



**INVESTIGACION Y CARACTERIZACION DE ROCAS ORNAMENTALES EN
LA FORMACION DE LOS INGENIEROS CIVILES**

JONATHAN STEVEN PATIÑO MESIAS

MARCO ANTONIO SUAREZ GUZMAN

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISION DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D. C.
2015**



**INVESTIGACION Y CARACTERIZACION DE ROCAS ORNAMENTALES EN
LA FORMACION DE LOS INGENIEROS CIVILES**

JONATHAN STEVEN PATIÑO MESIAS

MARCO ANTONIO SUAREZ GUZMAN

DIRIGIDO POR:

GEOLOGO (Ph.D) JAVIER EDUARDO BECERRA BECERRA
Docente Facultad de Ingeniería Civil
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISION DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D. C.
2015

Agradecimientos

NOTA DE ACEPTACION

JURADO

JURADO

Bogotá D.C., Febrero de 2014

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1 PRESENTACIÓN.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. ANTECEDENTES NACIONALES E INTERNACIONALES.....	4
1.4.1. Antecedentes nacionales.....	4
1.4.2. Antecedentes internacionales.....	7

CAPITULO 2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA OBJETO DE ESTUDIO.

2.1. LOCALIZACIÓN.....	10
2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS CANTERAS MUESTREADAS.....	12
2.2.1. Cantera San Antonio Norte.....	12
2.2.1. Cantera Tocogua	13

CAPITULO 3. ETAPAS DEL TRABAJO.

3.1. COMPILACIÓN BIBLIOGRÁFICA	14
3.2. TRABAJO DE CAMPO	16
3.3 ENSAYOS DE LABORATORIO	19
3.4. ELABORACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.....	20

CAPITULO 4. MARCO TEÓRICO.

4.1 DEFICIONES SOBRE ROCAS ORNAMENTALES	20
4.2. PROCESOS DE EXPLORACIÓN, EXPLOTACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ROCAS ORNAMENTALES.....	22
4.2.1. Características de exploración.....	22
4.2.2. Características de explotación.....	23
4.2.3. Características de transformación	24
4.3. USO DE LAS ROCAS ORNAMENTALES COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	29
4.4. VENTAJAS DE LA ROCA FRENTE A OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	31
4.5. LAS ARENISCAS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	32
4.5.1. Génesis de las areniscas.....	33
4.5.2. Concepto de matriz y cemento	34
4.5.3. Clases de areniscas	37
4.6. LAS ARENISCAS UTILIZADAS COMO ROCAS ORNAMENTALES	40

CAPITULO 5. ENSAYOS Y ANÁLISIS PARA CARACTERIZACIÓN DE ROCAS ORNAMENTALES.

5.1. ANÁLISIS PETROGRÁFICO	46
5.1.1. Procedimiento para el análisis de una roca	48
5.1.2 Observaciones que se realizan en un análisis petrográfico de una roca sedimentaria	49
5.2. PROPIEDADES FÍSICAS BÁSICAS.....	52
5.2.1. Densidad.....	52
5.2.2. Porosidad.....	53
5.2.3 Absorción de agua	54

5.2.4. Procedimiento de ensayo para determinación de densidad aparente, porosidad aparente y absorción de agua aparente.....	55
5.3. ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO EN ROCAS.....	58
5.3.1. Ensayo cristalización de sales	59
5.3.2. Resistencia a los vapores de ácidos sulfúrico	59
5.3.3. Resistencia a los cambios de humedad	59
5.3.4. Procedimiento ensayo de resistencias a los cambios de humedad.....	61

CAPITULO 6. CARACTERÍSTICAS LITOLOGICAS DE LAS ARENISCAS UTILIZADAS COMO LAJAS RÚSTICAS.

6.1. ESTRATIGRAFÍA FORMACIÓN UNE	64
6.2. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DE LA FORMACIÓN UNE EN LA CANTERA SAN ANTONIO NORTE (SAN)	65
6.3. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DE LA FORMACIÓN UNE EN LA CANTERA TOCOGUA (TCG)	66

CAPITULO 7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS E INTERPRETACIÓN

7.1. ANÁLISIS PETROGRÁFICO	68
7.2. PROPIEDADES BÁSICAS DE DENSIDAD, ABSORCIÓN DE AGUA Y POROSIDAD	72
7.3. ENSAYO DE RESISTENCIA A LOS CAMBIOS DE HUMEDAD	82
7.4. CORRELACIONES DE LA POROSIDAD ENTRE LOS DOS (2) MÉTODOS ENSAYADOS (PETROGRAFÍA Y ENSAYO PROPIEDADES BÁSICAS)	90
7.5. ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS EN LAS CANTERAS OBJETO DE ESTUDIO	92

CAPITULO 8. IMPORTANCIA DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS PARA LA FORMACION EN LA INGENIERIA CIVIL.....	94
--	-----------

CAPITULO 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

9.1. CONCLUSIONES	100
9.2. RECOMENDACIONES	102

CAPITULO 10. BIBLIOGRAFÍA.....	103
---------------------------------------	------------

CAPITULO 11. ANEXOS.....	108
---------------------------------	------------

LISTA DE IMÁGENES

IMAGEN No. 1 Materiales hallados en la Sierra Nevada de Santa Marta.....	5
IMAGEN No. 2 Localización geográfica y Mapa Geológico de Duitama – Santa Rosa de Viterbo	10
IMAGEN No. 3 Ciudad de Duitama – Boyacá	11
IMAGEN No. 4 Cantera Tocogua y Cantera San Antonio.....	11
IMAGEN No. 5 Cantera San Antonio Norte	12
IMAGEN No. 6 Cantera Tocogua	13
IMAGEN No. 7 Medición de las secciones estratigráficas con cinta métrica.....	16
IMAGEN No. 8 Utilización de lajas rústicas en fachadas de viviendas, Sogamoso – Boyacá	17
IMAGEN No.9 Utilización de lajas rústicas en fachadas de viviendas, Sogamoso – Boyacá	17
IMAGEN No.10 Utilización de lajas rústicas en fachadas y Pisos. Barrio Pueblito Boyacense. Duitama- Boyacá	18
IMAGEN No.11 Utilización de lajas rusticas en fachadas y Pisos. Barrio Pueblito Boyacense. Duitama- Boyacá	18
IMAGEN No.12 Método de rebanadas verticales para explotación de Rocas ornamentales	23
IMAGEN No.13 Método de rebanadas verticales para explotación de Rocas ornamentales	24

IMAGEN No.14 Proceso de pulimento de rocas para su uso como materiales de pisos y fachadas	24
IMAGEN No.15 Proceso de apomazado de rocas para su uso como materiales de pisos y fachadas	25
IMAGEN No.16 Proceso de abujardado de rocas para su uso como materiales de pisos y fachadas	25
IMAGEN No.17 Proceso de flameado de rocas para su uso como materiales de pisos y fachadas	26
IMAGEN No.18 Proceso de partido de rocas para su uso como materiales de pisos y fachadas	26
IMAGEN No.19 Lajado natural de rocas para su uso como materiales de pisos y fachadas	27
IMAGEN No.20 Arenado de una roca natural para su uso como materiales de pisos y fachadas.....	27
IMAGEN No.21 Cepillado de una roca natural para su uso como materiales de pisos y fachadas	28
IMAGEN No.22 Aserrado de una roca natural para su uso como materiales de pisos y fachadas	28
IMAGEN No.23 Ilustración de placa utilizada en revestimientos exteriores.....	29
IMAGEN No.24 Ilustración de ejemplo de plaquetas utilizado en revestimientos exteriores interiores	29
IMAGEN No. 25 ilustración de uso de la roca como revestimiento de pisos	30
IMAGEN No. 26 Utilización de la roca como material de revestimiento de piso...	30
IMAGEN No. 27 Bordillo hecho en roca ornamental.....	31
IMAGEN No. 28 Componentes de una roca sedimentaria.....	34
IMAGEN No. 29 Arenisca con cemento calcáreo	35
IMAGEN No. 30 Arenisca con cemento ferruginoso	35
IMAGEN No. 31 Arenisca con cemento silíceo	36
IMAGEN No. 32 Dispersión de los tamaños de grano	37
IMAGEN No. 33 Grado de madurez textural de una roca sedimentaria	37
IMAGEN No. 34 Fotografía diagrama composicional de la cuarzoarenita.....	38
IMAGEN No. 35 Fotografía diagrama composicional de litoarenita	39
IMAGEN No. 36 Fotografía diagrama composicional de la arcosa	40
IMAGEN No.37 uso de arenisca como roca ornamental, Capilla de Jesús Resucitado – Barichara.....	44
IMAGEN No.38 Uso de areniscas como roca ornamental. Convento de Nuestra Señora de Monguí – Municipio de Monguí	44
IMAGEN No.39 Uso de areniscas como roca ornamental. Catedral Primada de Colombia – Bogotá D.C	45

IMAGEN No.40 Uso de areniscas como roca ornamental. Catedral de Duitama – Boyacá	45
IMAGEN No.41 Diagrama de flujo mostrando los procedimientos para conseguir la sección delgada	48
IMAGEN No. 42 sección delgada muestra SAN 2.....	48
IMAGEN No. 43 Cuadro de comparación visual de redondez y esfericidad	50
IMAGEN No. 44 Esquema representando el contacto entre granos y su nomenclatura.....	50
IMAGEN No.45 Clasificación de Folk de rocas sedimentarias en función de su mineralogía	51
IMAGEN No.46 Preparación de muestras para ensayos de laboratorio	55
IMAGEN No. 47 Proceso de limpieza de muestras	55
IMAGEN No. 48 Secado de muestras en horno a $T = 105^{\circ}\text{C}$	56
IMAGEN No.49 Saturación de muestras en agua destilada para los ensayos de Propiedades Físicas Básicas	56
IMAGEN No.50 Determinación del peso hidrostático por inmersión total de la muestra	57
IMAGEN No.51 Secado superficial de la muestra	57
IMAGEN No.52 Ilustración del proceso de ciclo del ensayo resistencia a los cambios de humedad	60
IMAGEN No.53 Grupo de muestras inalteradas utilizadas para el ensayo de resistencia a los cambios de humedad (Norma UNE 22-197).....	61
IMAGEN No.54 Secado de muestras al horno ($T^{\circ} 105^{\circ}\text{C}$)	62
IMAGEN No.55 Saturación de muestras con agua destilada	62
IMAGEN No.56 Micrografía de una sección delgada muestra de la cantera San Antonio Norte SAN 2.....	69
IMAGEN No.57 Grupo de muestras de la cantera San Antonio Norte utilizadas para el ensayo de resistencia a los cambios de humedad	73
IMAGEN No.58 Grupo de muestras de la cantera Tocogua utilizadas para el ensayo de resistencia a los cambios de humedad	76
IMAGEN No.59 Etiquetado de las muestras para su identificación.....	82
IMAGEN No.60 Desprendimiento de partículas en el proceso de saturación del ensayo de resistencia a los cambios de humedad	84
IMAGEN No.61 Formación de grietas en el ensayo de resistencia a los cambios de humedad	84
IMAGEN No.62 Cambio de color de las muestras, ensayo resistencia a los cambios de humedad.....	85
IMAGEN No.63 Demarcación de los Segmentos en la Cantera San Antonio Norte en función de los resultados obtenidos de los ensayos	92

IMAGEN No.64 Cantera Tocogua	93
------------------------------------	----

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1 Diferencia entre la masa mínima de las muestras solicitada por el ensayo colombiano y el brasileño.	19
Tabla No. 2 Clasificación de las areniscas de acuerdo al tamaño de grano.....	33
Tabla No. 3 Calificación del tamaño de grano según la escala de Wentwort....	49
Tabla No. 4 Muestras Utilizadas en el análisis de petrografía.....	68
Tabla No. 5 Muestras utilizadas en los ensayos de propiedades físicas	72
Tabla No. 6 Resultados de las propiedades básicas físicas de las muestras de la Cantera San Antonio Norte	74
Tabla No. 7 Resultados de las Propiedades Básicas Físicas de las muestras de la Cantera Tocogua	77
Tabla No. 8 Relación de muestras utilizadas para el ensayo de determinación de resistencia a los cambios de humedad	81
Tabla No. 9 Promedio de los resultados del ensayo resistencia al cambio de humedad de los Ciclos No. 3 y 25 de las muestras de San Antonio Norte	83
Tabla No. 10 Promedio de los resultados del ensayo resistencia al cambios de humedad de los Ciclos No.3 y 25 de las muestras de Tocogua	83
Tabla No. 11 Resultados del ensayo de resistencia a los cambios de humedad de la Cantera San Antonio Norte	86
Tabla No. 12 Resultados de La Resistencia a los cambios de humedad de la Cantera Tocogua	87

Tabla No.13 Importancia de las Características tecnológicas	94
Tabla No. 14 Especificaciones técnicas de los agregados del concreto	95
Tabla No.15 Especificaciones técnicas del balasto y los agregados del pavimento.....	97
Tabla No. 16 Especificaciones técnicas de las rocas para revestimientos	99

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1 PRESENTACIÓN.

Este trabajo de grado es un trabajo de investigación sobre rocas ornamentales en el cual se expone la importancia de conocer la terminología de rocas ornamentales en el contexto de la ingeniería civil. También se presentan las propiedades básicas de rocas utilizadas como rocas ornamentales, los ensayos que deben realizarse en este tipo de materiales, con la aplicación de algunos ensayos básicos para entender el comportamiento de los materiales rocosos utilizados como rocas ornamentales. El trabajo de grado contó con la asesoría del Geólogo investigador (Ph.D) Javier Eduardo Becerra, perteneciente al grupo de investigación de la Facultad de Ingeniería Civil GIFIC y es financiado por la Universidad Santo Tomas de Bogotá. Se enmarca dentro del proyecto: “LA EXTRACCIÓN MINERA DE ARENISCAS DE LA FORMACIÓN UNE. INCIDENCIA EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA, MECÁNICA Y DE ALTERABILIDAD PARA OPTIMIZACIÓN DE EXTRACCIÓN Y USO EN OBRAS VIALES Y EN ARQUITECTURA.”

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1. OBJETIVO GENERAL.

