



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y
Geográfica
Unidad de Posgrado

**Control de calidad en muestras de carbón antracita
para la optimización de la base de datos geológica bajo
la Norma NI-43101 en proyecto de carbón ubicado en
la Cuenca Altochicama**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Geología con
mención en Recursos Mineros

AUTOR

Marco David CARRASCO RODRÍGUEZ

ASESOR

Dr. Jaime César MAYORGA ROJAS

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Carrasco, M. (2022). *Control de calidad en muestras de carbón antracita para la optimización de la base de datos geológica bajo la Norma NI-43101 en proyecto de carbón ubicado en la Cuenca Altochicama*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	MARCO DAVID CARRASCO RODRÍGUEZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07631697
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-9512-166X
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	JAIME CESAR MAYORGA ROJAS
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10369482
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8423-3343
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	JORGE EDUARDO CHIRA FERNÁNDEZ
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07342254
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ALFONSO ALBERTO ROMERO BAYLÓN
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	31625834
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	GUILLERMO NICANOR DÍAZ HUAINA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07426765
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	JAIME CESAR MAYORGA ROJAS
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	10369482
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.8. Geoquímica
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Departamento: La Libertad Provincia: Otuzco Distrito: Usquil Latitud: -7.7530 Longitud: -78.4084
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2020 – Diciembre 2021
URL de disciplinas OCDE	Geología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06 Geoquímica, Geofísica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.04 Mineralogía https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.02



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Lima, a los veinticinco días del mes de mayo del año 2022, siendo las 15:00 horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 000284-2022-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 19 de mayo del 2022, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TITULO

«CONTROL DE CALIDAD EN MUESTRAS DE CARBÓN ANTRACITA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS GEOLÓGICA BAJO LA NORMA NI-43101 EN PROYECTO DE CARBÓN UBICADO EN LA CUENCA ALTOCHICAMA»

Que, presenta el Bach. **MARCO DAVID CARRASCO RODRÍGUEZ**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GEOLOGÍA CON MENCIÓN EN RECURSOS MINEROS**.

El Secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente digital N° UNMSM-20210072806 del 06 de octubre del 2021, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente en conformidad al Art. 100 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

Muy Bueno 18

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GEOLOGÍA CON MENCIÓN EN RECURSOS MINEROS** al Bach. **MARCO DAVID CARRASCO RODRÍGUEZ**.

Siendo las 16:00 horas, se dio por concluido al acto académico.

DR. JORGE EDUARDO CHIRA FERNÁNDEZ
Presidente

DR. ALFONSO ALBERTO ROMERO BAYLÓN
Secretario

MG. GUILLERMO NICANOR DÍAZ HUAINA
Miembro

DR. JAIME CÉSAR MAYORGA ROJAS
Asesor

DEDICATORIA

A mi familia que tanto amo

Erika Origgi Panaifo,

Ludwig Carrasco Origgi (Lud) y

Antonella Carrasco Origgi (Toti)

A mis padres José Antonio Carrasco Espinoza (Pepe) y Onelia Raquel
Rodríguez Rabines

A mis hermanos Roxana y José

A Sarita Panaifo Vargas (La Tita)

AGRADECIMIENTO

A la empresa donde laboro por darme la oportunidad de aprender temas de geología.

A mi asesor el Doctor Jaime Cesar Mayorga Rojas y a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la UNMSM.

A mis profesores de la Maestría, por compartir sus valiosos conocimientos y experiencia conmigo.

A mis amigos ingenieros de geología, ingenieros de minas, ingenieros metalurgistas, ingenieros químicos, compañeros de trabajo y compañeros de la Maestría.

A todas las personas que de alguna manera me ayudaron a culminar esta tesis y maestría.

Contenido

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Situación problemática	1
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema General.....	3
1.2.2. Problemas Específicos	3
1.3. Justificación de la investigación	4
1.4. Objetivos de la investigación.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes del problema.....	7
2.2 Bases Teóricas.....	15
2.2.1 Definiciones	15
2.2.2 Actividades Control de Calidad	23
2.2.3 Gestión de Base de Datos Geológicas	24
2.3 Marco Conceptual	27
CAPITULO III HIPÓTESIS.....	30
3.1 Hipótesis general.....	30
3.2 Hipótesis específicas	31
3.3 Identificación de variables	32
3.3.1 Variable Independiente.....	32
3.3.2 Variable Dependiente	32
3.4 Operacionalización de Variable	33
3.5 Matriz de Consistencia	34
CAPITULO IV: METODOLOGÍA	35
4.1 Tipo y diseño de la investigación	35
4.2 Unidad de análisis	36
4.2.1 Ubicación	36
4.3 Población de estudio	38
4.4 Tamaño de muestra	39
4.5 Selección de muestra.....	39
4.6 Técnicas de recolección de datos.....	40

4.7	Análisis e interpretación de la información	42
4.7.1	Procedimiento metodológico de la investigación.....	43
4.7.2	Metodología del Programa de Calidad y Control de Calidad	43
4.7.3	Actividades de exploración y control de calidad.....	44
4.7.4	Herramientas y técnicas	45
4.7.5	Protocolos para el Control de Calidad	46
4.7.6	Metodología de comparación de resultados de laboratorios externos.....	47
4.7.7	Metodologías asociadas a los estándares de calidad.....	48
4.7.8	Seguridad en la gestión de muestras	48
4.7.9	Métodos de muestreo	49
4.7.10	Métodos de preparación de muestras	50
4.7.11	Métodos Analíticos.....	52
4.7.12	Representatividad de las muestras	55
4.7.13	Factores que pueden ocasionar errores en la calidad de los resultados.....	56
4.7.14	Elaboración de Base de Datos optimizada.....	61
4.7.15	Procedimiento de verificación de la información.	63
CAPITULO V: ENTORNO GEOLÓGICO		67
5.1	Entorno geológico y mineralización	67
5.1.1	Geología Regional	69
5.1.2	Geología Local.....	70
5.2	Estratigrafía	70
5.2.1	Formación Chicama (Js-Chi).....	71
5.2.2	Formación Chimú (Ki-Chim)	72
5.2.3	Formación Santa (Ki-Sa)	72
5.3	Litología del proyecto	73
5.3.1	Carbón Antracita TIPO 1.....	74
5.3.2	Carbón Antracita TIPO 2.....	74
5.3.3	Material estéril.....	74
5.3.4	Carbón Antracita TIPO 3.....	74
5.3.5	Carbón Antracita TIPO 4.....	75
5.3.6	Carbón Antracita TIPO 5.....	75
5.3.7	Cuarcita.....	76
5.3.8	Arenisca	77
5.3.9	Lutitas.....	77

5.3.10 Pizarras	78
5.3.11 Brecha Crakelada	78
5.3.12 Dacitas	78
5.3.13 Diorita	79
5.4 Controles geológicos relevantes	80
5.5 Mineralización.....	81
CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	83
6.1 Integración del proyecto	84
6.2 Toma de muestras.....	85
6.3 Control de calidad en logueo geológico de las muestras	86
6.3.1 Identificación de litología	87
6.3.2 Identificación de zonas de mineralización	88
6.4 Control de calidad en logueo geotécnico	88
6.5 Control de calidad de las muestras para Densidad	91
6.6 Control de Calidad en análisis químicos	93
6.6.1 Comparación de resultados de laboratorios externos.....	94
6.6.2 Análisis estadísticos de resultados.....	95
6.6.3 Análisis de error en los resultados.....	113
6.7 Control de calidad en cadena de custodia	118
6.8 Control de calidad en la base de datos.....	118
6.8.1 Recolección de información.....	119
6.8.2 Verificación de datos.....	120
6.8.3 Tratamiento de datos	120
6.8.4 Ingreso a base de datos	127
6.8.5 Base optimizada	127
CONCLUSIONES	135
RECOMENDACIONES.....	138
REFERENCIAS	139
Anexos	145
Anexo 1. Metodología del programa de calidad para las actividades de exploración	145
Anexo 2. Criterios para determinar la calidad de la información en la base de datos.....	147
Anexo 3. Estándar de declaración para proyectos mineros. NI 43-101 ..	149
Anexo 4. Paper 88-21 Sistema de reporte estándar de Recursos y Reservas de carbón para Canadá	151

Anexo 5. Clasificación ASTM estándar de Ranking de Carbones – D388-05.....	154
Anexo 6. Yacimientos de carbón en el mundo	155

Lista de Tablas

Tabla 1 Actividades de Exploración e Información Geológica	11
Tabla 2 Criterios de Control de Calidad	58
Tabla 3 Criterios de Evaluación de Precisión.....	59
Tabla 4 Criterios de Evaluación de Exactitud.....	59
Tabla 5 Criterios de Control de Contaminación	60
Tabla 6: Resultados de Evaluación Geotécnica.....	90
Tabla 7: Muestras para análisis de Gravedad Especifica (g/cm3).....	92
Tabla 8: Análisis de Densidad en muestras de carbón antracita.....	93
Tabla 9: Datos Estadísticos de Carbón Fijo en muestras de Carbón Antracita	98
Tabla 10: Datos Estadísticos de Material Volátil	99
Tabla 11: Datos Estadísticos de contenido de cenizas.....	100
Tabla 12: Datos Estadísticos de contenido de azufre	101
Tabla 13: Datos Estadísticos de humedad.....	102
Tabla 14: Datos Estadísticos de Poder Calorífico.....	103
Tabla 15: Datos Estadísticos de Carbón Fijo vs contenido de cenizas en muestras de Carbón Antracita	105
Tabla 16: Datos Estadísticos de Carbón Fijo vs material volátil en muestras de Carbón Antracita	106
Tabla 17: Datos Estadísticos de Carbón Fijo vs contenido de azufre en muestras de Carbón Antracita	107
Tabla 18: Datos Estadísticos de Material Volátil vs contenido de azufre en muestras de Carbón Antracita	108
Tabla 19: Datos Estadísticos de QQ Plot para Carbón Fijo en muestras de Carbón Antracita	109
Tabla 20: Datos Estadísticos de QQ Plot para Material Volátil en muestras de Carbón Antracita	110
Tabla 21: Datos Estadísticos de QQ Plot para contenido de cenizas en muestras de Carbón Antracita	111
Tabla 22: Datos Estadísticos de QQ Plot para contenido de azufre en muestras de Carbón Antracita	112
Tabla 23: Consistencia de los resultados obtenidos	120
Tabla 24: Clasificación de Carbones según contenido de Carbón Fijo y Poder Calorífico	121
Tabla 25: Datos Estadísticos de Carbón Fijo en muestras de Carbón Antracita en base de datos Optimizada	123
Tabla 26: Datos Estadísticos de Poder Calorífico en muestras de Carbón Antracita en base de datos Optimizada	124
Tabla 27: Datos Estadísticos de Contenido de Cenizas en muestras de Carbón Antracita en base de datos Optimizada.....	125
Tabla 28: Datos Estadísticos de Contenido de Material Volátil en muestras de Carbón Antracita en base de datos Optimizada	126
Tabla 29: Datos Estadísticos de Contenido de Azufre en muestras de Carbón Antracita en base de datos Optimizada	127

Tabla 30: Datos optimizados de Carbón Fijo	128
Tabla 31: Datos optimizados de Poder Calorífico	129
Tabla 32: Datos optimizados de contenido de cenizas	129
Tabla 33: Datos optimizados de contenido de material volátil	130
Tabla 34: Datos optimizados de contenido de azufre	130

Lista de Figuras

Figura 1. Componentes de programa de calidad	15
Figura 2. Clasificación estadounidense del carbón.....	19
Figura 3 Contenido del reporte bajo la norma NI43-101	22
Figura 4. Características de los datos geológicos dentro de la base de datos	25
Figura 5. Diseño Transaccional y tipo correlacional-causales	36
Figura 6. Mapa Regional Cuenca Altochicama	37
Figura 7. Mapa del área estudio	38
Figura 8. Etapas del proyecto minero.....	41
Figura 9. Actividades de exploración, técnicas de recolección de datos y norma NI43-101	45
Figura 10. Control de Calidad en las actividades mineras.....	46
Figura 11. Protocolos de calidad aplicados en las actividades de geología de campo y perforación	47
Figura 12. Seguridad de la información en las actividades de exploración ..	49
Figura 13. Parámetros de análisis del carbón antracita.....	53
Figura 14. Métodos para ensayos de Densidad.....	54
Figura 15. Control de calidad de humedad en cores	55
Figura 16. Diagrama Funcional de la Base de Datos	61
Figura 17. Flujo de procesos para la elaboración de la Base de Datos optimizada.....	62
Figura 18. Metodología de verificación de datos.....	65
Figura 19. Verificación de la información	66
Figura 20. Unidades Estratigráficas del Área de Estudio.....	69
Figura 21. Columna Estratigráfica Regional del Proyecto	71
Figura 22. Características de los mantos de carbón antracita.....	81
Figura 23. Mineralización en área de estudio	82
Figura 24. Resultados de la integración del proyecto	85
Figura 25. Parámetros de Logueo Geotécnico	90
Figura 26. Histograma de densidad para muestras de Carbón Antracita.....	92
Figura 27. Comparación de resultados de laboratorios externos	95
Figura 28. Histograma Carbón Fijo en muestras de carbón antracita	97
Figura 29. Histograma de Material Volátil en muestras de carbón antracita	98
Figura 30. Histogramas de contenido de Cenizas en muestras de carbón antracita	99
Figura 31. Histogramas de contenido de Azufre en muestras de carbón antracita	100
Figura 32. Histogramas de Humedad en muestras de carbón antracita	101
Figura 33. Histogramas de Poder Calorífico en muestras de carbón antracita	102
Figura 34. Carbón Fijo vs contenido de cenizas	104
Figura 35. Carbón Fijo vs Material Volátil	105

Figura 36. Carbón Fijo vs Contenido de Azufre	106
Figura 37. Material volátil vs Contenido de Azufre.....	107
Figura 38. QQ Plot para Carbón Fijo en muestras de carbón antracita.....	109
Figura 39. QQ Plot para Material Volátil en muestras de carbón antracita.	110
Figura 40. QQ Plot para contenido de cenizas en muestras de carbón antracita	111
Figura 41. QQ Plot para contenido de azufre en muestras de carbón antracita	112
Figura 42 Protocolos de calidad del laboratorio externos	113
Figura 43. Resultados de muestras blanco.....	114
Figura 44. Resultados de precisión Carbón Fijo de muestras de carbón antracita	115
Figura 45. Resultados de precisión contenido de cenizas de muestras de carbón antracita	115
Figura 46. Resultados de precisión Material Volátil de muestras de carbón antracita	116
Figura 47. Resultados de precisión contenido de azufre de muestras de carbón antracita	117
Figura 48. Datos recolectados durante las actividades de exploración.....	119
Figura 49. Histograma de carbón Fijo para muestras de carbón antracita en base de datos optimizada.....	122
Figura 50. Histograma de Poder Calorífico para muestras de carbón antracita en base de datos optimizada.....	123
Figura 51. Histograma de contenido de Cenizas para muestras de carbón antracita en base de datos optimizada.....	124
Figura 52. Histograma de contenido de Material Volátil para muestras de carbón antracita en base de datos optimizada.....	125
Figura 53. Histograma de contenido de azufre para muestras de carbón antracita en base de datos optimizada.....	126

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación problemática

En el Perú existe una diversidad de minerales no metálicos dentro de los cuales se encuentra el carbón antracita, mineral que se viene explotando en las diversas cuencas carboníferas del país de manera formal, artesanal e informal. Perú ocupa el quinto puesto de los países que exportan carbón antracita a nivel mundial con 600,000 toneladas por año de acuerdo a la Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (SUNAT, 2019).

La falta de desarrollo de la industria minera de carbón en el Perú, aunado con la escasez de proyectos mineros de carbón y el poco conocimiento de las aplicaciones futuras de este mineral en la industria, no permite promover la industria del carbón en nuestro país. Luego de una búsqueda exhaustiva en las fuentes de información del sector industrial formal y las autoridades sectoriales no se ha encontrado estudios de investigación sobre las aplicaciones de carbón antracita y en consecuencia tampoco información relevante de control de calidad y bases de datos confiables de acuerdo a las actuales prácticas internacionales.

En Perú, existe escasa información sobre estudios de investigación que contengan datos de las cuencas carboníferas tales como cuenca Yura, Oyon, Santa, Altochicama, Goyallarisquizga, Jatunhuasi, Cajamarca, Chilcayo y Alto Pativilca. Si bien, se realizaron estudios preliminares de las principales

cuencas carboníferas de manera descriptiva, mostrando los principales aspectos del carbón peruano se muestra poca información sobre los procedimientos de control de calidad en bases de datos geológicas (Carrascal, 2000).

Considerando que para desarrollar proyectos de inversión en carbón destinados a bolsas de valores internacionales es necesario el desarrollo de perfiles técnicos o proyectos de factibilidad, los cuales son elaborados con metodologías aceptadas por la industria minera internacional tales como la NI 43-101 publicado por Canadian Institute of Mining Metallurgy and Petroleum (CIM, 2021) y JORC Code (Jorc Code, 2021) y en donde se detallan información relevante de interés para los inversionistas , en el Perú no se ha generado mayor valor de conocimiento en este sector industrial en los últimos años.

Tal como es señalado en la asociación mundial de productores de carbón (World Coal Association , 2020), el carbón antracita es un material escaso que representa menos del 1% del Carbón mundial.

Otros países como Australia, en The Australian Coal Industry's Research Program (ACARP, 2021), centro donde se buscan nuevas aplicaciones que permita al Carbón adaptarse a las limitaciones ambientales y buscando nuevos materiales del futuro tales como el Grafeno (Francia Brevet n° WO 2010/079291, 2010).

Los problemas ocasionados por la falta de control calidad y bases de datos confiables tomaron mayor relevancia cuando en 1993 la empresa Bre-X fue un grupo de compañías canadienses, Bre-X Minerals Ltd que protagonizó un problema asociado a la declaración de Recursos y Reservas minerales de oro en un depósito de oro ubicado en Borneo, Indonesia según se publicó en Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (CRIRSCO, 2021).

En ese sentido, dada la falta de medidas de control de calidad en muestras de carbón y bases de datos basadas en normas internacionales como NI43-

101 y Jorc Code, se hace difícil poder promover los proyectos mineros de carbón en bolsas de valores mundial como Bolsa de Toronto, Bolsa de New York, Bolsa Australiana o Bolsa de Londres, y en consecuencia generar mayor inversión para el País.

De acuerdo a lo antes mencionado, se propone desarrollar una investigación sobre el control de calidad en muestras de carbón antracita para un proyecto ubicado en la cuenca de Altochicama, que permitan la optimización de bases de datos acorde a los lineamientos de la norma internacional NI 43-101.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

- De qué manera con la aplicación del control de calidad en muestras de carbón antracita se logrará la optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101

1.2.2. Problemas Específicos

- En qué medida la aplicación de procedimientos de calidad en el muestreo en carbón antracita permite la optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101.
- De qué manera con la aplicación medidas de control de calidad en muestras de carbón antracita se logrará la optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101.
- De qué manera el cumplimiento de los métodos estandarizados permite optimizar la base de datos geológica.
- En qué medida la calidad de datos permitirá optimizar la base de datos.
- De qué manera la representatividad de los datos geológicos permitirá optimizar una base de datos geológica.

- En qué medida la característica litológica de las muestras permitirá optimizar la base de datos geológicas.

1.3. Justificación de la investigación

Con el fin, de generar valor al proyecto minero de carbón antracita, mejorar la competitividad del país, y de impulsar la industria minera dado que representa un sector importante y estratégico en la economía a nivel nacional, se hace indispensable implementar los programas de control de la calidad dentro del cual se encuentra el control de calidad para muestras de carbón antracita que permita optimizar bases de datos geológicos en el marco de la norma internacional NI43-101.

De esta manera contando con una base de datos confiable que se basen en procedimientos y metodologías estandarizadas, aceptadas y adecuadas por la industria tal como la Norma Internacional NI43-101, para la interpretación geológica, estimación de Recursos y Reservas, se logrará incentivar los proyectos de inversión en la industria de carbón antracita.

El control de calidad de muestras es aplicado a las actividades de exploración desde su etapa inicial, posteriormente en la etapa de explotación de la mina para realizar el óptimo plan de minado y finalmente en la etapa de cierre de mina en la búsqueda de nuevas oportunidades de dar mayor vida a la mina.

Contar con la base de datos geológica confiable basada en información obtenida con el debido control de calidad de las muestras basada en la norma NI43-101 para el proyecto de carbón antracita permitirá desarrollar reportes técnicos y estudios de factibilidad bancaria facilitará la promoción del proyecto en bancos de inversión, inversionistas, ferias internacionales de capital, autoridades y stakeholders en general.

Asimismo, implementando en la industria de carbón estándares internacionales permitirá mejorar el estándar del sector industrial y ser una guía técnica para otras empresas del mismo rubro. La calidad de la información juega un papel importante en la toma de decisiones para la inversión en este tipo de proyectos mineros. En tal sentido, el control de la calidad y las bases de datos geológicos confiables elaborados con las adecuadas herramientas y metodologías permitirán tener la base geológica óptima para el desarrollo de perfiles económicos destinados a promover las propiedades de la empresa y la inversión en el país.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

- Aplicar el control de calidad en muestras de carbón antracita para optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Aplicar de los procedimientos de calidad en muestreo de carbón antracita para la optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101.
- Aplicar los estándares de calidad en muestras de carbón antracita para optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101.

- Determinar el nivel de cumplimiento de los métodos estandarizados en las muestras de Carbón Antracita para optimizar la base de datos geológica bajo la norma NI 43-101.
- Determinar la calidad de los datos geológicos para optimizar la base de datos.
- Determinar la representatividad de los datos geológicos para optimizar una base de datos geológica.
- Determinar las características litológicas de las muestras con el fin de optimizar la base de datos geológicas.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

La industria de carbón en el Perú ha sido escasamente estudiada durante los últimos años y en particular el área de control de calidad. En tal sentido, es necesario desarrollar con mayor detalle y buscar la relación con la base de datos geológico que permita contar con información confiable para la interpretación geológica y estimación de Recursos. Es posible utilizar experiencias de la industria de carbón y de otros sectores industriales, de esta manera mejorar los estándares de calidad de la industria de carbón en el país. A nivel nacional se cuenta con investigaciones relacionadas al control de calidad de los datos y su implicancia en la caracterización de depósitos mineros.

Cossio y Rivera (2017) investigaron las implicancias del zinc en el tratamiento metalúrgico del cobre en la Mina Toquepala, inherentes a este tipo de yacimiento. La investigación correlacionó los datos aplicados para la definición de dominios geológicos y la aplicación de controles de calidad y evaluación estadística para la elaboración de una base de datos que permitió desarrollar la interpretación geológica y la estimación de Recursos minerales la cual se basó en el conocimiento de las características y comportamiento geoquímico del zinc y los elementos Cu-Mo-Fe-As-Pb. partiendo de la definición de dominios geológicos basados a los dominios de litología, alteración, mineralización y presencia de yeso.

El objetivo fue analizar que la correcta determinación de los parámetros de la estadística y calidad descriptiva de los elementos Zn-Cu-Mo-Fe-As-Pb es fundamental para poder caracterizar los dominios y realizar una óptima clasificación del material geológico para su envío a la planta metalúrgica.

Como metodología se utilizaron datos de análisis de control de calidad a nivel de detección geoquímica, los datos pertenecen a Zn-Cu-Mo y Fe-As-Pb, asimismo, se usó métodos de control de calidad que permitieron contar con información estadística y gráficos de calidad para la caracterización geoquímica del Zn.

La base de datos utilizada para la investigación consideró una importante cantidad de información. El total de las muestras de los sondeos exploratorios comprende 9,370 datos referidos al Zn-Cu-Mo-Fe-As-Pb, siendo la mayor cantidad de muestras tomadas de los dominios litológicos de diorita y brecha. Los análisis de control de calidad y estadístico para determinar la confiabilidad de las muestras presentan datos de Media, Error típico, Mediana, moda, desviación estándar, Varianza de la muestra, Curtosis, Coeficiente de asimetría y rangos, se obtuvo la matriz de correlación de Pearson y nos da el comportamiento del zinc con respecto a otros elementos.

Con esta información fue posible determinar las características para cada dominio e información geoquímicas que permita definir la calidad del mineral asociados a los Recursos y Reservas minerales a enviar a planta de beneficio y así conocer la variabilidad con respecto a la geo metalurgia del depósito.

La investigación de Cáceres (2017) tuvo por objetivo determinar la influencia del modelo geometalúrgico en la optimización de la explotación y beneficio de oro. El yacimiento está constituido por un cuerpo diseminado de oro de origen hidrotermal, del tipo epitermal de intermedia a alta sulfuración, emplazado en un cruce de estructuras Nor-Oeste/Nor-Este, habiéndose identificado 2 targets

con interesante potencial económico en oro, el target Nor-Oeste y el Target Central.

Como parte del análisis se definió un área de 1100 hectáreas, se seleccionaron 2900 muestras, 1000 en superficie y 1900 obtenidas en taladros diamantina. Los métodos de muestreo siguieron los métodos de rock chips en afloramientos visibles, canales, calicatas, trincheras, muestras de mano y muestras en cores.

En este estudio toma relevancia la implementación y aplicación de los protocolos de control de calidad, los cuales estuvieron a cargo del autor del estudio, el cual realizó el análisis estadístico con el fin de verificar la confiabilidad de los datos y de esta manera contar con una base de datos que permitiría desarrollar el modelo geo metalúrgico. En el año 2017, Cáceres menciona en la investigación “Las muestras para el estudio geoquímico fueron enviadas a laboratorios serios y con la suficiente experiencia que garantice la calidad de los análisis aplicando los controles necesarios QA/QC.” (Pág. 66).

El protocolo de calidad consideró el uso del Coeficiente de Correlación de Pearson como análisis estadístico. Se realizó una matriz espacial con este coeficiente y se obtuvo la relación entre la dispersión de Au en superficie y subsuelo, de esta manera permite priorizar áreas de exploración y los límites en los cuales se podría continuar profundizando las perforaciones.

Es importante hacer mención a (Wojciech Naworyta, Szymon Sypniowski , Jörg Benndorf , 2015) los que investigaron y analizaron posibles fluctuaciones y desviaciones en la calidad del carbón lignito en el depósito, con el fin de optimizar la producción y reducir la variabilidad de los productos finales. Se seleccionó un único parámetro de calidad del depósito para este análisis (el valor calórico del lignito crudo Kcal/Kg). El objetivo de la investigación fue analizar la variabilidad del depósito, la secuencia de extracción y la opción de mezcla del material.

La metodología de análisis se basó en data obtenida durante las actividades de perforación de 68 perforaciones diamantina. En esta investigación se

generó una base de datos geológicos que permitió desarrollar un modelo de variabilidad espacial y un análisis basado en dos enfoques de modelización, Kriging y simulación gaussiana secuencial, con el fin de evaluar el control de la calidad de la materia prima. El control de calidad se dividió en 3 etapas identificación de los parámetros críticos, plan de minado, explotación y producción.

Los resultados obtenidos mostraron la variabilidad en el depósito. Se obtuvieron histogramas, parámetros estadísticos y se logró elaborar mapas de variabilidad. Se conoció las zonas del depósito con diferentes calidades de carbón y de esta manera identificar las zonas potenciales de blending. Se confirmó que el depósito presenta baja volatilidad en el parámetro de poder calorífico lo que permite conocer el blending idóneo a procesar en la planta de clasificación.

El estudio geoestadístico con parámetros críticos de calidad permiten optimizar los costos de operación y elaborar un plan de minado asociado a las características del mercado. Los autores concluyeron que la propiedad de la simulación geoestadística de reproducir la variabilidad in situ puede utilizarse para investigar la variabilidad en función de determinadas opciones de diseño en el sistema de manipulación de materiales.

Chanderman (2015) analizó y re-evaluó el modelo geológico para la estimación de Recursos de la mina Sadiola mediante un método avanzado de control calidad y de grado analizando la base de datos de las campañas de perforación mediante taladros diamantina desarrolladas previamente.

El objetivo de la investigación fue desarrollar una base de datos que permita elaborar un nuevo modelo geológico, nueva estimación de Recursos minerales mediante el análisis de la información obtenida en campañas de perforación desarrolladas en la fase inicial del proyecto y hacer la reconciliación del nuevo modelo con el anterior y así contar con mayor confianza en la estimación de Recursos.

Para el modelamiento se usó la técnica de interpolación de grado y se utilizó el software Leapfrog. La estimación dentro del modelo de Recursos minerales fue realizada mediante el Data Mine. La base de datos Data Mine, permitió

conocer la confiabilidad de los resultados de laboratorio e información geológica a utilizarse en el modelamiento. Se utilizó el Kriging Ordinario y para optimizarlo se utilizó el Kriging cuantitativo análisis de vecindario (QKNA). Importante mencionar que se utilizó una extensa base de datos para el desarrollo del modelo tal como se muestra en el estudio de investigación se utilizó información de diferentes campañas de perforación.

