



GEOCORP

LABS & CONSULTING S.A.S.

NIT: 901918891-5

METODOLOGÍA PARA LA TOMA SELECTIVA DE MUESTRAS EN NÚCLEOS DE POZO

(Enfoque multiescala basado en integración de datos y workflow metodológico)

Por: Equipo Técnico de Geocorp

Objeto

Establecer el procedimiento técnico para la selección, muestreo, análisis e integración de núcleos de roca en proyectos de caracterización de yacimientos, garantizando la aplicación de un workflow metodológico que asegure la coherencia multiescala, la trazabilidad técnica y la calidad de los resultados.

Alcance

La presente metodología define los lineamientos técnicos para la selección de intervalos de muestreo y la ejecución de análisis en núcleos de roca, bajo un enfoque de integración multifuente orientado a asegurar la representatividad del muestreo y la adecuada articulación de la información generada.

Su aplicación es obligatoria para el personal encargado de la descripción, selección, muestreo y procesamiento de muestras, y cubre desde la caracterización inicial del núcleo hasta la integración final de los resultados en el modelo geológico del yacimiento.

Metodología

El diseño del muestreo se fundamenta en tres variables principales: el objetivo del estudio, el tipo de roca y el tipo de fluido presente en el sistema (**Tabla 1**).

En primer lugar, el objetivo del estudio define la cantidad, naturaleza y alcance de los análisis requeridos en las distintas litologías identificadas a lo largo de la sección perforada, en función de si la evaluación está orientada a almacenamiento, flujo, capacidad sellante o interacción roca–fluido.

En segundo lugar, el tipo de roca condiciona la selección de técnicas específicas necesarias para evaluar sus propiedades petrofísicas y su composición mineralógica, diferenciando entre rocas reservorio y rocas finogranular o sello.

Finalmente, el tipo de fluido determina el enfoque predominante de la caracterización. En rocas reservorio, se priorizan análisis petrofísicos (ϕ , K , S_w , $density$, etc.), porosidad efectiva y petrografía (TS), orientados a la evaluación de almacenamiento, calidad de roca reservorio y flujo de fluidos a través del sistema poroso. En contraste, en rocas finogranulares o sellos se enfatizan análisis mineralógicos y microestructurales, tales como contenido de arcilla (CC), capacidad de intercambio catiónico (CEC), difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido (SEM), enfocados a evaluar la capacidad de retención, reactividad y comportamiento del sistema a través de microfracturas. Técnicas analíticas complementarias pueden ser sugeridas para realizar una caracterización más detallada de los sistemas, como pueden ser diagénesis (DG), inclusiones fluidas (FI), microfracturamiento (MF) y catodoluminiscencia (CL), por mencionar algunas.

La **Tabla 1** nos muestra un resumen de las variables que afectan la toma de decisiones a la hora de evaluar un yacimiento o parte de sus componentes mediante técnicas de análisis básicos de rutina o RCA por sus siglas en inglés para *Routine Core Analysis*.

Tabla 1
Tabla de criterios de muestreo y análisis según tipo de fluido, tipo de roca y objetivo del estudio.

Tipo de fluido	Objetivo del estudio		Tipo de Roca	Enfoque clave		Análisis diferencial
Hidrocarburos líquidos	Evaluación	capacidad y calidad de reservorio	Reservorio	Capacidad almacenamiento	de	Petrografía + Petrofísica básica
Gas	Evaluación de comportamiento	flujo y	Tight sands / shales	Conectividad microestructura	y	Petrografía + Microfracturamiento + SEM + PC Hg
CO2	Evaluación de almacenamiento geológico		Reservorio	Reactividad roca-fluido, porosidad efectiva		Inclusiones Fluidas + DRX + Catodoluminiscencia
	Integridad de sello		Sello	Reactividad mineral Integridad sello		DRX + SEM
Hidrógeno (H2)	Evaluación de reservorios no convencionales		Reservorio sello	+ Difusividad + sellado + microfracturas		DRX + SEM + CEC
Geotermia	Evaluación heterogeneidad yacimiento	de del	Reservorio fracturado	Interacción fluido-roca + fracturamiento		Microfracturamiento + petrografía

La correcta asignación de estos análisis dentro del workflow (**Figura 1**) garantiza que cada muestra sea evaluada con técnicas pertinentes a su naturaleza litológica y al objetivo del estudio, evitando redundancias y asegurando que la información generada contribuya de manera efectiva a la construcción del modelo geológico del sistema roca–fluido–poro.