Conocer y aprender sobre la terminología de rocas ornamentales utilizadas en la industria de la construcción y los diferentes tipos de ensayos de caracterización física, mineralógica, textural y envejecimiento acelerado que son utilizados en este tipo de rocas.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Entender la importancia de la participación del ingeniero civil en este campo de la construcción.
- Realizar y entender la importancia de los ensayos básicos de determinación de propiedades físicas, de resistencia a los cambios de humedad y de petrografía, utilizados para rocas ornamentales, en el caso específico de las arenitas laminadas (lajas rústicas), materiales de estudio en el proyecto de investigación.

- Analizar e interpretar preliminarmente, como método de aprendizaje, los ensayos usados durante el desarrollo de este trabajo de grado y su importancia para la caracterización de los materiales de construcción.
- Correlacionar los datos obtenidos en los ensayos de: - determinación de propiedades físicas de las rocas: (densidad aparente seca, porosidad aparente y absorción aparente de agua) y resistencia a los cambios de humedad de las muestras de las canteras San Antonio y Tocogua (Departamento de Boyacá) con las características petrográficas de las rocas y su aplicación en el campo de caracterización de rocas ornamentales y materiales de construcción.

1.3. JUSTIFICACIÓN.

La investigación científica de los materiales pétreos usados en obras civiles, ya sea como agregados pétreos o como placas de roca utilizados para pavimentación de plazas, vías peatonales y/o vehiculares o para su uso como revestimientos de pisos y fachadas presenta poco desarrollo en Colombia. Este tipo de investigación debe comenzar por la cartografía geológica tendiente a determinar el potencial del territorio colombiano de nuevos materiales para uso en ingeniería civil y arquitectura., la cual se encuentra en estado muy incipiente. Son muy escasas también las investigaciones que incluyan análisis de laboratorio tendientes a caracterizar los materiales pétreos desde el punto de vista tecnológico y los ensayos de simulación de condiciones medioambientales, siendo que todos ellos permiten determinar el verdadero comportamiento que estos materiales van a tener una vez sean utilizados en obras civiles.

En el campo de la construcción, cada vez es mayor el uso de revestimientos interiores y exteriores en piedra natural, cortada en diferentes formatos y dimensiones, que son aplicadas sin un conocimiento apropiado de sus propiedades, dando lugar a problemas cuando ya están instaladas. La participación en la toma de decisiones por parte de los ingenieros civiles es prácticamente nula, por desconocimiento de los aspectos básicos relacionados con esta temática.

El desarrollo de este trabajo de grado permite conocer y así mismo poder realizar algunos ensayos utilizados para rocas ornamentales, como la determinación de propiedades físicas básicas, de resistencia a los cambios de humedad y el análisis petrográfico, que usualmente no son aplicados a los materiales que son empleados en las construcciones como materiales de pisos

y fachadas. En esta investigación se usaron las rocas naturales conocidas coloquialmente como “lajas” de la Formación Une, debido a que estas son utilizadas para pavimentación de plazas, calles de alto tráfico vehicular o vías peatonales o para su uso de revestimientos de pisos y fachadas

Todo esto con el fin generar una mayor optimización al utilizarlas en obras civiles y arquitectónicas, ya que hoy en día estas rocas son implementadas como materiales de construcción con poco criterio técnico o científico que demuestre la aptitud de uso en lugares donde se estén utilizando.

Por tal razón se estima justificable la realización de este trabajo de grado enmarcado en el proyecto de investigación “LA EXTRACCIÓN MINERA DE ARENISCAS DE LA FORMACIÓN UNE. INCIDENCIA EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA, MECÁNICA Y DE ALTERABILIDAD PARA OPTIMIZACIÓN DE EXTRACCIÓN Y USO EN OBRAS VIALES Y EN ARQUITECTURA.”, como un aporte para el buen manejo de estos materiales en las obras civiles y en las construcciones en que son utilizados.

1.4. ANTECEDENTES NACIONALES E INTERNACIONALES.

1.4.1. ANTECEDENTES NACIONALES.

Algunos estudios han sido realizados en el país, tendientes a conocer el potencial geológico de Colombia para rocas ornamentales y las características tecnológicas que inciden en la durabilidad de estos materiales en obras civiles. Los trabajos de investigación realizados se han centrado en dos temáticas principales. Por un lado en la determinación del potencial geológico de Colombia para la producción de rocas ornamentales, y por otro, el estudio de procesos patológicos en materiales usados como rocas ornamentales en edificaciones patrimoniales y recientes.

Como ejemplos de estudio geológico tendientes a determinar el potencial geológico de Colombia se destacan dos trabajos, en primer lugar Bernal *et al.*, (2004) [1] realizaron el primer trabajo de investigación geológica aplicada para rocas ornamentales en el proyecto: “Aprovechamiento de materiales lapidarios en la Sierra Nevada de Santa Marta, Departamentos del Cesar y La Guajira” en desarrollo del cual, se establecieron áreas potenciales para el desarrollo de industria extractiva y de transformación de mármoles y granitos. Se estima que los posibles sitios potenciales para explotaciones de rocas ornamentales deben localizarse a distancias no superiores a 5 km aproximadamente de las vías

principales. En este trabajo se identificaron tres sitios con cuatro tipos de rocas aceptables para exploración de rocas ornamentales tipo granitos, relacionadas con los procesos geológicos que ocurren en el área (ver Imagen No. 1).



Imagen No. 1: Materiales hallados en la Sierra Nevada de Santa Marta
(Becerra, J.)[2]

En segundo lugar, Becerra *et al.*, (2011) [3], desarrollaron el proyecto “Unidades Geológicas Con Potencial para Rocas Ornamentales en los Departamentos de Boyacá, Cundinamarca y sur del Departamento de Santander”. El proyecto tuvo como objetivo general hacer el reconocimiento de estas unidades geológicas con potencial como rocas ornamentales, con el fin de generar desarrollo en la industria de extracción y transformación de rocas en estas regiones.

La investigación se centró en 6 áreas: la primera en el municipio de Málaga, la segunda en Boavita, la tercera en las poblaciones de Duitama y Santa Rosa de Viterbo, la cuarta en Saboya y Puente Nacional, la quinta en el municipio del Rio Bata y la sexta en la población de Cerro Peña Blanca. En todas las áreas se identificaron rocas ígneas y metamórficas que por sus características, no se pueden considerar como rocas ornamentales, no obstante en algunos sectores el hallazgo corresponde a unidades sedimentarias calcáreas y areníticas, las cuales tienen un alto potencial para su uso como roca ornamental.

En el campo de los materiales pétreos usados en obras de arquitectura e ingeniería, relacionados con el estudio de procesos patológicos se destacan varios trabajos.

Becerra J.E. (2009) [4] en su Tesis Doctoral, realizó una investigación sobre las propiedades mineralógicas, químicas y texturales de calizas de la Formación La Tampa (Eoceno Medio). En ella se explican los procesos patológicos que ocurren en estas rocas, que son utilizadas como pavimentaciones de plazas y como materiales de fachadas, pisos y ornamentos en diversos espacios urbanos y edificios de la arquitectura reciente de Medellín; y determina las estrategias de conservación y los procesos industriales que permitieran mejorar la calidad de los productos terminados, para su utilización en todos los ambientes y lugares de uso.

Becerra J.E. *et al.* (2013) [5] en su trabajo denominado “Diagnóstico de patologías, caracterización mineralógica y estructural de la tapia pisada del paredón de Los Mártires (bien de interés cultural colombiano) para trabajos de restauración”, presenta una serie de ensayos de caracterización que se le realizaron a la tapia pisada que compone el paredón de Los Mártires, donde uno de ellos reveló que este material está constituido por cuarzo, plagioclasa y algunos minerales del grupo de la caolinita; y por otra parte a través de otros ensayos como los de propiedades básicas y ensayos de resistencia mecánica, expuso que dicho material pierde considerablemente su densidad y tiene una baja resistencia mecánica. Asimismo nos expone una serie de procesos patológicos que presenta este paredón, explicando a la vez las causas de dichos procesos.

Becerra J.E. (2013) [6] en su trabajo de investigación acerca de “Los avances en caracterización físico-mecánica de las lajas rústicas utilizadas en construcciones patrimoniales de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca – Colombia”, indica que las lajas rústicas que han sido utilizadas en construcciones de las Ciudades de Bogotá, Tunja y otras del oriente colombiano, a pesar de encontrarse en capas superpuestas aparentemente homogéneas, presentan diferencias en mineralogía y propiedades texturales, que determinan la dinámica de circulación de fluidos, sus propiedades mecánicas y susceptibilidad al desarrollo de procesos patológicos. Todo ello de acuerdo a los resultados obtenidos, de la caracterización física y mecánica de las rocas y considerando conjuntamente los resultados de los demás ensayos como análisis químicos, mineralógicos y petrográficos, muestra cual es el mejor segmento de explotación de laja, con el propósito de beneficiar el medio ambiente del lugar y que este material sea el adecuado en obras civiles.

Gómez L. *et al.* (2013) [7] en su trabajo “Caracterización de materiales ecológicos compuestos por tierra comprimida”, indica que dichos materiales son muy buenos para ser usados en la construcción, sin embargo señala que

algunos de estos materiales tienen que ser utilizados con ciertas restricciones relacionadas con su colocación apropiada en las estructuras y la exposición del agua. Lo anterior, se concluyó después de haber realizado unos ensayos de caracterización como ensayos de propiedades básicas (densidad, porosidad y absorción de agua), difracción de rayos X, etc.

1.4.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

A nivel internacional se han realizado importantes aportes a la investigación de materiales pétreos y sus procesos patológicos en arquitectura e ingeniería.

Esbert M. (1989) [8] realiza una descripción petrográfica determinando las propiedades físicas de las rocas (Caliza de Girona, Arenisca de Folgueroles y Caliza de Vinaixa) que se usan en la arquitectura de Catalunya, España, por medio de cierto ensayos, como el envejecimiento artificial acelerado.

Varas M. *et al.* (2001) [9] realizaron un estudio petrográfico y químico de las Areniscas de Ciudad Rodrigo, el cual determina distintas variedades pétreas (roja, marrón, rayada, modular y blanca) utilizadas en la construcción del casco histórico de la ciudad Rodrigo (España). Así mismo realizaron un estudio de composición química, del cual concluyeron que las variedades pétreas halladas son producto de la composición química, ocasionando que los monumentos se vean vistosos y que la Ciudad Rodrigo posea un conjunto arquitectónico muy pintoresco.

Suarez L., (2002) [10] hace un trabajo de investigación en el cual realiza una caracterización tecnológica en las rocas ornamentales de Asturias (España). En este documento se indica que existen varios tipos de rocas que cuentan con las características apropiadas para ser utilizadas en revestimientos de exteriores e interiores, pavimentos, peldaños y mampostería. Por otro lado hace una serie de recomendaciones para realizar una extracción óptima sin alterar la naturaleza del material, y se muestra los tipos de roca más susceptibles al deterioro alteradas en ambientes contaminados.

Buergo B. *et al.* (2002) [11] en su artículo titulado “Caracterización de los Materiales de construcción de un edificio histórico y evaluación de tratamientos de conservación para fines de restauración”, presentan una serie de ensayos y procedimientos para lograr la caracterización del material utilizado en la fachada del edificio (piedra caliza), con el fin de identificar cuáles fueron los mecanismos de deterioro de esta piedra, y encontrar posibles métodos de tratamiento para su conservación.

Becerra J. & Costa A., (2008) [12] presentan un trabajo de investigación denominado “especificaciones de uso de rocas ornamentales con base en ensayos de alteración acelerada”, en el cual se muestran los resultados de dichos ensayos, señalando que algunos de los granitos que se usaron en el ensayo son más susceptibles de experimentar procesos de deterioro por la acción del medio ambiente que otros.

Vielba C. (2009) [13] en su artículo de la piedra natural en fachadas ventiladas analiza el efecto que produce la humedad en la piedra, y señala que la durabilidad está estrechamente relacionada con el contenido de humedad que tenga la piedra natural. Por tal razón indica que se debe de realizar un análisis detallado del efecto que ocasiona el agua en dicho material. Asimismo muestran un ejemplo de cómo se debe de llevar el análisis, mostrando ejemplos de la utilidad del tipo de análisis propuesto

Smith *et al.* (2010) [14] presentan una serie de trabajos de investigación sobre utilización de rocas sedimentarias como calizas y areniscas en obras civiles y de arquitectura, en las cuales se exhiben algunos problemas patológicos asociados a su uso, las técnicas modernas de caracterización y procesos industriales utilizados para mejorar su desempeño, tanto para su uso como rocas ornamentales o como agregados pétreos en obras civiles como carreteras y ferrovías

Esbert M. *et al.* (2013) [15] en su trabajo denominado “Relaciones entre la porosidad, contenido de arcillas y durabilidad de areniscas”, presentaron una investigación enfocada en tres variedades de areniscas, que provienen de diferentes puntos de extracción (Salamanca, Somio y Asturias). En los resultados de esta investigación se expone el porcentaje de porosidad presente en las rocas, el tipo de arcilla y los granos minerales que las componen. Por último se hace una correlación entre las características encontradas y la durabilidad de las areniscas, evaluándolas mediante ensayos de alteración acelerada.

En Latinoamérica son importantes los trabajos realizados en Brasil sobre caracterización de materiales pétreos (rocas y agregados) y el aprovechamiento de sus residuos, en obras civiles, arquitectura y desarrollo agropecuario. Así por ejemplo se destaca la Tesis de Doctorado de Omar Yazbek Bitar (2013) [16], titulada: Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração, en la cual formula una serie de estrategias de utilización de residuos y recuperación del área urbana en el área metropolitana de Sao Paulo. Los trabajos de Da Costa Pereira (2004), Pinho, D (2007) y

CETEM (2011) [16] constituyen un importante avance en la investigación de los procesos de exploración, caracterización mecánica, caracterización tecnológica para definición de usos y uso de residuos de aplicando tecnologías limpias, de rocas y agregados pétreos naturales y artificiales.

Cabe destacar que varios países latinoamericanos, como México, Brasil y Argentina, han desarrollado trabajos de exploración geológica y caracterización de rocas ornamentales, que han permitido encontrar nuevas variedades de roca para uso en pisos y fachadas, estableciendo además el uso de residuos como materiales para utilidad en obras civiles. En varias facultades de Ingeniería Civil se ha incluido este tema dentro de los relacionados con caracterización de materiales.