Tabla 1

Actividades de exploración e información geológica

Año	Actividades de Exploración e Información geológica
1998	9 DDH – 450 m + trincheras 800m, 29 DDH – 1506m - 200 m trincheras
1999	19 DDH – 958 m
2001	97 DDH – 8,892 m
2002	75 DDH – 8670 m
2005	182 DDH – 16,322 m

Nota: Fuente. Datos tomados de (Chanderman, 2015)

La investigación utilizó controles de calidad de la información obtenida de los taladros y actividades de exploración. Se hizo un análisis del Sesgo. Este análisis incluyó diagramas de Quartile-Quartile (Q-Q), histogramas para comparar el grado de control y elaborar una base de datos confiable de resultados obtenidos en la exploración.

Se revisó el grado de representatividad de los resultados obtenidos a ser utilizados en la estimación de Recursos. Se eliminó información que fue utilizada en el modelo previo por no ser consistente. Se realizó la comparación estadística de los resultados del grado de control y datos de exploración.

Los resultados del estudio muestran que luego de realizar el análisis de calidad de los resultados y la elaboración de la base de datos geológicos permitió la reconciliación se aumentó el número de Recursos minerales en categoría indicados de 1'473,350 toneladas con un grado de 1.75 g/t y 83,109

onzas y obtener luego de la re-evaluación 1'474,693 toneladas con 1.94g/t y 91,746 onzas.

De acuerdo a Lemesa (2004), la confiabilidad y probabilidad de los modelos geológicos y geomecánicos es importante para la decisión de inversiones económicas, dado que requiere precisión y así conocer riesgos los riesgos asociados a las inversiones. La investigación busca analizar la información geológica para construir un modelo 3D evaluando los factores que afectan la confianza y la probabilidad de los modelos geológicos y geomecánicos basados en análisis de calidad y desarrollo de bases de datos geológicas. Dentro de los objetivos específicos se consideró aplicar el conocimiento geológico marco servir como guía de la elaboración de modelos basados en los criterios y parámetros de diseño. Validar los modelos con 10% de la data restante no usada en la elaboración del modelo y finalmente, evaluar los factores que afectan la confianza y la probabilidad de los modelos.

El método utilizado consideró la información de 63 taladros de los 1,000 taladros disponibles y se cubrió un área de 3.2 Km² de las 90 km², desde el punto de vista geológico se evaluó el Holooceno y Pleistoceno, peat, arena son los principales sedimentos. Se muestra las diferentes formas de presentar las unidades litológicas y formaciones lito estratigráficas. La metodología consideró la integración de datos y elaboración de una base de datos consistente para ser usada en los modelos, extracción de los datos para usar en el modelo, interpretación geológica, construcción de modelos aplicando análisis volumétrico, validación y comparación de los modelos obtenidos considerando el 10% de la data conocida antes de aplicar el modelo.

Desde el punto de vista control de calidad de los datos y base de datos, se analizó el tipo de datos, cantidad de muestras, escala de la investigación, calidad de la interpretación, el juicio y la experiencia de los profesionales involucrados en el estudio, selección de los algoritmos, calidad de los datos (se realizó un ranking de la calidad de los parámetros) y cantidad de estos. Se revisó los elementos y fuentes de información para el desarrollo del modelo.

Se construyeron 4 modelos geológicos a nivel conceptual y fueron generados basados en diferentes tamaños de malla y diferentes algoritmos. Modelos

basados en inspección visual y comparado con parámetros estadísticos tales como espesores y unidades volumétricas.

Los resultados obtenidos mediante el estudio, muestran que los modelos obtenidos omitiendo 10% de los taladros han mostrado valores cercanos al modelo construido con 100% de los taladros. Con los modelos desarrollados es posible comprar el espesor la unidad de volumen. En el estudio se logró hacer el ranking de los modelos y valorar los 3 aspectos básicos que afectan la confiabilidad de los modelos 3D.

La confiabilidad del modelo está asociado a la calidad de base de datos, incertidumbre de la calidad de datos, calidad de la interpretación de cada persona y la selección del algoritmo.

Finalmente, y asociado a una aplicación geológica ambiental los autores (D. Vamvuka, M. Galetakis, C. Roumpos, 2013), evaluaron la calidad del carbón lignito durante su procesamiento mediante clasificación por tamaño. Se evaluó técnicas de control de calidad con el fin de mitigar las variaciones en las características de la calidad del producto final y de esta manera optimizar y reducir costos en la generación de energía en las plantas térmicas.

Debido a la variabilidad en los parámetros físicos del carbón lignito como fuente de energía, la metodología consistió en realizar pruebas laboratorio de muestras de carbón, las cuales fueron secadas, homogenizadas, molidas y así analizar las principales características el carbón lignito tales como tamaño de partícula, humedad, contenido de cenizas y poder calorífico de cada uno de los mantos del depósito. La competitividad del carbón está asociada directamente a la cantidad de emisiones de dióxido de carbono, en ese sentido, se evaluó la relación de las metodologías de control de calidad y su efecto con las emisiones de CO₂.

Como resultado se obtuvo que la comparación de las calidades de carbón lignito los cuales presentan diferentes características fisicoquímicas por tamaño de partículas y su relación con la cantidad de cenizas, poder calorífico y emisión de CO₂. Se identificó que existe una reducción de 2-5% en la

emisión de dióxido de carbono si se controla de manera eficiente la calidad mediante la clasificación por tamaños del carbón lignito.

Se logró conocer que se puede alcanzar una reducción de 11-15% de contenido de cenizas mediante el control de calidad en la selección por tamaños de partícula de carbón. Asimismo, conociendo los tamaños de partículas es posible identificar cuáles son los rangos que generan menor cantidad de emisiones y en consecuencia obtener un procesamiento de carbón de manera eficiente en términos económicos y ambientales.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Definiciones

2.2.1.1 Sistema de Gestión de Calidad

Basado en el estándar de PMI (Project Management Institute, 2018), se diseñó el Programa de Calidad del proyecto el cual considera el Plan de Gestión de la Calidad (PGC), Gestión de Calidad y Aseguramiento de la Calidad (QA), y Control de la Calidad (QC). El PGC busca identificar los estándares de calidad para el proyecto, el objetivo del QA es que los resultados y actividades se hayan realizado siguiendo las mejores prácticas en la industria y satisfagan los estándares de calidad, este incluye actividades de auditoría, y el objetivo de QC es verificar si las actividades de calidad son eficaces, monitorear y controlar los resultados con el fin de realizar cambios si es el caso.

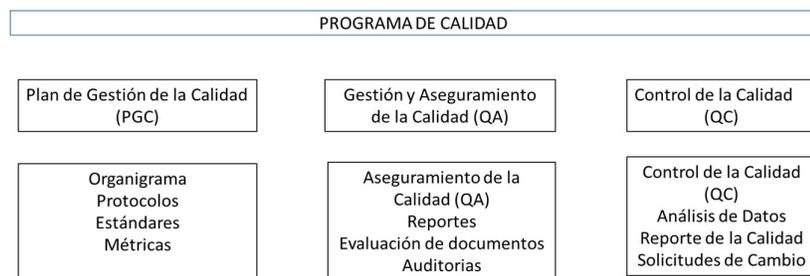


Figura 1. Componentes de programa de calidad

Fuente: Datos tomados de PMI, 2016

En la Figura 1 se muestra la relación entre los principales componentes del Programa de Calidad para un proyecto de exploración y las principales actividades de exploración.

De otro lado, según la Internacional Organization for Standardization (ISO 9000, 2015) menciona asociado al sistema de calidad que la gestión de la calidad puede incluir el establecimiento de políticas de la calidad, los objetivos de la calidad y los procesos para lograr estos objetivos de la calidad a través de la planificación de la calidad, el aseguramiento de la calidad, el control de la calidad y la mejora de la calidad.

El PGC incluye los protocolos desde las actividades previas al inicio de la perforación hasta la validación de los resultados de análisis de laboratorio que serán utilizados en la Estimación de los Recursos y Reservas.

A continuación, se enumeran las principales actividades para el desarrollo de la campaña de las actividades de geología de campo y perforación, en las cuales se aplicaron el PGC: Selección de Empresas, Elaboración de Protocolos, Actividades de Perforación, Supervisión, estudios topográficos, transporte de Cores, Logueo Geológico, Geotécnico, actividades en Coreshake, identificación de muestras, corte o homogeneización, preparación de muestras, análisis de laboratorio, cadena de custodia, base de datos, modelo geológico y estimación de Recursos.

La gestión y aseguramiento de la calidad, es el conjunto de actividades donde se aplican lo definido en el Plan de Gestión de Calidad, para el desarrollo del aseguramiento de la Calidad.

El Control de la Calidad aplicado a las actividades de exploración, permiten corregir las desviaciones propias de las

actividades y así normalizar los resultados para su adecuado uso.

2.2.1.2 **Carbón**

2.2.1.2.1 Definición de Carbón Antracita y usos

El carbón es una roca sedimentaria combustible de origen orgánico que procede de la transformación lenta de materia orgánica de origen vegetal, como consecuencia de procesos ligados al enterramiento. Este proceso global de transformaciones que experimenta un depósito vegetal, bajo condiciones de temperatura y presión crecientes, recibe el nombre de carbonificación (Universidad de Granada - Instituto Nacional del Carbón (CSIC) , 2021)

Las principales categorías de carbón se basan en el porcentaje de carbono que contiene, el cual a su vez depende de la evolución geológica y biológica que ha experimentado el carbón. Las principales clases de carbón son las siguientes:

Turba: Con contenido de carbón entre 50% a 55 %; se forma producto de la fosilización de desechos vegetales por los microorganismos en zonas húmedas y pobres en oxígeno. Comúnmente se encuentra con agua, de colores verde pardusco (iridicentes) amarillento pardo o negro. Es combustible de poca calidad y con poco efecto calórico.

Lignito: El contenido de carbón es de 55% a 75%; se forma cuando se va comprimiendo la turba, es de color negro y suele tener una textura de la madera que lo precede. Se usa como combustible en algunas centrales térmicas.

Hulla: Presencia de carbono de 75% a 85%; se forma cuando las capas de lignito se comprimen, es el tipo más abundante en la naturaleza y es denominado comúnmente carbón de

piedra; es de color negro opaco y graso. Se usa en centrales térmicas, para producir carbón de coque usado en los altos hornos en la industria, la que genera derivados en la industria química como el benceno, naftaleno, fenoles, cresoles.

Antracita: Con contenidos superiores al 85% y que puede llegar al 95%; proviene de la transformación de la hulla; de color negro brillante, duro y difícil de rayar. Es el carbón de mayor calidad, contiene poco contaminante y bajo porcentaje de cenizas y material volátil. Se usa en las calderas de calefacción para viviendas, para generar electricidad.

Este tipo de carbón es el que más abunda en el proyecto Carbón Alto Chicama.

Grafito: Carbono puro, no utilizado como combustible.

2.2.1.2.2 Clasificación del Carbón

Las principales categorías de carbón se basan en el porcentaje de carbono que contiene, el cual a su vez depende de la evolución geológica y biológica que ha experimentado el carbón. Estos nombres pueden ser escritos posterior al análisis de laboratorio en base a los resultados de los ensayos próximos que se realicen.

Existen variadas tablas de clasificación de carbón, la clasificación ASTM es la más usada a nivel mundial. De acuerdo a la última actualización de la clasificación de carbón ASTM D388 – 19A, la clasificación del carbón se divide de acuerdo a los siguientes términos:

Peat	Low-rank coal			Medium-rank coal					High-rank coal			Method for determining rank (dmmf) (U.S. ASTM)		
	Lignite		Sub-bituminous	Bituminous					Anthracitic					
	B	A		high volatile C	high volatile B	high volatile A	medium volatile	low volatile	Semi-anthracite	Anthracite	Meta-anthracite			
	5,000	6,300	8,300	9,500	10,500	11,500	13,000	14,000	Less distinct for changing rank			Calorific value (Btu/lb.)		
	Less distinct for changing rank			Less distinct for changing rank				31	22	14	8	2	-0	Volatile matter (%)
	Less distinct for changing rank			Less distinct for changing rank				69	78	86	92	98	-100	Fixed Carbon (%)

Figura 2. Clasificación estadounidense del carbón

Fuente: ASTM, 2000

2.2.1.3 Composición de los carbones minerales

La composición del Carbón dependiendo de la naturaleza de la materia orgánica se subdividen en Carbones Húmicos y Carbones Sapropélicos.

Macroscópica:

Las bandas que a nivel macroscópico presentan los carbones húmicos se denominan litotipos del carbón (ICCP, 1975). Se pueden diferenciar litotipos básicos: vitreno (bandas brillantes), clareno (bandas semibrillantes), dureno (bandas mate) y fuseno (bandas fibrosas).

En el Perú los carbones son fundamentalmente de tipo húmico presentando los litotipos: vitreno, clareno, dureno y fuseno.

Microscópica: Los carbones están constituidos por diversos componentes orgánicos denominados macerales, los cuales sólo se identifican al microscopio, proporcionando una textura macroscópica a los litotipos. Los macerales han sido clasificados (ICCP, 1963, 1975, 1993) en tres grupos: Huminita/vitrinita, Liptinita e Inertinita en función a su diferente origen y el modo de preservación/evolución en los sedimentos.

Composición Química

El carbón desde el punto de vista de su composición elemental, está constituido por C, H, O y en menor proporción por N y S. Las proporciones de estos elementos variarán en función de su composición maceral y del grado de evolución alcanzado por el carbón. La fracción orgánica del carbón lleva

asociada en proporciones variables normalmente una fracción inorgánica.

2.2.1.4 Aplicaciones y usos de los carbones

Las principales aplicaciones del carbón antracita son las siguientes

- Generación de electricidad. La generación de electricidad es el principal uso del carbón en todo el mundo.
- Producción de metales. El carbón metalúrgico es un ingrediente clave en la fabricación de acero.
- Producción de cemento. El carbón se utiliza como fuente de energía clave en la producción de cemento.
- Gasificación y licuefacción.
- Producción química.
- Otras industrias.

2.2.1.5 Norma Internacional NI43-101

El Instrumento Nacional 43-101 (el "NI 43-101" o el "NI") es un instrumento nacional para las Normas de Divulgación de Proyectos Minerales en Canadá. El Instrumento es un conjunto codificado de normas y directrices para la presentación de informes y la exhibición de información relacionada con las propiedades mineras que son propiedad de empresas o han sido exploradas por ellas, que comunican estos resultados en las bolsas de valores del Canadá. Esto incluye a las entidades mineras de propiedad extranjera que cotizan en bolsas de valores supervisadas por los Administradores de Valores del Canadá, incluso si sólo cotizan en derivados extrabursátiles (OTC) u otros valores instrumentados. En la Figura 3 se presenta el contenido de los informes NI43-101 en donde se

muestran los capítulos o ítems propio de este tipo de documento.

	Title Page
	Date and Signature Page
	Table of Contents
	Illustrations
Item 1	Summary
Item 2	Introduction
Item 3	Reliance on Other Experts
Item 4	Property Description and Location
Item 5	Accesibility, Climate, Local Rrsources, Infrastructure and Physiography
Item 6	History
Item 7	Geological, Setting and Mineralization
Item 8	Deposit Types
Item 9	Exploration
Item 10	Drilling
Item 11	Sample Preparation, Analyses and Security
Item 12	Data Verification
Item 13	Mineral Processing and Metallurgical Testing
Item 14	Mineral Resources Estimates
Item 15	Mineral Reserves Estimates
Item 16	Mining Methods
Item 17	Recovery Methods
Item 18	Project Infrastucture
Item 19	Market Studies and Contracts
Item 20	Environmental Studies, Permitting and Social or Communities Impact
Item 21	Capital and Operating Costs
Item 22	Economic Analysis
Item 23	Adjacent Properties
Item 24	Other Relevant Data and Information
Item 25	Interpretation and Conclusions
Item 26	Recommendations
Item 27	References

Figura 3 Contenido del reporte bajo la norma NI43-101

Fuente: NI43-101

2.2.1.6 Paper 88-21

Esta norma estándar desarrollada por Geological Survey of Canadá, para el reporte de Recursos y Reservas de Carbón, analiza las definiciones, los conceptos y los parámetros

utilizados para determinar el recurso del carbón y las cantidades de reserva, y proporciona un marco para facilitar la clasificación coherente de las cantidades de carbón encontradas en diversos regímenes deposicionales y tectónicos en Canadá.

Los depósitos de carbón, o parte de los mismos, primero se categorizan en términos de su complejidad geológica (tipo de geología) y método de recuperación probable (tipo de depósito). Los métodos para determinar los parámetros de cuantificación, que incluyen el espesor de la veta, la extensión del área y la densidad aparente, se describen para cada categoría de geología/depósito. Dentro de cada categoría de geología/depósito, los Recursos de carbón se dividen aún más, en función de comprobar su existencia, en subdivisiones medidas, indicadas, inferidas y especulativas y de acuerdo con su factibilidad de explotación, en subdivisiones de intereses inmediatos y futuros. Las Reservas de carbón dentro de cada categoría de geología / depósito se subdividen según estén dentro o fuera de las áreas mineras activas, y se pueden informar en bases in situ, recuperables y vendibles.

2.2.2 Actividades Control de Calidad

2.2.2.1 Procedimientos de Control de Calidad

Es el conjunto de procedimientos (protocolos) destinados a garantizar que un producto fabricado o un servicio realizado cumpla con los criterios de calidad o con los requisitos del cliente. Mediante los protocolos de calidad se busca alinear el desarrollo de las actividades con lo establecido en la Norma NI43-101 en la utilización de los mejores estándares de la industria minera.

2.2.2.2 Métodos estandarizados de Control de Calidad

Los estándares de calidad se refieren al conjunto de documentos que contienen las especificaciones, pautas, requerimientos o características que se deben utilizar de manera coherente para poder garantizar que los materiales, productos, procesos y servicios sean adecuados para cumplir con su propósito.

Los estándares de control de calidad se basan en las normas A.S.T.M las cuales se aplicaron a los ensayos químicos como ensayos físicos de las muestras de carbón obtenidas durante las actividades de exploración.

2.2.3 Gestión de Base de Datos Geológicas

2.2.3.1 Base de datos geológica

Una base de datos geológica es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso. Actualmente, y debido al desarrollo tecnológico de campos como la informática y la electrónica, la mayoría de las bases de datos están en formato digital, siendo este un componente electrónico, por tanto se ha desarrollado y se ofrece un amplio rango de soluciones al problema del almacenamiento de datos.

Hay programas denominados sistemas gestores de bases de datos, abreviado SGBD (del inglés Database Management System o DBMS), que permiten almacenar y posteriormente acceder a los datos de forma rápida y estructurada. Las propiedades de estos DBMS, así como su utilización y administración, se estudian dentro del ámbito de la informática.

2.2.3.2 **Características de los datos Geológicos para su uso en la base datos**

Los datos geológicos se obtienen de las diferentes actividades de exploración tal como geología de campo, perforaciones diamantinas, perforaciones geotécnicas, topografía, muestreo en minas artesanales, trincheras, calicatas, instalación de piezómetros. Las características de los datos geológicos para cumplir con la norma NI43-101 deben mostrar la siguiente información.

Características	Descripción
Collar	Código de dato geológico, coordenadas este y norte, elevación, profundidad, título de dato.
Survey	Código de datos geológico, from, to, azimuth, DIP, fuente de información.
Dato litológica	Descripción litológica, código de dato geológico, from y to.
Análisis Químicos / Físico	Código de dato geológico, Código de Batch, tipo de muestra (mineral, duplicado, blanco, pulpa gruesos, pulpa de finos, tipo de ensayo, from , to, peso, tipo de mineral, fecha de muestreo, fecha de análisis, responsable, resultado de análisis base seca, base húmeda, as received, as determined.
Datos topográficos	Código de dato geológico, Sistema de coordenadas, punto georreferenciado, coordenadas este y norte, elevación.

Figura 4. Características de los datos geológicos dentro de la base de datos

2.2.3.3 **Metodologías para desarrollo de base de datos**

Una base de datos es un conjunto de datos que almacenan información geológica del proyecto, la cual contiene documentos y textos sean virtuales o impresos.

Actualmente se utilizan sistema de gestión de bases de datos (SGBD - del inglés Database Management System o DBMS).

Los pasos para desarrollar una base de datos son los siguientes:

- Codificación
- Recolección de Muestras
- Preparación de muestras
- Análisis de Muestras
- Cadena de custodia
- Formato de base de datos
- Sistemas de verificación de datos
- Softwares

2.2.3.4 *Sistemas de Gestión de Bases de Datos*

Existen diversos Sistema de Gestión de Base de Datos, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- PHP
- SQL (ejemplo: Datashed)
- Oracle Database
- DB2 warehouse
- Owncloud
- File maker

2.2.3.5 *Estructura de Base de Datos Geológica*

El sistema de Gestión de Base de Datos usa la plataforma SQL mediante Datashed.

El Datashed integra la estrategia y los datos para las actividades de exploración y explotación minera. Dentro de las características de la Base de Datos esta permite:

- Acceder desde cualquier lugar
- Colaboración en tiempo real
- Conexión rápida
- Información más rápida y personalizada

- Fuera de la caja

2.2.3.6 Sistemas de georreferenciados

La georreferenciación permite contar con un posicionamiento espacial de una localización geográfica única y definida en un sistema de coordenadas y datum específicos.

2.2.3.7 Datos Topográficos

Los datos topográficos son el conjunto de información que permite graficar la superficie de la zona de explotación y de áreas de interés del proyecto. Las escalas de los datos topográficos pueden ser de 1/2500 o escala de 1/5000.

2.3 Marco Conceptual

Carbón Antracita, Clase de carbones no aglomerantes, según la definición de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales, que tienen más de un 86% de carbono fijo y menos de un 14% de materia volátil sobre una base seca y sin materia mineral. (Se prefiere el uso de antracita). Esta clase de carbón se divide en los grupos de semiantracita, antracita y meta-antracita sobre la base del aumento del carbono fijo y la disminución de la materia volátil. (Wood, 2016)

Plan de calidad se define como documento que especifica qué procedimientos y Recursos asociados deben aplicarse, quién debe aplicarlos y cuándo deben aplicarse a un proyecto, producto, proceso o contrato específico. (Norma ISO 9001:2005)

Calidad, es el grado en el que un conjunto de características inherentes a un objeto (producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema o recurso) cumple con los requisitos (Norma ISO 9001:2005)

Muestras de Mano, son obtenidas durante las actividades de exploración y obtenidas en superficie. Este método por lo general es poco útil toda vez que el carbón ha sido intemperizado y sus características son alteradas. (Thomas, 2013)

Calicata. muestras que presentan representatividad. Se debe seguir los protocolos de toma de muestras. Permite conocer parte de la litología del depósito. Si las muestras han sido obtenidas en labores subterráneas se podrá contar con mayor información para la elaboración de la interpretación geológica. (Thomas, 2013)

Muestra Canal. Un canal de sección transversal uniforme es cortado en la veta de carbón; todo el carbón dentro de la sección cortada se recoge (para toda la costura o para una serie de capas, es decir divisiones de la veta de carbón). (Thomas, 2013)

Muestras Pilares. En la minería subterránea de carbón, las muestras de grandes bloques de carbón no perturbado se toman para proporcionar información sobre la fuerza y la calidad del carbón. Estas muestras de pilares se toman cuando un problema específico puede haber surgido o se anticipa. Tales muestras son tomadas de la misma manera que el canal de la costura entera muestras, excepto que se requiere un cuidado extra para no perturbar la sección de corte del carbón durante la retirada. Las muestras son y luego se empaquetan y se llevan al laboratorio. (ASTM, 2011)

Muestras Bulk. Este método consiste en la recogida de muestras de gran volumen (frecuentemente varias toneladas y pudiendo llegar hasta las 500 toneladas o incluso más). (Thomas, 2013)

Cores. El muestreo de núcleos o Cores es una parte integral de la exploración de carbón y el desarrollo de la mina. Tiene la ventaja de producir carbón no meteorizado, incluido el filón de carbón floor y techo, y a diferencia de las

muestras de canal, las muestras de núcleo conservan la secuencia litológica dentro de la veta de carbón. (ASTM, 2011)

SQL, (por sus siglas en inglés Structured Query Language; en español lenguaje de consulta estructurada) es un lenguaje de dominio específico utilizado en programación, diseñado para administrar, y recuperar información de sistemas de gestión de bases de datos relacionales.

Oracle Database, es un sistema de gestión de base de datos de tipo objeto-relacional (ORDBMS, por el acrónimo en inglés de Object-Relational Data Base Management System), desarrollado por Oracle Corporation

Cadena de custodia. Proceso mediante el cual se transfieren, vigilan y controlan los insumos y los productos y la información conexas a medida que avanzan en cada etapa de la cadena de suministro pertinente. (ISO 22095:2020).

Sistema de cadena de custodia. El Comité de Recursos y Reservas Minerales de Canadian Institute of Mining Metallurgy and Petroleum (CIM,2018), indica al conjunto de medidas destinadas a asegurar la confiabilidad de los resultados, incluida la documentación de esas medidas. La finalidad de un sistema de cadena de custodia es dar credibilidad a que el material o producto dado tiene un conjunto de características especificadas.

CAPITULO III HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis general

Aplicando el Control de calidad en muestras de carbón antracita se logrará la optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101

3.2 Hipótesis específicas

- Existe relación entre la aplicación de los procedimientos de calidad en muestreo y la calidad de la base de datos geológica.
- Existe relación entre la aplicación de los estándares de calidad en muestras de carbón antracita y la optimización de base de datos geológica bajo la norma NI-43101
- Existe relación entre el cumplimiento de los métodos estandarizados en muestras de carbón antracita y la optimización de base de datos geológica bajo la norma NI-43101
- Existe relación entre la calidad de los datos y la optimización de la base de datos.
- Existe relación entre la representatividad de los datos geológicos y la optimización de la base de datos geológica.
- Existe relación la determinación de las características de las muestras y la optimización de la base de datos.

3.3 Identificación de variables

3.3.1 *Variable Independiente*

Control de calidad de muestras de carbón antracita

3.3.2 *Variable Dependiente*

Optimización de Base de Datos

3.4 Operacionalización de Variable

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE Control de calidad de muestras de carbón antracita en cuenca Altochicama	Control de Calidad es la evaluación de la conformidad mediante observación y juicio acompañados si necesario de medidas, pruebas o calibración. El control de calidad consiste en la implementación de programas, mecanismos, herramientas y/o técnicas en las actividades (ISO 9000, 2021). En la presente investigación se aplica a la exploración para la obtención de muestras de Carbón Antracita en el proyecto de Altochicama. El control de la calidad es una estrategia para asegurar el cuidado y mejora continua en la calidad ofrecida en la recolección de datos para ser utilizados en la base geológica.	Información de las características físicas, químicas del Carbón antracita así como las metodologías utilizadas en la recolección de información del carbón antracita, que permitan conocer el grado de cumplimiento de la norma internacional NI43-101.	Procedimientos de Control de Calidad	Cantidad de procedimientos aplicados a las actividades de exploración. Indicador de cumplimiento (Indicador 1= Numero de procedimientos utilizados/ número de procedimientos implementados).
			Medidas de Control QAQC	% de inserción de Cantidad de muestras duplicados aplicados a las variables geológicas. (cumplen/total). Indicador 2= Numero de duplicados / número de muestras totales.
			Métodos Estandarizados	% de cumplimiento. Valores de Carbón Fijo, Material Volátil, Poder Calorífico, Ceniza, Cloro, Azufre, Densidad, Humedad, ubicaciones geo referenciadas (collar), survey (De, hasta, azimut, inclinación). Indicador 3 = Numero de muestras analizadas / número de muestras totales obtenidas en exploración.
DEPENDIENTE Base de datos geológica	Es el un conjunto de datos geológicos obtenidos de fuentes bibliográficas impresas o digitales, información obtenida producto del desarrollo de actividades de exploración, desarrollo y producción minera, los cuales se encuentran almacenados sistemáticamente para ser utilizados en interpretaciones geológicas, modelamiento, estimaciones de Recursos minerales y Reservas minerales o para ser utilizados como fuentes de información referenciales. Las bases de datos geológicas representan la fuente de información más importante para conocer la geología de manera regional y local. (Oracle, 2021)	Base de Datos con : a) Calidad de la información geológica e indicadores geoestadísticos, b) resultados de procedimientos de calidad, c) información litoestratigráfica d) información sistematizada para ser utilizada en el desarrollo de interpretaciones geológicas, estimación de Recursos, Reservas y e) como fuente de información referencial para extrapolación de información.	Calidad de datos geológicos	Indicador 4= % error, varianza, covarianza, correlación, media, desviación estándar, etc aceptables.
			Representatividad de datos geológicos.	Indicador 5= % de datos que contienen valores representativos, duplicados, blancos, estándares.
			Características litológicas de las muestras	Indicador 6=% de logueo geológico detallado, % logueo geotécnico detallado, identificación de litológica.