Figura 1.
Workflow metodológico para la evaluación integral de yacimientos.





GEOCORP

LABS & CONSULTING S.A.S.

NIT: 901918891-5

Manual de procedimientos técnicos para la toma de muestras en núcleo

A continuación se describe el procedimiento paso a paso para la selección y toma de muestras selectivas en núcleos de pozo.

Caracterización inicial a escala de núcleo.

En esta primera etapa, se debe realizar la descripción macroscópica detallada del núcleo, incluyendo en el siguiente orden estricto las siguientes características:

- Litología: Tipo de roca, color (Munsell), tamaño de grano, esfericidad, redondez, selección.
- Estructuras sedimentarias, laminaciones y bioperturbación.
- Heterogeneidades, gradaciones granulométricas, bandas de deformación.
- Presencia de fracturas y cualquier rasgo relevante para la interpretación geológica.
- Prueba de carbonatos y fosfatos.

Esta actividad debe complementarse con la revisión de información disponible como registros de pozo (*FEL* o *RGC*), registro core gamma y datos estratigráficos, con el fin de contextualizar el núcleo dentro del sistema geológico. El objetivo de esta etapa es identificar intervalos homogéneos y zonas de interés que representen cambios significativos en facies o propiedades de la roca.

En caso de no contar con esta información, es posible reconstruir composición litológica a partir de las curvas de número atómico y densidad de grano generadas con imágenes de tomografía axial computarizada (*TAC*).

Definición de los intervalos de muestreo.

Con base en la caracterización inicial, se procede a delimitar los intervalos a muestrear, priorizando aquellos que presenten variabilidad litológica, cambios texturales de interés, presencia de porosidad o evidencias de comportamiento como roca sello. Esta selección debe responder al objetivo del estudio y evitar la toma indiscriminada de muestras, garantizando que cada intervalo seleccionado aporte información relevante para la interpretación del yacimiento.

Los esquemas de muestreo sistemático suelen considerarse una alternativa operativa para cumplir con cronogramas exigentes; sin embargo, su aplicación indiscriminada puede conducir a la generación de información redundante dentro de un mismo litotipo, incrementar los costos analíticos y limitar la calidad y representatividad de los resultados. En este contexto, el muestreo sistemático debe evitarse como criterio principal de selección.

En su lugar, se propone realizar un **muestreo selectivo**, a partir de la descripción sedimentológica detallada del núcleo, que permita identificar las litofacies relevantes y las unidades con comportamiento diferenciado dentro del sistema. Este enfoque, integrado al workflow metodológico, asegura que la selección de muestras responda a criterios geológicos y técnicos, optimizando la adquisición de datos y garantizando que cada análisis contribuya de manera efectiva a la interpretación del yacimiento.

La **Figura 2** representa un caso común dónde núcleos con alta heterogeneidad litológica con presencia de laminaciones granulométricas, bioturbación y estructuras sedimentarias genera variabilidad a escala fina.