Prof. Dr. Carvalho Júnior Antonio Neves, en su trabajo denominado “Evaluación del Desempeño de los morteros tradicionales y adhesivos para la colocación de piedra ornamental” evaluó el desempeño de los morteros tradicionales con los morteros industrializados, concluyendo que el mortero tradicional tiene una mayor resistencia y un mayor agarre, y los morteros adhesivos, debido a que contienen aditivo de retención de agua, impiden el exceso de agua durante el mezclado, y así evitan procesos patológicos en sistemas de recubrimiento con piedras ornamentales.

CAPITULO 2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA BLANCO DE ESTUDIO

Duitama se encuentra ubicada en el departamento de Boyacá, situado en el centro- oriente de Colombia. Cuenta con una población de aproximadamente 122.243 habitantes. Limita por el norte con el departamento de Santander; por el sur con el Municipio de Tibasosa ; por el oriente con los municipios de Santa Rosa de Viterbo y Belén; y por el Occidente con el Municipio de Paipa.

Fuera del área del casco urbano se encuentran ubicadas las dos canteras que son blanco de estudio en este trabajo de grado, como se muestra a continuación.

2.1 LOCALIZACIÓN.

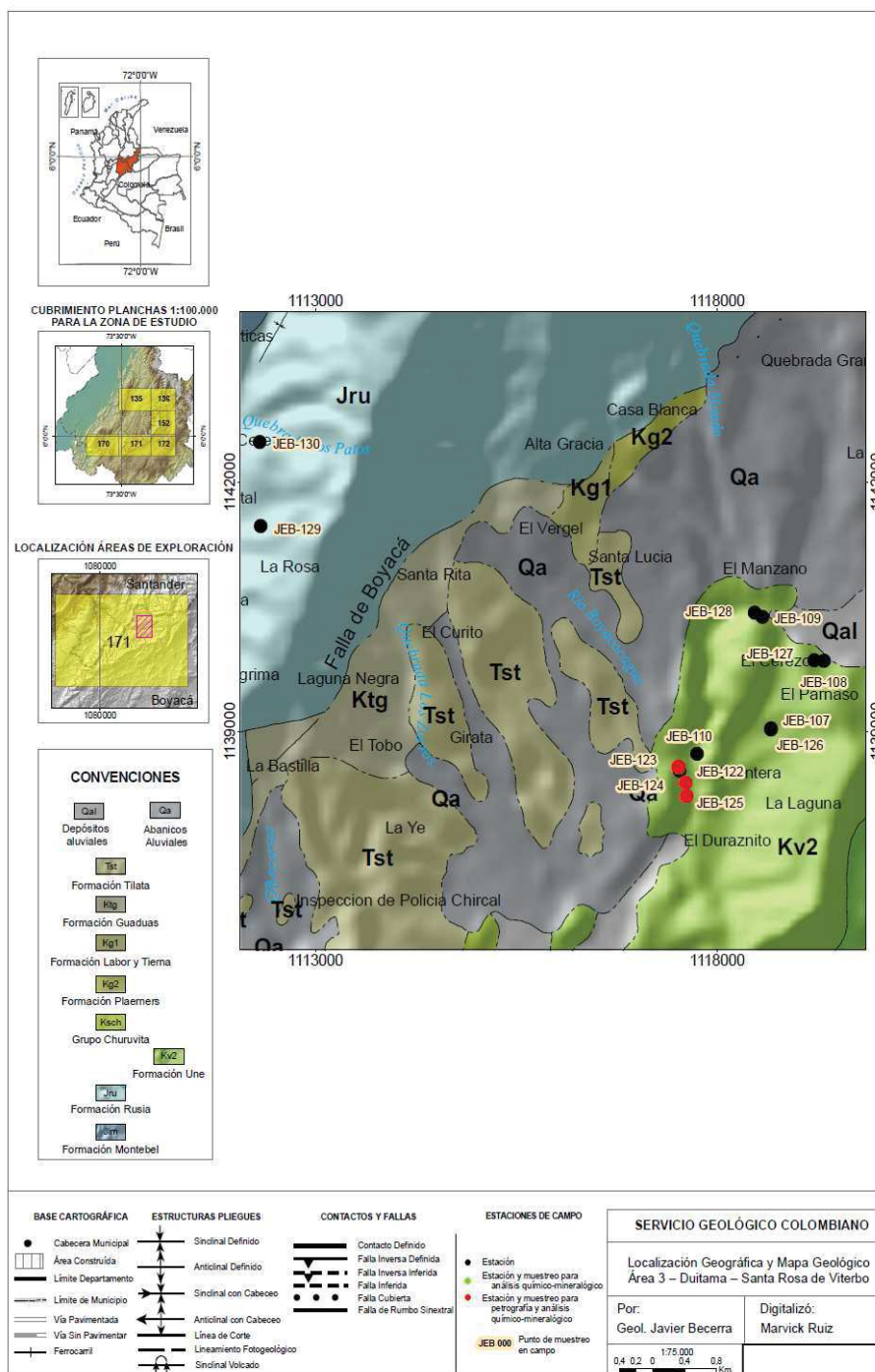


Imagen No. 2: Localización geográfica y Mapa Geológico de Duitama – Santa Rosa de Viterbo (Tomado de Becerra) [3].

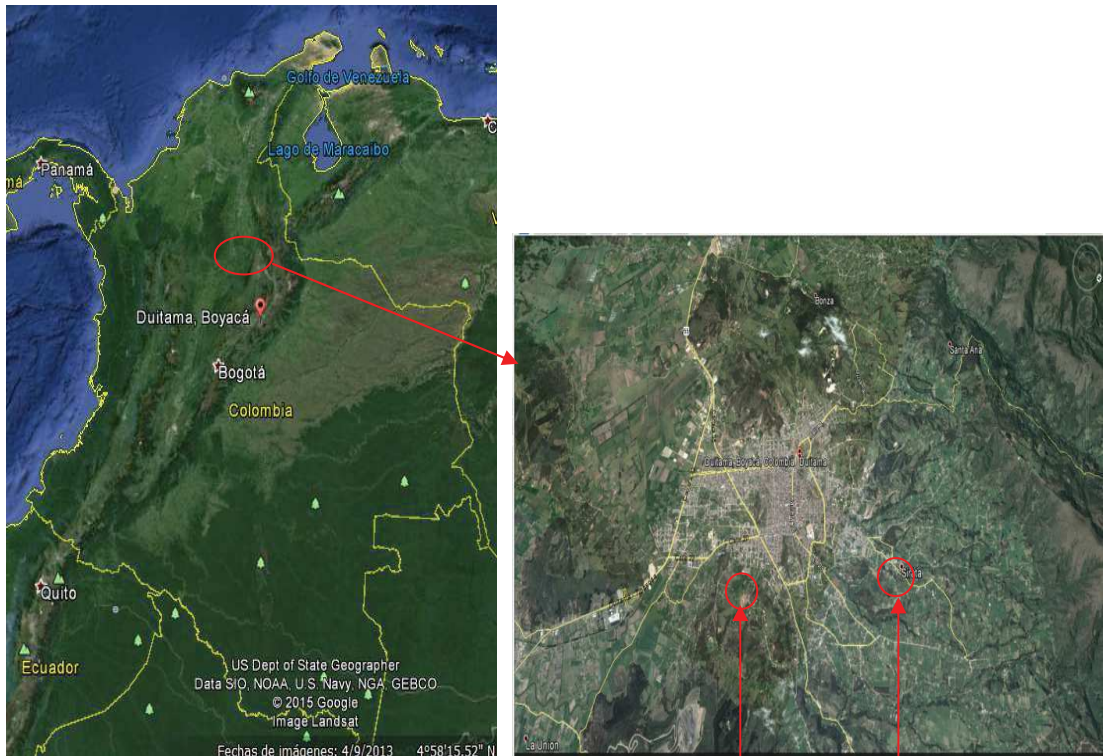


Imagen No. 3: Ciudad de Duitama - Boyacá (google Earth) [17]



Imagen No. 4: Cantera Tocogua y Cantera San Antonio (google Earth) [17]

2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS CANTERAS MUESTREADAS.

2.2.1. CANTERA SAN ANTONIO NORTE.

Esta cantera se encuentra localizada en la vereda San Antonio Norte de la ciudad de Duitama, con su frente de extracción delimitada por coordenadas: N: 1.138.581; E: 1.117.526; Elevación: 2599 m.



Imagen No. 5: Cantera San Antonio Norte

Esta cantera actualmente cuenta con todos los permisos mineros y ambientales. Su propietario es el Señor Domingo Fajardo y dentro de ella se encuentran trabajando 5 personas. En esta cantera se extraen 180 metros cúbicos mensuales de laja rústica, que son vendidas para ser utilizadas como enchapes y pisos en las Ciudades de Duitama, Sogamoso, Tunja y Bogotá D.C. Los residuos se usan como material de afirmado en caminos veredales y como relleno para la construcción.

2.2.2 CANTERA TOCOGUA

Esta cantera se encuentra ubicada en la vereda Tocogua de la ciudad de Duitama, con coordenadas aproximadas N: 1.138.795; E: 1.120.475; Elevación: 2628 m.

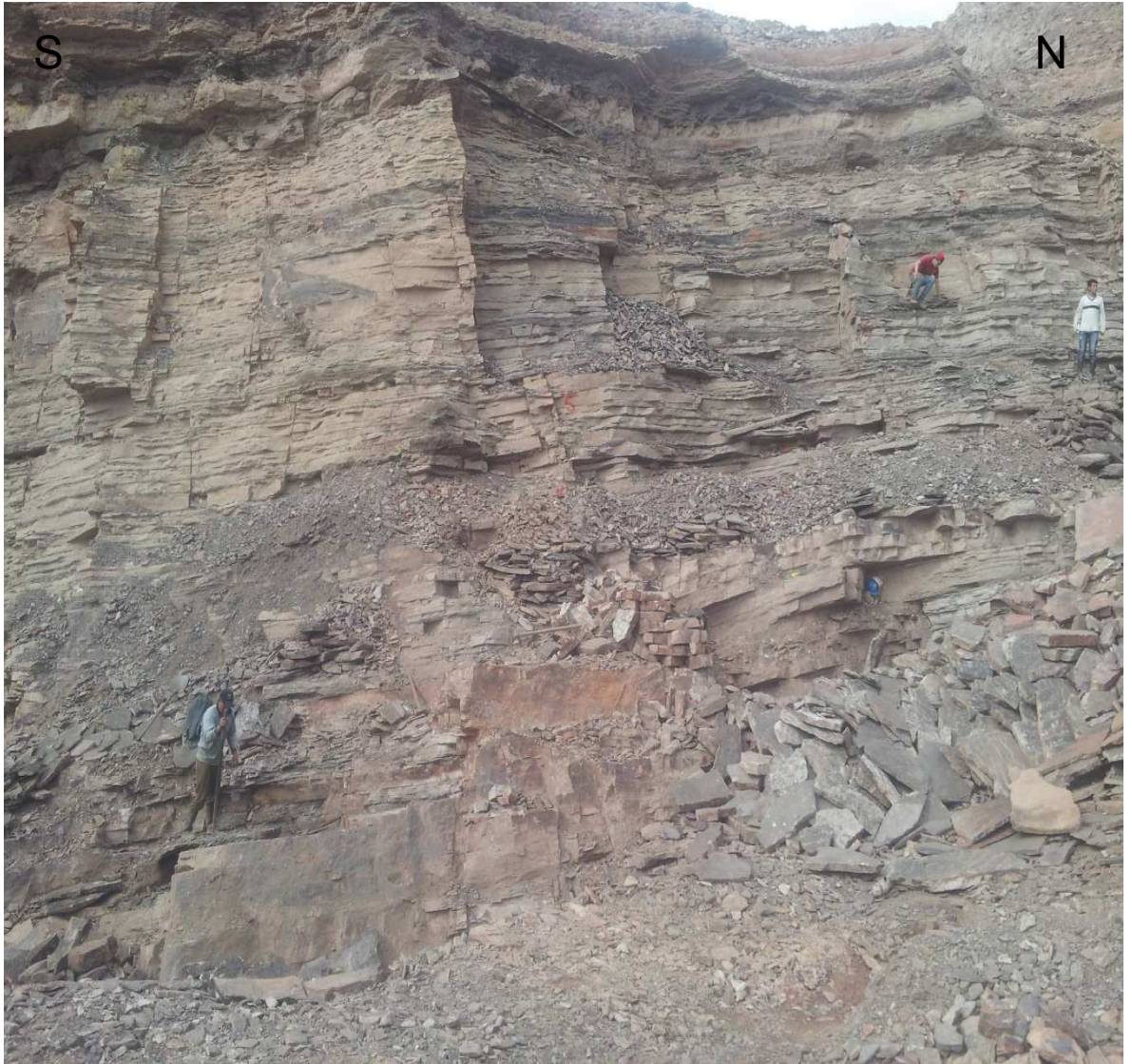


Imagen No. 6: Cantera Tocogua

Esta cantera cuenta con todos los permisos mineros y ambientales, su propietario es el Señor Javier Vargas y dentro de ella se encuentran trabajando alrededor de 7 a 10 personas. Al mes se extraen 30 metros cúbicos de laja rustica y 60 metros cúbicos de piedra, que son utilizados como agregados para la construcción.

Esta cantera presenta poca producción del material; aun contando con todos requisitos y permisos legales requeridos para la explotación minera a campo abierto, no cuenta con producción a gran escala.

CAPÍTULO 3. ETAPAS DEL TRABAJO.

Para el desarrollo del trabajo de grado se realizaron las siguientes actividades:

3.1. COMPILACIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Inicialmente se realizó la compilación bibliográfica de documentos sobre rocas ornamentales en los cuales se comprendió toda la terminología, procesos, ensayos y demás aspectos que permiten incursionar en este campo. Por otro lado se estudió la metodología de trabajo de campo y muestreo para llevar a cabo una recolección de muestras adecuada. Posteriormente se investigó toda la terminología y algunos métodos de descripción de aquellas propiedades físicas que pueden determinarse por inspección ocular o mediante ensayos relativamente simples en rocas sedimentarias. Por último se consultaron distintos documentos y artículos relacionados con la caracterización de rocas ornamentales en los cuales se pudo evidenciar la importancia de los ensayos de caracterización de materiales pétreos como un indicador de calidad que contribuye fuertemente en la durabilidad del material para ser utilizado en acabados de obras civiles y arquitectónicas.