3.5 Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGÍA
De qué manera con la aplicación del control de calidad en muestras de carbón antracita ubicadas en cuenca Altochicama se logrará la optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101	Aplicar el control de calidad en muestras de carbón antracita ubicadas en cuenca Altochicama para optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101	Aplicando el Control de calidad en muestras de carbón antracita ubicadas en cuenca Altochicama se logrará la optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101	<p>Variable Independiente</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procedimientos de Control de Calidad • Medidas de Control QA/QC • Métodos Estandarizados <p>Indicadores de la V. Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de procedimientos aplicados a las actividades de exploración. Indicador de cumplimiento (%). • % de inserción de Cantidad de estándares aplicados a las variables geológicas. (cumplen/total) • % de cumplimiento. Valores de Carbón Fijo, Material Volátil, Poder Calorífico, Ceniza, Cloro, Azufre, Densidad, Humedad, ubicaciones geo referenciadas (collar), survey (De, hasta, azimut, inclinación). <p>Variable Dependiente</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calidad de datos geológicos • Representatividad de datos geológicos. • Características litológicas de las muestras <p>Indicadores de la V. Dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • % error, varianza, covariancia, correlación, media, desviación estándar, etc aceptables. • % de datos que contienen valores representativos, duplicados, blancos, estándares. • % de logueo geológico detallado, % logueo geotécnico detallado, identificación de litológica. 	La presente investigación es no experimental, utiliza el diseño transeccional y del tipo correlaciones-causales.
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICO		Esta investigación considera los resultados obtenidos en el control de calidad de las muestras de carbón antracita aplicados durante las actividades de exploración que permitieron el desarrollo de la base de datos actual para la estimación de Recursos minerales.
En qué medida la aplicación de procedimientos de calidad en el muestreo en carbón antracita permite la optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101	Aplicar de los procedimientos de calidad en muestreo de carbón antracita para la optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101.	Aplicando los procedimientos de calidad en muestreo se optimizará la calidad de la base de datos geológica.		La unidad de análisis son las muestras obtenidas en las concesiones mineras ubicadas en la cuenca de Altochicama producto de las actividades de geología de campo y perforación diamantina.
De qué manera con la aplicación medidas de control de calidad en muestras de carbón antracita se logrará la optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101.	Aplicar los estándares de calidad en muestras de carbón antracita para optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101.	Aplicando los estándares de calidad en muestras de carbón antracita se logrará la optimización de la base de datos geológica bajo la norma NI-43101		La población de la investigación corresponde a la base de datos actual que contiene datos geoquímicos de 740 muestras de carbón antracita obtenidas en las actividades de exploración durante las campañas de exploración en las concesiones mineras. La Muestra es la misma cantidad de la población.
De qué manera el cumplimiento de los métodos estandarizados permite optimizar la base de datos geológica.	Determinar el nivel de cumplimiento de los métodos estandarizados en las muestras de Carbón Antracita para optimizar la base de datos geológica bajo la norma NI 43-101.	Con el cumplimiento de los métodos estandarizados en muestras de carbón antracita se optimizará la base de datos geológica bajo la norma NI-43101		Las técnicas de recolección de datos corresponden al análisis de la información producto de las actividades de geología de campo y perforaciones diamantina, durante las cuales se obtuvo muestras y se realizó la identificación geológica in situ, logueo y posteriormente enviar a laboratorio para conocer las características geoquímicas mediante análisis instrumental vía ICP, y AA dependiendo del compuesto a analizar.
En qué medida la calidad de datos permitirá optimizar la base de datos.	Determinar la calidad de los datos geológicos para optimizar la base de datos.	La determinación de la calidad de los datos geológicos permitirá optimizar la base de datos.		
En qué medida la representatividad de los datos geológicos permitirán optimizar una base de datos geológica	Determinar la representatividad de los datos geológicos para optimizar una base de datos geológica.	Existe relación entre la representatividad de los datos geológicos y la optimización de la base de datos geológica.		
En qué medida la características litológicas de las muestras permitirá optimizar la base de datos geológicas.	Determinar las características litológicas de las muestras con el fin de optimizar la base de datos geológicas	La determinación de las características de las muestras permitirá la optimización de la base de datos.		

CAPITULO IV: METODOLOGÍA

La metodología consiste en un análisis de las muestras de Carbón Antracita a ser utilizados en la estimación de Recursos Minerales. El análisis del control de la calidad de las muestras de carbón considera revisión del cumplimiento de la norma NI43-101, evaluación estadística de los resultados, interpretación de los resultados obtenidos en laboratorio que permita validar la información a utilizar en los modelos geológicos.

La evaluación de los datos obtenidos permitirá optimizar la base de datos a utilizarse en los modelos geológicos para la estimación de Recursos basado en las normas internacionales NI 43-101.

4.1 Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación es no experimental, utiliza el diseño transeccional y del tipo correlaciones causales.

Esta investigación considera los resultados obtenidos en el control de calidad de las muestras de carbón antracita aplicados durante las actividades de exploración que permitieron el desarrollo de la base de datos actual para la estimación de Recursos minerales.

En ese sentido, la investigación analiza los controles de calidad utilizados, de acuerdo a la norma internacional NI 43-101 y de esta manera optimizar la base de datos para la estimación de Recursos minerales siguiendo los estándares internacionales que permita ser utilizados en las bolsas de valores a nivel internacional.

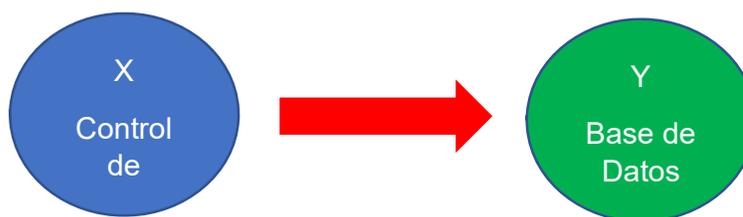


Figura 5. Diseño Transaccional y tipo correlacional-causales

4.2 Unidad de análisis

La unidad de análisis son las muestras de Carbón obtenidas en la Cuenca del Altochicama producto de las actividades de geología de campo y perforación diamantina y adicionalmente los resultados de análisis químicos de las muestras de Minero Perú para el mismo tipo de actividades.

4.2.1 Ubicación

El área de estudio, se encuentra ubicado políticamente entre los distritos de Usquil y Huaranchal, provincia de Otuzco, región La Libertad. Geográficamente se encuentra en el flanco Este, de la cordillera occidental de los Andes, a 170 km. de la ciudad de Trujillo, la altitud media del proyecto es 1,900 msnm.

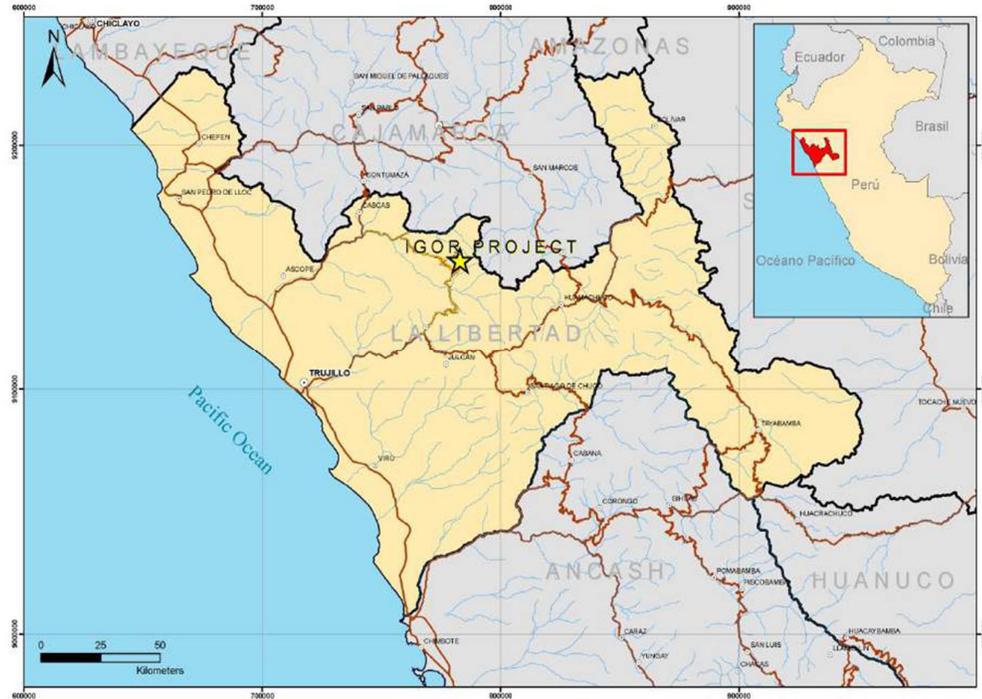


Figura 6. Mapa Regional Cuenca Altochicama

Fuente: INGEMMET, 2021

El área de investigación incluye información en la zona mostrada en la Figura 7. En esa área se obtuvieron muestras de carbón antracita durante las campañas de geología de campo y perforación diamantina y asimismo información del área investigada por Minero Perú.

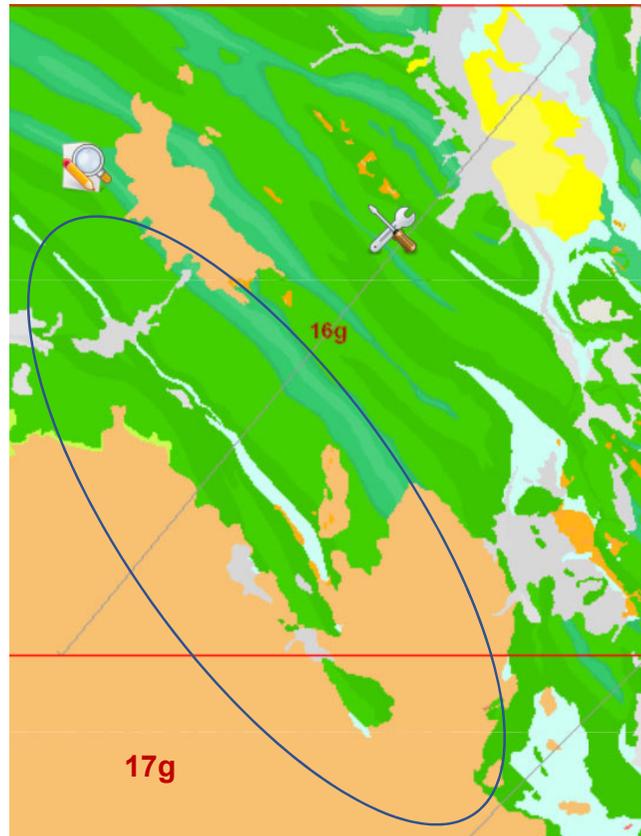


Figura 7. Mapa del área estudio

Fuente: INGEMMET 2021

4.3 Población de estudio

La población de estudio corresponde a la base de datos que contiene los resultados de control de calidad de las muestras de Carbón obtenidas durante las campañas de exploración en el área de estudio ubicado en la cuenca de Altochicama. La población contiene 7,405 resultados de laboratorio geoquímico.

4.4 Tamaño de muestra

La muestra de análisis será la misma que la población obtenidas en las actividades de exploración. Las muestras corresponden a actividades de geología de campo y perforaciones diamantina. La base de datos actual contiene características geoquímicas tales como poder calorífico, carbón fijo, material volátil, contenido de azufre, contenido de cenizas y humedad.

4.5 Selección de muestra

La selección de la muestra debe cumplir con requisitos de control de calidad que permitan ser utilizados en la base de datos optimizada basada en la norma NI-43101 y así desarrollar el modelo de estimación de Recursos minerales de carbón. Dentro de los requisitos para la selección de la muestra se mencionan los siguientes:

- Aplicación de sistema de codificación de muestras.
- Aplicación del manual de logueo geológico y geotécnico actualizado y aprobado.
- Contar con puntos geodésicos certificados referenciales.
- Medición de coordenadas de localización de acuerdo al procedimiento aprobado o contar con hojas de logueo.
- Aplicación de la cadena de custodia de las muestras.
- Procedimiento de corte de muestras.
- Aplicación de procedimiento de manejo de muestras (Fichas de Muestreo, Quicklog, embolsado, etc).
- Inserción de duplicados, blancos y estándares en los lotes de envío de muestras al laboratorio.

- Estandarización de metodología de análisis geoquímico en las muestras por tipo de componente.
- Análisis de medición de humedad.
- Análisis de medición de densidad de las muestras por tipo.
- Aplicación de controles de calidad internos del laboratorio (Duplicado, Blanco, Estándar).
- Procedimiento de ingreso de resultados geoquímicos en base de datos geológico.
- Verificación de información en Base de Datos (Collar, Survey, Data Litológica, Análisis Físico Químico, Datos Topográfico WGS84).

4.6 Técnicas de recolección de datos

Considerando que la presente investigación se basa en los lineamientos de la norma NI43-101, aplicando el paper 21 “Sistema de reporte estandarizado de Recursos/Reservas de Carbón para Canadá” para los proyectos de Carbón y en los mejores estándares de la industria minera. Se busca que los controles de calidad permitan la optimización de la base de datos geológica para la adecuada estimación de Recursos minerales del proyecto de Carbón Antracita.

Las técnicas de recolección de datos se aplican en las actividades de integración del proyecto, geología de campo, perforación, administración de datos y finalmente interpretación geológica. Sin embargo, en la presente investigación se evalúa el control de calidad de muestras de carbón para las etapas desde el 1 al 4, mostradas en la Figura 8.

Importante mencionar que las actividades de exploración desarrolladas en la presente investigación fueron geología de campo y campaña de perforación diamantina.

Las principales etapas del proyecto para la obtención de la información son las mostradas en la Figura 8.

Etapas del Proyecto
1. Integración del proyecto
2. Geología de campo
3. Perforaciones Diamantina
4. Administración de la Base de Datos
5. Interpretación Geológica
6. Estimación de Recursos

Figura 8. Etapas del proyecto minero

Las Técnicas de recolección de datos utilizadas en el presente trabajo de investigación fueron principalmente:

- Aplicación de los protocolos
- Auditorías Internas
- Auditorías Externas
- Solicitudes de cambio
- Revisión de reportes geológicos anteriores
- Resúmenes Ejecutivos de proyectos similares
- Imágenes Satelitales
- Interpretación de Planos Cartográficos de INGEMMET.

4.7 Análisis e interpretación de la información

Para el desarrollo de este capítulo se aplicaron metodologías detalladas para cada área específica. Las metodologías utilizadas son de acuerdo a las mejores prácticas en la industria minera, así como la norma NI43-101.

4.7.1 Procedimiento metodológico de la investigación

Para la correcta elaboración de la base de datos geológica basada en la norma NI-43101 se realizaron las siguientes actividades

La secuencia de actividades

- Recolección de datos de campo siguiendo las técnicas de recolección de información.
- Revisión de la norma NI43-101
- Revisión de los datos obtenidos en las actividades de geología de campo y campaña de perforación mediante la lista de chequeo
- Análisis estadístico de la información
- Depuración de la información para su ingreso en la base de datos.
- Codificación de la información de acuerdo a la base de datos para la elaboración del modelo geológico
- Elaboración de Base de Datos

4.7.2 Metodología del Programa de Calidad y Control de Calidad

El control de calidad de las muestras de carbón forma parte del programa de calidad integral implementado dentro del proyecto de Carbón. En el Anexo 1. se presenta la metodología aplicada a las actividades de exploración y los componentes del programa de calidad aplicado a los proyectos mineros.

4.7.3 Actividades de exploración y control de calidad

La metodología utilizada durante las actividades de exploración considera las técnicas de recolección de información. En la Figura 9 se muestran las técnicas de recolección de datos realizadas durante las actividades de exploración y asimismo su relación con la norma NI43-101.

Actividad	Técnica de Recolección de Datos	Metodología	Norma NI-43101
Planificación de actividades	Aplicación de Protocolos y Resúmenes Ejecutivos proyectos similares	Plan de Control de Calidad	Ítem 12
Toma de muestras	Aplicación de Protocolos y Auditorías Internas y Externas	Protocolos de calidad, hojas de control,	Ítem 9
Transporte de muestras	Aplicación de Protocolos	Protocolos de calidad, Inspecciones, checklist.	Ítem 9
Logueo geológico y Logueo Geotécnico	Aplicación de Protocolos y Auditorías Internas y Externas	Protocolo de calidad, Diagrama de flujo, checklist.	Ítem 7
Cadena de custodia	Aplicación de Protocolos y Auditorías Internas y Externas	Protocolos de calidad, Inspecciones, Checklist.	Ítem 11
Preparación de muestras y análisis químicos	Aplicación de Protocolos y Auditorías Externas	Protocolos de calidad, hojas de control, análisis estadístico,	Ítem 9
Preparación de muestras para análisis de densidad	Aplicación de Protocolos y Auditorías Externas	Protocolos de calidad, hojas de control, análisis estadístico,	Ítem 9
Recepción y verificación de los resultados de laboratorio	Aplicación de Protocolos y Auditorías Internas	Protocolos de calidad, hojas de control, análisis estadístico,	Ítem 11, ítem 12
Llenado de base de datos	Aplicación de Protocolos y Auditorías Internas y Externas	Protocolos de calidad, inspecciones, análisis estadístico, histogramas,	Ítem 12, ítem 25, ítem 26

Toma de Fotografía de testigos	Aplicación de Protocolos y Auditorías Internas y Externas	Protocolos de calidad, checklist, inspecciones,	Ítem 9, ítem 12
Topografía	Aplicación de Protocolos y Auditorías Internas y Externas	Protocolos de calidad, inspecciones, análisis estadístico, solicitudes de cambio.	Ítem 5, ítem 9

Figura 9. Actividades de exploración, técnicas de recolección de datos y norma NI43-101

4.7.4 Herramientas y técnicas

La metodología en la presente investigación considera el adecuado control de calidad mediante el uso de herramientas y técnicas de recolección de datos las cuales fueron aplicadas durante las actividades de geología de campo y campañas de perforación con el fin de cumplir con la norma NI43-101.

- Diagramas de flujo
- Checklist
- Histogramas
- Hojas de Control
- Diagramas Scatter
- Análisis estadístico
- Inspecciones
- Solicitudes de cambio

Aplicando las herramientas antes descritas se espera obtener las medidas de control de calidad, validar los resultados, verificar los entregables asociados a la norma internacional, contar con información sobre el performance de las actividades y asimismo las acciones preventivas o correctivas para la obtención de una base de datos optimizada.

La base de datos optimizada permitirá realizar la interpretación geológica, el modelamiento geológico, estimación de Recursos, estimación de Reservas y finalmente analizar la factibilidad del proyecto.



Figura 10. Control de Calidad en las actividades mineras

4.7.5 Protocolos para el Control de Calidad

Los métodos para el análisis e interpretación de datos se basaron protocolos de calidad.

En la Figura 11 se presentan los protocolos aplicados en las actividades de geología de campo y campaña de perforación.

Para las actividades de geología de campo y perforación se aplicaron los siguientes protocolos.

Numero	Nombre del Protocolo	Item Norma NI43-101
1	Programación de collares	10
2	Supervisión de recuperación de muestra	10
3	Transporte de muestras	10
4	Registro fotográfico en campo y coreshake	11
5	Logueo geológico	11
6	Corte de testigos	11
7	Preparación de muestras para análisis químicos y físicos	11
8	Programa QAQC	11
9	Transporte de muestras a Laboratorio	11
10	Administración de Base de Datos	11
11	Ingreso de Data Assays – Datashed	12
12	Canalización de información para el almacenamiento de Base de Datos	12
13	Almacenamiento de muestras en Coreshake	12
14	Registro y preparación de muestras para Densidad	12

Figura 11. Protocolos de calidad aplicados en las actividades de geología de campo y perforación

Las técnicas de recolección de datos permitieron conocer durante la ejecución de las actividades de exploración, el tipo de información y calidad de estas, sobre las cuales se aplicaron los controles de calidad en las muestras de carbón para la elaboración de una base de datos optimizada bajo los parámetros de la norma NI-43101.

4.7.6 Metodología de comparación de resultados de laboratorios externos

Como parte del control de calidad, se utilizaron metodologías para comparar los resultados de los dos laboratorios externos seleccionados. Se utilizó la misma muestra y la misma metodología de análisis y de esta manera se logró verificar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Sobre la comparación de los resultados se aplicó el método denominado diferencia porcentual media o Mean Percent Difference (MPD), el cual nos

permitió conocer la variabilidad de un valor referente a otro. El resultado de MPD para los dos laboratorios externos evaluados fue 10%. Los valores obtenidos por el laboratorio seleccionado para el análisis de las muestras de proyecto muestran resultados aceptables.

4.7.7 Metodologías asociadas a los estándares de calidad

Se aplicaron metodologías de control de calidad para verificar la precisión, veracidad y control de contaminación de las muestras de carbón antracita. Las metodologías fueron aplicadas a las muestras de carbón obtenidas en las actividades de geología de campo y en las muestras obtenidas en las actividades de perforación diamantina.

Las metodologías fueron aplicadas a las muestras analizando las principales características del Carbón tales como Carbón Fijo, Poder Calorífico, Material Volátil, Contenido de Azufre, Humedad y Cenizas.

Las herramientas utilizadas para la evaluación del control de calidad de las muestras fueron las recomendadas en las mejores prácticas de la industria mineras y aceptadas en la norma internacional NI43-101.

Para la medición de la precisión se utilizó la incorporación de duplicados de manera aleatoria en las muestras enviadas a laboratorios externos.

Con referencia a la exactitud, se utilizó materiales de referencia propios de la zona de estudio.

Para el control de la contaminación de las muestras se utilizó blancos los cuales permitieron conocer si existió algún grado de contaminación de las muestras y en consecuencia errores en los resultados.

4.7.8 Seguridad en la gestión de muestras

Dentro de la actividad de seguridad de gestión de muestras se encuentra la metodología implementada para la cadena de custodia de las muestras en las diferentes etapas de la gestión de muestras. En la Figura 12 se presentan las actividades donde se aplicó el protocolo de cadena de custodia para las actividades de geología de campo y las perforaciones diamantinas.

Ítem	Actividad	Cadena de custodia
Geología de Campo		
	Toma de muestra	
Transporte de Muestras de campo a Coreshake		
	Entrega de muestra a Geólogo de Coreshake	Aplicación de cadena de Custodia
Logueo de muestras		
	Entrega de muestra a transportista	Aplicación de cadena de Custodia
Transporte de muestra a Laboratorio		
	Entrega de muestra Laboratorio	Aplicación de cadena de Custodia
Envío de resultados de laboratorio a Geólogo de Coreshake		
	Envío de muestras a Geólogo de Coreshake	Aplicación de cadena de Custodia

Figura 12. Seguridad de la información en las actividades de exploración

4.7.9 Métodos de muestreo

Los métodos de muestreo son importantes con el fin de asegurar que los resultados sean precisos y representativos. La correcta aplicación de los métodos según el tipo de muestras permite obtener información base para el desarrollo de las actividades asociadas a la estimación de Recursos y Reservas.

Los métodos de muestreo se aplicaron dependiendo del tipo de actividad de exploración que se realice. Las actividades de exploración desarrolladas en el presente estudio fueron geología de campo y perforación con taladros diamantina.

Los factores que determinan la cantidad y tipo de muestreo son tipo de carbón, distribución del carbón en el depósito y su tamaño, etapa de investigación o del proyecto minero, facilidad de toma de muestra y costo de toma de muestras. En ese sentido, los métodos de muestreo utilizados fueron rock chips en afloramientos visibles, canales, muestras de mano y muestras en cores de las perforaciones diamantina.

La toma de muestras en relación con la exploración mediante perforación diamantina está sujeta a (1) la ubicación, (2) el espaciado de los taladros perforados, (3) la profundidad de la que se toma la muestra y (4) el tamaño de los taladros de núcleo utilizados. Estos criterios deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar la calidad y la cantidad de carbón en el yacimiento que se está explorando.

Para el muestreo se utilizaron los procedimientos para la toma de muestras y en los cuales se especifican los materiales y pasos a seguir para obtener un muestreo de confiable.

Por otro lado, la toma de muestras para el caso de las actividades de geología de campo, se realizaron considerando la facilidad de obtenerlas en los afloramientos o con una profundidad de 2 metros por debajo de la superficie. Para el caso de las muestras de las perforaciones diamantina, se consideró la totalidad de los mantos de carbón encontrados durante la campaña de perforación en este caso se analizó el 100% de las muestras disponibles.

4.7.10 Métodos de preparación de muestras

La preparación de muestras de carbón considera dos tipos de métodos, los cuales dependían de las características granulométricas de las muestras. Una vez realizada la preparación de las muestras se enviaron a laboratorios externos especializados en Carbón Antracita.

La preparación de muestras contempla dos tipos:

- a) Muestra A (Muestras Detritos)
- b) Muestra B (Roca compacta)

En ambos escenarios las muestras requerían de corte con máquina. A continuación, se describen los procesos de preparación de muestras.

Muestra A (Muestras Detritos)

El proceso de corte para muestras de detritos consiste en partir con una espátula por la mitad a lo largo del tramo de muestreo la muestra de carbón. Para el corte de cores de perforación se utilizó el protocolo de calidad.

Las homogeneizaciones de las muestras (A) obtenidas de la caja de Core siguen la secuencia de preparación de muestras para obtener dos especímenes debidamente homogeneizados. Especímen 1A. La cual se enviará al laboratorio para su análisis y el espécimen 2A el cual será colocado nuevamente en la Caja de Core, este servirá como contra muestra en caso de ser necesario. Para la preparación de muestras se utilizó el protocolo de calidad.

El espécimen 1A se envía a laboratorio para análisis, y es colocada en bolsa plástica, se coloca el precinto de seguridad, pesado, asimismo, es debidamente almacenada antes de ser enviada al laboratorio, se llenan los formatos de cadena de custodia.

Muestra B (Roca compacta)

El proceso de corte para muestras de roca compacta consiste en extraer de la caja la o las porciones muestras que se desean cortar y cortarlas en el petrotomo, el cual las corta por la mitad mediante una cierra circular. Para el corte de cores de perforación se utilizó el protocolo de calidad.

Las homogeneizaciones de las muestras (B) obtenidas de la caja de Core siguen la secuencia de preparación para obtener dos especímenes debidamente homogeneizados. Especímen 1B. La cual se enviará al laboratorio para su análisis y el espécimen 2B el cual permanecerá en la Caja de Core, este servirá como contra muestra en caso de ser necesario.

El Especímen 1B se obtiene una vez recibida la muestra de la zona de corte. Se separa la mitad del Core y se coloca en bolsa plástica, se coloca el precinto

de seguridad, pesado, fotografiado, asimismo, es debidamente almacenada antes de ser enviado al laboratorio, se llenan los formatos de cadena de custodia.

Para las muestras obtenidas en las actividades de geología de campo, se utilizó el procedimiento de la muestra tipo A, descrita previamente.

4.7.11 Métodos Analíticos

Los métodos analíticos consideraron los procesos de clasificación, registro y codificación de datos, técnicas analíticas, que se utilizarán para comprobar la hipótesis y obtener las conclusiones de la presente investigación.

Los datos obtenidos luego de aplicar las técnicas de recolección fueron clasificados y se tabuló los resultados químicos obtenidos de laboratorios internos y externos. Los resultados consideran las principales características de las muestras de carbón como son carbón fijo, poder calorífico, contenido de cenizas, humedad, contenido de azufre y material volátil.

La información utilizada en la investigación proviene de actividades de exploración de Minero Perú y las desarrolladas durante el año 2011 hasta el año 2019 mostró un total de 740 datos. Se aplicó lo indicado en la norma NI43-101 con el fin de revisar la calidad de la información y conocer la información a utilizar en la base de datos geológica que permita desarrollar posteriormente la interpretación de resultados en el área de estudio.

4.7.11.1 Análisis Químico

Los análisis químicos fueron realizados en laboratorios externos. Los métodos para los análisis de carbón se detallan en la Figura 14. Para las muestras de Minero Perú se utilizaron métodos de análisis aceptados por la industria internacional.

En la Figura 13 se muestran los métodos para cada análisis de laboratorio químico.

Ítem	Análisis de Laboratorio	Metodología
Muestras Actuales	Humedad (%)	ASTM D 3302
	Contenido de Cenizas (%)	ASTM D 7582-15(A)
	Azufre (%)	ASTM D 4239
	Material Volátil (%)	ASTM D 3175-11(A)
	Carbono Fijo (%)	ASTM D 3172-07 a(Dif)
	Poder Calorífico (kCal/Kg)	ASTM D 5865
	Preparación de muestras	ASTM D 2013
Muestras Minero Perú	Contenido de Material Volátil	ISO/R-562-1967 (ISO-562-2010)
	Contenido de Humedad	ISO/R-589-1967 (ISO-589-2008)
	Poder Calorífico (kCal/Kg)	ISO/R-1928-1971 (ISO 1928:1995)
	Contenido de Azufre	PN/C-04340 (ISO 157:1996)
	Contenido de Cenizas	PN-57/C-04342 (ISO 11724:2019)
	Preparación de Muestras	PN-55/G-04504 (ISO 9931:1991)

Figura 13. Parámetros de análisis del carbón antracita

4.7.11.2 Análisis de densidad en muestras

En la presente sección se muestra la metodología de análisis para los ensayos de densidad a los diferentes estratos del depósito. Los análisis de densidad se realizaron con algunas muestras seleccionadas utilizando como criterio las secciones geológicas consideradas prioritarias para la etapa de explotación del proyecto minero.