GEOCORP

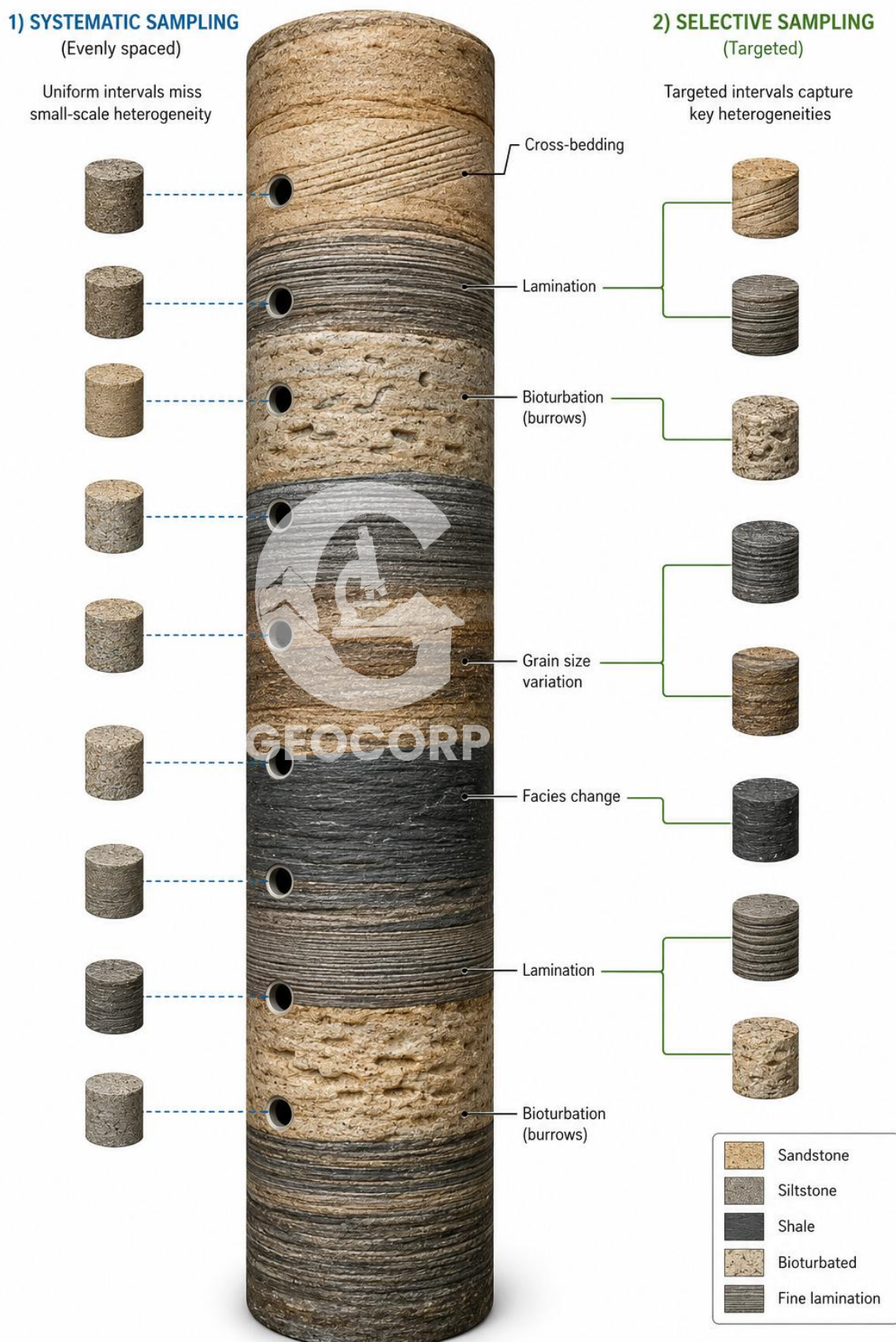
LABS & CONSULTING S.A.S.

NIT: 901918891-5

En este tipo de sistemas, el muestreo sistemático resulta insuficiente al no capturar estos cambios locales, mientras que un muestreo selectivo, basado en criterios sedimentológicos y apoyado en el workflow metodológico, permite identificar y caracterizar de manera representativa las unidades con comportamiento diferenciado dentro del yacimiento.

Figura 2

Ejemplo de núcleo con alta heterogeneidad donde se compara los resultados de un muestreo sistemático versus un muestreo selectivo.





GEOCORP

LABS & CONSULTING S.A.S.

NIT: 901918891-5

Criterios para la selección de muestras

La correcta y óptima selección de muestras no responde a un criterio rígido, sino al juicio técnico del geólogo, sustentado en su experiencia y en la comprensión de las condiciones particulares de cada pozo. La heterogeneidad litológica propia de los sistemas de yacimiento exige una evaluación cuidadosa de las variaciones texturales, mineralógicas y estructurales presentes en el núcleo, de manera que la selección de muestras capture de forma representativa dichas variaciones. En consecuencia, el muestreo debe ser concebido como un proceso interpretativo dentro del workflow metodológico, en el cual el criterio experto permite discriminar los intervalos más relevantes y asegurar que los análisis realizados aporten información efectiva para la caracterización del sistema roca–fluido–poro.

En este sentido, los ensayos se clasifican en tres grupos principales, los cuales deben ser considerados desde la etapa de selección de muestras y durante la definición de la estrategia analítica (**Figura 3**). Estos ensayos están directamente relacionados con la capacidad de almacenamiento y transmisión de fluidos, y deben ser priorizados en intervalos identificados como potencial reservorio.