Por lo anterior se tomaron como referencia algunos libros, informes y artículos, como los que se muestran a continuación:

- Libro: Manual de Geología para Ingenieros, Capitulo 9; de Gonzalo Duque Escobar.
- Artículo: Rocas Sedimentarias de Silvia Barredo
- Libro: El Medio Físico I: Estructura y Procesos Geológicos Externos de Jacinto Alonso Azcarate.
- Informe: Exploración Geológica para Fosfatos en la Cordillera Oriental – Departamento de Boyacá de Javier Eduardo Becerra Becerra.
- Informe: Unidades Geológicas Con Potencial para rocas ornamentales en los Departamentos de Boyacá, Cundinamarca y sur del Departamento de Santander de Javier Eduardo Becerra Becerra, Jorge Montaña e Ingrid Escobar.

- Artículo: Características tecnológicas de las rocas ornamentales de Asturias, L.M. Suarez del rio, L. Calleja, I. Diez Sarria, V.G Ruiz de Argandoña.
- Artículo: Areniscas ornamentales empleadas en Ciudad Rodrigo, Salamanca: caracterización petrográfica y química de los materiales de cantera, Varas M.J, Molina E., Vicente M.A.
- Artículo: Caracterización de rocas ornamentales, Fabián Jeronimo Moreira Sossai.
- Artículo: Factores intrínsecos que condicionan el comportamiento físico y la alterabilidad de las areniscas miocénicas utilizadas en la construcción del acueducto romano de Zaghouan-Cartago (Túnez).
- Artículo: Petrografía, propiedades físicas y durabilidad de algunas rocas utilizadas en el patrimonio monumental de Cataluña, España, Rosa M. Esbert, Rosa M. Marcos.
- Tesis de Maestría: Correlación entre propiedades tecnológicas y comportamiento tecnológico y de alterabilidad de las rocas ornamentales silicatadas, Pazeto Andrade Abiliane

Lopez Jimeno - Carlos (Ed.).

- Libro: Tecnología de las Rocas en las Construcciones Civiles, Frazao Borgues Ely.
- Artículo: Avances en caracterización físico-mecánica de las lajas rústicas utilizadas en construcciones patrimoniales de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca – Colombia, Javier Eduardo Becerra Becerra (2011).

Se consultaron documentos publicados por el Servicio Geológico Colombiano S.G.C. sobre las características de las unidades geológicas en estudio (Formación Uñe), específicamente la memoria de la plancha 171 Duitama.

3.2. TRABAJO DE CAMPO.

En las ciudades de Duitama, Santa Rosa de Viterbo y Sogamoso se desarrollaron los trabajos de campo, en los cuales se identificaron y visitaron

las minas activas, donde se observaron diferentes aspectos de las rocas estudiadas:

- Morfología del afloramiento y características geológicas.
- Características de la roca: color, tamaño de grano, textura, homogeneidad, etc.
- Métodos de explotación y utilización de la roca.

Para esto, la dinámica que se llevó a cabo en campo consistió en dividir la zona de extracción de las dos canteras en segmentos de 1.50 m de espesor. Posteriormente cada uno de estos segmentos mencionados fueron divididos en secciones de 4 a 40 cm, cada sección fue descrita y se tomó una muestra de roca representativa de cada división. Las muestras tomadas fueron guardadas y nombradas en bolsas plásticas con las iniciales del nombre de la cantera (TCG y SAN), y selladas con cinta de enmascarar para ser llevadas a la Universidad Santo Tomas de Bogotá D.C. donde se realizaron los ensayos de porosidad, absorción, densidad y resistencia a los cambios de humedad.

Hay que aclarar que las secciones estratigráficas no fueron medidas con el bastón de Jacob (o tipo Jacob), ya que las capas de roca, en las dos canteras muestreadas, se disponen de forma horizontal, lo cual facilita la medición de espesores directamente, de forma perpendicular al paquete de rocas, utilizando cinta métrica.



Imagen No. 7: Medición de las Secciones Estratigráficas con cinta métrica

Las observaciones que se realizaron en campo se describieron con ayuda de una lupa de 20x, y se consignaron en formatos utilizados en proyectos de rocas ornamentales, modificados previamente, los cuales se muestran en el Anexo 1.

Por otro lado se realizó el inventario de uso del material en pisos, fachadas, zócalos, revestimientos de plazas, etc. en ciudades cercanas a las minas donde se extrae el material (Duitama y Sogamoso en Boyacá).



Imagen No. 8: Utilización de lajas rústicas en fachadas de viviendas, Sogamoso – Boyacá.

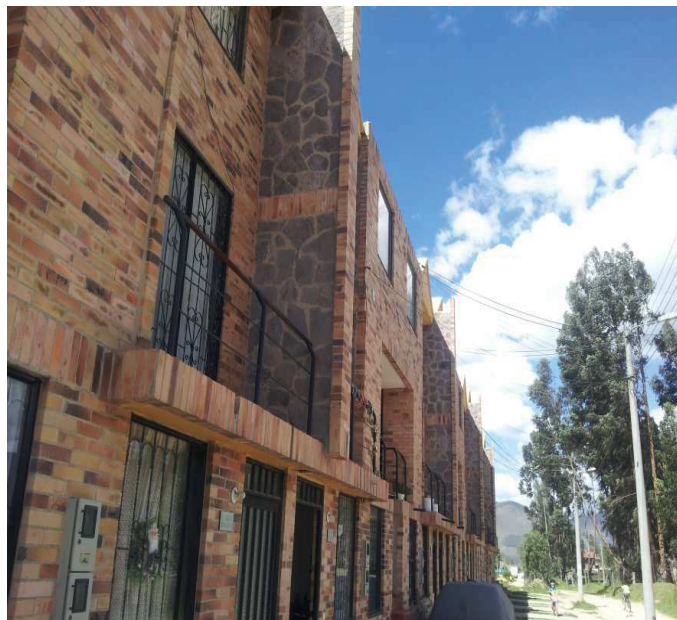


Imagen No. 9: Utilización de lajas rústicas en fachadas de viviendas, Sogamoso – Boyacá



Imagen No. 10: Utilización de lajas rústicas en fachadas y pisos. Barrio Pueblito Boyacense. Duitama- Boyacá



Imagen No.11: Utilización de lajas rústicas en Fachadas y Pisos. Barrio Pueblito Boyacense. Duitama- Boyacá

3.3 ENSAYOS DE LABORATORIO.

Se desarrollaron trabajos de laboratorios en los cuales se establecieron algunas características físicas, mineralógicas y texturales, teniendo en cuenta las normas pertinentes (Becerra, 2013) [18].

- Determinación de propiedades físicas básicas: Por medio de procesos de inmersión de agua destilada y secado en horno, se hizo la determinación de propiedades físicas básicas (densidad aparente, porosidad aparente y absorción de agua aparente). Para la realización de estos ensayos se necesitaron equipos básicos, como bandejas plásticas, agua destilada, balanzas analíticas y soportes universales. Por otro lado se siguió el procedimiento tomado de la Norma Brasileña NBR 15845:2010, ya que es específica para rocas ornamentales, aunque existe la norma colombiana NTC 176 (ICONTEC, 1995) [19]. En esta norma se expone un procedimiento igual para determinar la densidad y absorción en agregados gruesos, pero no se tomó como referencia debido que la masa mínima de las muestras para el ensayo, según su tamaño nominal, supera el peso de las rocas muestreadas en las dos canteras.

Tabla No. 1. Diferencia entre la masa mínima de las muestras solicitada por el ensayo colombiano y el brasileño.

Ensayo Norma Técnica Colombiana 176		Ensayo Norma Brasileña NBR 15845
Tamaño nominal, (mm)	Masa mínima de la muestra, (Kg)	Masa mínima de la muestra
12,5 o menos	2	Muestras de 250 g aproximadamente O tabletas de 7 cm de lado y 2 cm de espesor
19	3	
25	4	
37,5	5	
50	8	
63	12	
75	18	
90	25	
100	40	
112	50	
125	75	
150	125	

- **Determinación a la resistencia de los cambios de humedad:** Este es un ensayo en el cual se someten las muestras de roca natural a repetitivos ciclos de humedecimiento y secado con cambios térmicos en el proceso, con el objetivo de predecir su comportamiento frente a los procesos naturales de cambios de humedad y temperatura. El ensayo es un proceso de alteración acelerada que nos permite simular de forma adecuada la respuesta de los materiales pétreos frente a variables condiciones climáticas. El ensayo se realiza sometiendo las muestras de roca a (25) ciclos repetitivos de secado en horno e inmersión en agua destilada. Para la realización de este ensayo se siguió el procedimiento tomado de la norma UNE 22-197 de la unión Europea, debido a que no hay ninguna norma colombiana relacionada con la resistencia a los cambios de humedad para rocas ornamentales.
- **Análisis petrográfico:** En este ensayo se expone de manera detallada la composición mineralógica, aspectos texturales, porosidad, discontinuidades, fisuras y alteraciones que puedan presentar las rocas. En primera instancia se realizó el análisis macroscópico y se consignaron los resultados en formatos previamente elaborados. Luego se realizó el análisis petrográfico de algunas de las muestras. Las secciones delgadas fueron realizadas en la Universidad Nacional de Colombia. El análisis de los resultados se hizo en conjunto con el geólogo director del proyecto.

3.4 ELABORACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.

Como última fase del trabajo se hizo la redacción del documento final, en el cual se muestra el marco teórico que sustenta el trabajo, los procedimientos de los ensayos y los resultados encontrados durante el desarrollo de este trabajo de grado.

CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO.

4.1 DEFINICIONES SOBRE ROCAS ORNAMENTALES.

Las rocas ornamentales son aquellas que se explotan industrialmente en canteras para la obtención de bloques, losas o placas que son utilizadas en pavimentos de plazas y acabados de obras de ingeniería.

En principio la gran mayoría de las rocas ígneas, metamórficas como sedimentarias pueden tener aplicación como roca ornamental. Sin embargo,

solo se usan aquellas que se consideran estéticamente bellas y que son suficientemente duras y resistentes para ser utilizadas en elementos estructurales o elementos decorativos (Becerra, 2013) [16].

Hoy en día, este producto natural aporta infinidad de posibilidades de diseño gracias a la extensa gama de variedades existentes en el mercado (Universidad de Almería) [20]. A grandes rasgos, las rocas más utilizadas en la construcción son:

4.2.2. Características de explotación:

Una vez investigado un yacimiento de roca ornamental y constatada su viabilidad para extraerla, se procede a realizar el proyecto de explotación minera. Este deberá contemplar, al menos, los siguientes ítems:

- La definición de la geología del yacimiento.
- La selección del método y sistema de explotación.
- La selección de emplazamiento.
- La selección y dimensionamiento del parque de maquinaria a emplear.
- La definición de las necesidades del personal.
- La planificación de labores.
- Los condicionantes de finalización del proyecto. Restauración ambiental.

El no considerar estos aspectos solo hace que se llegue a una operación minera poco racional, perdiéndose una buena parte de las ventajas técnicas y económicas de un proyecto bien orientado, y produciendo grandes desperdicio de material.

Los principales métodos de explotación son:

- Métodos de las rebanadas verticales: consiste en dividir el yacimiento en rebanadas verticales, de altura similar al espesor de la propia zona explotable. Cada rebanada es dividida en forma descendente en grandes bloques o bancadas de varios miles de metros cúbicos.



Imagen No. 12: Método de rebanadas verticales para explotación de rocas ornamentales (Universidad Técnica de Madrid) [21]

- Método de Banqueo: consiste en subdividir el yacimiento en rebanadas horizontales o inclinadas el yacimiento a explotar. Para la subdivisión se utilizan hilos diamantados, perforaciones y voladura, los barrenos secantes, la lanza térmica y el chorro de agua.



Imagen No. 13: Método de rebanadas verticales para explotación de rocas ornamentales (Universidad Técnica de Madrid) [21]











4.3. Uso de las rocas ornamentales como material de construcción.







Arenisca de grano medio	Partículas entre 0.5 mm y 0.25 mm.
Arenisca de grano fino	Partículas entre 0.25 mm y 0.125 mm.
Arenisca de grano muy fino	Partículas entre 0.125 mm y 0.062 mm.

4.5.2 CONCEPTO DE MATRIZ Y CEMENTO:

Todas las rocas sedimentarias detríticas presentan, además de clastos (fragmentos de minerales y/o rocas erosionadas), una matriz de grano más fino y un cemento que dan cohesión al sedimento.

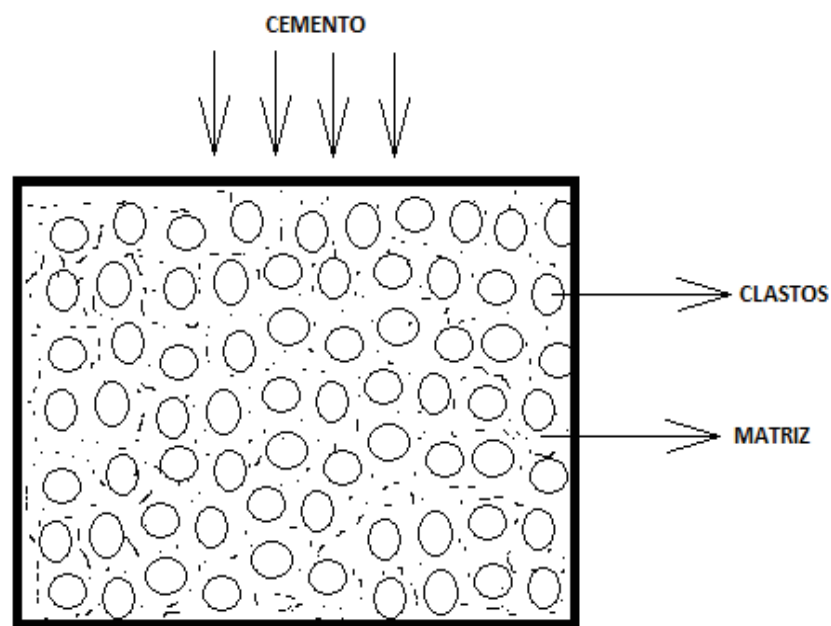
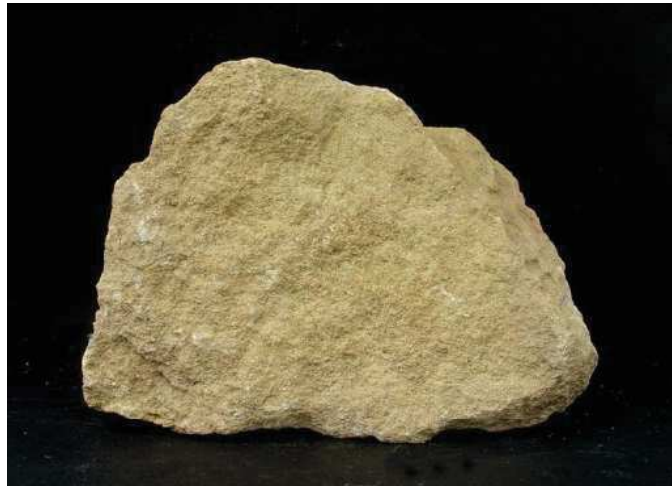


Imagen No. 28: Componentes de una Roca Sedimentaria.