Los principales objetivos por lo que se llevó a cabo el muestreo por densidad son los siguientes:

- Recopilar los valores de densidad para los mantos de carbón y litologías del proyecto.
- Realizar el cálculo de densidades por tipo.
- Otorgar al área de estimación de Recursos los valores a usar para el carbón antracita.
- Proporcionar información confiable para la elaboración del plan de Minado

La metodología para la determinación de las densidades en base al material y su disposición física, se presentan en la Figura 14, a continuación:

Tipo de Densidad	Unidad	Metodología	Material
Gravedad Específica Promedio	gr/cm ³	ASTM D 854-14	Finos
Gravedad Específica Bulk	gr/cm ³	ASTM C 127	Gruesos
Gravedad Específica	gr/cm ³	ASTM C97/C97M	En core completo
Densidad Aparente (Minero Perú)	gr/cm ³	PN-61/C-04337 (ISO 5072:2021)	Muestras de exploración

Figura 14. Métodos para ensayos de Densidad

4.7.11.3 Control de calidad para la humedad

Para el control de humedad de las muestras utilizadas durante las actividades de geología de campo y perforaciones diamantina, es necesario aplicar procedimientos y metodologías necesarias para contar con información necesaria para enviar las muestras al laboratorio externo y así realizar la estimación de Recursos y Reservas minerales.

El primer paso es la selección de la muestra de carbón que sean representativas. Una vez obtenida la muestra en la caja de testigos, se utiliza un tubo de PVC y se corta en dos partes para utilizar como protección de las muestras que proceden de la perforación. Una vez cubierta la muestra se protege ambos lados para evitar pérdidas de la humedad.

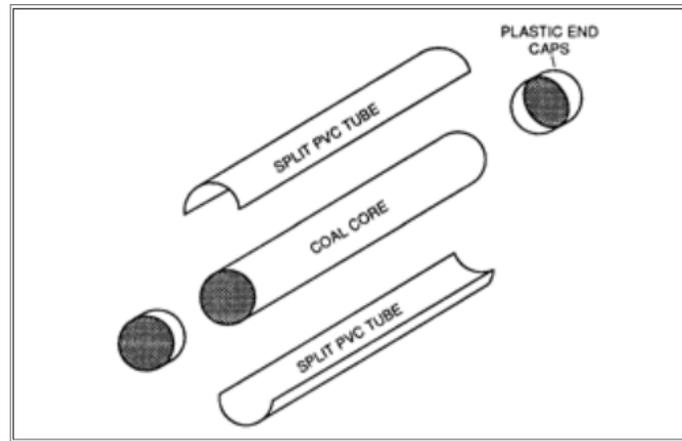


Figura 15. Control de calidad de humedad en cores

Fuente: U.S. Geological Survey Bulletin 1823

4.7.12 Representatividad de las muestras

La representatividad de la muestra es uno de los factores más importantes a considerar en los controles de calidad, es parte de la estrategia de calidad contar una guía para obtener una muestra representativa. Se debe considerar que la muestra es representativa cuando es una parte o porción representativa de una población o dominio, resultado de un procedimiento de muestreo equiprobable. Cuando el muestreo no cumple el criterio de equiprobabilidad solo la muestra se denomina espécimen.

Para obtener muestras representativas se aplicaron los siguientes criterios metodológicos

- Espaciamiento de muestras
- Homogenidad de la muestra
- Textura del mineral o core
- Alteración de la muestra
- Tamaño de muestra
- Fracturamiento
- Logueo geológico (vetas y cajas)
- Contenido de humedad

- Tipo de muestreo
- Abundancia de mineral
- Cantidad de muestra a analizar
- Necesidad de corte
- Método de preparación de muestra
- Personal calificado (criterio geológico)
- Identificar los potenciales errores en el muestreo

4.7.13 Factores que pueden ocasionar errores en la calidad de los resultados

Dentro de la metodología considera los factores que pueden afectar la calidad de los resultados. En ese sentido, podemos dividir en errores operativos y errores durante la administración de la base de datos.

Los errores operativos están asociados a las fallas que se realizan durante la ejecución de las actividades de exploración.

Algunas consideraciones que pueden producir sesgo durante la toma de muestras son:

Geología de campo / Perforación Diamantina

- Alteración superficial de la roca muestreada
- Perdida selectiva de elementos móviles
- Recuperación de los cores
- Contaminación de los cores
- Lavado de los cores
- Fallas en el Quicklog
- Ausencia de Hoja de Perforación.
- Transporte
- Malas condiciones de la caja de cores
- Logueo geológico
- Logueo geotécnico
- Toma de muestras
- Mala delimitación de vetas

- Corte de muestras
- Mala preparación de muestras incluyendo tamaño de clastos
- Contaminación de muestras
- Mal Embolsado
- Mala medición del espesor verdadero
- Mala conservación de la muestras y perdida de humedad
- Diversa caracterización del mineral
- Falla en la aplicación del manual de Logueo
- Falla en la definición de muestra representativa (cantidad y calidad).
- Cantidad de controles de calidad (duplicados, estándares y blancos)
- Uso de laboratorios acreditados
- Métodos de análisis utilizados por los laboratorios
- No contar con EPPs adecuados
- Limpieza de equipos
- Conservación de muestras previo a análisis
- Almacenamiento de muestras

Laboratorio

- Transporte
- Toma de muestras
- Mala preparación de muestras
- Equipos calibrados
- Contaminación de muestras
- Mal Embolsado
- Cantidad de controles de calidad (duplicados, estándares y blancos)
- Métodos de análisis utilizados por los laboratorios
- No contar con EPPs adecuados
- Limpieza de equipos
- Almacenamiento de muestras

Bases de datos

- Unidades de medidas

- Coordinadas de las plataformas y taladros
- Mal tipeo de resultados químicos
 - Mala codificación de las muestras
- Mal tipeo de los from / to
- Información de rumbo, azimut, DIP.
- Falla en el sistema topográfico
- Métodos estadísticos mal interpretados
- Datos para ser utilizados en software especializados
- Procedimientos de verificación de datos

Por otro lado, con el fin de conocer los errores relativos a las muestras utilizadas para el control de calidad se presenta en la Tabla 2 los criterios utilizados en el análisis de la información, la cual está basada en las mejores prácticas de la industria.

Tabla 2

Criterios de Control de Calidad

Tipo de Muestras	%	Control de Calidad	Responsable
Gemelas, Duplicados Gruesos y Duplicados Finos	4.5-6	Precisión	Geólogo
Blancos Gruesos y Blancos Finos	3-4	Contaminación	Geólogo
Estándares	4.5-6	Exactitud	Laboratorio
Check Sample (Duplicados externos)	4	Exactitud	Geólogo QAQC
Total	16-20%		

En la Tabla 3 se presenta los criterios de evaluación de la Precisión

Tabla 3

Criterios de evaluación de precisión

Control de calidad	Límite de Tolerancia	Precisión aceptable
Muestra Gemela	30% Error relativo	Pares fallidos < 10%
Duplicado Grueso	20% Error relativo	
Duplicado Fino	10% Error relativo	

En la Tabla 4 se presenta los criterios de evaluación de la Exactitud

Tabla 4

Criterios de evaluación de exactitud

Control de calidad	% Sesgo	Criterios
Estándares	$(Pr / Mv - 1)$	Sesgo Aceptable < 5%
Muestras de Chequeo		Sesgo cuestionable [5%-10%]
		Sesgo Inaceptable > 10%

Pr = promedio

Mv = Mejor Valor

En la Tabla 5 se presenta los criterios de evaluación de la contaminación

Tabla 5

Criterios de control de contaminación

Control de calidad	% Sesgo	Criterios	Límites de Tolerancia
Blanco Grueso	(Pr /Mv -1)	Sesgo Aceptable < 5%	< 5LD
Blanco Fino		Sesgo cuestionable [5%-10%]	
		Sesgo Inaceptable > 10%	< 3LD

Pr = promedio

Mv = Mejor Valor

4.7.14 Elaboración de Base de Datos optimizada

La información obtenida en las actividades de exploración sirvió para el desarrollo de una serie de documentos cuyo contenido fue utilizado para el desarrollo de la base de datos.

En la Figura 16 se muestra el Diagrama Funcional de Geología utilizado para la elaboración de la base de datos optimizada.



Figura 16. Diagrama Funcional de la Base de Datos

Los procesos desarrollados para la optimización de la base de datos fueron Recolección de la Información, Verificación de Datos, Tratamiento de Datos, Ingreso de Datos y Elaboración de Base de Datos. En la Figura 17 se muestra el Flujo de Procesos.



Figura 17. Flujo de procesos para la elaboración de la Base de Datos optimizada

La elaboración de la base de datos debe seguir un procedimiento que permita ser validado y aceptado. Por otro lado, es relevante contar con definiciones universales y un sistema de gestión de Datos Sobre el particular se menciona lo siguiente.

Diccionario de Datos

Considerando la diversa información necesaria para el desarrollo de los documentos asociados a los reportes técnicos bajo la Norma NI43-101 que serán desarrollados a partir de la Base de Datos, se consideró elaborar el diccionario de la Base de Datos el cual contiene las definiciones necesarias para entender correctamente los resultados y la información contenida en la

Base de Datos. El diccionario contiene no solo definiciones técnicas sino también información necesaria en cada parte del flujo de procesos para la elaboración de la base de datos.

Por otro lado, la información que forma parte del cuerpo de la base de datos geológicos optimizados para el proyecto de carbón antracita son:

- Samples (Código de sondaje modelo, from, to, peso de la muestra, tipo de material, descripción geológica de la muestra)
- Assays (Código de muestra de modelo, código de sondaje, from, to, peso, tipo de material, resultados de análisis químico de la muestra)
- Lithology (Código de sondaje en campo, código de sondaje de modelo, from, to, litología, litología final agrupada en bloques)
- Collar (Código de sondaje de modelo, este, norte, profundidad máxima, Cota, tipo de perforación, Sistema Geográfico, y zona)
- Survey (Código de sondaje de modelo, from, to, azimut, DIP)

Sistema de Gestión de Datos

El sistema de Gestión de datos fue implementado con el fin de consolidar la información según los estándares necesarios para ser utilizados en la elaboración de planos, secciones geológicas, interpretaciones geológicas y Estimación de Recursos. Contar con los Datos integrados permitió desarrollar información relevante para el proyecto y contar con ella de manera oportuna. El sistema de Gestión de datos, asimismo, incorpora las actividades de control de calidad y en consecuencia permite contar con datos Validos, Completos, Consistentes, Precisos y Oportunos.

4.7.15 Procedimiento de verificación de la información.

Para la verificación de datos durante las actividades de exploración y la elaboración de la base de datos se tomaron acciones y así verificar la calidad y confiabilidad de los datos.

Se puede dividir la verificación de datos en dos tipos:

- Verificación en Base de Datos
- Verificación en Visita de Campo

Ambas actividades están incluidas en la norma NI43-101 en el ítem Data Verification y son responsabilidad de los Qualified Persons (QP) realizar ambas actividades de verificación.

Las actividades de verificación son realizadas por profesionales que no estén directamente involucrados en las actividades rutinarias y así verificar de manera objetiva la información obtenida.

La metodología para la verificación de datos se consideró un check list de las principales actividades a auditar con el fin de conseguir información confiable. En la Figura 18 se presenta las actividades y las acciones de verificación que se implementaron en el proyecto.

Actividad	Acción de Verificación	
Planificación de las actividades de Exploración	Informes de ubicación de puntos de muestreo en geología de campo	
	Informes de ubicación de plataformas y diseño de perforación diamantina	
	Certificados de puntos geodésicos	
	Características de máquinas de perforación	
	Características de Reflex y Certificados de calibración	
Geología de Campo	Existencia de Protocolos	
	Coordenadas de toma de muestra	
	Existencia de muestras/contramuestra y Hojas Logueo Geológico	
	From/To de la muestra	
	Cadena de Custodia	
	Tarjetas de muestreo	
	Hoja de preparación y/o Corte de muestra	
	Estado de Coreshake	
	Perforación Diamantina	Existencia de Protocolos
		Coordenadas de la Plataforma, Collar, DIP, Azimut
Cajas de Cores y Logueo Geológico		

From/To
Recuperación de la perforación
Cadenas de Custodia
Hojas de resultados de Reflex
Tarjetas de muestreo
Hoja de Preparación y/o Corte de muestra
Coreshake
Certificados de análisis de laboratorio químico y geotécnico, densidades
Reportes diarios de perforación
Visitas a Laboratorio
Muestreo independiente
Administración de la Base de datos
Existencia de Protocolos
Manual de Logueo Geológico y Geotécnico
Hojas de Logueo Geológico/Geotécnico
Hojas de Perforación de taladros, Coordenadas de la Plataforma, Collar, DIP, Azimut
Tarjetas de Muestreo
Hojas de Resultados de Laboratorio
Litología y Alteraciones
Error checks
Certificados de Topografía
Estructura de la Base de Datos
Información de la Base de Datos

Figura 18. Metodología de verificación de datos

Asimismo, para evaluar la consistencia de los datos se utilizaron indicadores que permitieron conocer el nivel de confianza de la información. Los indicadores utilizados en la presente investigación son los mostrados en la Figura 19.

Indicador	Descripción
Tracker	Control de despachos a Laboratorio
Ensayos	Recepción y distribución de resultados
QC	Cantidad de Protocolos aplicados
Auditorias	Auditorias de Datos
Reportes	Cantidad de Reportes utilizados en la base de datos

Figura 19. Verificación de la información

Sobre la consistencia de los datos, se controla la cantidad de inconsistencias durante el proceso de elaboración de base de datos y de esta manera identificar las actividades o información que requieren cambios como parte del control de calidad.

CAPITULO V: ENTORNO GEOLÓGICO

5.1 Entorno geológico y mineralización

De acuerdo a la norma internacional NI43-101, es necesario que los proyectos mineros incorporen dentro del ítem 7. Exploration, aspectos sobre la geología regional, local y de la propiedad; y las zonas mineralizadas significativas encontradas en la propiedad, incluyendo un resumen de los tipos de roca circundantes tipos de roca circundantes, controles geológicos relevantes y la longitud, anchura, profundidad y continuidad de la mineralización, junto con una descripción del tipo, carácter y distribución de la mineralización.

Las evidencias geológicas en la cuenca del alto chicama, y considerando que el carbón se define como una roca de origen sedimentario organoclastico constituida fundamentalmente por restos vegetales litificados, depositados inicialmente en ambientes húmedos. La formación del carbón en la cuenca del Alto Chicama fue debido a restos orgánicos que proceden de árboles y vegetación arbustiva, su origen se establece como autóctono y alóctono.

Los carbones de esta cuenca son de rango semiantracíticos/antracíticos situándose en el estadio de la metagénesis avanzada. Este alto grado de evolución orgánica sería equivalente a la estadía de anchimetamorfismo o anchizona en transición a la zona de metamorfismo de bajo grado, estando relacionado con una carbonificación anormal de carácter regional producido por un metamorfismo térmico, causado por el emplazamiento de los cuerpos intrusivos del Batolito de la Costa y de stocks intrusivos de menores dimensiones que se sobreimpusieron a la evolución inicial de los sedimentos

por subsidencia normal. Todo ello ha sido consecuencia de la actividad magmática y tectónica de la orogenia andina. La cuenca del Alto Chicama presenta carbones mesozoicos, y muestran una zonación regional bien definida en franjas paralelas a los Andes. (Carrascal, 2000)

Los carbones del Alto Chicama actualmente presentan secuencias estratigráficas de pizarras y cuarcitas, siendo que se constituyen como cajas techo y piso, esto nos indica que antes de haber sido sometido el yacimiento al metamorfismo (presión y temperatura), las facies sedimentarias de formación inicial fueron facies transicionales de tipo de llanura deltaica inferior-superior con influencia de aguas dulces y aguas salobres.

Actualmente el depósito del Alto Chicama se presenta en un flanco de anticlinal, debido a los procesos metamórficos, los mantos presentan una disposición subvertical, y del mismo modo se presentan las rocas caja techo y piso constituidas por cuarcitas y pizarras en la mayoría de los casos en la zona de investigación.

Utilizando los criterios de Geological Survey of Canadá Paper 88-21, un sistema estandarizado de informes de exploraciones de carbón para Canadá, el yacimiento de carbón del Alto Chicama, se establece como categoría de tipo complejo. La norma describe la clasificación tipo complejo como “los depósitos de esta categoría se han sometido a niveles relativamente altos de deformación tectónica. Se evidencian pliegues apretados, con extremidades inclinadas o volcadas que pueden estar presentes, y las compensaciones por fallas son comunes. Las capas están delimitadas por fallas individuales, sin embargo, generalmente corresponden a las secuencias estratigráficas normales y unen espesores, sólo en raras ocasiones han sido sustancialmente modificadas su espesor pre-deformacional”.

5.1.1 Geología Regional

El área de estudio ubicada en Alto Chicama se presenta como un yacimiento carbonífero, se ubica en la franja septentrional de la Cordillera Occidental de los Andes, en el noroeste del Perú. Presenta una morfología variada, resultado del intenso plegamiento y fallamiento, que han afectado al substrato cretácico durante su evolución geológica, seguido de fuertes procesos de erosión-sedimentación, hasta configurar el paisaje actual.

Las rocas más antiguas que ocurren en el proyecto área son sedimentos clásticos marinos de la formación Chicama del jurásico superior, compuesta mayormente por estratos de lutitas, sobreyace en contacto discordante a esta secuencia sedimentaria la formación Chimú del grupo Goyllarisquizga constituida por una secuencia de cuarcitas blancas y areniscas cuarzosas con intercalaciones de lutitas. Los mantos de carbón mayormente se encuentran intercalados con estratos de cuarcitas.

La secuencia sedimentaria ha sido fuertemente deformada y plegada como consecuencia de las diferentes fases tectónicas del ciclo andino. El área de estudio forma parte de un anticlinal volcado con eje de rumbo NW-SE y buzamiento hacia el sur oeste.

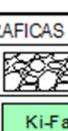
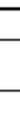
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS		
	CUATERNARIO	HOLOCENA	Dep. Fluviales, aluviales, lagunares y glaciares		
CENOZOICO	CRETÁCEO	Inferior	Grupo Goyllarisquizga	Fm. Farrat	
				Fm. Carhuaz	
				Fm. Santa	
				Fm. Chimú	
	JURÁSICO	Superior	Fm. Chicama		

Figura 20. Unidades Estratigráficas del Área de Estudio

Fuente: INGEMMET, 2021

5.1.2 Geología Local

Desde el punto de vista geológico, la zona está formada por un heterogéneo conjunto de rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas en un contexto estructural relacionado con el tectonismo andino.

Las rocas sedimentarias corresponden tanto de facie marina como a facie continental o semicontinental, las que se evidencian en las rocas de la zona y están representadas principalmente por areniscas, lutitas, limolitas, calizas y conglomerados. Entre las rocas metamórficas, destacan la cuarcita y pizarras. Las rocas ígneas intrusivas están constituidas por andesitas, dacitas, dioritas. Las secuencias litológicas están cubiertas por material cuaternario (aluvial, coluvial, fluvial, glaciar) producido por el tectonismo y la erosión de las rocas preexistentes.

La edad de estas rocas, que forman la columna geológica de la cuenca, oscila entre el Triásico superior – Jurásico inferior y el Cuaternario reciente.

5.2 Estratigrafía

Las rocas y suelos encontrados en el proyecto carbón en la presente campaña de exploración corresponden a las formaciones Chicama y Chimú las cuales se describen en este Capítulo.

Asimismo, la columna estratigráfica a nivel regional del depósito se presenta en la Figura 21 en la cual se puede identificar la formación Chimú que es la que alberga los mantos de carbón.

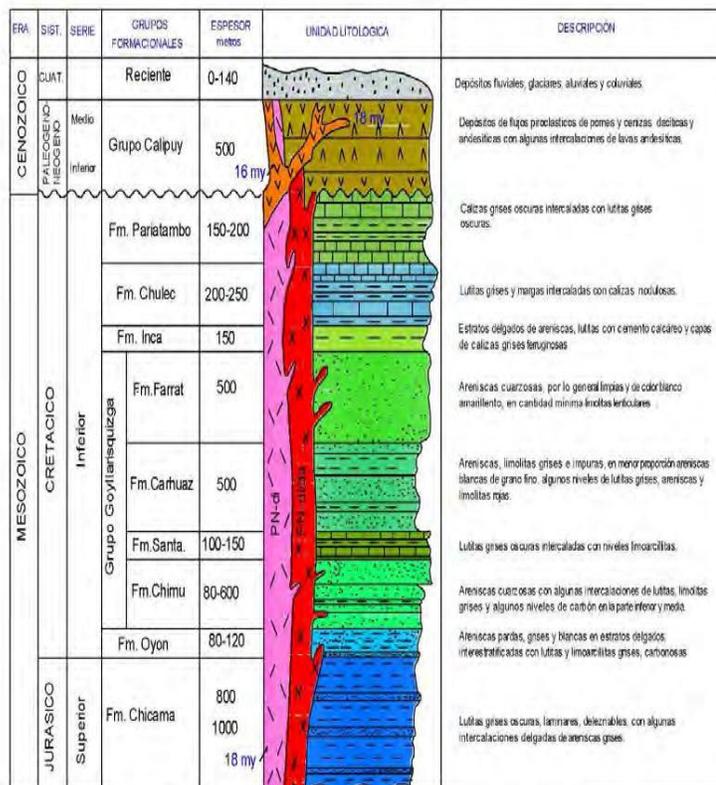


Figura 21. Columna Estratigráfica Regional del Proyecto

Fuente: INGEMMET, 2021

5.2.1 Formación Chicama (Js-Chi)

Consiste de lutitas negras laminares, deleznales, con delgadas intercalaciones de areniscas grises. Contienen abundantes nódulos negros, con pirita y algunas veces con fósiles algo piritizados. Ocasionalmente se presentan con intercalaciones de areniscas pardas con alto contenido de arcilla.

En algunos sectores se tiene colores claros, ligeramente marrones, debido al intemperismo.

Sobreyace a esta secuencia la formación Chimú. La secuencia de las lutitas de la formación Chicama se ubican en la parte central del anticlinal volcado.

5.2.2 Formación Chimú (Ki-Chim)

La formación Chimú consiste en cuarcitas y areniscas cuarzosas con intercalaciones de estratos de pizarras y un manto de carbón.

Estas rocas del cretáceo inferior fueron formadas de denudaciones de montañas altas de los altos estructurales del marañón y los sedimentos fueron depositados en cuencas intra arco e intra montañas. De este modo estas rocas son areniscas cuarcíferas y cuarcitas con poca impureza de otros minerales debido a la deformación lo cual causó altas presiones que metamorfizaron las rocas a un punto de hacer plegamientos abruptos. La secuencia estratigráfica es simple mayor abundancia de areniscas y cuarcitas con intercalaciones de lutitas, pizarras, pizarras carbonosas y lutitas pizarrosas de color negro. Dentro de estas rocas se pueden observar que se han originado mantos de carbón de diferentes espesores los cuales son productores a escala mediada de este tipo de material.

5.2.3 Formación Santa (Ki-Sa)

Rocas del cretáceo inferior se formaron con las mismas características que la Formación Chimú, a diferencia estas no tuvieron épocas de calma tectónica, de modo que no hubo el desarrollo de vegetación y por ende no produjeron mantos de carbón como la formación chimú que infrayace a este. Son cuarcitas blancas fuertemente brechadas en contacto con la otra formación de modo que producen abundante oxidación en muchas ocasiones se pueden encontrar cuerpos brechados con abundante Limonita, Hematita, Jarosita y Goethita.

5.3 Litología del proyecto

En el entorno del proyecto se tienen rocas pertenecientes a las formaciones Chicama y Chimú. Han sido reconocidas rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas. Siendo que las más predominantes en el proyecto son las rocas metamórficas en las cuales se ubica el carbón mineral.

A continuación, se mencionan la litología característica del área de estudio:

Las muestras obtenidas en las actividades de exploración tales como geología de campo como perforaciones diamantinas corresponden a carbón antracita de diferentes tipos y otros estratos litológicos tales como:

Rocas Metamórficas

- Cuarcitas
- Carbon Antracita
- Pizarras

Rocas Sedimentarias

- Cuaternario
- Brecha craquelada
- Areniscas
- Lutitas

Rocas Ígneas

- Cuerpos ígneos de composición andesítica-dacítica.

- Afloramientos del tipo andesita, dacita y diorita.
- Pequeños cuerpos han intruido las unidades estratigráficas, se encontraron tipos de rocas ígneas tales como dacita (03), andesita y diorita.

A continuación, se describen las principales características de los carbones antracitas encontrados en el área del depósito.

5.3.1 Carbón Antracita TIPO 1

Antracita pura o limpia de color negro, brillo vítreo, dureza mayor a 3 (se raya con navaja), no mancha los dedos, fractura concoidea, hábito masivo, compacto, cohesión alta, tenacidad frágil y tacto suave. Este carbón es el que presenta mayor poder calorífico asociado a la puerza del mismo.

5.3.2 Carbón Antracita TIPO 2

Antracita intercalada con niveles finos de pizarra y cenizas de manera lenticular, color negro grisáceo, dureza 3, brillo vítreo, raya negra con polvo fino, mancha los dedos, frágil con mayor cantidad de planos de fracturas y poco deleznable. El poder calorífico de este tipo de carbón es intermedio. En ocasiones se le puede encontrar con carbón antracita de Tipo I separado por una pequeña intercalación (15cm) de cuarcita.

5.3.3. Material estéril

En algunos casos, en el medio de la secuencia de carbón se encuentra un estrato de material estéril, compuesta por pizarras. Color negro mate, untuoso al tacto, mancha los dedos, raya negra con polvo fino, dureza 3, compacto y masivo. Espesor variable entre 0.2m a 0.5m. En los mantos que se encuentran en la zona de estudio muchas veces se encontró en el medio de los mantos y hacia la caja techo de este modo su formación es porque las impurezas son expulsadas fuera del carbón más puro y con menor cantidad de volátiles.

5.3.4 Carbón Antracita TIPO 3

Carbón Antracita color negro con mayor contenido de cenizas y pizarras a modo de lajas, dureza 3, brillo vítreo, raya negra con polvo fino, mancha los dedos, frágil con mayor cantidad de planos de fracturas y poco deleznable. Con un poder calorífico intermedio inferior. Este carbón fue alterado por es más una alteración por aguas meteóricas, se presenta con formas de escamas.

5.3.5 Carbón Antracita TIPO 4

Carbón Antracita color negro con brillo vítreo, dureza 3 y rotura en planos asemejando espejos de falla, de baja cohesión con un alto contenido de ceniza. Al frotarse entre los dedos se vuelve un polvillo fino negro mate. Espesor aproximado de 0.5m y se presenta como espejo de falla.

Este tipo de Antracita se puede ver hacia las cajas techo de los mantos se encuentran en forma caotica a manera de una Pseudo Brecha, su contenido de antracita es bajo, pero es muy representativa.

5.3.6 Carbón Antracita TIPO 5

Carbón Antracita llamada "Cisco". Color negro, hábito masivo y apariencia sacaroidea, brilla vítreo, frágil (se parte con la mano) muy deleznable. Este carbón muchas veces se puede intercalar dentro de secuencias de antracita bien compacta como la de tipo I, es debido a esto que se debe tener cuidado al momento de extraer la muestras por el al contacto del agua suele ser un lodo negro. Continúa la secuencia con láminas delgadas (10cm de potencia) de lutitas carbonosas.

La caja piso está compuesta por arenisca. En las perforaciones se ha podido determinar que las cajas son pizarras delgadas centimétricas, las cuales pueden estar tanto al piso como al techo.

OTROS DOMINIOS LITOLÓGICOS DEL PROYECTO

En el entorno del proyecto se tienen rocas pertenecientes a las formaciones Chicama y Chimú, además existe en el área una serie de intrusivos de diferentes composiciones como dacíticos, andesíticos y dioríticos.

5.3.7 Cuarcita

Roca metamórfica producto de la recristalización de las rocas con alto contenido de cuarzo. Presenta textura obliterated, cementada, compacta y de color blanco cuando está en estado puro. Se le denomina paracuarcita cuando es de origen sedimentario y ortocuarcita cuando es de origen ígneo.

En el proyecto de investigación la cuarcita es de color gris claro, presenta textura obliterated, sin ordenamiento, muy coherente y fuertemente compacta. Los planos de estratificación se presentan a manera de salbanda de sílice gris con sulfuros con ángulos variables que van desde 50° hasta 80°. Esta roca se la puede encontrar tanto al piso como al techo de los mantos de carbón. En la perforación se ha determinado que comienza con un color gris claro variando hasta color gris oscuro cuando se encuentra cerca de los mantos de carbón. Y contienen vetillas de sílice hialina abundantes con sulfuros grises. Su alteración se presenta como filica y su ensamble es Silice+Sericita+Pirita. Mineralización Pirita diseminada dentro de la matriz y en fracturas, vetillas de sulfuros negros no reconocidos.