Los análisis más relevantes que podrían ser aplicados a rocas finas (shales y lodolitas) incluyen de manera estricta la capacidad de intercambio catiónico (CEC), la cual se emplea exclusivamente en este tipo de litologías debido a su relación directa con la presencia de arcillas y su comportamiento geoquímico. Este análisis permite evaluar la reactividad de la roca y su interacción con fluidos, siendo fundamental en estudios de roca sello, almacenamiento de CO₂ e hidrógeno, así como en la evaluación de daños a la formación (**Figura 3**).

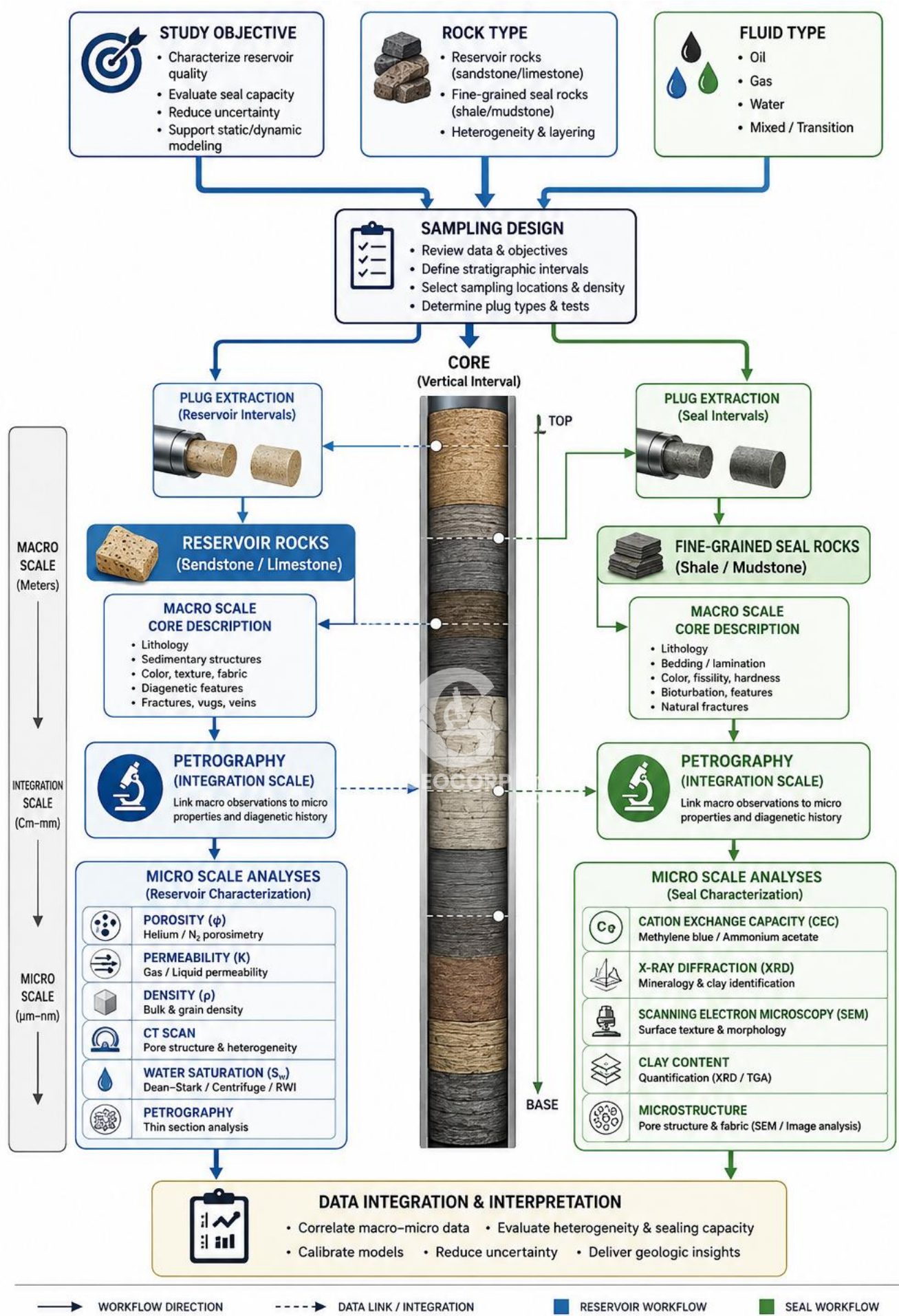
Un segundo grupo corresponde a técnicas aplicables a todas las litologías, aunque con especial énfasis en rocas finas, debido a su sensibilidad a la microestructura y composición mineralógica. En este grupo se incluyen la difracción de rayos X (*DRX*) para la cuantificación mineralógica, la microscopía electrónica de barrido (*SEM*) para la caracterización de la geometría de poro y la relación mineral–fluido, la presión capilar por inyección de mercurio (*PC Hg*) para la evaluación del tamaño de garganta de poro, y la tomografía (*CT*) aplicada al núcleo completo para la identificación de heterogeneidades y estructuras internas. En esta misma categoría se considera la determinación de saturación de agua (*Sw*), cuya interpretación depende de la naturaleza de la roca y del sistema de poros.