De forma general, la población de componentes finos se denomina matriz. Su abundancia, no obstante, es muy variable, pudiendo en algunos casos ser prácticamente inexistente. Esto implica que las propiedades físicas y mecánicas de las rocas puedan variar bastante para un mismo tipo de roca.

El cemento es un material formado con posterioridad al depósito de los clastos y la matriz, es resultante de procesos de precipitación a partir de soluciones acuosas iónicas o coloidales que circulan e interaccionan con las rocas. Su existencia en las rocas detríticas es uno de los factores que producen una reducción en su porosidad y, en general, un mayor grado de resistencia mecánica y de cohesión entre sus componentes clásticos y matriz, siempre que la naturaleza del cemento sea adecuada (Universidad Granada de España) [28].

Es importante resaltar que existen varios tipos de cemento en areniscas, como se muestra a continuación:





elevada. Sedimentos supermaduros son aquellos que no presentan fracción fina, los granos están bien redondeados y la dispersión de los tamaños de grano es baja. Entre ambos existen términos intermedios denominados submaduros y maduros.[28]

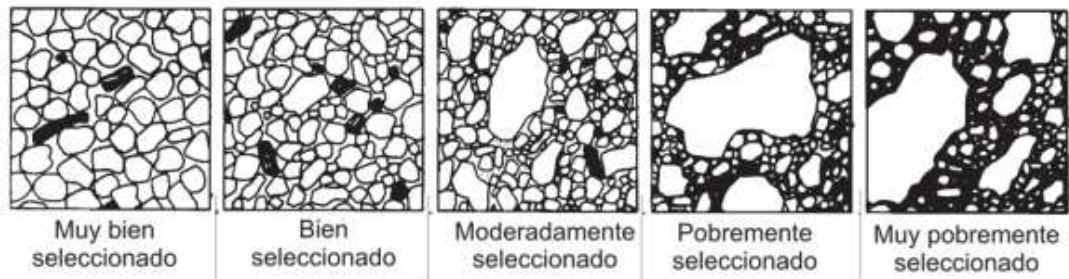


Imagen No. 32: Dispersión de los tamaños de grano. (Universidad Granada de España) [28]

madurez textural			
Inmaduro	submaduro	maduro	super maduro
abundante matriz	matriz escasa o ausente		
clastos poco seleccionados		clastos bien seleccionados	
clastos angulosos a subredondeados			clastos redondeados
baja	discreta	alta	muy alta
disipación total de la energía			

Imagen No. 33: Grado de madurez textural de una roca sedimentaria (Universidad Granada de España) [28]

4.5.3 CLASES DE ARENISCAS.

- Cuarzoarenita

Generalmente son de colores claros, blancos o grises aunque a veces presentan tonos rojizos debido a la presencia de cementos de hierro (Fe). Están formadas casi exclusivamente por granos de cuarzo monocristalinos con cementos syntaxiales. También son frecuentes los granos de chert, metacuarcita y minerales pesados resistentes como circon, turmalina y rutilo. Pueden presentar contactos suturados debido a los procesos de presión disolución. Su composición química es indicativa de su mineralogía tan homogénea. Poseen una madurez textural buena y composicionalmente suelen presentar variadas estructuras sedimentarias.

En muchos casos las cuarzoarenitas son el resultado de periodos extensos de meteorización y transporte, de tal forma que casi todos los granos se han roto y alterado, a excepción del cuarzo. El clima en el área fuente juega un papel fundamental. Muchos granos de cuarzo pueden ser de segundo ciclo, es decir derivados de sedimentos (areniscas y conglomerados) pre-existentes. Dadas sus condiciones de formación no son muy abundantes en el registro sedimentario. Una gran parte de las cuarzoarenitas son depósitos marinos someros que se acumulan a lo largo de la línea de costa como playas, dunas, llanuras de marea, barras. Algunas cuarzoarenitas son depósitos eólicos subáereos (Folk & Ward, 1957)[31].

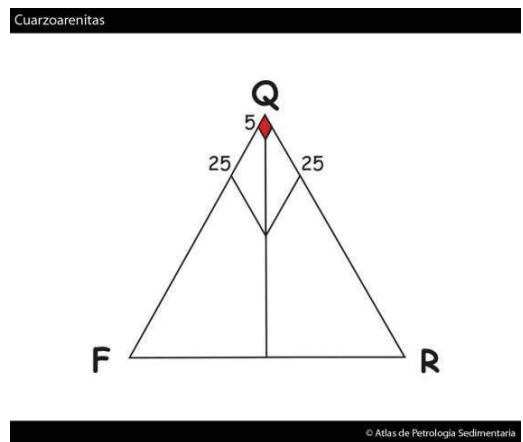


Imagen No. 34: Fotografía y diagrama composicional de la Cuarzoarenita.
(Zarza, A.) [32]

- Litoarenita

estructuras sedimentarias muy variadas, siendo los fósiles escasos. Muchas de las areniscas formadas en cinturones orogénicos clásticos son litoarenitas, ya que la desintegración física de estas rocas genera detritos ricos en fragmentos de rocas. La mayor abundancia de litoarenitas coincide espacial y temporalmente con zonas activas tectónicamente (Folk & Ward, 1957)[31].

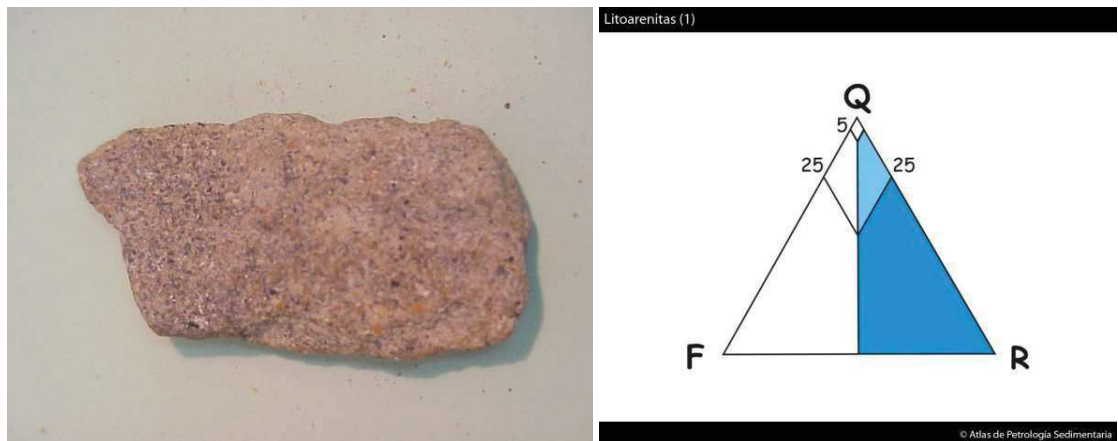


Imagen No. 35: Fotografía y diagrama composicional de litoarenita. (Zarza, A.) [32]

- Arcosa

Esta arenisca además de cuarzo, tiene feldespato en una cantidad del orden del 25%. Ambos minerales soportan la degradación mecánica durante el transporte, siendo el segundo más susceptible a la descomposición. Son generalmente de color beige o rosado debido al color de los feldespatos y también a la presencia de hematites (óxido de hierro) finamente diseminados sobre los granos, pues muchas arcosas forman parte o constituyen sucesiones rojas. Las arcosas pueden ser desde productos de alteración que han sufrido un mínimo transporte a areniscas muy bien ordenada y con estratificaciones cruzadas que han sufrido un transporte importante. Texturalmente son rocas cuya selección varía de baja a buena, y con granos desde muy angulosos a subredondeados, variando estos parámetros texturales en función del transporte. Presentan una amplia variedad de cementos y procesos diagenéticos como son: cementación por calcita o cuarzo, cementos sintaxiales de feldespatos, y cementación y formación de matriz a partir de los minerales inestables. Además del área fuente el clima y el relieve del área fuente son factores importantes que controlan la formación de las arcosas. Bajo condiciones húmedas, los feldespatos se meteorizan a minerales de la arcilla,

por tanto, climas semi-áridos y glaciales favorecen la formación de arcosas. (Folk & Ward, 1957)[31]

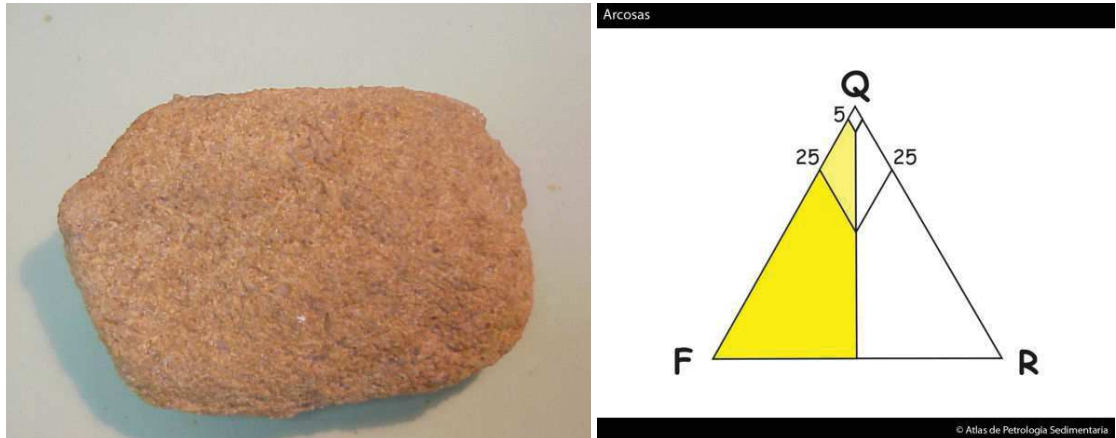


Imagen No. 36 Fotografía y diagrama composicional de la Arcosa. (Zarza, A.) [32]

4.6 LAS ARENISCAS COMO ROCAS ORNAMENTALES.

En principio la gran mayoría de las rocas ígneas, metamórficas como sedimentarias pueden tener aplicación como roca ornamental. Sin embargo, solo se usan aquellas que se consideran estéticamente bellas y que son suficientemente duras y resistentes para ser utilizadas en elementos estructurales o elementos decorativos.

La arenisca es una roca de origen sedimentaria formada por granos microscópicos de rocas y minerales como el cuarzo y el feldespato. Se presenta en una gama de colores incluyendo el café que es visto con mayor frecuencia, canela, amarillo, rosa, rojo, blanco y gris. Es preferida para su uso en la construcción, ya que es resistente a la intemperie, sin embargo, es fácil de trabajar y dispone de multitud de usos como elementos arquitectónicos y decorativos. Gracias a sus propiedades aislantes y de durabilidad, se utilizan principalmente para creación de muros y revestimientos de fachadas, chimeneas y pisos. Además, sirven para pavimentar suelos gracias a su dureza y a la gran disponibilidad de modelos y colores.

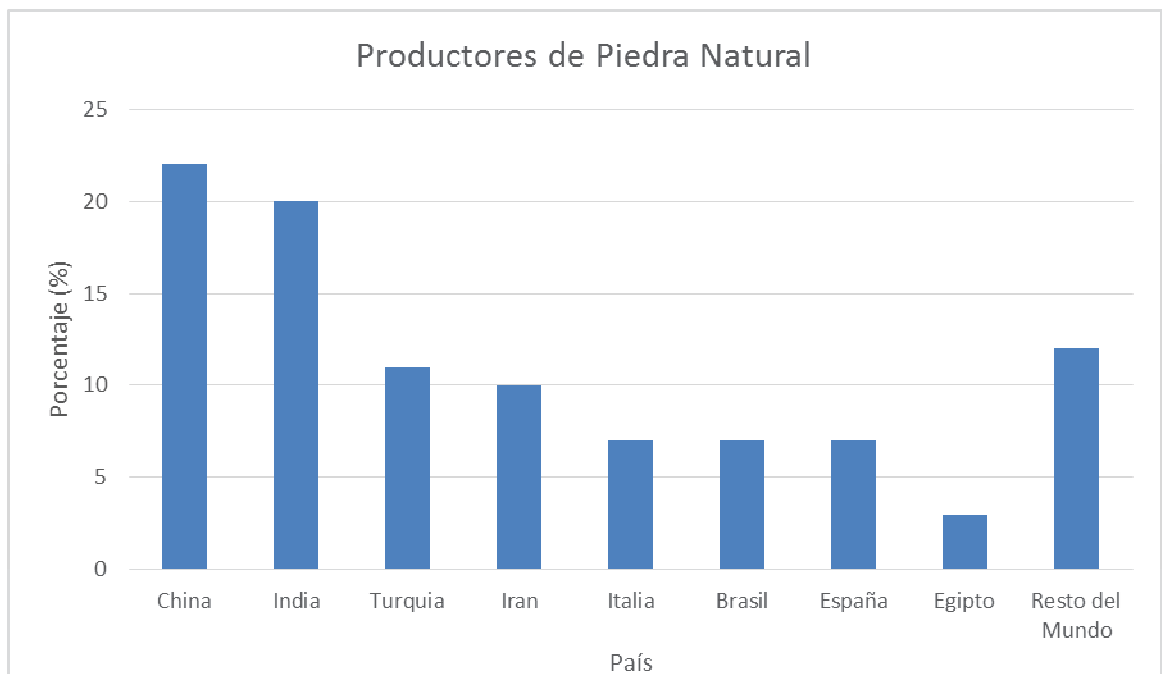
A partir de esto los ensayos que se deben de realizar a las areniscas aparte de los vistos en esta investigación son los siguientes:

- Resistencia al desgaste por rozamiento
- Resistencia a las heladas
- Resistencia a la cristalización de sales
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la flexión
- Modulo elástico
- Resistencia al choque

Y de acuerdo a la Norma UNE 1985 los valores de algunas propiedades que debe tener una arenisca para ser usada como roca ornamental se muestra a continuación:

- Absorción de agua: $>2\%$
- Resistencia al desgaste : alto $>8\text{ mm}$
- Resistencia a las heladas: bajo ente 0 y $0,5\%$
- Resistencia a la flexión: $< 100\text{ Kg/cm}^2$

En cuanto a su comercialización y producción se tiene que los principales productores de piedra natural, son China, India, Turquía, Irán, Italia, Brasil, España, Egipto y Resto del mundo (Ver Grafica No. 1).[46][47]



Grafica No. 1: Productores de Piedra Natural

Brasil

Algunos datos arrojados en el año 2014 de comercialización y producción de Brasil son:

- Producción anual de piedra natural: 5 millones de toneladas al año.
- La exportación de piedra natural (mármol, granito, pizarras, etc.). Se avaluó en 1.080 mil millones de dólares.
- Cuenta con cerca de 1000 empresas que operan desde la extracción hasta su tratamiento atendiendo al mercado interior y exportación.
- Cuenta con casi 1000 canteras activas y cerca de 800 tipos de rocas.
- Es el tercer (3er) exportador de granito en el mundo.
- Es el principal proveedor de rocas para el mercado norteamericano.
- 30 % de sus exportaciones son para Estados Unidos, lo que equivale a 790 millones de dólares
- Es el tercer (3er) mayor importador mundial de tecnología del sector de rocas (maquinaria y equipos). Sumando en 2013 148.1 millones de dólares, de los cuales el 62.9 % provienen de Italia.

