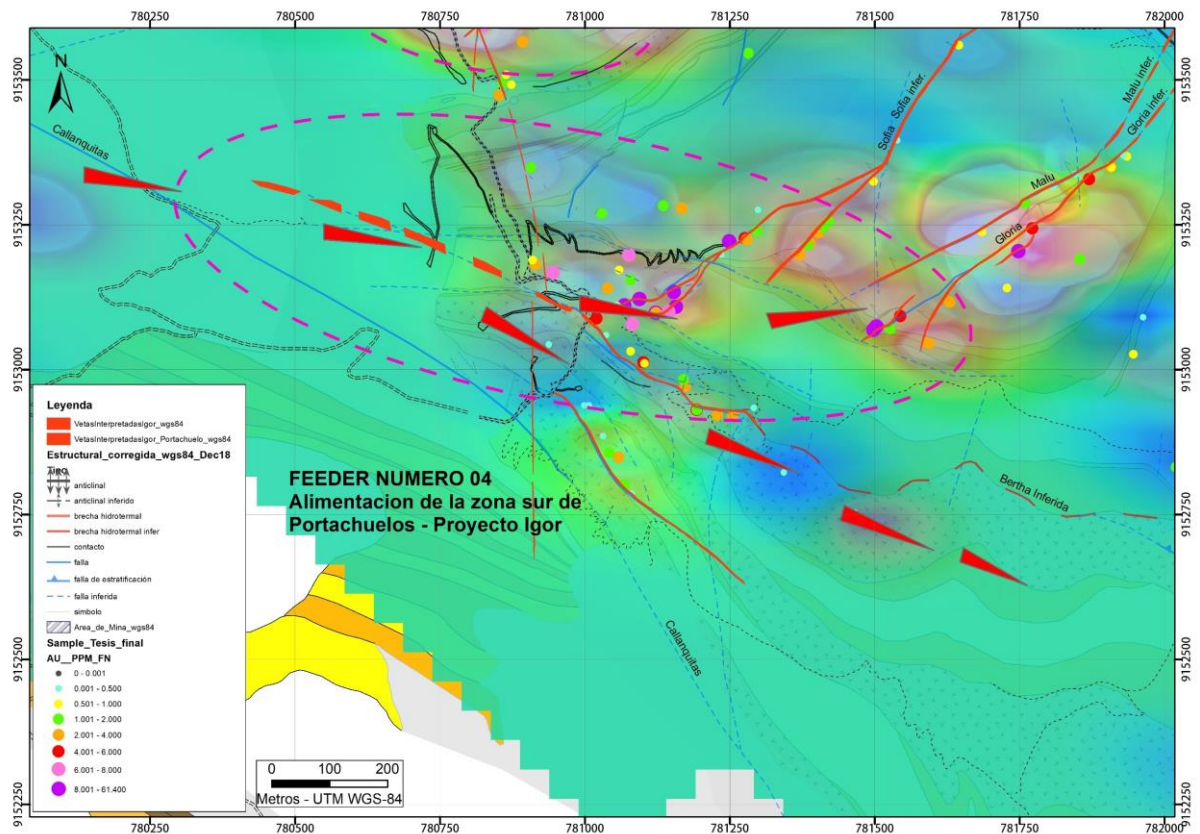


Figura 104. Mapa Geoquímico con superposición de capas donde se muestra el feeder Nro. 04 (Fuente: Propia)



VI. CONCLUSIONES

- a) Las brechas y vetas en Callanquitas tienen una correlación geoquímica directa de igual o mayor a 0.5 con los elementos Au, Ag, As, Bi, Cu, Fe, Pb, Sb y Sn; esta correlación está clasificada de media a muy fuerte. La geoquímica para estructuras mineralizadas Callanquitas Este y Callanquitas Oeste alcanza una ley máxima de 0.40m @ 63.13 ppm Au y otra muestra de 0.50m @ 6475 ppm de Ag. La litología de tipo veta demostró ser las más ricas del proyecto Igor con una media de 8.79 ppm de Au, 206.99 ppm de Ag; siguiendo las brechas hidrotermales tienen una media de 2.25 ppm de Au y 127.86 ppm de Ag; las brechas tectónicas, fallas tienen una media de 0.75 ppm de Au, 32.12 ppm de Ag.
- b) Los mapas probabilísticos de los elementos correlacionados al Au demostraron que existen 04 nuevas zonas anómalas que tienen gran potencial económico ligadas al Au en estructuras mineralizadas relacionadas a hidrotermalismo. Estos potenciales se encuentran fuera de la zona de cubicación de recursos inferido y medidos de la Mina Callanquitas; las nuevas áreas de interés económico se denominaron Zona Sur-Este del proyecto Igor, Zona – Portachuelos, Zona Nor-Este, Mina Callanquitas, Zona Nor-Oeste, Mina Callanquitas.



VII. RECOMENDACIONES

1. Tener en cuenta los parámetros estadísticos y geoquímicos obtenidos para las formaciones Chicama, Chimu y Carhuaz es sus distintos tipos de litologías para futuras exploraciones en la franja metalogenetica. Como también tener en cuenta el contacto entre los estratos ya que estos podrían albergar mantos mineralizados de alta ley en Au.
2. Continuar con la exploración en las zonas marcadas como potenciales económicos geológicos para la ampliación de recursos inferidos de la mina Callanquitas.
3. Usar como guía para la exploración los distintos tipos de brechas que se muestra en la presente investigación ya que estas se correlación al Au.



VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, M. A. (2012). Introducción al Muestreo Minero. In *Instituto de Ingenieros de Minas de Chile*.
- An, W., Chen, J., Chen, X., Wei, J., & Wei, Z. (2020). Ideal Element Distribution Pattern and Characteristics of Primary Halo in the Fault-Controlled Ore Zone of the Yidinan Gold Deposit, Gansu Province, China. *Natural Resources Research*, 29(5), 2867–2880. <https://doi.org/10.1007/s11053-020-09646-y>
- Blanco, J. (1985). *Importancia del muestreo en un Programa de Geoquímica de Exploración, IX Congreso Geológico Argentino (IX Congres)*.
- Buenaventura. (2016). *Manual de muestreo geoquímico*. <https://es.slideshare.net/forellan/manual-de-muestreo>
- Calcina, M. (2008). *Prospección Geoquímica*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Canchaya, S. (2016). *Curso de muestreo y QA/QC*. 6–7.
- Castillejo, J. L. (2014). *Metodología de estimación de recursos minerales, prospecto Shahuindo, Cajamarca - Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Chuquiruna W, C. J. E. (2018). Análisis Geoestadístico Multivariable para identificación de anomalía del oro, Ayahuanca – Puno. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 21(41), 91–98. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v21i41.14997>
- De la Cruz W, J., & Chacaltana, C. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de carhuaz (19-h).
- Emery, X. (2013). Conceptos generales sobre el modelamiento geoestadístico de datos. *Geoestadística*.
- Espinel, M. (2018). *Informe General QA/QC Junio 2018 (Issue 06)*.
- Galliski. (2006). *Geochemistry and Structural State of Columbite-Group minerals from*



- granitic pegmatites of the Pampean Ranges. Canadian Mineralogist.*
- García, A. (1992). Estadística aplicada: Conceptos básicos. *Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid.*
- Gutierrez, M. (2018). *Informe de perforacion diamantina 2017-2018 Proyecto Igor PPX Mining.*
- Hosking. (1951). *Método geoquímico de exploración.*
<http://www.unalmed.edu.co/~rrodriguez/geologia/geoquimica.htm>
- McBratney, A. (1986). “*Choosing Functions for Semi-variograms of Soil Properties and Fitting Them to Sampling Estimates*” (Journal of).
- Morales, A. (1985). *Técnicas y métodos usados en exploración geoquímica y geofísica. Manual 17.*
- Oliver, M. (1990). “Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems.” *International Journal of Geographic Information Systems*, 313–332.
- Oyarzun, J. (2013). *Exploracion minera Universidad Catolica del Norte.*
- Ppx Mining Corp. (2020). *Exploration History.* Ppx Mining Corp.
<https://ppxmining.com/exploratin-history/>
- Reyes Luis. (1980). Geología de los cuadrangulos de cajamarca, san marcos y cajabamba. *Boletin no. 31 Instituto Geologico Minero Y Metalurgico.*
- Rivera, H. (2007). *Introducción a la geoquímica general y Aplicada.* Auspicio Académico de FIGMMG-UNMSM-Perú.
- Rose, A. (1979). *Geochemistry in Mineral Exploration. Academic.* (G. in M. E. Academic. (ed.)).
- Royle, A. (1981). *Practical Universal Kriging and Automatic Contouring.*
- Sinclair, A. (1986). *Statical Interpretation of soil Geochemical data in “Exploration Geochemistry desingn and interpretation of soil Surveys.”*



- Tietz, P. T., L. Dyer, T., Seamons, J., Uceda, D., & Burga, E. (2018). Technical report and Pre-Feasibility Study on the Igor project at the request of PPX Mining Corp. In *Vancouver, British Columbia*.
- Vallance, J., Balboa, M., Berna, B., Cabrera, O., Baya, C., Baby, P., & Pokrovski, G. S. (2018). Oro y material organico en el deposito de shahuindo (Cajamarca ,. *Xix Congreso Peruano De Geología, October, 2016–2019*.
- Vasquez, O. (2009). “ *Distribución De Tierras Raras Y Otros Elementos Traza En La Franja Polimetálica 9º-10ºs Del Perú Central .*” Universidad Nacional de Cajamarca.
- Warren. (1956). *Métodos geoquímicos de exploración minera*.
- Williams, C. K. (1998). *Prediction with Gaussian Processes: From Linear Regression to Linear Prediction and Beyond*. https://dx.doi.org/10.1007%2F978-94-011-5014-9_23



ANEXOS

Anexo 01 Línea de Sección N4612

Anexo 02 Matriz de correlación de muestras de superficie

Anexo 03 Histograma geoquímico Strip Log Sondaje diamantino CA-18-94

Anexo 04 Mapa de superposición de capas

Anexo 05 Sección longitudinal veta Callanquitas Este

Anexo 06 Sección longitudinal veta Callanquitas Oeste

Anexo 07 Mapa geológico a escala 1/7500

Anexo 08 Base de datos de muestras superficie en Au, Ag.

Anexo 09 Base de datos de perforación CA-18-94 (muestra de la data total)