Finalmente, los análisis orientados principalmente a rocas reservorio, como areniscas y carbonatos, incluyen la determinación de porosidad (ϕ) mediante petrofísica, la permeabilidad (*K*) como indicador de capacidad de flujo, la densidad de grano para caracterización física del sistema, y el análisis de secciones delgadas (*TS*) como complemento petrográfico para la evaluación de textura y porosidad (**Figura 3**).

Análisis petrográfico como eje del proceso.

Es fundamental entender que la petrografía constituye la etapa central del workflow metodológico, al proporcionar la escala de correlación con las demás técnicas analíticas (**Figura 3**). A través de la petrografía se establecen la textura, la composición mineralógica, los procesos diagenéticos y los tipos de porosidad presentes, consolidándose como el vínculo entre la información proveniente de una escala macroscópica del núcleo y los análisis de mayor resolución. Con base en esta interpretación, se define el tipo de sistema de roca y se orienta de manera consistente la selección de los análisis posteriores.

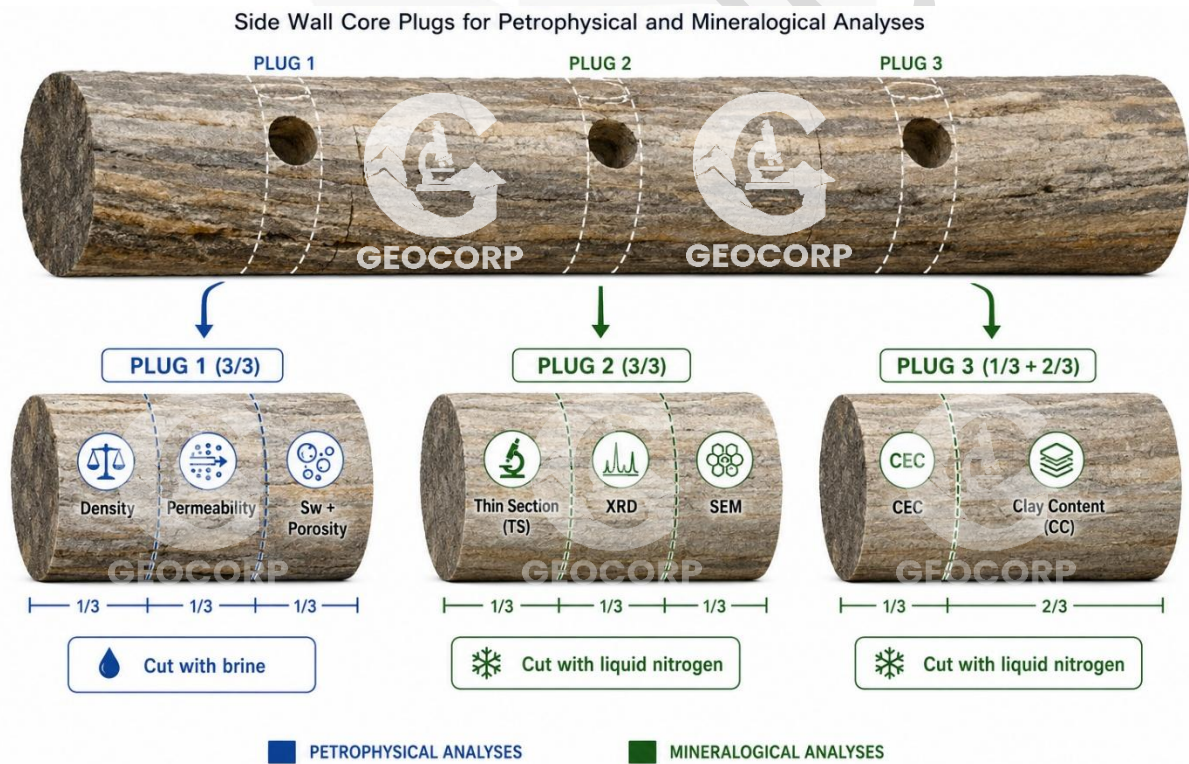
Figura 3
Crterios para la toma de muestras selectivas