España

Algunos datos arrojados en el año 2012 de comercialización y producción de España son:

- Producción de rocas de piedra natural: 4 millones de toneladas al año.
- La exportación de piedra natural. Se avaluó en 885 millones de euros.
- Las importaciones fueron cerca de 494.528 toneladas por un valor de 125.7 millones de euros.
- Cuenta con 76 canteras activas de mármol, 195 canteras activas de caliza ornamental, 105 canteras activas de pizarras y 74 canteras activas de otras rocas ornamentales.

Italia

Algunos datos (Lorenzo Manchini, 2014) [33] arrojados en el año 2014 de comercialización y producción de Italia son:

- la exportación de piedra natural. Se avaluó en 1.426 Millones de euros.
- La mayoría de sus exportaciones son para EEUU. Equivalente a 78.6 millones de euros.
- El granito es el material más producido y procesado.
- El mármol representa un tercio de sus exportaciones nacionales.
- Las importaciones fueron de 1.15 millones de toneladas avaluados en 307 millones de euros.

Estados unidos

Algunos datos (Dolley Thomas, 2014) [34] arrojados en el año 2012 de comercialización y producción de Estados Unidos son:

- La producción de piedra natural fue aproximadamente de 2.15 millones de toneladas valuadas en 452 millones de dólares.
- Las importaciones fueron valuadas en 1.74 millones de dólares.
- Cuenta con 39 compañías productoras de granito (500.000 toneladas), valuadas en 118 millones de dólares.
- Cuenta con 83 compañías productoras de caliza (882.000 toneladas), valuadas en 176 millones de dólares.
- Cuenta con 79 Compañías productoras de piedra de arena (324.000 toneladas), valuadas en 51.7 millones de dólares.
- Cuenta con 7 Compañías productoras de mármol (54.600 toneladas), valuadas en 23.6 millones de dólares.
- Cuenta con 13 Compañías productoras de pizarra (35.900 toneladas), valuadas en 17.7 millones de dólares.
- Sus exportaciones fueron de 2.13 billones de dólares.
- El mayor material de exportación fue el de granito (47 %).
- El valor de las importaciones fue de 1.74 millones de dólares.
- Brasil fue el principal país importador de granito a USA.
- En el 2011 ocupaba el 11avo lugar de productor de piedra natural.

A continuación se muestran algunas imágenes donde se evidencia aplicación de la arenisca como roca ornamental, en fachadas y en pisos.



Imagen No 37: Uso de arenisca como roca ornamental, Capilla de Jesús Resucitado – Barichara [36]



Imagen No. 38 Uso de arenisca como roca ornamental, Convento de Nuestra Señora de Monguí – Municipio de Monguí [37]



Imagen No. 39: Uso de arenisca como roca ornamental, Catedral Primada de Colombia – Bogotá D.C. [38]



Imagen No. 40: Uso de arenisca como roca ornamental, Catedral de Duitama - Boyacá

CAPÍTULO 5. ENSAYOS Y ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE ROCAS ORNAMENTALES.

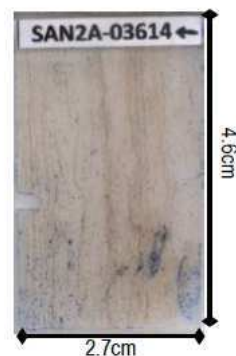
5.1.1. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE UNA ROCA:

El estudio de las rocas se inicia en el campo con una descripción macroscópica donde se evidencia las características a gran escala, dimensiones de los granos que componen la roca, su color y la presencia de fisuras con la ayuda de una lupa de 20x. Se complementa en el laboratorio con una descripción microscópica donde se observa la textura o conjunto de caracteres a pequeña escala, minerales, poros y microfisuras, bajo un microscopio petrográfico.

Para realizar el estudio petrográfico bajo el microscopio, la muestra de roca, debe ser cortada en forma perpendicular a la superficie de estratificación y posteriormente se extrae una porción muy fina de roca denominada sección delgada, que consiste en un corte de la muestra de un espesor de 0.03 mm y unas dimensiones aproximadas de 4 cm de largo por 3 cm de ancho, sobre un



Tableta



Sección SAN2A-03614

Imagen No. 42: sección delgada muestra SAN 2.

5.1.2. OBSERVACIONES QUE SE REALIZAN EN UN ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE UNA ROCA SEDIMENTARIA:

- **Textura general:** Se observa si existe una laminación interna, se describe su geometría y espesor entre láminas.
- **Composición:** Uno de los principales aspectos por el cual se realiza un ensayo de petrografía a una roca es para saber de manera detallada el porcentaje de los minerales que la componen. En el caso de las areniscas, el objeto de estudio es el porcentaje de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos, que son los minerales presentes en una roca sedimentaria.
- **Tamaño de los granos:** El tamaño de grano se clasifica según la Escala de Wentworth que se muestra en la Tabla No. 3

Tabla No. 3 : Clasificación del tamaño de grano según la escala de Wentworth.

Diametro (mm)	Clase		Roca
256	Grava	Bloques	Conglomerados
64		Cantos	
4	Arena	Arena muy gruesa	Areniscas
2		Arena gruesa	
1		Arena media	
0,5		Arena fina	
0,25		Arena muy fina	
0,125	Fango	Limo grueso	Limolitas
0,062		Limo medio	
0,031		Limo fino	
0,016		Limo muy fino	
0,008		Arcilla	Arcillolitas
0,004			

- **Forma de los granos:** A continuación se muestra el cuadro de comparación visual para estimar la forma de los granos (Powers, 1982).

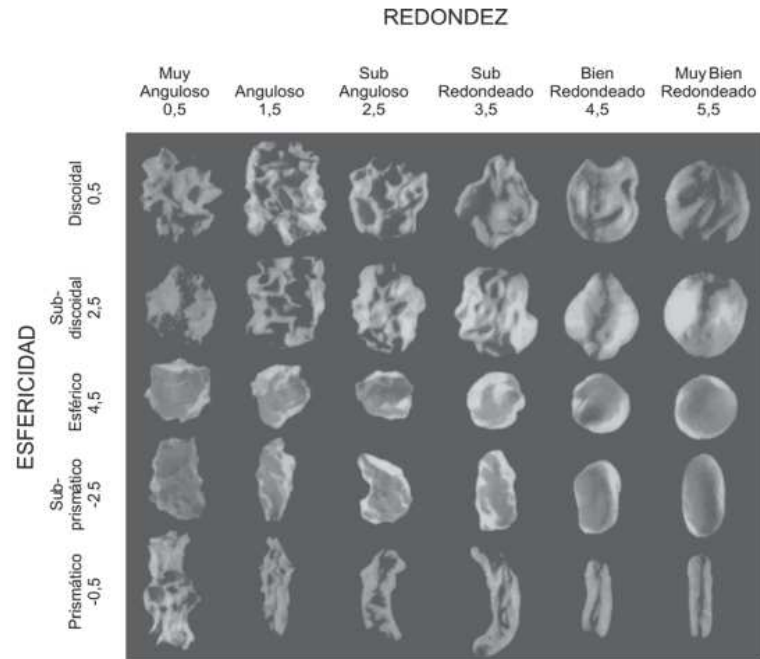


Imagen No 43: Cuadro de comparación visual de redondez y esfericidad (Universidad de Plata) [40]

- **Contacto entre granos:** Se define como la proporción de espacios vacíos o rellenos por cemento o fracción arcillosa fina existentes entre los granos o clastos. Este parámetro es importante ya que presenta incidencia en las características mecánicas y de durabilidad en una roca. Cuanto menos espacio exista entre los granos, la roca es más resistente a los esfuerzos mecánicos, menos porosa y presenta poca susceptibilidad a la propagación de líquidos en su interior, evitando así problemas patológicos futuros y haciendo la roca más duradera.

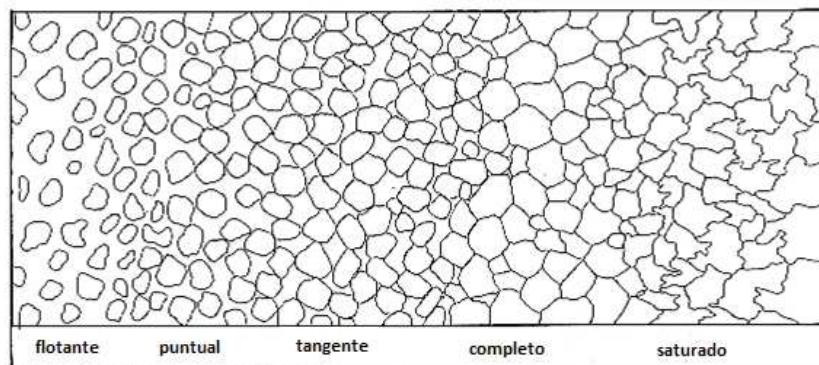
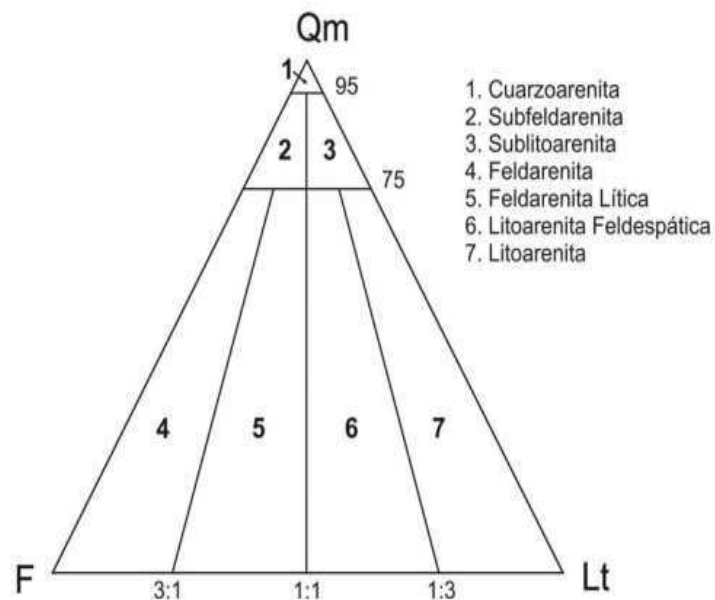


Imagen No. 44: Esquema representando el contacto entre granos y su nomenclatura (Universidad Granada de España [28])

- **Porosidad y microfisuras:** Esta característica depende del contacto de grano, ya que controla (parcialmente) la porosidad de la roca y la distribución del tamaño de poro. Estos aspectos son esenciales al evaluar el transporte de agua por el interior del sistema poroso de las rocas de construcción y ornamentación.
- **Tipo de roca:** En este aspecto se especifica el origen de sus componentes minerales y se determina su clasificación.
- **Nombre:** Los porcentajes de minerales predominantes en la roca se ubican en el diagrama de Folk (1970) para rocas sedimentarias y se determina el nombre de la roca según la zona donde quede ubicado en función del porcentaje de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos.



Folk et al. (1970)

Imagen No. 45: Clasificación de Folk de rocas sedimentarias en función de su mineralogía (Folk) [40]

5.2. PROPIEDADES FÍSICAS BÁSICAS.

$$\frac{M_{sec}}{(M_{sat} - M_{sum})} \times 1000$$

propiedades físicas más importantes que va a definir su utilización como roca ornamental. En primera instancia, condiciona la movilidad de agua y agentes agresivos al interior de la roca y, por tanto, su durabilidad. En segunda instancia tiene una evidente incidencia en las propiedades mecánicas debido a que presenta una carencia de la fase sólida de la roca y puede actuar como una zona de debilidad.

Toda roca tiene en su estructura interior una cierta cantidad de espacios libre o poros, los cuales normalmente están rellenos con líquidos y/o gases (en general agua y aire). Esto hace que se pueda considerar a la roca como un material de tres fases: sólida, líquida y gaseosa. Por lo tanto toda roca puede encontrarse en alguna de las siguientes condiciones: saturada, con las tres fases o seca.

La porosidad de la roca se puede clasificar dependiendo del grado de interconexión con el exterior. Se define la porosidad abierta, como el volumen de poros que presentan un cierto grado de interconexión con el exterior, de forma que un fluido puede ser transportado a través de él. Por el contrario, la porosidad cerrada, es aquel volumen de poros de una roca que no presenta ningún tipo de comunicación con el exterior.

$$\frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sum})} \times 100$$

5.2.3. ABSORCIÓN DE AGUA.

La absorción nos da una idea de cuánta agua puede introducirse en una roca y por lo tanto cuanto puede aumentar la presión de poros, lo cual hace que decrezcan los valores de resistencia y durabilidad en las rocas.

Las propiedades físicas que describen el movimiento del agua, tanto en fase líquida como en vapor, en las rocas se denominan propiedades hídricas. El agua es uno de los agentes de deterioro más importantes de los materiales pétreos, por lo que la caracterización de las propiedades hídricas de las rocas es básica para evaluar su durabilidad y proporcionar un uso adecuado. La presencia de agua en el interior de la roca va a condicionar fuertemente la degradación química, física y biológica e incluso disminuye las propiedades mecánicas de la roca. La fatiga que puede sufrir una roca en su vida útil por los procesos de expansión-contracción se deben, en primer lugar a que las rocas se pueden expandir cuando están saturadas en agua. En segundo lugar, el agua absorbida sobre la superficie de los granos reduce su cohesión.