5.3.8 Arenisca

Roca sedimentaria clástica resultado de la consolidación y diagénesis de la acumulación de cuarzo, mica y feldespatos, entre otras minerales del tamaño de la arena. De acuerdo con el contenido de sus elementos o de su cementante, la arenisca puede denominarse: arcosa (ricas en feldespatos), grauvaca, arenisca arcillosa, arenisca limosa y arenisca calcárea. Y de ello depende el color que adquiere, existen areniscas rojizas, blancas, beige, etc. De acuerdo al tamaño de grano pueden ser: grano fino (0,2 mm), grano medio (0,63 mm) y grano grueso (2 mm).

En el proyecto estas Areniscas han sido alterados a cuarcitas de forma hidrotermal, aunque mantienen su estratificación, las cuales han sido reemplazados por sílice blanca con adición de sulfuros negros que se depositaron dentro de los planos de estratificación, la textura se encuentra completamente obliterada como se mencionó líneas arriba por la sílice hidrotermal, que ha borrado el protolito original. Presentan alteración Filica con ensamble típico: Qz-Ser-Py.

5.3.9 Lutitas

Es una roca sedimentaria detrítica, integrada por partículas muy finas del tamaño de la arcilla y del limo. Presenta estructura laminar muy fina y friable. Su contenido mineralógico se conforma de minerales arcillosos, cuarzo, feldespatos y micas.

En las lutitas negras, el color se debe a la presencia de materia orgánica, y si la cantidad de ésta es muy elevada se habla de una lutita bituminosa. Los colores blanco y verde son característicos de un ambiente de depósito ligeramente reductor mientras que las coloraciones rojas y amarillas representan un ambiente oxidante.

En el proyecto las lutitas son de color gris oscuro intercalado con presencia de pizarras y se encuentra asociado a las cajas de algunos de los mantos de

carbón como su principal modo de ocurrencia. Pero también son gran parte de la formación del Chicama del jurásico, las cuales son unas lutitas silicificadas por eventos hidrotermales próximos a intrusivo que se pueden ver en la zona de estudio.

5.3.10 Pizarras

Esta Roca Metamórfica se presenta de color negro oscuro, con textura foliada, por el intenso plegamiento de la zona, formando zonas de milonitas, dentro de su estructura como roca. No presenta alteración, en ocasiones puede ser acompañado de una débil mineralización de Pirita.

5.3.11 Brecha Crakelada

Conjunto de fragmentos rocosos, de una misma roca la cual ha sido fracturada pero no presenta transporte, se encuentra a manera de rompezabezas. Por tener poco movimiento las fracturas generadas son rellenadas por la misma roca, pero en ocasiones se las puede ver invadidas de sílice hidrotermal, probablemente por presencia de cuerpos ígneos cercanos a su formación. Su alteración es variada puede ser desde la Silicificación , hasta la alteración Filica.

VOLCÁNICOS HIPABISALES - INTRUSIVOS

5.3.12 Dacitas

Roca ígnea volcánica ácida, su composición mineral consta principalmente de plagioclasas y cuarzo en ausencia de feldespatos potásicos. Los minerales melanócratas característicos son la hornblenda y en ciertas variedades la biotita. Tiene textura afanítica. Algunas pueden presentar vidrio aunque son muy escasas. Esta roca se encuentra ubicada tanto en la formación chimú del cretáceo y la formación chicama del jurásico. Estas rocas forman cuerpos

dentro las capas de las rocas sedimentarias pueden ser de varios metros, y en donde aflora en una curva con una alteración filica moderada.

Dentro del area del proyecto se identificaron tres tipos de Dacitas.

Dacita 1 (D1).- Roca hipabisal de color blanquecino de textura microporfirítica, se presenta de manera compacta y en ocasiones se pueden encontrar fracturas. Su alteración varía desde argilica intermedia hasta filica con abundante sericita. Su mineralización se presenta como pirita de color latón a manera de parches, vetillas irregulares y en forma dendrítica.

Dacita 2 (D2).- Dacita de color verde palido de textura porfirítica con desarrollo de plagioclasas de hasta 3mm de diámetro, se presenta compacta aunque cerca de las fallas se desmoronan y pierden compacidad. Su alteración es la Propilitica: Clorita + Pirita las cuales están, la primera como matriz y la segunda como disseminado dentro de la roca.

Dacita 3 (D3).- Esta roca es color blanco porfirítica, presenta cristales desarrollados de plagioclasas que ha sido alterados, se presenta bien compacta pero suave en dureza. Su alteración ha sido de tipo argilico intermedio a filico, sus ensambles son Qz+Ser+Py o Qz+Dk+Ill, Mt+Py.

5.3.13 Diorita

Roca ígnea intrusiva de color verde grisáceo, presenta una textura porfirítica, presenta plagioclasas, biotitas y augitas alteradas ligeramente. La matriz es ligeramente propilitizada. Se encuentra ubicado en la zona de iguspampa en contacto con la formación Santa, no se puede encontrar un contacto definido con las cuarcitas, esto se debe por la cubierta coluvial y vegetal de la zona.

5.4 Controles geológicos relevantes

Dentro de los controles geológicos del área de estudio se encuentran la longitud, anchura, profundidad y continuidad de la mineralización, junto con una descripción del tipo, carácter y distribución de la mineralización para los mantos de carbón y litología. En el área de estudio se identificaron 6 mantos de carbón, los cuales presentan propiedades y características específicas. La Figura 22 presenta las características generales de los mantos de carbón antracita.

Manto de Carbón	Características Geológicas
Manto 1	Este manto presenta un promedio de Carbono Fijo de 80% y poder calorífico del orden 6,700 Kcal/kg. Puede considerarse un Carbón del TIPO 2. Se presenta fracturado, color negro de textura sacaroide y granulada. Es un manto que no presenta material estéril intercalado con el carbón.
Manto 2	Este manto presenta un Carbono Fijo de 79% y poder calorífico del orden 6,600 Kcal/kg. Puede considerarse un Carbón del TIPO 2. Se presenta de color negro perlado, ceniza en fracturas y en reticulado, se presenta a manera de sándwich, textura masiva a friable. Presenta intercalación de lutitas y pizarras.
Manto 3	Este manto presenta un Carbono Fijo de 60% y poder calorífico del orden 5,000 Kcal/kg. Puede considerarse un Carbón del TIPO 3. Antracita color negro. Fracturamiento moderado y en algunas zonas altamente fracturado.
Manto 4	Este manto presenta un Carbono Fijo de 65% y poder calorífico del orden 5,500 Kcal/kg. Puede considerarse un Carbón del TIPO 3. Se presenta de color negro perlado.
Manto 5	Este manto presenta un Carbono Fijo de 22% y poder calorífico del orden 2,000 Kcal/kg. Puede considerarse un Carbón del TIPO 4 y TIPO 5. Antracita color negro, presenta intercalaciones de pizarras y lutitas, no presenta fracturamiento de foliación.
Manto 6	Este manto presenta un Carbono Fijo de 24% y poder calorífico del orden 2,000 Kcal/kg. Puede considerarse un Carbón del TIPO 4 y TIPO 5. Antracita color

	negro, presenta intercalaciones de pizarras y lutitas, no presenta fracturamiento de foliación.
--	---

Figura 22. Características de los mantos de carbón antracita

5.5 Mineralización

Durante las actividades de exploración geológica de campo y perforaciones diamantina se encontraron diversos especímenes que presentaron algún tipo de mineralización. Dentro de las cuales se identificaron algunas características de alteraciones hidrotermales. En la Figura 23 se hace una descripción general de lo encontrado en la zona de estudio.

Litología	Descripción
Intrusivo	Dacita de color blanco y textura micro porfírica. Alteración Argílica moderada. Dacita de color blanquecino de textura micro porfírica con desarrollo de plagioclasas. La alteración es fílica (Qz-Ser-Py). La pirita en parches y diseminado en la roca. Dacita blanca de textura micro porfírica. Dacita de color blanco de textura micro porfírica. Se presenta moderadamente argilizada, predomina la sericita. Ensamble característico Qz-Ser-Py Alteración fílica.
Cuarcita	La alteración es una intensa silicificación con adición de fluidos hidrotermales obliterando la textura del protolito. La alteración es de tipo silicificación moderada reemplazando la textura de la roca. Se muestra sobreimposición de alteración de sericita + adularia. Fracturamiento intenso de tipo craquelamiento fuerte con adición de alteración de sericita cristalizada. Las fracturas presentan rellenos de sericita cristalizada con cuarzo cristalizado bipiramidal. La ocurrencia de pirita en oquedades y relleno de fracturas es débil a moderado. Hay presencia de sericita. Presenta alteración fílica (Qz-ser-Py). El cuarzo es la adición de silicehidrotermal en forma de vetillas de hasta 1 cm de espesor (e:1cm), paralelos a la estratificación la sericita se presenta en oquedades como relleno y asociado a vetilla de cuarzo cristalizado con pirita oxidada. Algunas de estas fracturas presentan oxidación supergena.
Andesita	Andesita verde-gris cortada con cz relleno de fracturas en diferentes direcciones. Andesita, contacto ciego alta silicificación con pz
Arenisca	Arenisca gris oscura con ángulo de estratos 40°. Tiene presencia de pirita diseminada y en fracturas. Ensamble Qz-ser-PY asociado a granates marrones (Grosularia). Arenisca cuarzosa de color gris blanquecino. Textura sacaroide, granos bien cementados. Presenta Py cristalizada en fracturas acompañando de sericita. La

	mineralización se encuentra en fracturas asociado a óxidos de hierro con dendrita de manganeso como pirolusita.
--	---

Figura 23. Mineralización en área de estudio

CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se muestran los resultados de los controles de calidad para cada una de las actividades de exploración tales como geología de campo y perforaciones. Asimismo, se presentan los resultados sistematizados en Figuras, resultados estadísticos obtenidos en el laboratorio. Los datos de Minero Perú han sido debidamente evaluados para ser considerados en el análisis estadístico.

Se ha considerado como parte integral de las actividades de exploración la integración del proyecto, la toma de muestras, logueo geológico, logueo geotécnico, medición de la densidad, medición de la humedad, análisis químicos y físicos, laboratorios externos, análisis de error de los resultados, cadena de custodia y base de datos.

Por otro lado, se ha considerado herramientas gráficas para mostrar los resultados, tales como histogramas, scatter plot y QQ plot

Asimismo, se hace una discusión de los resultados con el fin de mostrar las principales consideraciones e información obtenida de los resultados obtenidos en cada una de las etapas, donde se aplicó el control de calidad. Es importante mencionar que la información podría ser aplicada a otros proyectos mineros donde se realicen las actividades de exploración mencionadas en la presente investigación con el fin de cumplir la norma NI43-101 en términos de control de calidad.

RESULTADOS

6.1 Integración del proyecto

El control de calidad de las actividades de exploración comienza desde las primeras acciones para el desarrollo del programa del proyecto, esta etapa se hace en cumplimiento del ítem 1 e ítem 2 de la norma NI43-101, en ese sentido los resultados obtenidos para esta etapa se muestran en la Figura 24, en donde se hace un check list del cumplimiento de las actividades incluidas en la etapa de integración del proyecto. La integración considera no solo aspectos técnicos sino también cumplimiento de documentación del alcance, cronograma de actividades, presupuesto, identificación de riesgos, aspectos legales, ambientales y sociales. La norma internacional requiere que se cumplan todos los ítems según aplique cuando se desarrollan actividades de exploración, en ese sentido, la etapa de integración del proyecto engloba las consideraciones relevantes para el cumplimiento de la norma NI43-101.

Actividad	Resultados
Área de exploración o Estudio	Se definió el área de exploración.
Cronograma de actividades	Definido e incluye la ruta crítica de las actividades
Presupuesto	Presupuesto aprobado
Permisos Ambientales	Permisos ambientales aprobados para la realización de las actividades de exploración
Permisos de la Comunidad y Propietarios de los terrenos superficiales	Permiso de la Comunidad y propietarios de los terrenos superficiales
Permiso de Agua	Permiso de uso agua ante la Autoridad (Autoridad Nacional del Agua)
Sistema de Base de Datos	Implementación para la ejecución del proyecto
Manuales de Logueo Geológico y Geotécnico	Elaboración durante la ejecución del proyecto
Puntos Geodésicos	Puntos geodésicos certificados
Laboratorios Externos de análisis de muestras	Presupuestos de análisis de muestras

Protocolos de Calidad y de Actividades	Implementados durante el desarrollo de las actividades
Soporte logístico	Priorización de proveedores de la zona
Soporte de Área de Medio Ambiente, Legal y Relaciones Comunitarias	Personal de la empresa asignado de manera permanente a las actividades de exploración.

Figura 24. Resultados de la integración del proyecto

6.2 Toma de muestras

La toma de muestras es uno de los factores más importantes con el fin de obtener información confiable para los estudios o evaluaciones de los proyectos mineros. La norma en su ítem 9 Exploración e ítem 11 Preparación de muestras, análisis y seguridad indica la necesidad de declaración los métodos y calidad de muestras.

En la presente investigación se utilizó el protocolo de toma de muestras para las actividades de geología de campo y de las perforaciones diamantina. Para la información de Minero Perú se aplicaron métodos para asegurar la calidad de los resultados.

Siendo una de las principales actividades, se podrían generar sesgo en la calidad de información, si no se aplican controles de calidad y en ese sentido en la presente investigación se presentan los resultados detallados para minimizar cualquier tipo de error en la toma de muestras. La norma NI 43 101 en su ítem 9. Exploration describe las consideraciones para la toma de muestras y que deben ser aplicadas para poder ser verificadas por las personas calificadas.

En la presente investigación la toma de muestras se aplicó lo siguiente:

1. Registro del número de la tarjeta.
2. Número del mapa o de la fotografía aérea en la que se encuentra la localizada.
3. Ubicación del punto de muestreo, referencia de cuadrícula o número.
4. Descripción de la localidad, sección de la corriente, cara de trabajo etc., incluyendo el buzamiento, el rumbo, el techo de la veta de carbón y contactos con el suelo.
5. Grado de meteorización, fracturación, mineralización, etc.
6. Descripción litológica de cada intervalo de capas.
7. Espesor de cada intervalo de capas.
8. Número de muestra designado para cada intervalo de capas.
9. Embolsado o conservación de la muestra previo al logueo detallado en coreshake.

6.3 Control de calidad en logueo geológico de las muestras

El control de calidad en el logueo geológico estuvo asociado a la aplicación del manual de logueo en donde se detalla la estratigrafía, simbología y la información indispensable a colocar en las hojas de logueo y al cumplimiento de la Parte 6. 6.3 Preparación de reporte técnico de la norma NI43-101

Para el caso de las muestras obtenidas en geología de campo y perforaciones diamantina, la información necesaria a validar fue

- Samples (Código de sondaje modelo, from, to, peso de la muestra, tipo de material, descripción geológica de la muestra)

- Assays (Código de muestra de modelo, código de sondaje, from, to, peso, tipo de material, resultados de análisis químico de la muestra)
- Lithology (Código de sondaje en campo, código de sondaje de modelo, from, to, litología, litología final agrupada en bloques)
- Collar (Código de sondaje de modelo, este, norte, profundidad máxima, Cota, tipo de perforación, Sistema Geográfico, y zona)
- Survey (Código de sondaje de modelo, from, to, azimut, DIP)

El logueo geológico fue aplicado a ambos tipos de muestras. El manual de logueo incluyó dentro de la descripción las siguientes características Nombre de la Roca, Color, Textura, Fracturamiento, Ángulos de estratos, Contactos litológicos, Alteración, y Mineralización.

Con el fin de preservar la información de los logueos previo a cualquier manipulación de las muestras se aplicó el protocolo de calidad denominado “Registro fotográfico en campo y coreshake” para obtener una fotografía de calidad de las muestras y la cual forma parte de la base de datos. Para los resultados de Minerero Perú no se cuenta con datos fotográficos.

Posterior al registro de las fotos en la base de datos se procede a aplicar el manual de logueo identificando las diferentes litologías obtenidas en las muestras. Como se explicó en el Capítulo 4 uno de los factores que puede ocasionar sesgo en la calidad de los resultados es el mal logueo geológico.

6.3.1 Identificación de litología

Los dóminos geológicos fueron identificados durante las actividades de logueo geológico y geotécnico. Los dominios geológicos fueron Carbón Antracita, Cuarcitas, Pizarras, Dacitas, Areniscas, Lutitas, Dioritas. Importante mencionar que el Carbón Antracita presentó principalmente contactos con Cuarcitas y Pizarras. Los contactos identificados eran Cuarcita-Carbón – Cuarcita, Cuarcita-Carbón-Pizarra, Pizarra-Carbón-Pizarra. Otros contactos identificados en menor grado fueron Arenisca-Carbón-Pizarra.

6.3.2 Identificación de zonas de mineralización

Las actividades de geología se inician con un objetivo definido. Es importante incluir dentro de los controles de calidad herramientas que permitan identificar otros posibles minerales de interés. Se debe considerar que la actividad de exploración demanda tiempo y costos para poder reconocer o buscar zonas importantes. En ese sentido, el trabajo geológico y la planificación de actividad de control de calidad debe considerar potenciales hallazgos. En el caso de este proyecto de investigación se identificaron varias muestras que tienen potencial interés y que demandan mayor investigación, análisis e interpretación. La muestra fue ser preservada en su totalidad pues representa la mejor información para futuros análisis.

6.4 Control de calidad en logueo geotécnico

El logueo geotécnico es la principal fuente de información para el diseño del plan de minado y esto se indica en el ítem 16 Métodos de Minado en la norma NI43-101. El control de calidad de los aspectos técnicos relacionados a logueo geotécnico permitieron contar con información confiable para el diseño de la mina.

Dependiendo del método de minado se requiere considerar información del macizo rocoso. Las pruebas físicas y químicas permiten conocer el detalle del área de interés y seleccionar el método y del plan de minado. El plan de minado es componente esencial dentro de la estructura de costos de cualquier proyecto minero.

Como parte de la evaluación geotécnica se considera caracterizar geotécnicamente el macizo rocoso, caracterización estructural, estimación de propiedades de roca intacta y escalamiento a macizo rocoso lo que permitirá

recomendar el método de minado y hacer una evaluación geotécnica del diseño minero.

En la Figura 25 se presenta los parámetros geotécnicos evaluados en el área de estudio. Se utilizó la norma internacional descrita en la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM,1978).

Parámetros para el Logueo Geotécnico	Descripción
Tipo de Roca y Descripción	Las unidades geológicas en el área del proyecto corresponden a rocas sedimentarias y metamórficas. Las rocas corresponden principalmente a Cuarcitas, Pizarras, Areniscas y Carbón Antracita. Aparente contacto con un intrusivo Dacítico.
Recuperación Total del Testigo (TCR)	Expresada en longitud del testigo recuperado como porcentaje del total de la longitud perforada.
Índice de Calidad de Roca (RQD)	Longitud acumulada del testigo intacto recuperado mayores a 10 cm (cuatro pulgadas) dividido entre la longitud del tramo perforado. Se utilizó la clasificación de Deere (1988). Cálculo de RMR_{B76} y Q' .
Fracturas por corrida	Durante la perforación el número de fracturas por metro perforado.
Índice de dureza	Se realizaron pruebas en campo para determinar el índice de resistencia clasificándola desde extremadamente débil hasta extremadamente dura. Asimismo, se realizaron ensayos in situ de Carga Puntual y ensayos laboratorio de compresión Uniaxial, Triaxial, resistencia al corte Directo de Discontinuidades, Módulos Elásticos y Propiedades Físicas.
Grado de meteorización	Se utilizó la clasificación de ISRM (1981)
Estructuras principales	Se consideró Zona de Falla (FLT) y Testigo Triturado (BC)

Tipo de discontinuidades	Se identificó Junta (JC), Vena (VN), Estratificación (BD) y Contacto (CO)
Orientación de Discontinuidades (alfa y beta)	
Rugosidad, alteración y condiciones de las discontinuidades	Se describieron los parámetros de acuerdo a Jr y Ja (Barton,1974) y las condiciones de Discontinuidades (J_{CON}) (Bieniawski,1976).

Figura 25. Parámetros de Logueo Geotécnico

Por otro lado, es importante mencionar que desde el punto de vista diseño de mina es necesario conocer aspectos como y en ese sentido se aplicaron metodologías internacionalmente aceptadas. Sobre este punto, la norma NI43-101 especifica en el ítem 16 Mining Methods se debe declarar en los reportes bajo ese estándar los parámetros geotécnicos para el diseño de la mina y planes de minado.

Los resultados sobre control de calidad obtenidos durante las actividades de exploración con referencia al logueo geotécnico se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6:

Resultados de evaluación geotécnica

Prueba	Cantidad	Control de Calidad
Logueo Geotécnico	1,900 metros	Aplicación del Manual de Logueo, Hojas de Logueo, Cadena de Custodia.
Carga Puntual	467	Aplicación de metodología aceptada en la industria, hojas de control,
Resistencia a la Compresión Uniaxial	25	Aplicación de Protocolos para toma de muestras, aplicación metodología de análisis aceptada en la industria, Cadena de Custodia, Hojas de Base de Datos.
Resistencia a la Compresión Triaxial	12	Aplicación metodología aceptada en la industria, Cadena de Custodia, Hojas de Base de Datos.
Resistencia al Corte Directo de Discontinuidades	8	Aplicación metodología aceptada en la industria, Cadena de Custodia, Hojas de Base de Datos.
Módulos Elásticos	11	Aplicación metodología aceptada en la industria, Cadena de Custodia, Hojas de Base de Datos.

6.5 Control de calidad de las muestras para Densidad

La densidad es una característica de cada mineral dependiendo de las condiciones a las cuales fue sometida geológicamente. La norma señala en su ítem 9 Exploración que se debe declarar la densidad de las muestras obtenidas. La densidad nos permite estimar los Recursos minerales y las Reservas minerales. La densidad es medida siguiendo metodologías estándares y aceptadas en la industria minera. En la presente investigación se mencionaron las metodologías en el Capítulo 4.

Según la norma internacional NI43-101 en su ítem 9. Exploracion, la densidad es un parámetro a evaluar.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de los métodos utilizados para la medición de la densidad de carbón antracita muestran promedio de 1.63 g/cm³.

Siendo un parámetro importante para la estimación de Recursos y Reservas se aplicaron los protocolos de control de calidad con el fin de contar con información confiable.

Los controles de calidad son similares a las muestras geológicas, sin embargo, para el caso de muestras destinadas a medición de densidad se deben adicionar otras actividades para su medición según la norma específica.

La cantidad de muestras analizadas en el proyecto se presentan en la Tabla 7, a continuación:

Tabla 7:

Muestras para análisis de gravedad específica (g/cm³)

ítem	Litología	Cantidad de Muestras
1	Carbón Antracita	536
2	Cuarcita	5
3	Pizarra	2
Totales		543

Los análisis estadísticos de las densidades de Carbón Antracita se presentan en la Figura 26 y Tabla 8.

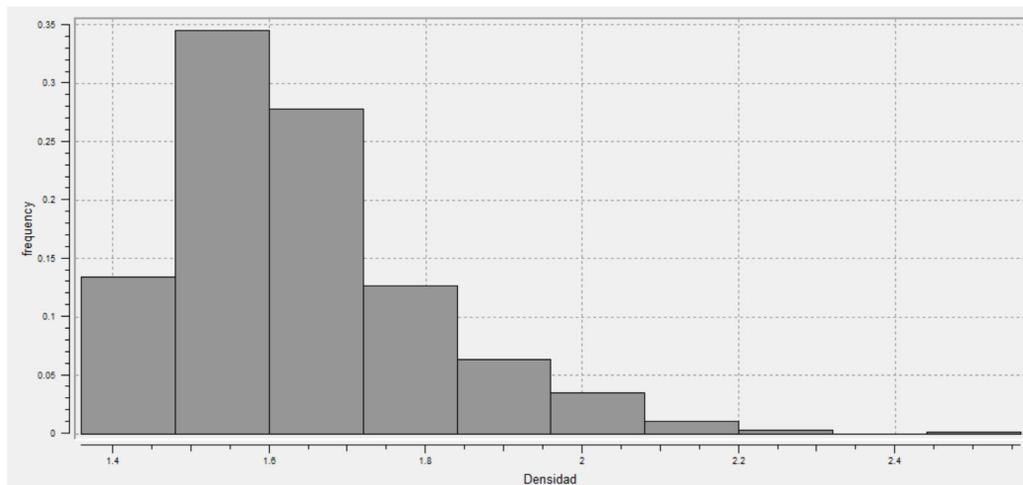


Figura 26. Histograma de densidad para muestras de Carbón Antracita

Tabla 8:

Análisis de Densidad en muestras de carbón antracita

Variable	Resultado
Numero de Datos	536
Promedio	1.63
Varianza	0.027
Máximo	2.56
Quartile Superior	1.71
Mediana	1.601
Quartile Inferior	1.51
Mínimo	1.36

6.6 Control de Calidad en análisis químicos

Los controles de calidad para los análisis de laboratorio de las muestras de carbón considerados en el proyecto tomaron en cuenta las metodologías descritas en el capítulo 4.7.11.1 en la Figura 13 asociado a los análisis de Carbón Fijo, material volátil, contenido de cenizas, contenido de azufre, poder calorífico y humedad.

Seguidamente se presentan los resultados estadísticos de las muestras obtenidas en las actividades de exploración. Se consideraron la totalidad de las muestras obtenidas en las campañas de geología de campo y de perforación. Se presenta las variables estadísticas importantes como son el promedio, la mediana, varianza, cuartiles inferior y superior.

En cumplimiento de la norma NI43-101 en su ítem 11 se define que los reportes deben contar con control de calidad en cada una de las etapas de los proyectos. En ese sentido, se siguió los lineamientos y así contar con información que permita ser usada en la estimación de Recursos y Reservas minerales.

6.6.1 Comparación de resultados de laboratorios externos

Dentro de las actividades se control de calidad esta seleccionar el laboratorio donde se enviarán las muestras para su análisis. La mejor práctica de la industrial considera enviar una misma muestra a diferentes laboratorios y verificar que los resultados se encuentren dentro de los márgenes aceptados.

Se seleccionaron muestras de carbón antracita y se enviaron a dos laboratorios externos, los cuales utilizaron las mismas metodologías de análisis. De esta manera conocer los resultados y seleccionar el laboratorio adecuado para el proyecto. En la Figura 27 se presenta los resultados obtenidos.

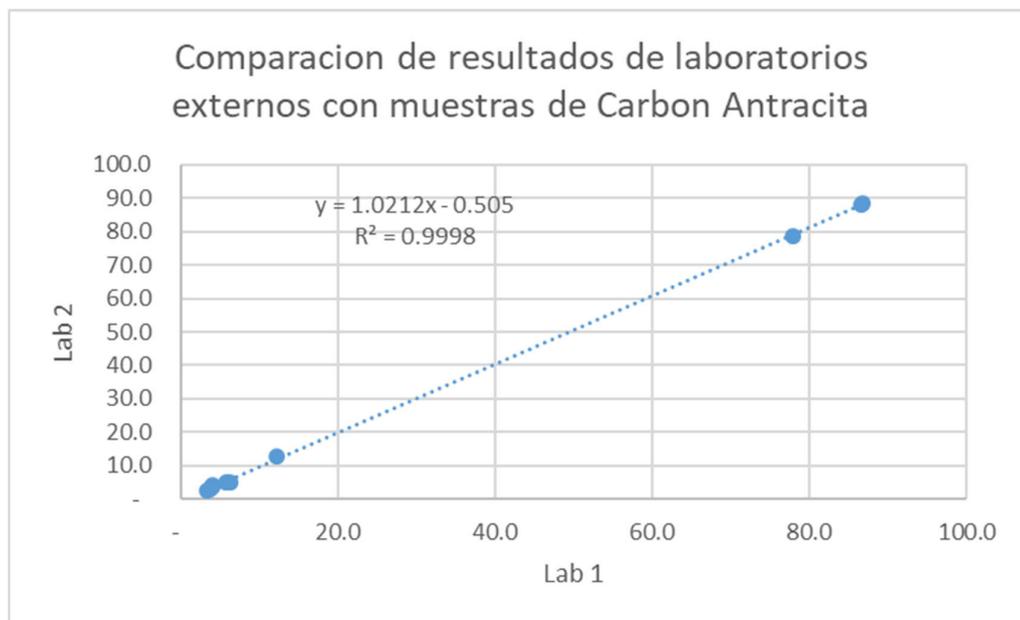


Figura 27. Comparación de resultados de laboratorios externos

Basado en los resultados técnicos y los cuales muestran igual calidad de análisis, se incorporaron variables adicionales para decidir la mejor alternativa de análisis de las muestras. Dentro de los criterios utilizados se consideró: Costo unitario de análisis, tiempo de entrega de los resultados y cercanía a las operaciones. En ese sentido, se optó por el laboratorio que representaba mejores beneficios para el proyecto.