En este contexto, es indispensable que los plugs destinados a análisis de petrofísica básica sean previamente perfilados en la cortadora, garantizando superficies paralelas y condiciones adecuadas para mediciones confiables. Asimismo, se recomienda que las tapas del plug sean utilizadas estratégicamente: una destinada a la elaboración de sección delgada (TS) y la otra a análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (DRX). Este procedimiento asegura correspondencia directa entre los resultados analíticos, evitando inconsistencias derivadas del uso de muestras de litologías distintas. En consecuencia, se debe evitar la práctica de enviar plugs de un litotipo para análisis petrofísicos y muestras diferentes para caracterización mineralógica o microestructural, garantizando así una integración coherente y representativa de la información dentro del modelo del yacimiento.

La Figura 4 muestra un esquema representativo para la distribución de muestras hacia los distintos laboratorio, a partir de los plugs extraídos en un núcleo, en función del tipo de roca y los objetivos de caracterización.

Figura 4
Esquema representativo para la distribución de muestras a los laboratorios a partir de los plugs extraídos del núcleo.



En caso de ser necesario, la preparación de las muestras deberá ajustarse al tipo de estudio requerido, utilizando corte con salmuera para análisis petrofísicos que requieran preservar condiciones de saturación, o corte con nitrógeno líquido en el caso de rocas finas donde sea necesario conservar la microestructura original.

Ejecución de análisis según tipo de roca.

Para rocas reservorio, como areniscas o carbonatos, se deben priorizar análisis orientados a la determinación de propiedades petrofísicas, tales como porosidad, permeabilidad, densidad, presión capilar y tomografía.



GEOCORP

LABS & CONSULTING S.A.S.

NIT: 901918891-5

Para rocas finas, como shales o lodolitas, el enfoque debe dirigirse hacia la caracterización mineralógica y microestructural mediante técnicas como DRX, SEM y análisis de capacidad de intercambio catiónico.

La selección de estos análisis debe ser coherente con la interpretación petrográfica y el objetivo del estudio.

Integración de resultados a diferentes escalas.

Una vez obtenidos los resultados analíticos, se debe proceder a su integración siguiendo el principio de análisis multiescala. La información petrofísica, mineralógica y microestructural debe ser interpretada de manera conjunta, estableciendo relaciones entre propiedades de flujo, composición mineral y geometría de poros. Esta etapa requiere la validación cruzada mediante protocolos de control de calidad QA/QC de los resultados, verificando la coherencia entre las diferentes técnicas y detectando posibles inconsistencias o errores.

Construcción del modelo geológico del yacimiento.

La integración de los datos permite avanzar hacia la construcción de un modelo geológico consistente del sistema roca–fluido–poro, en el cual se describan las propiedades del yacimiento de manera integral. Este modelo debe ser capaz de explicar el comportamiento observado y servir como base para la toma de decisiones técnicas en el desarrollo del proyecto.

Seguimiento y ajuste del proceso.

Durante todo el proceso, se debe realizar un seguimiento técnico continuo que permita evaluar la calidad de los resultados y ajustar la estrategia de muestreo y análisis en función de la información obtenida. Este seguimiento es esencial para corregir desviaciones, optimizar recursos y garantizar que el workflow metodológico se mantenga alineado con los objetivos del estudio.

En conjunto, esta metodología asegura que el muestreo de núcleos no se limite a la obtención de datos aislados, sino que se convierta en un proceso estructurado de generación de conocimiento, donde cada muestra y cada análisis contribuyen de manera directa a la comprensión del yacimiento. La correcta aplicación de este procedimiento es responsabilidad del equipo técnico involucrado y constituye un elemento clave para la calidad y confiabilidad de los resultados obtenidos.