La absorción de agua se determina mediante la aplicación de la fórmula (Norma Brasileña) [43]:

$$\frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100$$

Dónde:

Msec = Masa seca

Msat = Masa saturada

5.2.4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DE DENSIDAD APARENTE, POROSIDAD APARENTE Y ABSORCIÓN DE AGUA APARENTE.

Se preparan las muestras con la ayuda de un cincel y un mazo. Estas deben ser representativas de geometría regular o irregular, y pesar aproximadamente 250g.



Imagen No. 46: Preparación de muestras para ensayos de laboratorio

- Se limpia para eliminar el exceso de polvo que se encuentra adherido a ella y luego se pesa determinando la masa en condiciones de ambiente (M).



Imagen No. 47: Proceso de limpieza de Muestras

- Una vez registrada la masa, se colocan las muestras en el horno a 105°C por 24 horas. Al pasar las 24 horas se debe pesar la roca, si esta no presenta la condición de masa seca, la muestra debe continuar en el horno hasta que la condición sea alcanzada, es decir que al pesar la

roca nuevamente, esta debe de tener el mismo valor de su peso anterior.



Imagen No. 48: Secado de muestras en horno a $T = 105^{\circ}\text{C}$

- Transcurrido el tiempo propuesto, las muestras se dejan enfriar hasta temperatura ambiente y se sumergen en un recipiente con agua destilada por un periodo de 24 horas, con el fin de que todos los poros estén 100% saturados.



Imagen No. 49: Saturación de muestras en Agua Destilada para los ensayos de Propiedades Físicas Básicas

- La muestra se coloca en la canasta de inmersión y se determina la masa sumergida (M_{sum}).



Imagen No. 50: Determinación del peso hidrostático por inmersión total de la muestra

- Se retira del baño de inmersión y se seca superficialmente con una toalla húmeda, teniendo cuidado de retirar solo el agua superficial y que no se pierdan fragmentos de roca, se determina la masa saturada (M_{sat}).



Imagen No. 51: Secado superficial de la muestra

- Se repite el mismo procedimiento para cada muestra y se realizan los cálculos.

- Absorción aparente: $\frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100$
- Porosidad aparente: $\frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sum})} \times 100$
- Densidad aparente: $\frac{M_{sec}}{(M_{sat} - M_{sum})} \times 1000$

temperatura ambiente durante otras 2 horas. Dicha norma indica que deben de realizarse 15 ciclos, la solución salina ha de renovarse cada ciclo y debe mantenerse cubierta para evitar la evaporación.

destilada, por lo que la denominación de resistencia a los cambios térmicos tal vez resulte inadecuada, y sea más apropiada llamarla resistencia a los cambios de humedad, término utilizado en el trabajo de investigación en el que se enmarca este trabajo de grado.

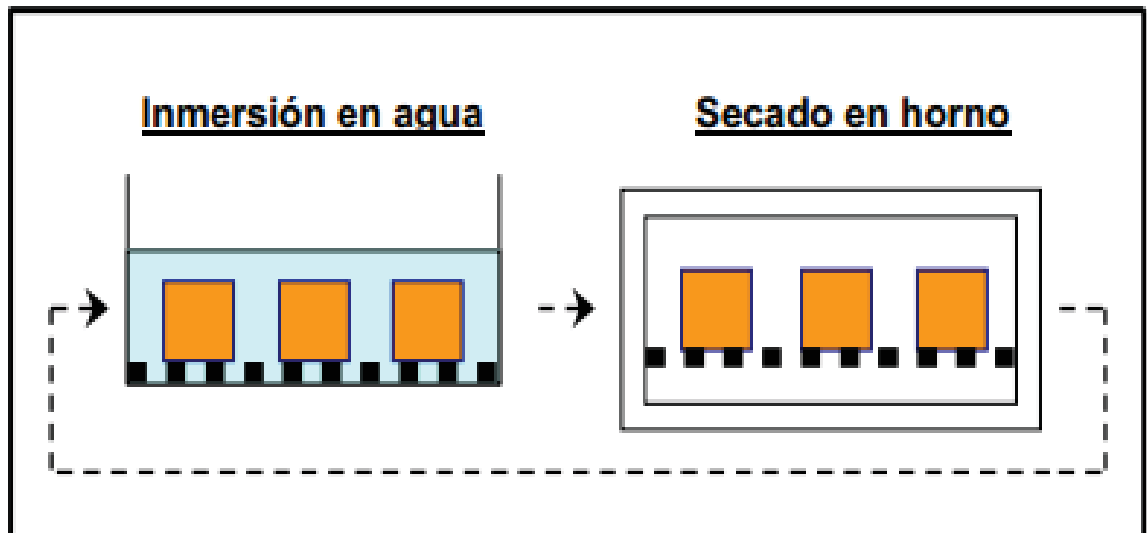


Imagen No. 52: Ilustración del proceso de ciclo del ensayo resistencia a los cambios de humedad

Al final de los ciclos de humedad - sequedad se determinan las variaciones de peso de las muestras y se valoran las alteraciones superficiales que se hayan podido producir. Por último se determina la resistencia a los cambios de humedad mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\frac{(P1 - P2)}{P1} * 100$$

Dónde:

P1: Peso inicial de la muestras (ciclo No.3)

P2: Peso final después de los 25 ciclos (ciclo No. 25)



- Las muestras restantes se pesan y se colocan en el horno a una temperatura de 105°C durante 20 horas.



Imagen No. 54: Secado de muestras al horno ($T^{\circ} 105^{\circ}\text{C}$)

- Posteriormente se sumergen en agua destilada durante 4 horas a 20 °C (en el proyecto de investigación se hace a temperatura ambiente por no haber condiciones de humedad y temperatura controladas).



Imagen No. 55: Saturación de muestras con agua destilada

- Una vez transcurrido el tiempo sugerido se pesan las muestras y se repite el procedimiento 25 veces.

- Por último, se determinan las variaciones de peso de las muestras y se valoran las alteraciones superficiales que se hayan podido producir. La resistencia a los cambios de humedad, se expresa como:

$$\frac{(P1 - P2)}{P1} * 100$$

Dónde:

P1: Peso inicial de la muestras (ciclo No.1)

P2: Peso final después de los 25 ciclos (ciclo No. 25)

CAPÍTULO 6. CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DE LAS ARENISCAS UTILIZADAS COMO LAJAS RÚSTICAS.

A continuación se muestra la estratigrafía general de la Formación Une y las características litológicas de esta unidad geológica en las canteras de San Antonio Norte y Tocogua las cuales son objeto de estudio en esta investigación.

6.1 ESTRATIGRAFÍA FORMACIÓN UNE.

El nombre de formación Une fue dado por Hubach. E., está caracterizada en toda el área por una topografía de grandes escarpes que facilitan delimitar sus contactos con las unidades infra y suprayacentes. Esta se divide en tres conjuntos:

- Conjunto basal constituido en su parte inferior por areniscas, cuarzosas, blancas, de grano fino a medio, macizas hacia su parte media, las areniscas son conglomeráticas con guijos de cuarzo hasta de 1 cm de diámetro, en una matriz arenosa. El techo está compuesto por areniscas arcillosas, rojizas de grano fino a medio. El espesor de este conjunto es de 360 m.
- El conjunto medio de la unidad, está compuesto por lutitas grises oscuras con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas, rojizas de grano fino, bien sorteadas, en estratos hasta de 1 m. El espesor del conjunto es de 100 m.
- El conjunto superior de la Formación Une está formado por areniscas cuarzosas, blancas de grano fino a medio, que hacia la parte superior

presentan guijos de cuarzo hasta de 5 cm de diámetro. El espesor del conjunto es de 300 m.

La Formación Une está infrayaciendo y suprayaciendo concordantemente a los estratos de las formaciones Chipaque y Fomeque respectivamente. Sus características litológicas indican un ambiente de depósito litoral con influencias deltaicas (Becerra, 2013) [16].

La edad de la Formación Une ha sido considerada por Bürgl (1976) y Campbell (1962) como Albiano-Cenomaniano, con base en faunas colectada en los alrededores de Choachi y la carretera Une a Fosca.

La Formación Une aflora en la parte central del flanco oriental de la Cordillera Oriental, se extiende desde el departamento del Huila hasta la región de la Sierra Nevada del Cocuy, en el departamento de Boyacá, en donde es llamada Formación Aguardiente.

La Formación Une presenta una morfología abrupta, formando paredones, que a su vez muestra intercalaciones de niveles blandos y duros dado por areniscas y lodolitas y genera crestas y valles (Becerra y Costa, 2008) [12].

6.2 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DE LA FORMACION UNE EN LA CANTERA SAN ANTONIO NORTE (SAN):

En la cantera San Antonio Norte se identifican tres (3) segmentos de techo a base (Ver anexo 2).

CAPA EXPLOTADA O APROVECHABLE (2.16 M): Paquete de areniscas de grano fino a medio, con morfología subangular a subredondeada, estratificada en capas de 4 a 12 cm de espesor con geometría tabular, ondulada, paralela, continua, y una orientación de N10E/10NW. Está compuesta de cuarzo como mineral predominante y presencia de fragmentos líticos y mica como minerales subordinados. Se puede observar de base a techo que en la parte inferior los granos presentan una mejor selección que en la parte superior, lo cual quiere decir que en la parte inferior los tamaños de grano en la roca tienen aproximadamente el mismo tamaño. Presenta laminación aparentemente de materia orgánica con geometría ondulada que varía entre paralela, no paralela, continua y discontinua.

CAPA SUPRAYACENTE: El paquete explotado está suprayacido por capas medias a gruesas de arenitas de cuarzo con granos subredondeados a

subangulares con bajo contenido de matriz arcillosa y esporádicos fragmentos de mica. Su geometría está dispuesta en capas tabulares con espesores variables entre 16 y 59 cm, cortado por diaclasas subverticales. No es un nivel que se esté explotando en la actualidad.

CAPA INFRAYACENTE: La roca infrayacente es una arenisca de grano fino, con morfología angular y moderadamente seleccionada. Está compuesta de cuarzo como mineral predominante y presencia de fragmentos líticos como mineral subordinado, no posee matriz. Se puede observar laminación incipiente ondulada, no paralela y discontinua. La roca está dispuesta en capas tabulares y onduladas, con espesores entre 4 y 10 cm, y presenta planos de separación que la hacen trabajable.

6.3 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DE LA FORMACIÓN UNE EN LA CANTERA TOCOGUA (TCG):

En la cantera Tocogua se identifican ocho (8) segmentos de base a techo (Ver anexo 3).

Segmento 1 (1.50 m): Está compuesto por arenisca de grano fino a medio, moderadamente a bien seleccionada, con morfología subangular a subredondeada. El espesor de las capas varía entre 15 y 40 cm y poseen una geometría tabular, con estratificación interna ondulada, paralela y continua, y una orientación de N43E/20NW. Su composición mineralógica es de cuarzo como mineral predominante, también se observa la presencia de fragmentos líticos y feldespatos en menor porcentaje. Por último se observan un poco de micas y laminación de materia orgánica aparentemente con geometría ondulada, no paralela y discontinua, a la vez que pequeñas intercalaciones de 1 mm de material de grano muy fino, que facilita la separación de las capas.

Segmento 2 (1.74 m): Se compone de arenisca de grano fino moderadamente seleccionado, con morfología subredondeada. Sus capas varían entre 15 a 73 cm de espesor y su geometría en comparación al anterior segmento cambia de ser tabular y paralela a convertirse en no paralela y cuneiforme, con una orientación N79E/15NW. Está compuesta de cuarzo como mineral predominante, y presencia de fragmentos líticos, feldespatos y mica como minerales subordinados. Por último se observa laminación de materia orgánica con geometría ondulada, no paralela y discontinua.

Segmento 3 (1.26 m): Este segmento está compuesto por arenisca de grano fino, moderadamente a bien seleccionados, con morfología subredondeada.

Sus capas varían entre 12 y 21 cm de espesor y su geometría es tabular, discontinua, no paralela y en algunas capas cuneiforme, con una orientación de N65E/16NW. Está compuesta de cuarzo como mineral predominante y presencia de fragmentos líticos, feldespatos y mica como minerales subordinados. Se observa en algunos casos presencia de laminación de materia orgánica con geometría ondulada, no paralela y discontinua. Por último se encuentran medianas intercalaciones aparentemente de limolita, las cuales facilitan la división o separación de las capas para su extracción.

Segmento 4 (1.50 m): Paquete de arenisca de grano fino, bien seleccionado, con morfología angular a subredondeada. Este segmento se encontraba cubierto de residuos, por lo tanto no se pudo determinar la geometría de las capas ni sus espesores. Por otro lado se observa aparente laminación de materia orgánica con geometría ondulada, no paralela y discontinua. Por último en su composición mineralógica predomina el cuarzo y un poco la presencia de fragmentos líticos. Se observan micas y matriz visible.

Segmento 5 (1.50 m): Está compuesta por arenisca de grano fino, bien seleccionado, con morfología subangular a subredondeada. Sus capas varían entre 0.5 y 21 cm de espesor y poseen una geometría tabular, paralela y continua, con orientación de N59E/23NW. También se puede observar que este paquete presenta aparente laminación de materia orgánica con una geometría ondulada, no paralela y discontinua. Por otro lado en su composición mineralógica existe la presencia abundante de cuarzo, y un porcentaje menor de fragmentos líticos. Por último se observa esporádicamente mica, e intercalaciones aparentemente de limolita, las cuales facilitan la separación de capas. Se evidencia matriz visible.

Segmento 6 (1.50 m): Este segmento está constituido de arenisca de grano fino, bien seleccionado, con morfología subredondeada. El espesor de las capas varía entre 0.5 a 20 cm, con geometría tabular paralela y continua, y una orientación de N79E/15NW. A comparación del anterior segmento, este no presenta laminación evidente. En su composición mineralógica sigue predominando el cuarzo, y existiendo la presencia de fragmentos líticos y feldespatos en menor proporción. Por último se observa esporádicamente mica, y la existencia de intercalaciones de aparente limolita que facilita la separación o extracción de capas.