6.6.2 Análisis estadísticos de resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos para las diferentes propiedades de los carbones que corresponden a las especificaciones comerciales para este tipo de minera. Asimismo, dentro del análisis estadístico se verificó la adecuada consistencia de los resultados. Para el desarrollo de los análisis estadísticos, se retiraron de la base de datos las muestras que no presentaba la información completa en alguna de las

variables a evaluar. El análisis estadístico solo considera la data completa y consistente.

En la presente investigación se utilizó como herramientas de análisis histogramas, scatter plot y qq plot.

Las variables analizadas y desarrolladas en este capítulo son carbón fijo, material volátil, cenizas, contenido de azufre, poder calorífico y humedad.

Asimismo, se presenta la información consolidada de toda la data obtenida. Los datos geológicos obtenidos a partir de actividades de geología de campo, los obtenidos a partir de la campaña de perforaciones diamantina y disponible de Minero Perú.

HISTOGRAMAS

6.6.2.1 Carbón Fijo

En el histograma de la Figura 28 se muestran los resultados del análisis de laboratorio de carbón fijo de las muestras totales obtenidas durante las actividades de geología de campo y la campaña de perforación.

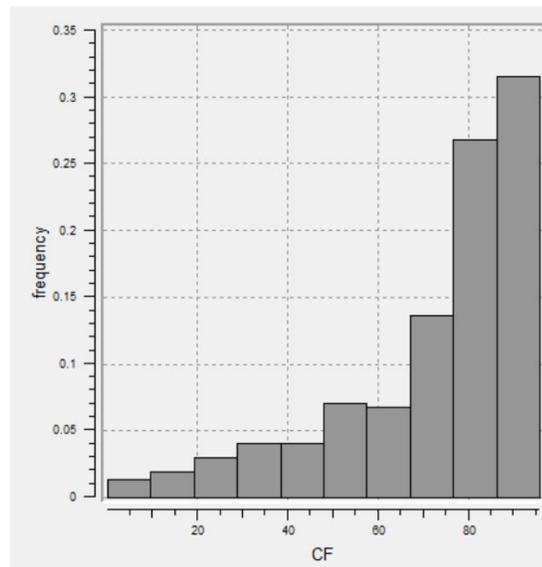


Figura 28. Histograma Carbón Fijo en muestras de carbón antracita

La Tabla 9 presenta los resultados estadísticos de la data correspondiente a la Figura 28

Tabla 9:

Datos estadísticos de Carbón Fijo en muestras de carbón antracita

Carbón Fijo	Resultados
Numero de Datos	740
Promedio	72.18
Varianza	460
Máximo	95.6
Quartile Superior	88.1
Mediana	79.4
Quartile Inferior	61.8
Mínimo	0.2

6.6.2.2 Material Volátil

Esta variable es muy importante desde el punto de vista técnico pues guarda una relación directa con aspectos de seguridad del diseño de la mina.

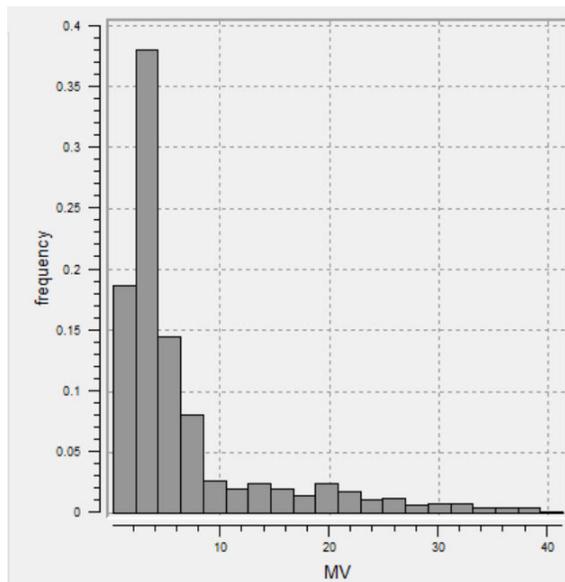


Figura 29. Histograma de Material Volátil en muestras de carbón antracita

Tabla 10:

Datos estadísticos de Material Volátil

Material Volátil	Resultados
Numero de Datos	740
Promedio	6.84
Varianza	56.21
Máximo	41.4
Quartile Superior	7.2
Mediana	3.7
Quartile Inferior	2.6
Mínimo	0.2

6.6.2.3 Cenizas

La Figura 30 muestra los resultados de las cenizas obtenidos de las muestras recolectadas en las actividades de exploración.

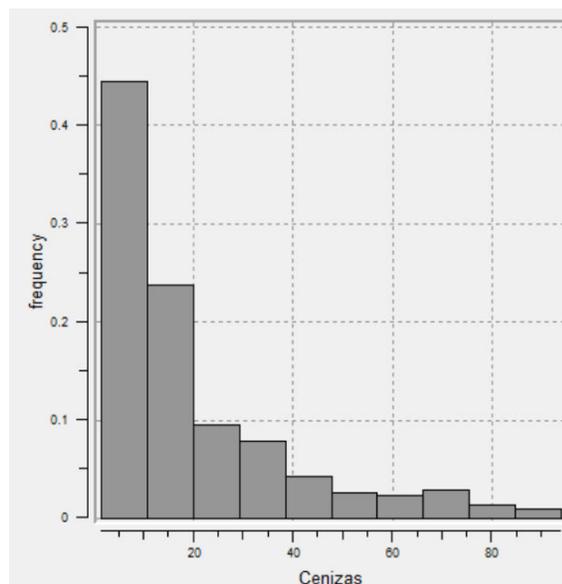


Figura 30. Histogramas de contenido de Cenizas en muestras de carbón antracita

Tabla 11:

Datos estadísticos de contenido de cenizas

Contenido de Cenizas	Resultados
Numero de Datos	740
Promedio	19.7
Varianza	371
Máximo	93.8
Quartile Superior	25.3
Mediana	12.3
Quartile Inferior	6.5
Mínimo	1.5

6.6.2.4 Contenido de Azufre

Los resultados sobre el contenido de Azufre en las muestras obtenidas en las actividades de exploración se presentan en la Figura 31

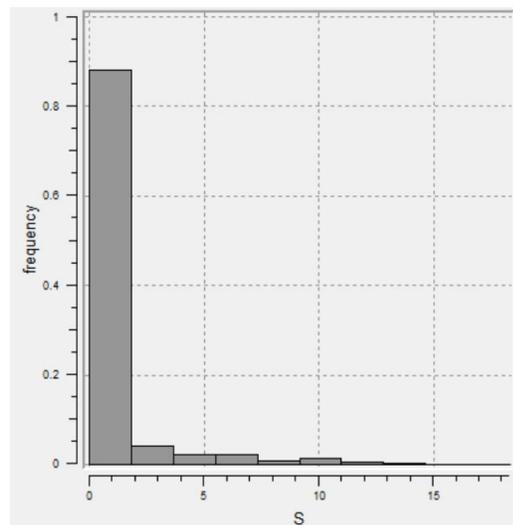


Figura 31. Histogramas de contenido de Azufre en muestras de carbón antracita

Tabla 12:

Datos estadísticos de contenido de azufre

Contenido de Azufre	Resultado
Numero de Datos	740
Promedio	1.28
Varianza	4.55
Máximo	18.3
Quartile Superior	0.8
Mediana	0.62
Quartile Inferior	0.5
Mínimo	0

6.6.2.5 Humedad

El contenido de humedad fue analizado en la totalidad de las muestras obtenidas en las actividades de exploración. La Figura 32 muestra los resultados.

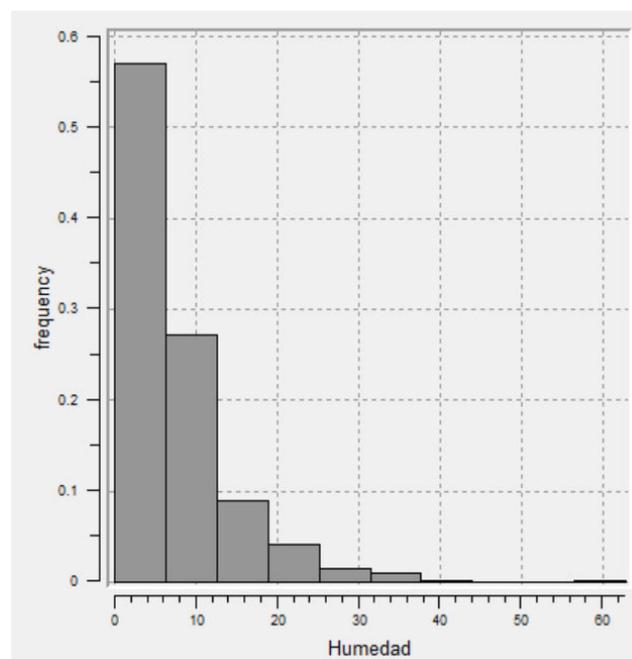
**Figura 32. Histogramas de Humedad en muestras de carbón antracita**

Tabla 13:

Datos estadísticos de humedad

Humedad	Resultado
Numero de Datos	740
Promedio	7.377
Varianza	45.71
Máximo	62.75
Quartile Superior	9.9
Mediana	5.18
Quartile Inferior	2.7
Mínimo	0

6.6.2.6 Poder Calorífico

El Poder Calorífico es una característica valorada por la industria y asociada a las aplicaciones térmicas. En ese sentido, se muestran los resultados obtenidos en las muestras de exploración.

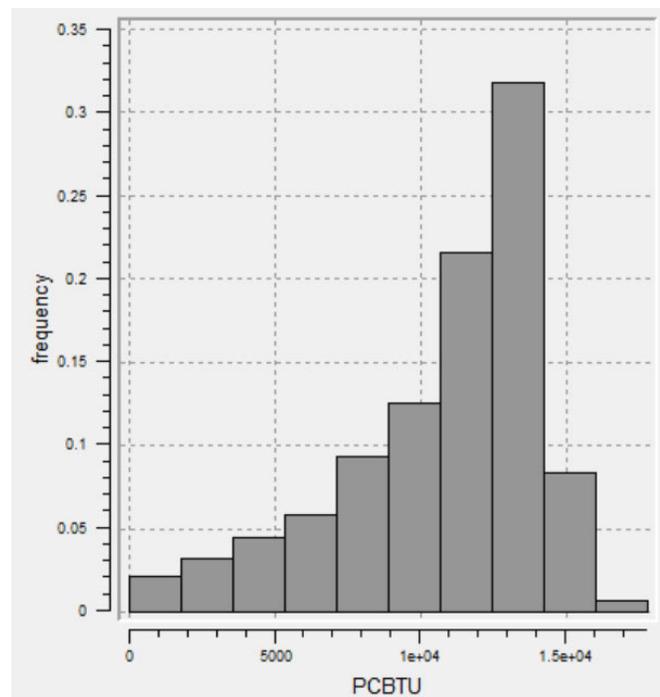


Figura 33. Histogramas de Poder Calorífico en muestras de carbón antracita

Tabla 14:

Datos estadísticos de Poder Calorífico

Poder Calorífico	Resultado
Numero de Datos	740
Promedio	10761
Varianza	1.2e+07
Máximo	17805
Quartile Superior	13366
Mediana	11777
Quartile Inferior	8900
Mínimo	2

FIGURAS SCATTER PLOT

En la presente sección se presentan las figuras mediante la herramienta Scatter plot con el fin de visualizar la relación entre las variables obtenidas durante el análisis de laboratorio

En la Figura 34 se muestra la relación entre el Carbón Fijo y contenido de cenizas obtenidos en las muestras de exploración.

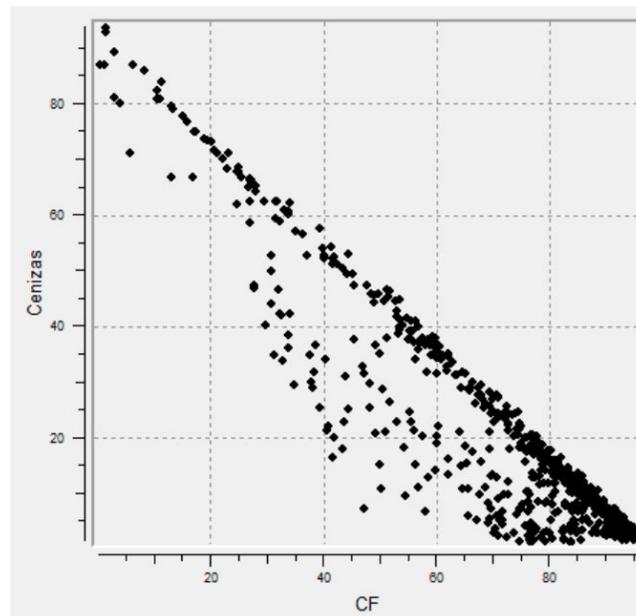


Figura 34. Carbón Fijo vs contenido de cenizas

Tabla 15:

Datos estadísticos de Carbón Fijo vs contenido de cenizas en muestras de carbón antracita

Variable	Resultado
Numero de Datos	740
Correlación	-0.927
Carbón Fijo	
Promedio	72.18
Varianza	460.68
Cenizas	
Promedio	19.7
Varianza	371.7

Por otro lado, se consideró la relación Carbón Fijo vs Material Volátil como muy importante para fines de explotación del recurso mineral en el yacimiento. En la Figura 35 se presentan los resultados del total de las muestras obtenidas en las actividades de exploración.

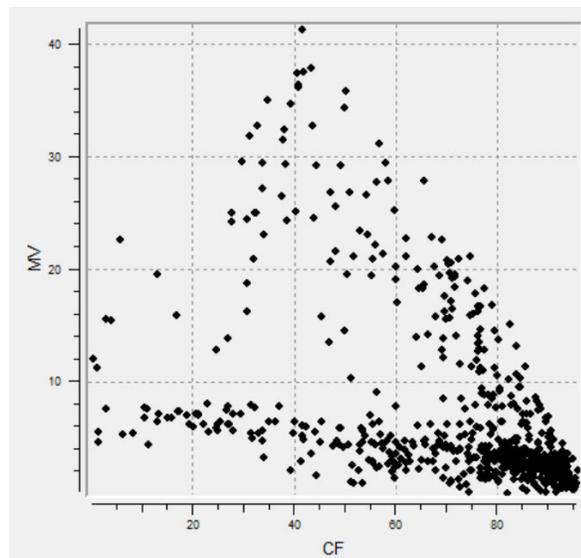


Figura 35. Carbón Fijo vs Material Volátil

Tabla 16:

Datos estadísticos de Carbón Fijo vs material volátil en muestras de carbón antracita

Variable	Resultado
Numero de Datos	740
Correlación	-0.48
Carbón Fijo	
Promedio	72.2
Varianza	460.68
Material Volatil	
Promedio	6.84
Varianza	56.2

La relación Carbón Fijo y contenido de azufre permite conocer la homogeneidad del depósito. El azufre es una restricción comercial y en ese sentido es importante conocer la relación entre ambas variables. En la Figura 36 se muestra los resultados obtenidos en las muestras de exploración.

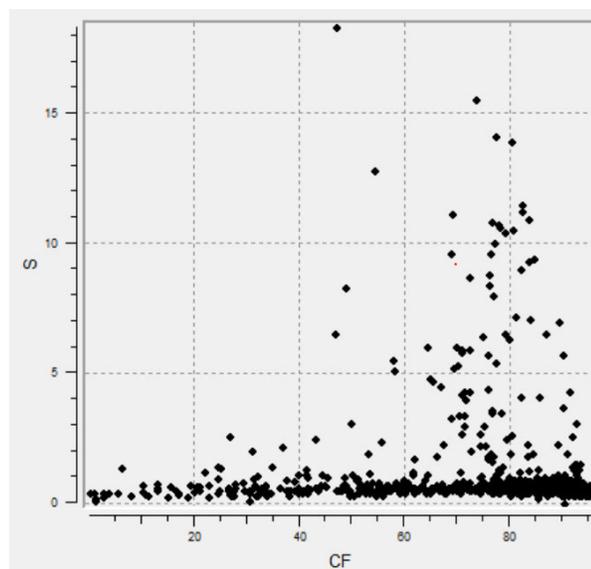


Figura 36. Carbón Fijo vs Contenido de Azufre

Tabla 17:

Datos estadísticos de Carbón Fijo vs contenido de azufre en muestras de carbón antracita

Variable	Resultado
Numero de Datos	740
Correlación	0.03
Carbón Fijo	
Promedio	72.2
Varianza	460.68
Contenido de Azufre	
Promedio	1.28
Varianza	4.55

La relación Material Volátil y contenido de Azufre es mostrada en la Figura 37.

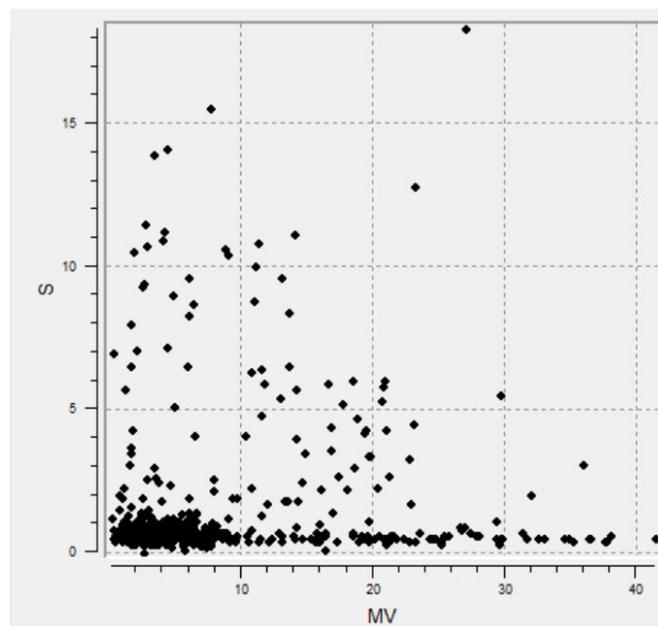


Figura 37. Material volátil vs Contenido de Azufre

Tabla 18:

Datos estadísticos de Material Volátil vs contenido de azufre en muestras de carbón antracita

Variable	Resultado
Numero de Datos	740
Correlación	0.1303
Material Volátil	
Promedio	6.84
Varianza	356.21
Contenido de Azufre	
Promedio	1.28
Varianza	4.55

FIGURAS QQ Plot

En el siguiente capítulo se muestran las Figuras QQ plot para las muestras obtenidas en las actividades de geología de campo y perforaciones diamantina. La evaluación considera como hipótesis nula que todas las muestras provienen de una distribución normal.

La Figura 38 y Tabla 19 muestran los resultados de QQ plot para Carbón Fijo en las muestras de Carbón Antracita.

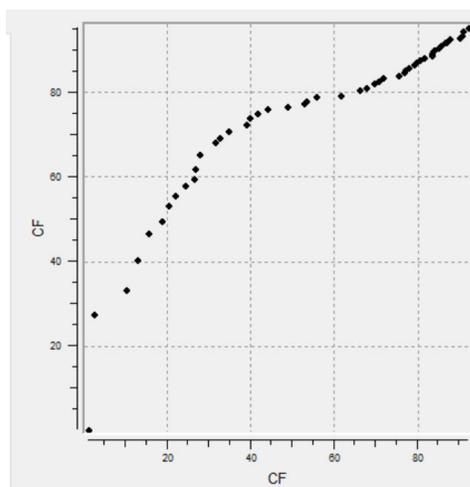


Figura 38. QQ Plot para Carbón Fijo en muestras de carbón antracita

Tabla 19:

Datos estadísticos de QQ Plot para Carbón Fijo en muestras de carbón antracita

Variable	Resultados
Carbón Fijo (Perforaciones)	
Numero de Datos	147
Promedio	57.9
Varianza	756
Carbón Fijo (G.Campo)	
Numero de Datos	593
Promedio	75.7
Varianza	325.6

La Figura 39 y Tabla 20 muestran los resultados de QQ plot para Material Volátil en las muestras de Carbón Antracita.

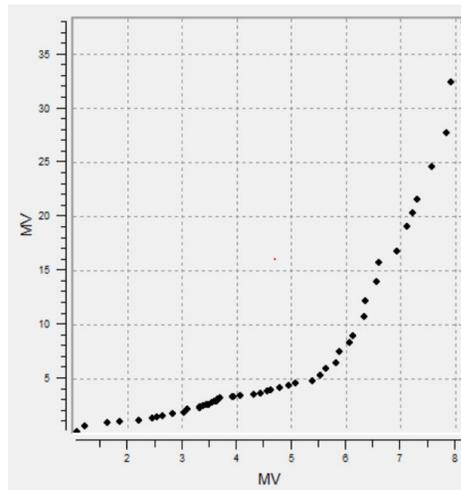


Figura 39. QQ Plot para Material Volátil en muestras de carbón antracita

Tabla 20:

Datos estadísticos de QQ Plot para Material Volátil en muestras de carbón antracita

Variable	Resultados
Material Volátil (Perforaciones)	
Numero de Datos	147
Promedio	4.60
Varianza	3.51
Material Volátil (G.Campo)	
Numero de Datos	593
Promedio	7.39
Varianza	67.76

La Figura 40 y Tabla 21 muestran los resultados de QQ plot para contenido de cenizas en las muestras de Carbón Antracita.

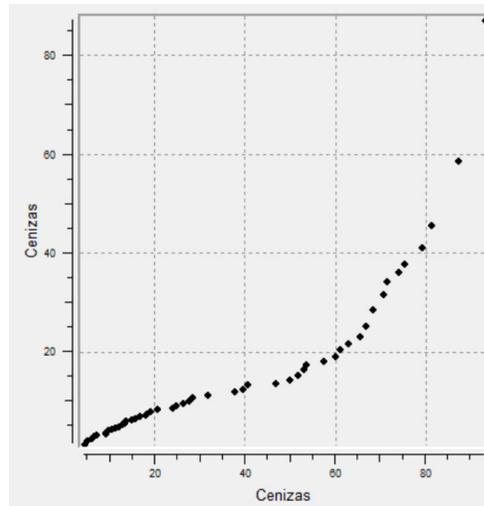


Figura 40. QQ Plot para contenido de cenizas en muestras de carbón antracita

Tabla 21:

Datos estadísticos de QQ Plot para contenido de cenizas en muestras de carbón antracita

Variable	Resultados
Cenizas (Perforaciones)	
Numero de Datos	147
Promedio	36.68
Varianza	683.8
Cenizas (G.Campo)	
Numero de Datos	593
Promedio	15.48
Varianza	205.9

La Figura 41 y Tabla 22 muestran los resultados de QQ plot para contenido de azufre en las muestras de Carbón Antracita.

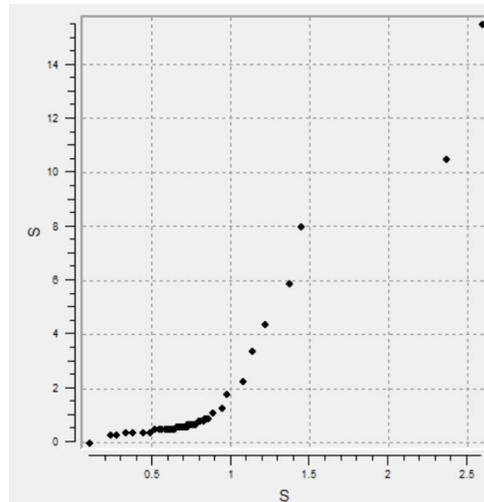


Figura 41. QQ Plot para contenido de azufre en muestras de carbón antracita

Tabla 22:

Datos estadísticos de QQ Plot para contenido de azufre en muestras de carbón antracita

Variable	Resultados
Azufre (Perforaciones)	
Numero de Datos	147
Promedio	0.77
Varianza	0.16
Azufre (G.Campo)	
Numero de Datos	593
Promedio	1.40
Varianza	5.57

6.6.3 Análisis de error en los resultados

Durante las actividades de exploración se realizaron controles asociados a la precisión y exactitud. Se utilizaron los criterios aceptados por la industria minera y así cumplir con la norma NI43-101. Se obtuvo porcentajes de error de las muestras recolectadas valores desde 0.63% hasta 6.35%. En la Figura 42 se muestra se presenta los protocolos de calidad aplicados en la inserción de estándares, duplicados y blancos. Asimismo, el laboratorio aplicó la inserción de estándares durante el análisis de las muestras.

Procedimiento	Estándares	Duplicados	Blancos
Laboratorios Externos	1 estándar cada 20 muestras	Duplicados al azar por Batch	2 blancos / Batch

Figura 42 Protocolos de calidad del laboratorio externos

Estándares

El laboratorio externo utilizó estándares en la medición de las características del carbón. Se insertó un estándar en cada batch analizado.

Blancos Gruesos

Los blancos utilizados como muestras de control muestran bajos valores de Carbón Fijo. Se utilizó material pizarroso proveniente del área de estudio. Los resultados de Carbón Fijo, obtenidos en los blancos se muestran en la Figura 43.

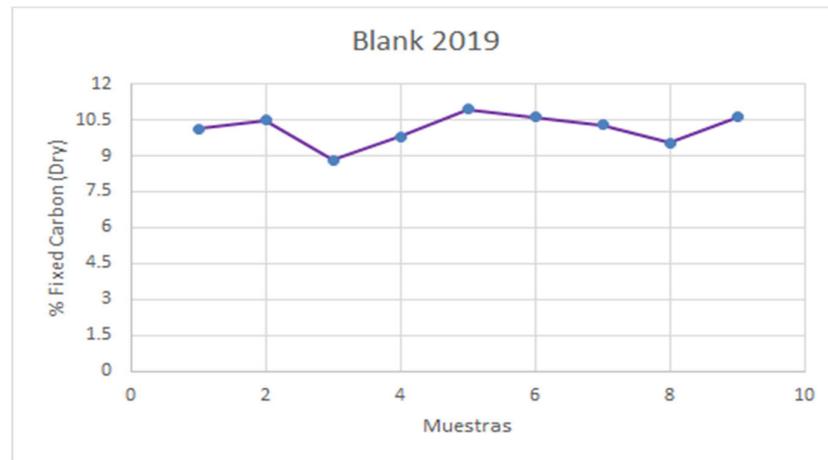


Figura 43. Resultados de muestras blanco

Duplicados Gruesos

Se insertaron duplicados gruesos durante el envío de las muestras al laboratorio externo con el fin de contar con información confiable para las variables Carbón Fijo, Material Volátil, Cenizas y contenido de azufre.

Carbón Fijo

La Figura 44 muestra los resultados de Carbón Fijo para las muestras originales y duplicados. Los resultados de la correlación son buenos ya que los datos están dentro de los límites.

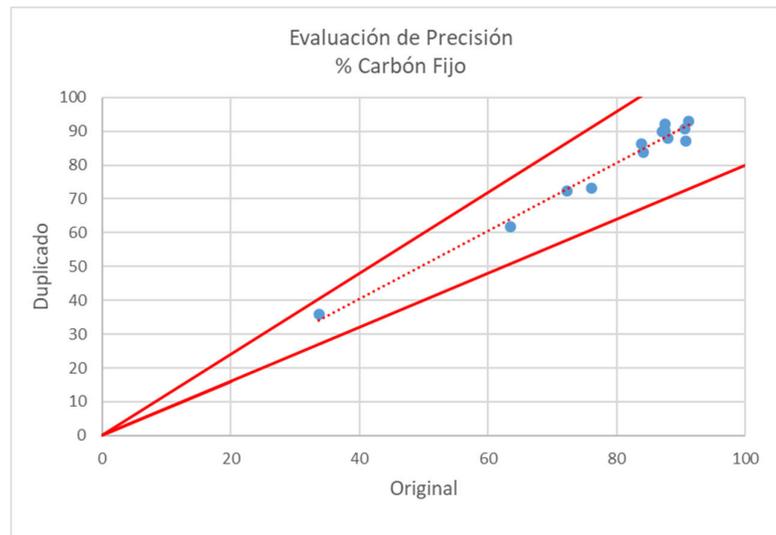


Figura 44. Resultados de precisión Carbón Fijo de muestras de carbón antracita

Cenizas

La Figura 45 muestra los resultados para Cenizas para las muestras originales y duplicadas. Los resultados de la correlación muestran datos ligeramente atípicos para los niveles bajos de cenizas.

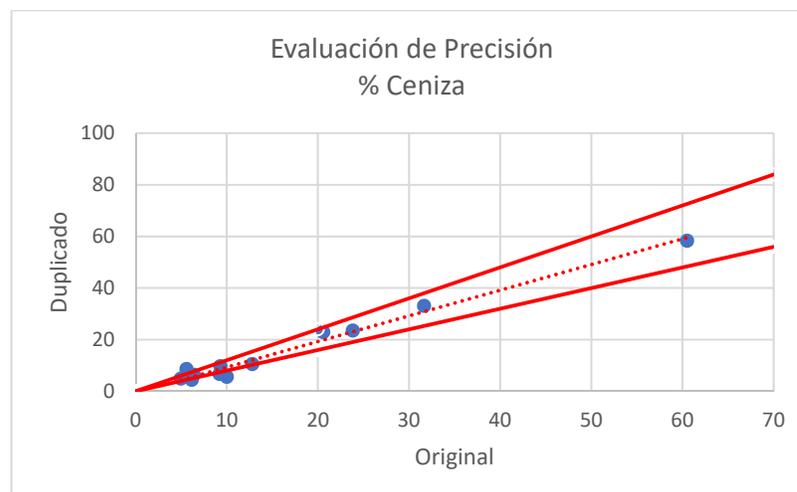


Figura 45. Resultados de precisión contenido de cenizas de muestras de carbón antracita

Material Volátil

La Figura 46 muestra los resultados de Material Volátil para las muestras originales y duplicados. Los resultados de la correlación presentan algunos datos ligeramente fuera de los rangos máximos y mínimos. El mayor porcentaje de datos son buenos.

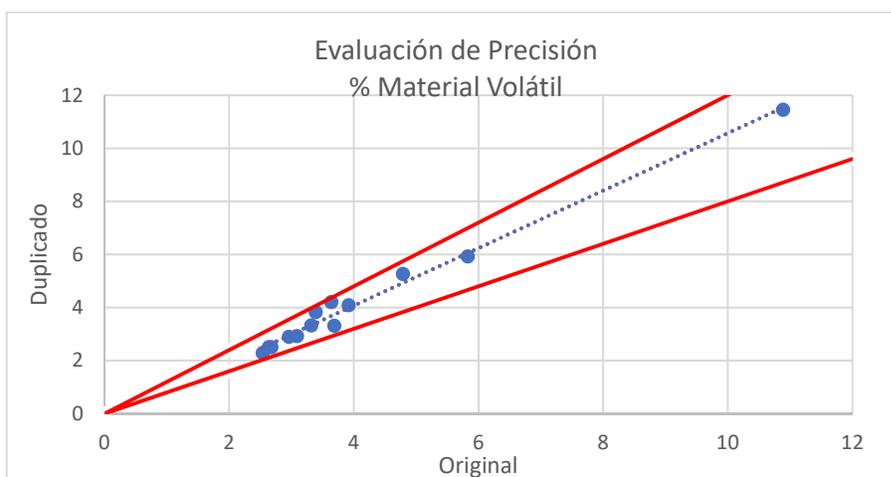


Figura 46. Resultados de precisión Material Volátil de muestras de carbón antracita

Contenido de Azufre

La Figura 47 muestra los resultados de contenido de Azufre para las muestras originales y duplicados. Un solo resultado de la correlación está fuera de rango. Todos los demás datos presentan buena correlación.

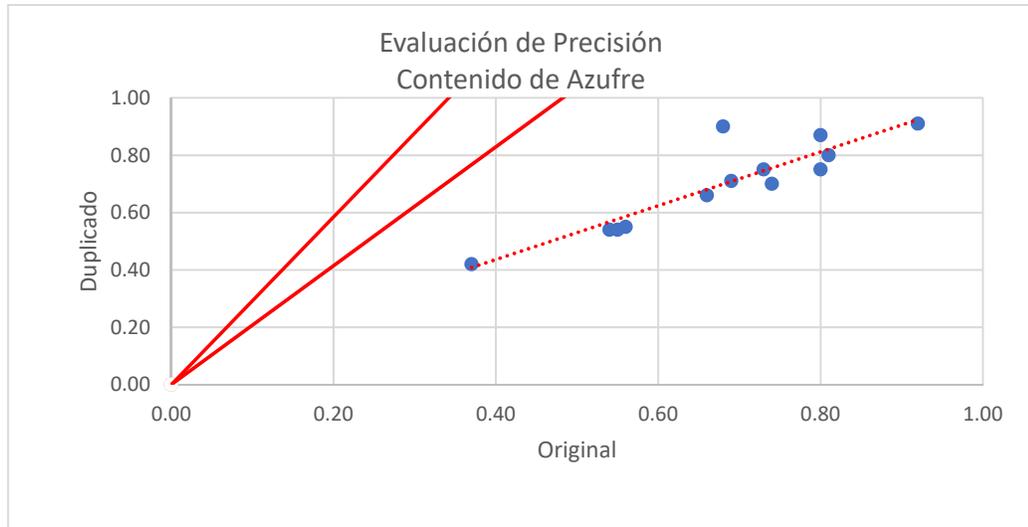


Figura 1 Evaluación de Duplicados para análisis de Contenido de Sulfuro

Figura 47. Resultados de precisión contenido de azufre de muestras de carbón antracita

6.7 Control de calidad en cadena de custodia

La cadena de custodia es uno de los aspectos más importantes de las actividades de control de calidad. En la presente investigación se aplicaron los protocolos de cadena de custodia en las actividades de geología de campo y de perforación diamantina. La norma en su ítem 11 incluye la seguridad de los resultados como parte de la declaración. En la Figura 12 del Capítulo 4 se muestra los puntos críticos donde se aplicaron los controles de cadena de custodia.

Para la aplicación de cadena de custodia se aplicaron formatos estandarizados y así asegurar la muestra según es indicado en el ítem 11 de la norma NI43-101. Por otro lado, se aplicaron un total de 56 mecanismos de cadena de custodia durante la ejecución del proyecto cubriendo el 100% de las muestras y así poder realizar el tracking de los resultados obtenidos.

6.8 Control de calidad en la base de datos

Como se detalló en el Capítulo 4, con el fin de obtener una base de datos y así lograr optimizarla se desarrolló las siguientes etapas como parte del control de calidad. Las etapas fueron recolección de información, verificación de datos, tratamiento de datos, ingreso de información a base de datos y elaboración de base optimizada de datos. La norma NI43-101 en su ítem 12 Verificación de datos, incluyendo procedimientos aplicados a las actividades de exploración. A continuación, se detallan los resultados obtenidos sobre cada una de estas etapas.

6.8.1 Recolección de información

Como se mencionó previamente los datos geológicos fueron obtenidos de las actividades de geología de campo y perforaciones diamantina, asimismo, los controles de calidad permitieron sistematizar la información para la elaboración de la base de datos optimizada.

Las etapas que brindaron información fueron la toma de muestras, el logueo geológico y geotécnico, análisis de laboratorio, análisis de densidad y cadena de custodia.

Estas actividades permitieron contar con información para la elaboración de la base de datos del depósito de carbón de manera optimizada y de esta manera ser la base para los futuros estudios y análisis de la factibilidad del depósito de Carbón Antracita.

Los datos que se recolectaron durante las actividades de geología de campo y perforaciones diamantina se presentan en la Tabla 23.

Datos	Actividad
Ubicación de las muestras	Geología de Campo / Perforación Diamantina
Tipo de muestras	Geología de Campo / Perforación Diamantina
Características Geológicas de las muestras	Logueo Geológico, peso, preparación de muestras
Características geotécnicas de las muestras	Logueo Geotécnico, ensayos geotécnicos, cálculo de RQD, RMR y Q'.
DIP, Azimuth, from/to	Geología de Campo / Perforación Diamantina
Análisis Químicos	Ensayos de laboratorio
Análisis de Gravedad Específica	Ensayos de laboratorio
Representatividad de las muestras	Aplicación de manual de toma de muestras

Figura 48. Datos recolectados durante las actividades de exploración

6.8.2 Verificación de datos

La etapa de verificación de datos permitió analizar la calidad de los resultados obtenidos, con el fin de contar con información consistente. Las actividades de verificación se aplicaron a las actividades de geología de campo y de las perforaciones diamantina.

Para verificar la consistencia de los datos se utilizaron los criterios establecidos en la Figura 18 y cuyos resultados se resumen en la Tabla 23

Tabla 23:

Consistencia de los resultados obtenidos

Indicador	Descripción	Cantidad
Muestras	Cantidad de Muestras	740
Tracker	Control de despachos a Laboratorio	104
Ensayos	Recepción y distribución de resultados	6,170
Densidad	Análisis de Densidad de Carbón Antracita	536
QAQC	Cantidad de Protocolos aplicados	14
Auditorías	Auditorías de Datos	3
Reportes	Cantidad de Reportes utilizados en la base de datos	18

6.8.3 Tratamiento de datos

Determinar la calidad de la información obtenida en las actividades de geología de campo y perforaciones diamantina es uno de los objetivos de la presente investigación. En ese sentido, los criterios para definir si los datos podrán ser utilizados en la base de datos optimizada bajo la norma NI43-101 deben cumplir los criterios mostrados en el Anexo 2.

En adición y considerando las restricciones técnicas para la clasificación de los carbones según la norma internacional A.S.T.M y asociado al cumplimiento de la norma internacional NI43-101. Se desarrolla el análisis de resultados obtenidos de las muestras de geología de campo y perforaciones diamantina que cumplen con normas internacionales.

Se consideró como principales variables de análisis el Carbón Fijo y el Poder Calorífico de los resultados.

Tabla 24:

Clasificación de carbones según contenido de Carbón Fijo y Poder Calorífico

Tipo de Carbón	Carbón Fijo (%)	Poder Calorífico (Btu/lb)	Material Volátil (%)
Antracita	>86%		14%
Bituminoso Medio/Bajo MV	>69%		22%
Bituminoso Alto MV		>11,500	31%
SubBituminoso		>8,300	
Lignito		>5,000	

Fuente: ASTM,2000

Los criterios establecidos en la norma internacional A.S.T.M y la norma internacional NI43-101, se presenta en este capítulo la optimización de los datos con el fin de poder ser utilizados en la base de datos optimizada. Se ha considerado en la investigación las principales características de los carbones antracitas como el carbón fijo, material volátil, cenizas, contenido de azufre.

Otros criterios utilizados fueron los resultados de las pruebas metalúrgicas de separación física a nivel industrial que se realizaron con el fin de conocer las características físicas del carbón que pueden ser procesadas con el fin de obtener productos comerciales. En la prueba industrial se obtuvo productos

comerciales alimentando carbón antracita con un contenido de cenizas máximo de 21.35%.

Basado en lo antes mencionado, las restricciones para la optimización de la Base de Datos son: Carbón Fijo => 69%, Poder Calorífico => 5,000 BTU/lb y contenido de cenizas <= 21%.

Finalmente, desde el punto de vista comercial, el contenido de azufre en los carbones no puede exceder 1%.

6.8.1 Carbón Fijo

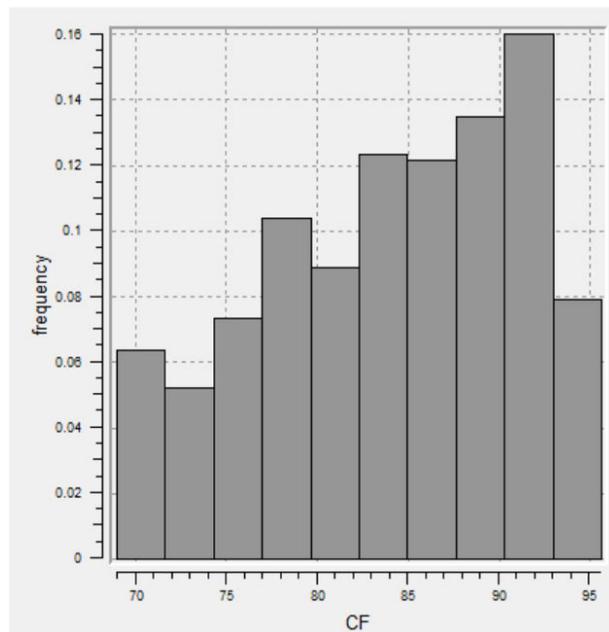


Figura 49. Histograma de carbón Fijo para muestras de carbón antracita en base de datos optimizada

Tabla 25:

Datos Estadísticos de Carbón Fijo en muestras de carbón antracita en base de datos optimizada

Carbón Fijo	Resultado
Numero de Datos	519
Promedio	84.06
Varianza	48.86
Máximo	95.6
Quartile Superior	90.1
Mediana	84.88
Quartile Inferior	78.5
Mínimo	69.0

6.8.2 Poder Calorífico (BTU/lb)

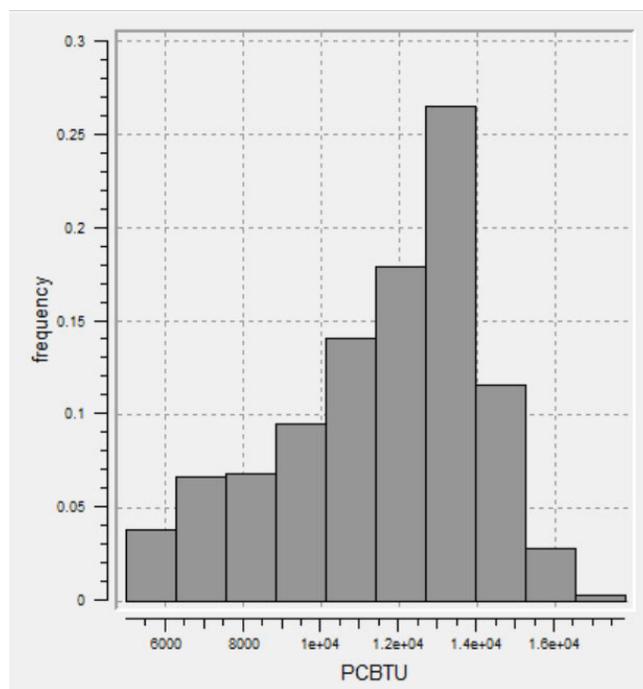


Figura 50. Histograma de Poder Calorífico para muestras de carbón antracita en base de datos optimizada

Tabla 26:

Datos Estadísticos de Poder Calorífico en muestras de carbón antracita en base de datos optimizada

Poder Calorífico	Resultado
Numero de Datos	675
Promedio	11525
Varianza	6.5e+06
Máximo	17805
Quartile Superior	13424
Mediana	12153
Quartile Inferior	9915
Mínimo	5008

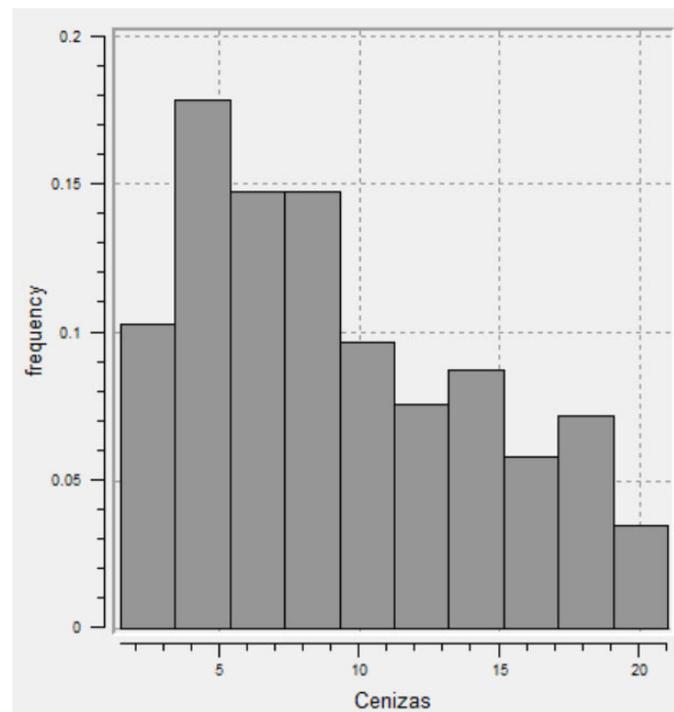


Figura 51. Histograma de contenido de Cenizas para muestras de carbón antracita en base de datos optimizada

Tabla 27:

Datos estadísticos de Contenido de Cenizas en muestras de carbón antracita en base de datos optimizada

Contenido de Cenizas	Resultado
Numero de Datos	516
Promedio	9.32
Varianza	295.54
Máximo	21.0
Quartile Superior	13.3
Mediana	8.3
Quartile Inferior	5.0
Mínimo	1.5

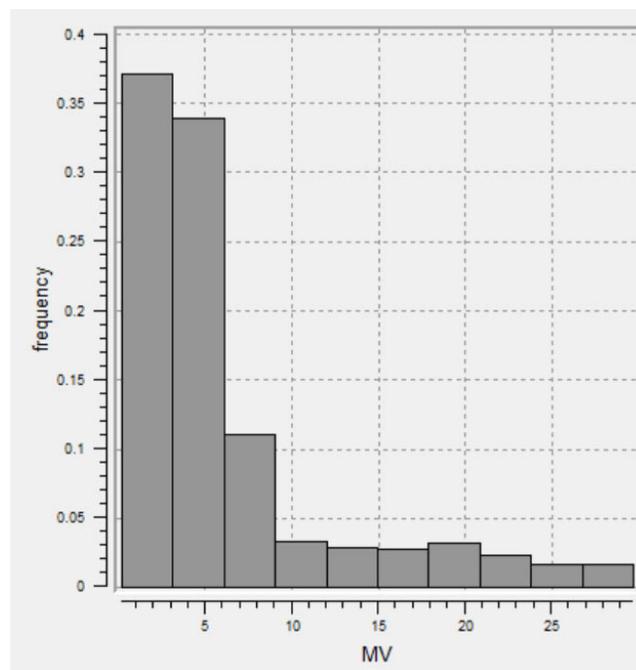


Figura 52. Histograma de contenido de Material Volátil para muestras de carbón antracita en base de datos optimizada

Tabla 28

Datos estadísticos de contenido de material volátil en muestras de carbón antracita en base de datos optimizada

Material Volátil	Resultado
Numero de Datos	724
Promedio	6.21
Varianza	39.3
Máximo	29.7
Quartile Superior	6.6
Mediana	3.69
Quartile Inferior	2.58
Mínimo	0.2

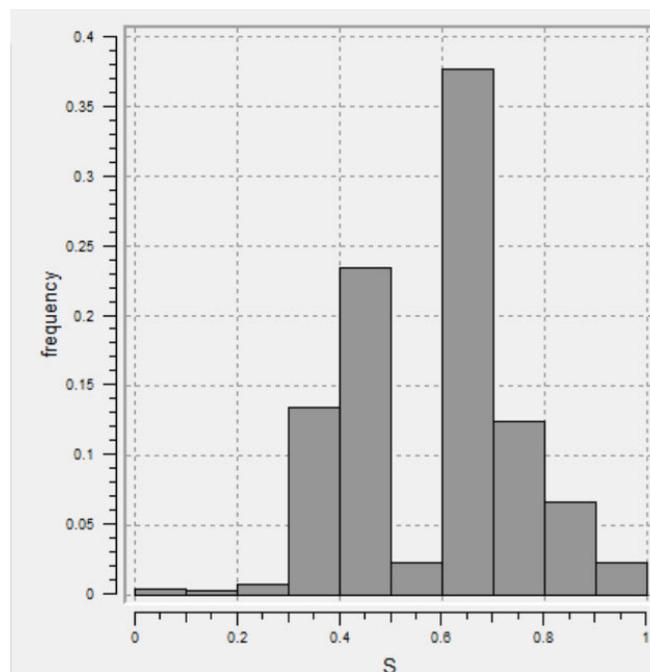


Figura 53. Histograma de contenido de azufre para muestras de carbón antracita en base de datos optimizada

Tabla 29:

Datos estadísticos de Contenido de Azufre en muestras de carbón antracita en base de datos optimizada

Contenido de Azufre	Resultado
Numero de Datos	610
Promedio	0.60
Varianza	0.02
Máximo	1
Quartile Superior	0.7
Mediana	0.6
Quartile Inferior	0.5
Mínimo	0

6.8.4 Ingreso a base de datos

El ingreso a la base de datos se realizó siguiendo el procedimiento para la administración de bases de datos y así ingresar las variables o características necesarias que permitan la estimación de Recursos y Reservas minerales futuras.

6.8.5 Base optimizada

Considerando lo desarrollado en los capítulos anteriores sobre los procedimientos aplicados en las actividades de exploración de geología de campo y perforación diamantina, los resultados son consistentes con el fin de desarrollar una base de datos optimizada para ser utilizada en las siguientes etapas del proyecto minero.

El control de calidad para una base de datos optimizada permite disponer de datos primarios tales como datos geológicos regional y local, litología, datos de geología estructural, alteraciones, mineralización, asimismo, Survey data, datos geofísicos, topográficos, análisis de laboratorio, sistemas de cuadrículas locales, RQD o calidad de roca, densidad, fechas de actividades y responsables de la ejecución de las actividades.

En base a los datos primarios será posible realizar proyecciones, interpolaciones y modelos de bloques con información veraz, consistente y finalmente, esta información será utilizada para la definición de métodos de minado, metalurgia, evaluaciones económicas, estudios ambientales y sociales.

Seguidamente se presenta desde la Tabla 30 a la Tabla 34 la comparación entre los resultados originales y los datos obtenidos luego de la optimización los cuales están basados en las características de clasificación de carbón según la norma ASTM y la norma NI43-101 y asimismo, se tomó en cuenta pruebas metalúrgicas preliminares realizadas con el fin de conocer la calidad de carbón que puede ser procesado con el fin de obtener productos comerciales.

Tabla 30:

Datos optimizados de Carbón Fijo en muestras de carbón antracita

Carbón Fijo %	Data Original	Data Optimizada
Numero de Datos	740	519
Promedio	72.18	84.06
Varianza	460	48.86
Máximo	95.6	95.6
Quartile Superior	88.1	90.1
Mediana	79.4	84.88
Quartile Inferior	61.8	78.5
Mínimo	0.2	69.0

Tabla 31:

Datos optimizados de Poder Calorífico en muestras de carbón antracita

Poder Calorífico BTU/lb	Data Original	Data Optimizada
Numero de Datos	740	675
Promedio	10761	11525
Varianza	1.2e+07	6.5e+06
Máximo	17805	17805
Quartile Superior	13366	13424
Mediana	11777	12153
Quartile Inferior	8900	9915
Mínimo	2	5008

Tabla 32:

Datos optimizados de contenido de cenizas en muestras de carbón antracita

Contenido de cenizas (%)	Data Original	Data Optimizada
Numero de Datos	740	516
Promedio	19.7	9.32
Varianza	371	295.54
Máximo	93.8	21.0
Quartile Superior	25.3	13.3
Mediana	12.3	8.3
Quartile Inferior	6.5	5.0
Mínimo	1.5	1.5

Tabla 33:

Datos optimizados de contenido de material volátil en muestras de carbón antracita

Material Volátil (%)	Data	Data
	Original	Optimizada
Numero de Datos	740	724
Promedio	6.84	6.21
Varianza	56.21	39.3
Máximo	41.4	29.7
Quartile Superior	7.2	6.6
Mediana	3.7	3.69
Quartile Inferior	2.6	2.58
Mínimo	0.2	0.2

Tabla 34:

Datos optimizados de contenido de azufre en muestras de carbón antracita

Contenido de Azufre (%)	Data	Data
	Original	Optimizada
Numero de Datos	740	610
Promedio	1.28	0.60
Varianza	4.55	0.02
Máximo	18.3	1
Quartile Superior	0.8	0.7
Mediana	0.62	0.6
Quartile Inferior	0.5	0.5
Mínimo	0	0

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran información relevante para el desarrollo de los proyectos mineros que estén asociados al cumplimiento de normas internacionales tales como la NI43-101.

Mediante esta investigación se ha desarrollado los controles de calidad necesarios para el cumplimiento de la norma internacional NI43-101 aplicados durante las actividades de exploración tales como geología de campo y perforaciones diamantina.

Las actividades de control de calidad comienzan desde la toma de muestras, es evidente que este es el primer paso para generar información que permita desarrollar la estimación de Recursos y Reservas del depósito de carbón y en este sentido los resultados han mostrado las consideraciones a implementar con el fin de contar con información confiable desde el inicio de las actividades. Durante la ejecución de la toma de muestras en la investigación se aplicaron los protocolos de calidad al 100% de las muestras en geología de campo y muestras obtenidas en la perforación. Los controles de calidad en esta etapa permitieron introducir en la base de datos información para la elaboración de la interpretación geológica y modelo de Recursos de carbón, por ejemplo Samples (Código de sondaje modelo, from, to, peso de la muestra, tipo de material, descripción geológica de la muestra), Assays (Código de muestra de modelo, código de sondaje, from, to, peso, tipo de material, resultados de análisis químico de la muestra), Lithology (Código de sondaje en campo, código de sondaje de modelo, from, to, litología, litología final agrupada en bloques), Collar (Código de sondaje de modelo, este, norte, profundidad máxima, Cota, tipo de perforación, Sistema Geográfico, y zona) y Survey (Código de sondaje de modelo, from, to, azimut, DIP).

La actividad de logueo geológico fue una de las principales en temas de control de calidad, se aplicó el manual de logueo geológico como parte del

protocolo de logueo y mediante el cual se identificaron los dominios geológicos y la litología del depósito. Importante mencionar que el logueo geológico permitió identificar información para la interpretación geológica y así desarrollar posteriormente el modelo geológico. Los controles de calidad durante el logueo geológico fueron verificación de las cajas o bolsas de muestras, tarjetas de muestreo, identificación de puntos de contacto, aplicación del protocolo de fotografía de muestras, identificación de las características geológicas tales como color, textura, fracturamiento, ángulos de estratos, contactos litológicos, alteración, y mineralización.

El logueo geotécnico permitió conocer las características del depósito estudio y de esta forma proporcionar información para el diseño de mina y plan de minado. Se aplicó el control de calidad sobre la información obtenida la cual muestra que es necesario contar con características del macizo rocoso como RQD, el Q' y las zonas de fracturamiento del depósito. Asimismo, los resultados de laboratorio asociado a carga puntual, resistencia a la compresión uniaxial, triaxial, corte directo de discontinuidades, métodos elásticos y propiedades físicas. Estos resultados permitirán contar con información precisa para la selección del método de minado.

El control de calidad en muestras para el cálculo de la gravedad específica permitió aplicar los métodos aceptados por la industria cumplir con la norma NI43-101.

Los resultados sobre este parámetro muestran que la densidad del carbón antracita dentro del depósito varía desde 1.36 a 2.56. Con estos valores y la interpretación geológica será posible desarrollar el modelo Recursos con el fin de estimar las toneladas de carbón antracita en el depósito. Por otro lado, la gravedad específica de los materiales en contacto con el carbón es información relevante para el cálculo de las toneladas de material de desmonte, para ser utilizado en el plan de minado y para la evaluación económica del proyecto.

Los controles de calidad para el cálculo de humedad muestran los límites valores máximos de 62.75% en el depósito, una media de 5.18% y un promedio de 7.37%, esta manera esta variable se considera para el diseño de

la mina y el diseño de los equipos que serán necesarios durante la explotación minera.

Los análisis de laboratorio muestran que las características del carbón se encuentran en valores comerciales que pueden ser aplicados dentro de la industria térmica, siderúrgica e industrial. Desde el punto de vista calidad de carbón valores muestran valores en promedio de 5,982 Kcal/kg y valores máximos superiores a 9800 Kcal/kg pueden ser destinados a exportación de carbón, mientras que valores inferiores a la industria doméstica.

Los resultados de laboratorio muestran que el carbón tiene bajo nivel de material volátil con un promedio de 6.21%, este nivel es constante al largo del depósito.

Sobre el contenido de cenizas, se encuentra en valores promedio de 9.32%, en ese sentido es posible mejorar la calidad del carbón mediante procesos de separación física y de esta manera incrementar la calidad del carbón antracita en Carbón Fijo y Poder Calorífico.

El Contenido de azufre se encuentra en valores promedio menor a 1%, valor muy favorable para ser comercializado en la industria, toda vez que no genera problemas de corrosión de equipos durante su uso.

Por otro lado, las gráficas scartter plot, nos permite conocer la dispersión de los resultados obtenidos para las diferentes muestras de carbón y de esta manera conocer si es posible aplicar fórmulas para la predicción de los resultados. Asimismo, las gráficas QQ, nos permiten conocer la relación entre algunas variables del carbón, y así proyectar resultados que permitan conocer la calidad de los carbones en diferentes zonas del depósito.

Los controles de calidad sobre la cadena de custodia, son parte de la norma NI43-101 y permiten asegurar que la muestras no han sido manipuladas y en consecuencia los resultados son confiables para la interpretación y las estimaciones de Recursos y Reservas minerales declarados en los reportes técnicos del proyecto. En el proyecto y actividades de exploración se aplicaron los protocolos de cadena de custodia al 100% de las muestras enviadas a los laboratorios externos, logueos geológicos y geotécnicos, en ese sentido,

independiente al resultado obtenido, se cuenta con información debidamente sistematizada.

Con referencia a la base de datos, los resultados muestran que luego de realizar los controles de calidad en las diversas etapas de los procesos ha permitido optimizar la calidad de la información. En ese sentido, la base de datos optimizada permitiera contar con estimaciones e interpretaciones confiables aceptadas por las normas internacionales como NI43-101.

Se analizaron las variables más importantes a optimizar en la base de datos, y se siguieron las etapas de recolección de datos, verificación de datos, tratamiento, ingreso a base de datos y Base de datos optimizada, esta última se obtienen luego de aplicar las consideraciones técnicas, económicas y comerciales para el proyecto minero.

Es importante mencionar que luego de aplicar las consideraciones antes mencionadas la base de datos cuenta con información que puede ser utilizada en los diversos estudios posteriores. En el presente estudio, para la variable Carbón Fijo, la base de datos optimizada contiene datos optimizados del 70% de las muestras obtenidos en las actividades de geología y perforación diamantina, mientras que para la variable Poder Calorífico el 91% de las muestras inicialmente evaluadas. Para la variable contenido de cenizas, el 69% de los datos de la base de datos inicial son parte de la la base de datos optimizada. Sobre el Material Volátil, el 97% de las muestras luego de la optimización se encuentran aptas para ser usadas en la base de datos.

De esta manera, la información optimizada permitirá elaborar los modelos de interpretación geológica, modelo de Recursos y finalmente el modelo de Reservas.

CONCLUSIONES

El control de calidad en muestras obtenidas en las actividades de exploración como geología de campo y perforaciones diamantinas permite optimizar la base de datos geológica con el fin de cumplir los requisitos de la norma internacional NI43-101 y de esta manera generar valor en el proyecto de Carbón Antracita.

Los proyectos mineros que se encuentran o desean cotizar en bolsas de valores como Toronto, Londres y New York deben adoptar normas internacionales tales como la NI43-101.

La implementación de normas como la NI43-101 en la elaboración de los documentos permiten contar con información auditable y aceptada internacionalmente y de esta manera generar valor en los proyectos mineros.

Para cumplir con los requisitos de la norma NI43-101 es necesario implementar el control de calidad desde el inicio de los proyectos en las actividades de exploración.

Los procedimientos de control de calidad implementados en el proyecto de Carbón Antracita consideraron las etapas desde planificación con el fin de contar con procesos estandarizados a lo largo de las actividades de

exploración y de la vida del proyecto. Los procedimientos se basaron en las mejores prácticas de la industria y la norma internacional NI43-101.

Los estándares de calidad para las muestras son herramientas que permitieron obtener información confiable para la base de datos geológica optimizada. Los estándares permitieron evaluar la precisión, exactitud y contaminación de las muestras, en consecuencia, generar confianza en los shareholders y stakeholders del proyecto de Carbón Antracita.

Las empresas deben incorporar los estándares de calidad de manera temprana en las actividades de exploración con el fin de contar con una base de datos optimizada durante la ejecución del proyecto.

El cumplimiento de la aplicación de los métodos en las muestras de carbón es de relevancia con el fin de contar con información consistente en la base de datos. Los métodos se deben basar en las mejores prácticas de la industria de carbón con el fin de evitar sesgos en los resultados. Los métodos se aplican a la toma de muestras, logueo geológico y geotécnico, análisis de laboratorio, administración de datos y elaboración de base de datos. El cumplimiento de los métodos permitió contar con información confiable para los futuros estudios como interpretación, modelo de Recursos y Reservas de carbón antracita.

La calidad de los resultados basada en geoestadística y en consideraciones técnicas y comerciales permiten contar con una base de datos para la elaboración de interpretaciones, elaboración de modelos de Recursos, estimación de Reservas, estudios ambientales, y estudios asociados al proyecto en las diferentes etapas. La optimización de la base de datos debe

incluir la calidad de los resultados, para esto es necesario implementar como parte del control de calidad, actividades de verificación como registro de cantidad de muestras, control de despacho, recepción y distribución de resultados, análisis de densidad de carbón antracita, cantidad de protocolos de calidad aplicados, auditorias de datos y cantidad de reportes utilizados para sustento de la base de datos.

La representatividad de las muestras es uno de los factores más importantes para la elaboración de estudios geológicos, mineros y metalúrgicos, en ese sentido, contar con una base de datos con muestras representativas del depósito minero permitirá mejorar la precisión de las estimaciones mineras.

El control de calidad en las características geológicas del depósito y de las muestras con fines geológicos o geotécnicos permiten obtener resultados para los estudios asociados a la estimación de Recursos, planes de minado, selección de métodos de minado y estimación de Reservas. En la presente investigación la caracterización litológica del depósito forma parte de la optimización de la base de datos.

RECOMENDACIONES

Implementar en las actividades de exploración tales como geología de campo y campañas de perforación diamantina los controles de calidad de las muestras obtenidas que permitan elaborar una base de datos optimizada siguiendo los lineamientos de la norma internacional NI 43-101 con el fin de generar información confiable para la estimación de Recursos y Reservas minerales.

Considerando que la norma internacional NI 43-101 es de aplicación a las actividades de exploración, se recomienda el desarrollo de protocolos de calidad que sean aplicados desde la etapa de planificación del proyecto hasta la ejecución de las actividades y que cumplan con la norma NI43-101.

Optimizar la base de datos geológica mediante la aplicación de la norma NI 43-101 permanentemente cada vez que se realicen actividades de exploración.

Capacitar al personal involucrado en las actividades de exploración en las metodologías aceptadas por la norma NI 43-101 con el fin de elaborar reportes, información adecuada para estudios, evaluaciones geológicas, estimaciones y de esta manera generar valor en los proyectos de la empresa.

Realizar auditorías internas y externas periódicamente a menos 1 vez al año para la verificación de los estándares de la norma internacional NI43-101.

REFERENCIAS

- Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (1 de octubre de 2019). *Operatividad Aduanera*. <https://www.sunat.gob.pe/aduanas.html>
- Carrascal Miranda, R., Matos Avalos, Carmen y Silva Campos, Oscar (2000), *Carbón en el Perú*. Lima, Perú. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- Jorc Code (23 de Julio de 2021). *Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves*. http://jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf
- Canadian Institute of Mining Metallurgy and Petroleum (11 de diciembre de 2021). *NI 43-101 Standards of Disclosure for Mineral Projects, Form 43-101F1 Technical Report and Related Consequential Amendments*. <https://mrmr.cim.org/media/1017/national-instrument-43-101.pdf>
- Canadian Institute of Mining Metallurgy and Petroleum (23 de julio de 2021). *Canadian Reporting Standard*. <https://mrmr.cim.org/en/standards/canadian-mineral-resource-and-mineral-reserve-definitions/>
- World Coal Association (17 de julio de 2021). *Tipos de Carbones*. <https://www.worldcoal.org/coal-facts/what-is-coal-where-is-it-found/>
- The Australian Coal Industry's Research Program (12 de junio de 2021). *ACARP Current Projects Reports*. <https://www.acarp.com.au/Media/ACARPCurrentProjectsReport.pdf>
- Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (1 de marzo de 2021). *The present and future of international Resource and*

Reserve reporting.
http://www.cirisco.com/niall_weatherstone_johannesburg_paperfinal.pdf

Cossio Sanchez, Diego y Rivera Mantilla, Hugo. (2017). *Caracterización Geoquímica del Elemento Zinc en la Mina Toquepala y sus implicancias en el tratamiento Metalúrgico*. Lima.

Cáceres, S. M. (2017). *Influencia del modelo geometalúrgico para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del au en el yacimiento don Marcelo de la provincia de Recuay*. Recuay Ancash, Perú.

Naworyta, W., Sypniowski, S y Benndorf, J (2015). *Planning for Reliable Coal Quality Delivery Considering Geological Variability: A Case Study in Polish Lignite Mining*. Krakow, Poland.

Chanderman, L. (2015). *3d geological modelling and mineral resource estimate for the Fe2 gold deposit, Sadiola mine*. Johannesburg, South Africa.

Lemesa, G. (2004). *Reliability or likelihood of geological or geotechnical models*. Netherlands.

Vamvuka, D., Galetakis, M. y Roumpos, C (2013). *Coal quality control techniques and selective grinding as means to reduce CO2 emissions*. Milos island, Greece.

Project Management Institute (2018). *Project Management Body of Knowledge*. Fifth Edition. Pennsylvania. USA

International Organization for Standardization (2015). *ISO 9001*.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>

Thomas, L. (2013). *Coal Geology*. Second Edition. Willey-Blackwell. Oxford, UK

ASTM international (2000). *Standard Classification of Coals by Rank*.
<https://www.astm.org/Standards/D388.htm>

- International Committee for Coal and Organic Petrology (1963). *International Handbook of Coal Petrography*. Centre National de la Recherche Scientifique. Paris. France.
- International Committee for Coal and Organic Petrology (1975). *International Handbook of Coal Petrography*. Centre National de la Recherche Scientifique. Paris. France.
- International Committee for Coal and Organic Petrology (1993). *International Handbook of Coal Petrography*. Centre National de la Recherche Scientifique. Paris. France.
- Geological Survey of Canada (1989). Paper 88-21. *A Standardized Coal Resources/Reserve Reporting System for Canada*. Energy, Mines and Resources Canada.
- ASTM international (2011). *Manual on Drilling, Sampling and Analysis of Coal*. Philadelphia, USA.
- Canadian Institute of Mining Metallurgy and Petroleum (2018). *CIM Mineral Exploration Best Practice Guidelines*. Quebec, Canada.
- Canadian Institute of Mining Metallurgy and Petroleum (2021). Best Practice Guidelines for Mineral Processing. https://www.cmpsoc.ca/wp-content/uploads/2015/09/CIM_Best_Practice_Guidelines_for_Mineral_Processing_Rev_F.pdf
- Minero Peru (1974) . Estudio geológico de los yacimientos de carbones minerales ubicados entre las zonas de Callacuyan y Coina en la cuenca del Altochicama. Lima, Perú. KOPEX.
- Canadian Institute of Mining Metallurgy and Petroleum (2021). Estimation of Mineral Resources & Mineral Reserves Best Practice Guidelines https://mrmr.cim.org/media/1129/cim-mrmr-bp-guidelines_2019.pdf
- Escudero Ratto, Julio (1979), El Carbón de Altochicama. Lima, Perú. Boletín N°2. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.

- Dunin-Borkowski, E., Jacay, J. y Sánchez-Izquierdo, José (2007). *Génesis del Carbón Peruano en el marco de la tectónica Global*. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. Vol. 10, N° 19, 7-27 (2007) UNMSM. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v10i19.379>
- León, E. (2006). *La importancia del carbón mineral en el desarrollo*. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol. 9, N° 18, 91-97 (2006) UNMSM. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v9i18.579>
- Swason, V. y Huffman, C. (1976). *Guidelines for Sample Collecting and Analytical Methods Used in the U.S. Geological Survey for Determining Chemical Composition of Coal*. Geological Survey Circular. United States Department of the Interior
- Speight, J (2005). *Handbook of Coal Analysis*. Wiley-Interscience. John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- ASTM (1992). *Drilling, Sampling, and Analysis of Coal*. Compiled by ASTM SUBCOMMITTEES D05.18 and D05.23.
- Vera, J. (1994). *Estratigrafía principios y métodos*. Editorial Rueda. Porto Cristo, 13 (Parque de Lisboa) 28924 Alcorcón (Madrid).
- Scogings, A. (2014). *Quality control and public reporting in industrial minerals*. <https://www.csaglobal.com/wp-content/uploads/2015/04/Pg-50-54-QAQC.pdf>
- Stanley, C. y Lawie, D. (2007). *Average Relative Error in Geochemical Determinations: Clarification, Calculation, and a Plea for Consistency*. Article in *Exploration and Mining Geology* · July 2007. <https://www.researchgate.net/publication/250083967>
- Brooks, W, Finkelman, R., Willett, J., Gurmendi, A, XYager, T., Carrascal, R. y Mucho, R. (2006). Chapter 6. World Coal Quality Inventory: Peru.

Edited by Alex W. Karlsen, Susan J. Tewalt, Linda J. Bragg, Robert B. Finkelman. <https://pubs.usgs.gov/of/2006/1241/Chapter%206-Peru.pdf>

Giraldo, E. y Blas, W. (2007). *Minería actual del carbón en el Norte del Perú*. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol. 10, N° 20, 76-81 (2007) UNMSM. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v10i20.497>

U.S. Energy Information Administration (2021). Coal prices and Outlook. <https://www.eia.gov/energyexplained/coal/prices-and-outlook.php>

Mahmoodabadi, M. (2015). *Korean an orean anthracite coal cleaning b al cleaning by means of dr y means of dry and wet based separation technologies. University of Kentucky.* https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1020&context=mng_etds

García, C., Tzimas, E. y Peteves, S. (2009). *Technologies for Coal based Hydrogen and Electricity Co-production Power Plants with CO2 Capture*. JRC European Commission y Joint Research Centre Institute for Energy.

Universidad de Granada - Instituto Nacional del Carbón (2021). *Petrografía del Carbón*. España. <https://petrografiacarbon.es/>

U.S. GEOLOGICAL SURVEY BULLETIN (1823). *Methods for Sampling and Inorganic Analysis of Coal*. <https://pubs.usgs.gov/bul/1823/report.pdf>

International Organization for Standardization (2020). *ISO 22095: Chain of custody — General terminology and models*.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>

Wood, G., Kehn, T., Carter, M. y Culbertson, W. (2016). *Coal Resource Classification System of the U.S. Geological Survey*. GEOLOGICAL SURVEY CIRCULAR 891.
<https://pubs.usgs.gov/circ/c891/glossary.htm>

Anexos

Anexo 1. Metodología del programa de calidad para las actividades de exploración

Actividades de Exploración	PROGRAMA DE CALIDAD		
	Plan de Gestión de la Calidad (PGC)	Gestión y Aseguramiento de la Calidad (QA)	Control de la Calidad (QC)
1. Integración del proyecto	1.1 Elaboración de estándares. 1.2 Preparación de protocolos de muestreo. 1.3 Sistema Topográfico. 1.4 Preparación de protocolos de logueo geológico y geotécnico. 1.5 Cadena de custodia. 1.6 Envío de muestras a laboratorio. 1.7 Protocolos de registro de datos. 1.8 Contratos de servicios con terceros.		

2. Geología de campo		<p>2.1 Toma de muestras. 2.2 Ubicación de coordenadas de puntos de muestreo. 2.3 Logueo de muestras 2.4 Preparación de muestras, análisis y seguridad. 2.5 Envío de muestras al laboratorio. 2.6 Cadena de custodia 2.7 Administración del coreshack.</p>	<p>2.8 Análisis estadístico de resultados. 2.9 Envío de blancos. 2.10 Envío de duplicados. 2.11 Control de desviaciones sobre los estándares. 2.12 Verificación de repetibilidad de las muestras enviadas a laboratorio.</p>
3. Perforaciones Diamantina		<p>3.1 Supervisión de la perforación. 3.2 Ubicación de coordenadas de plataformas y collar. 3.3 Logueo geológico y geotécnico de los cores. 3.4 Preparación de muestras, análisis y seguridad. 3.5 Envío de muestras a laboratorio. 3.6 Cadena de Custodia 3.7 Administración del coreshack.</p>	<p>3.8 Análisis estadístico de resultados. 3.9 Envío de blancos. 3.10 Envío de duplicados 3.11 Control de desviaciones sobre los estándares. 3.12 Verificación de repetibilidad de las muestras enviadas a laboratorio.</p>
4. Administración de la Base de Datos		<p>4.1 Registro de muestras en base de datos 4.2 Cadena de custodia de las muestras.</p>	<p>4.3 Elaboración de tablas estadísticas y cuadros de resultados.</p>
5. Interpretación Geológica	<p>5.1 Estándares de modelamiento geológico</p>	<p>5.2 Elaboración del modelo geológico. 5.3 Aplicación de los estándares. 5.4 Auditorías externas.</p>	<p>5.5 Uso de Normas Internacionales 5.6 Verificación de los resultados de campo y los mostrados en el modelo geológico.</p>
6. Estimación de Recursos	<p>6.1 Estándares de estimación de Recursos</p>	<p>6.2 Elaboración de estimación de Recursos 6.3 Auditoria de los criterios para la estimación de los Recursos</p>	<p>6.4 Uso de Normas Internacionales 6.5 Verificación de los resultados del modelo geológico y los mostrados en el estimación de Recursos.</p>

Anexo 2. Criterios para determinar la calidad de la información en la base de datos.

Actividad	Acción de Verificación	Resultado
Planificación de las actividades de Exploración	Informes de ubicación de puntos de muestreo en geología de campo	Determinación de Collares
	Informes de ubicación de plataformas y diseño de perforación diamantina	Determinación de Collares
	Certificados de puntos geodésicos	Puntos Geodésicos Certificados
	Características de máquinas de perforación	Especificaciones Técnicas
	Características de Reflex y Certificados de calibración	Especificaciones Técnicas
Geología de Campo		
	Existencia de Protocolos	Protocolos de la actividades y control de calidad
	Coordenadas de toma de muestra	Hoja de Collares
	Existencia de muestras/contramuestra y Hojas Logueo Geológico	Coreshake
	From/To de la muestra	Hojas de logueo
	Cadena de Custodia	Tarjetas de Cadena de Custodia
	Tarjetas de muestreo	Tarjetas de Muestreo
	Hoja de preparación y/o Corte de muestra	Hoja de Cadena de custodia y Ordenes de Corte
	Estado de Coreshake	Coreshake Habilitado
Perforación Diamantina		
	Existencia de Protocolos	Protocolos de actividades y de calidad
	Coordenadas de la Plataforma, Collar, DIP, Azimut	Hoja de Collares
	Cajas de Cores y Logueo Geológico	Cajas en Coreshake
	From/To	Hoja de Logueo Geologico
	Recuperación de la perforación	Hojas de Perforación
	Cadenas de Custodia	Tarjetas de Cadena de Custodia

Resultados de Reflex	Hoja de resultados
Tarjetas de muestreo	Hoja de muestreo codificado
Hoja de Preparación y/o Corte de muestra	Hoja de Cadena de custodia y Ordenes de Corte
Coreshake	Coreshake Habilitado
Certificados de análisis de laboratorio químico y geotécnico, densidades	Hojas de Resultados validados y con cadena de custodia
Reportes diarios de perforación	Reportes validados por Geólogo Supervisor.
Visitas a Laboratorio	Hoja de Auditoria
Muestreo independiente	Hoja de Auditoria
Administración de la Base de datos	
Existencia de Protocolos	Protocolos de Actividades y Control de Calidad
Manual de Logueo Geológico y Geotécnico	Aprobadas por el Gerente de Proyecto
Hojas de Logueo Geológico/Geotécnico	Aprobadas por el Gerente de Proyecto
Hojas de Perforación de taladros, Coordenadas de la Plataforma, Collar, DIP, Azimut	Aprobadas por los Geólogos Supervisores
Tarjetas de Muestreo	Hoja de muestreo codificado
Hojas de Resultados de Laboratorio	Hojas de Resultados validados y con cadena de custodia
Litología y Alteraciones	Aplicación de Manual de Logueo
Error checks	Reporte Control de Calidad
Certificados de Topografía	Certificados Topográficos Aprobados
Estructura de la Base de Datos	Validada y Aprobada
Información de la Base de Datos	Validada y Aprobada

Anexo 3. Estándar de declaración para proyectos mineros. NI 43-101

Chapter 5 Rules and Policies

5.1.1 NI 43-101 Standards of Disclosure for Mineral Projects, Form 43-101F1 Technical Report and Related Consequential Amendments

**NATIONAL INSTRUMENT 43-101
STANDARDS OF DISCLOSURE FOR MINERAL PROJECTS**

Table of Contents

<u>PART</u>	<u>TITLE</u>
PART 1	DEFINITIONS AND INTERPRETATION
	1.1 Definitions
	1.2 Mineral Resource
	1.3 Mineral Reserve
	1.4 Mining Studies
	1.5 Independence
PART 2	REQUIREMENTS APPLICABLE TO ALL DISCLOSURE
	2.1 Requirements Applicable to All Disclosure
	2.2 All Disclosure of Mineral Resources or Mineral Reserves
	2.3 Restricted Disclosure
	2.4 Disclosure of Historical Estimates
PART 3	ADDITIONAL REQUIREMENTS FOR WRITTEN DISCLOSURE
	3.1 Written Disclosure to Include Name of Qualified Person
	3.2 Written Disclosure to Include Data Verification
	3.3 Requirements Applicable to Written Disclosure of Exploration Information
	3.4 Requirements Applicable to Written Disclosure of Mineral Resources and Mineral Reserves
	3.5 Exception for Written Disclosure Already Filed
PART 4	OBLIGATION TO FILE A TECHNICAL REPORT
	4.1 Obligation to File a Technical Report Upon Becoming a Reporting Issuer
	4.2 Obligation to File a Technical Report in Connection with Certain Written Disclosure About Mineral Projects on Material Properties
	4.3 Required Form of Technical Report
PART 5	AUTHOR OF TECHNICAL REPORT
	5.1 Prepared by a Qualified Person
	5.2 Execution of Technical Report
	5.3 Independent Technical Report
PART 6	PREPARATION OF TECHNICAL REPORT
	6.1 The Technical Report
	6.2 Current Personal Inspection
	6.3 Maintenance of Records
	6.4 Limitation on Disclaimers
PART 7	USE OF FOREIGN CODE
	7.1 Use of Foreign Code
PART 8	CERTIFICATES AND CONSENTS OF QUALIFIED PERSONS FOR TECHNICAL REPORTS
	8.1 Certificates of Qualified Persons
	8.2 Addressed to Issuer
	8.3 Consents of Qualified Persons

Rules and Policies

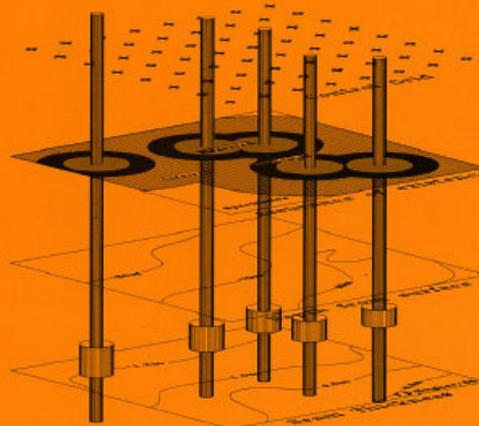
PART 9	EXEMPTIONS
	9.1 Authority to Grant Exemptions
	9.2 Exemptions for Royalty or Similar Interests
	9.3 Exemption for Certain Types of Filings
PART 10	EFFECTIVE DATE AND REPEAL
	10.1 Effective Date
	10.2 Repeal

Anexo 4. Paper 88-21 Sistema de reporte estándar de Recursos y Reservas de carbón para Canadá

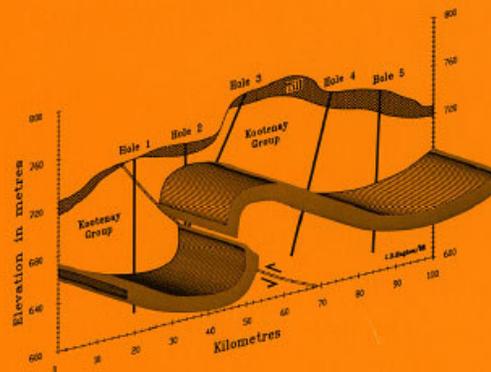
Geological Survey of Canada
Commission géologique du Canada

PAPER 88-21

A STANDARDIZED COAL RESOURCE/RESERVE REPORTING SYSTEM FOR CANADA



J.D. Hughes
L. Klatzel-Mudry
D.J. Nikols



Canada

1989

Tabla de criterios para estimación de recursos y reservas de carbón

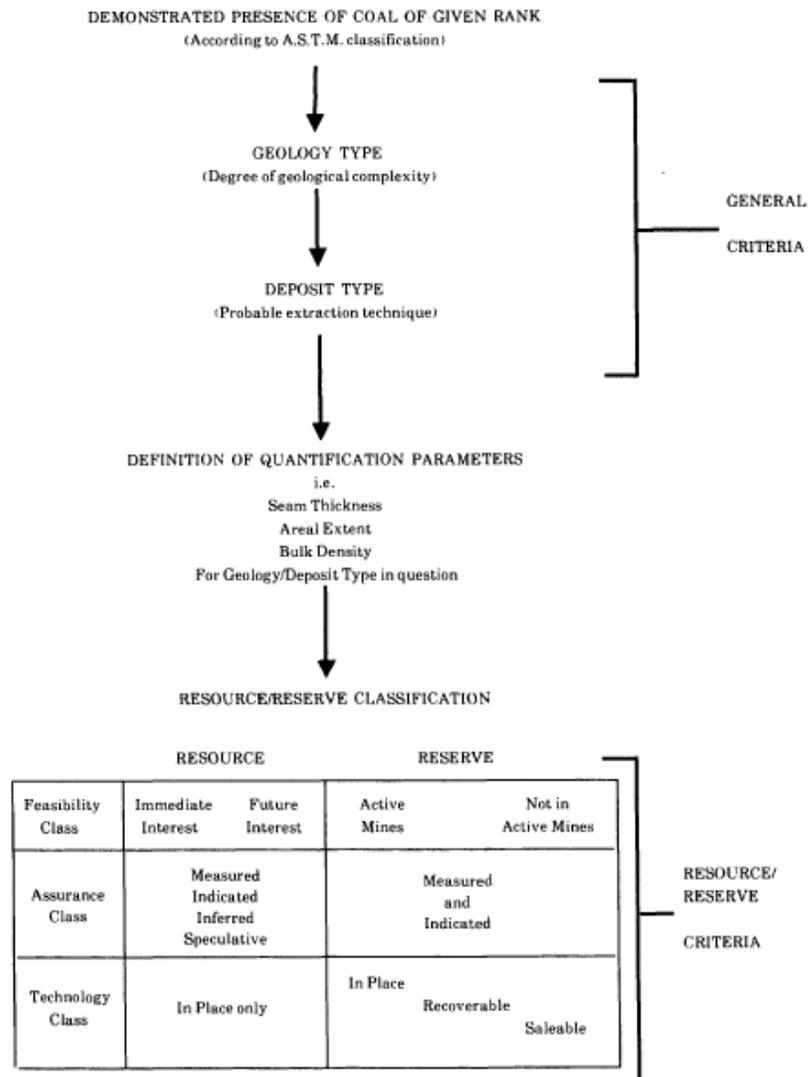


Figure 1. Generalized path for coal quantity categorization from demonstrated presence of coal to application of Resource/Reserve criteria.

Table 5

Criteria used to define assurance of existence for deposits of various geology types

Geology Type	Criteria	Assurance-of-Existence Category		
		Measured	Indicated	Inferred
Low - Type A	Distance from nearest data point (m)	0-800	800-1600	1600-4800
Low - Type B	Distance from nearest data point (m)	0-600	600-1200	1200-3600
Low - Type C	Distance from nearest data point (m)	0-450	450-900	900-2400
Moderate	Distance from nearest data point (m)	0-450	450-900	900-2400
Complex	Cross-section spacing (m)	150	300	600
	Minimum number of data points per section	3	3	3
	Mean data point spacing along section (m)	100	200	400
	Maximum data point spacing along section (m)	200	400	800
Severe	Cross-section spacing (m)	75	150	300
	Minimum number of data points per section	5	5	5
	Mean data point spacing along section (m)	50	100	200
	Maximum data point spacing along section (m)	100	200	400

Anexo 5. Clasificación ASTM estándar de Ranking de Carbones – D388-05

TABLE 1 Classification of Coals by Rank^A

Class/Group	Fixed Carbon Limits (Dry, Mineral-Matter-Free Basis), %		Volatile Matter Limits (Dry, Mineral-Matter-Free Basis), %		Gross Calorific Value Limits (Moist, ^B Mineral-Matter-Free Basis)				Agglomerating Character
	Equal or Greater Than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Btu/lb		Mj/kg ^C		
					Equal or Greater Than	Less Than	Equal or Greater Than	Less Than	
Anthracitic:									
Meta-anthracite	98	2	} nonagglomerating
Anthracite	92	98	2	8	...	...	...	...
Semianthracite ^D	86	92	8	14	...	...	...	...
Bituminous:									
Low volatile bituminous coal	78	86	14	22	} commonly agglomerating ^F
Medium volatile bituminous coal	69	78	22	31	...	...	...	...
High volatile A bituminous coal	...	69	31	...	14 000 ^F	...	32.557	...	
High volatile B bituminous coal	...	...	...	...	13 000 ^F	14 000	30.232	32.557
High volatile C bituminous coal	...	...	...	...	{ 11 500	13 000	26.743	30.232
					10 500	11 500	24.418	26.743	} agglomerating
Subbituminous:									
Subbituminous A coal	10 500	11 500	24.418	26.743	} nonagglomerating
Subbituminous B coal	...	...	...	...	9 500	10 500	22.09	24.418
Subbituminous C coal	...	...	...	...	8 300	9 500	19.30	22.09
Lignitic:									
Lignite A	...	...	...	...	6 300 ^G	8 300	14.65	19.30
Lignite B	...	...	...	...	...	6 300	...	14.65

^A This classification does not apply to certain coals, as discussed in Section 1.

^B Moist refers to coal containing its natural inherent moisture but not including visible water on the surface of the coal.

^C Megajoules per kilogram. To convert British thermal units per pound to megajoules per kilogram, multiply by 0.0023255.

^D If agglomerating, classify in low volatile group of the bituminous class.

^E It is recognized that there may be nonagglomerating varieties in these groups of the bituminous class, and that there are notable exceptions in the high volatile C bituminous group.

^F Coals having 69 % or more fixed carbon on the dry, mineral-matter-free basis shall be classified according to fixed carbon, regardless of gross calorific value.

^G Editorially corrected.

Anexo 6. Yacimientos de carbón en el mundo

<https://petrografiicarbon.es/med-sedimentarios/yacimientos-mundo/>