Segmento 7 (1.50 m): Paquete de arenisca de grano fino, moderadamente seleccionado, con morfología subangular a subredondeados. Sus capas poseen un espesor que varía entre 0.5 a 20.5 cm, con geometría tabular paralela y continua, y una orientación de N52E/12NW. Está compuesta de

cuarzo como mineral predominante y presencia de fragmentos líticos, feldespatos y mica como minerales subordinados. Por otro lado presenta indicios de laminación con geometría ondulada, paralela y continua.

Segmento 8 (1.50 m): Se compone de arenisca de grano fino, moderadamente seleccionado, con morfología subangular a subredondeados. Sus capas tienen un espesor que varía entre 0.5 y 20.5 cm, con geometría tabular, paralela y continua, y una orientación de N72E/8NW. En su composición mineralógica predominan los mismos minerales del segmento anterior y se evidencia indicios de laminación con geometría ondulada, paralela y continua. Por ultimo sigue existiendo la presencia de intercalaciones de limolita facilitando la separación de capas

CAPÍTULO 7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS E INTERPRETACIÓN.

Es importante mencionar que el trabajo de investigación en el cual se enmarca este trabajo de grado es el primero de esta naturaleza realizado en la Universidad Santo Tomás. El proyecto tiene como fin establecer el estudio de las rocas ornamentales y de materiales de construcción con nuevas técnicas de caracterización como una línea de investigación dentro de la Facultad de Ingeniería Civil. En este sentido, los ensayos realizados en este trabajo, son más de carácter didáctico y se desarrollaron de acuerdo con los recursos logísticos y presupuestales con los que cuenta el proyecto.

7.1 ANÁLISIS PETROGRÁFICO.

En el trabajo de investigación en el cual se enmarca este trabajo de grado no se realizó este análisis a todos los segmentos. Las muestras seleccionadas (tabla No.4) se escogieron a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a los cambios de humedad, específicamente aquellas muestras que presentaron los mayores cambios estéticos y mayores pérdidas de masa en los 25 ciclos del ensayo.

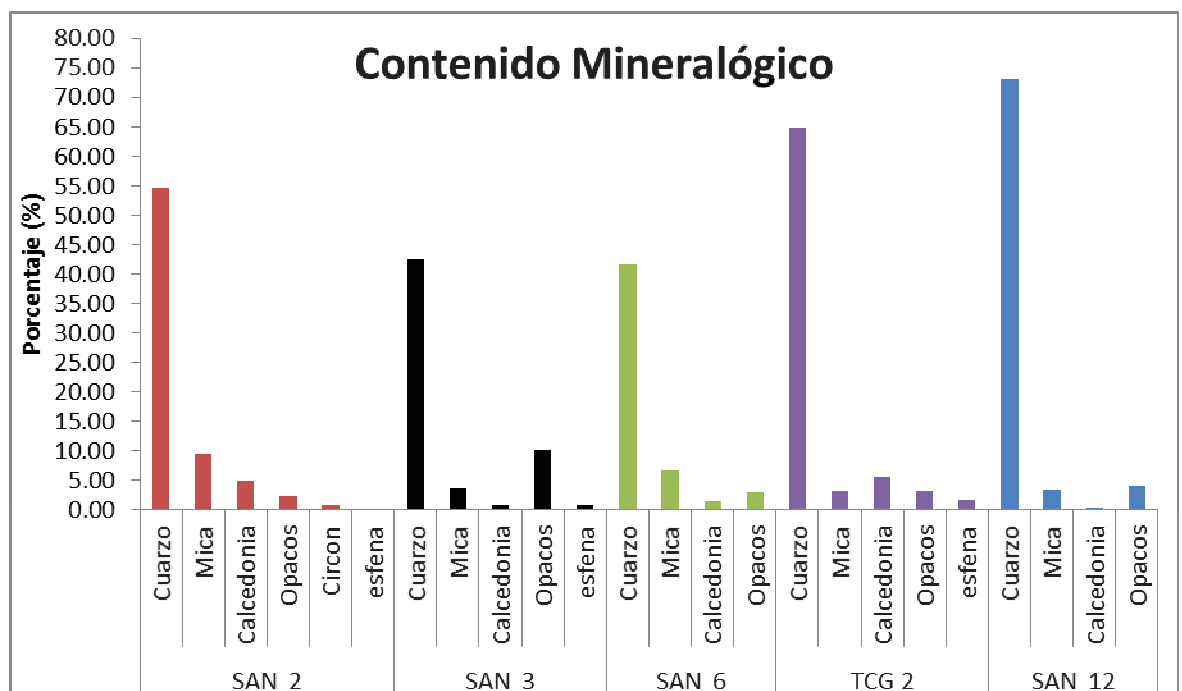
Tabla No.4: Muestras utilizadas en el análisis de petrografía

CANTERA SAN ANTONIO	
Muestra	
SAN 2	√
SAN 3	√
SAN 6	√

CANTERA TOCOGUA	
Muestra	
TCG 2	√
TCG 12	√

CONTENIDO DE MINERALES.

En la gráfica No. 2 se representan los resultados de la composición mineralógica de las dos canteras que son objeto de estudio en el proyecto de grado. En estos se puede observar que las rocas muestreadas en la cantera tocogua (TCG), se caracterizan por contener cuarzo como mineral principal con porcentajes entre 65 y 75 % (de acuerdo a los valores que se observen), y contenidos de matriz (entre 16 y 22 %), lo cual muestra que es una roca bien consolidada. Por el contrario las muestras de la cantera San Antonio Norte (SAN), se caracterizan por contenidos de cuarzo entre 40 y 55 % y alta presencia de matriz (entre 27 y 50 %), siendo estas rocas las menos favorables para introducirlas a esfuerzos de compresión y flexión. Por último se corroboran las observaciones realizadas en campo, relacionadas con la presencia de láminas de mica en pequeñas proporciones.



Grafica No. 2: Contenido Mineralógico

En la imagen No. 56 se muestra la micrografía bajo el microscopio petrográfico de la muestra SAN 2, correspondiente a la Cantera San Antonio Norte, mostrando la apariencia general en un sector constituido principalmente por granos de cuarzo (QZ), mica muscovita (MI), opacos (OPA), detalle de la matriz arcillosa (MTZ) y de la presencia de poros producidos por empaquetamiento de los granos. Por otra parte se observa que la forma de los granos según (Powers, 1982) tiene una redondez subangular, y que el contacto entre los granos es completo (ver imagen No.44). En cuanto a su madurez textural se

puede establecer que por contener alto contenido de matriz (28.1%) y la redondez es de los granos es subangular, y la roca es texturalmente inmadura.

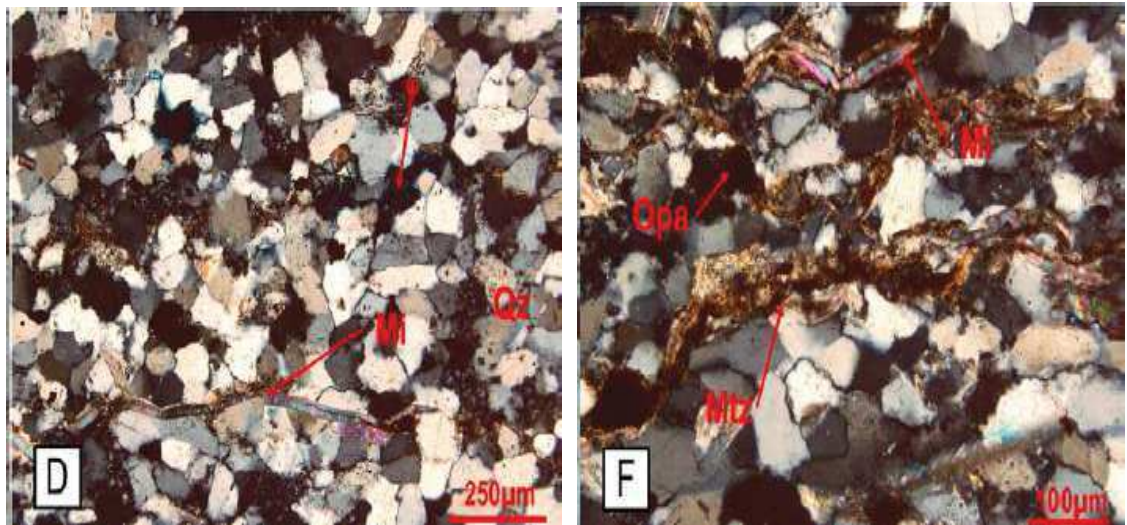
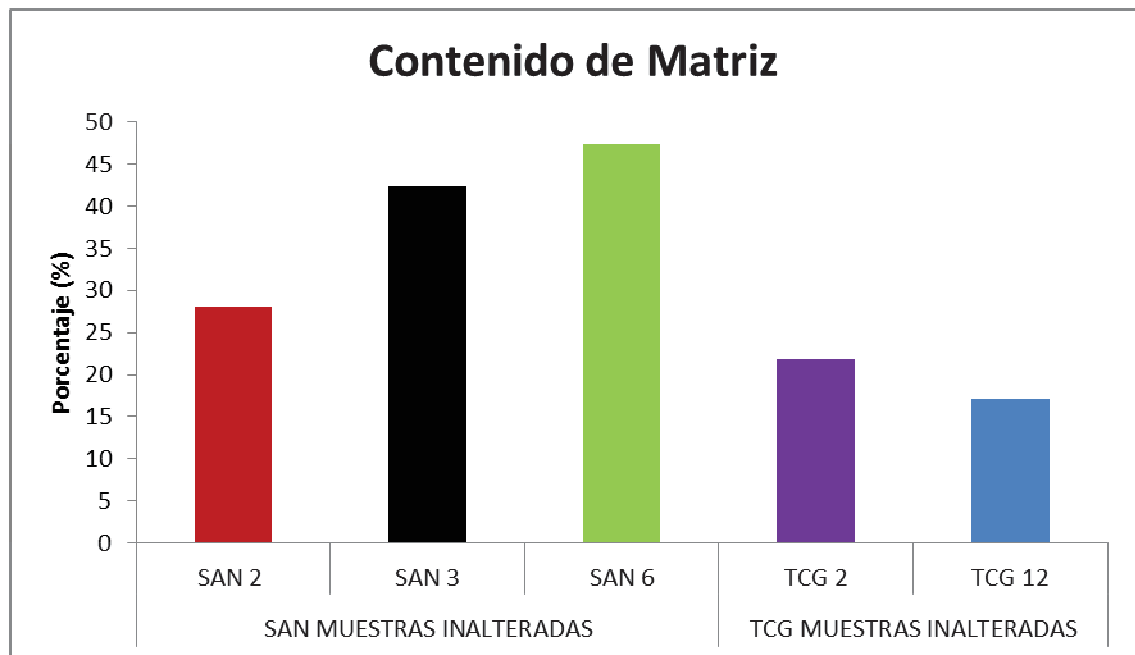


Imagen No. 56: Micrografía de una sección delgada muestra de la cantera San Antonio Norte SAN 2

CONTENIDO DE MATRIZ

Con relación al contenido de matriz, en la gráfica No. 3 se observa el porcentaje de contenido de matriz presente en las rocas de la cantera San Antonio Norte y Tocogua. A partir de este resultado se puede afirmar que las rocas extraídas de San Antonio se caracterizan por su fácil trabajabilidad, es decir que se pueden extraer diferentes formatos de roca que pueden ser utilizados como material de revestimiento en construcciones civiles sin mayor esfuerzo por medio de herramientas básicas, debido a su alto contenido de matriz arcillosa. Sin embargo, esa matriz arcillosa puede ser el origen de procesos patológicos observados en plazas, escaleras y fachadas donde estos materiales han sido utilizados, por lo cual se hace necesario caracterizarla por otras técnicas.

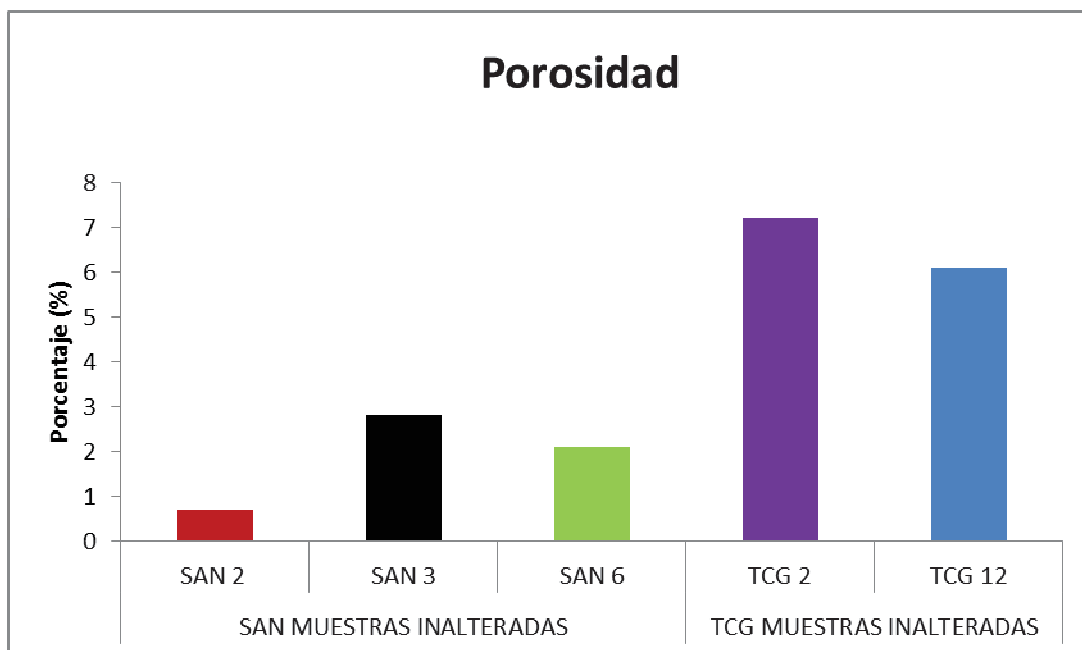
Las rocas de la cantera Tocogua, se caracterizan por tener bajo contenido de matriz y ser bien cementadas lo cual hace que la roca sea más dura, menos fácil de trabajar y más resistente a los esfuerzos de compresión y flexión.



Grafica No. 3: Contenido de Matriz

CONTENIDO DE POROSIDAD.

En la gráfica No. 4 se plasman los resultados de porosidad del análisis petrográfico, los cuales indican que las muestras de Tocogua contienen un porcentaje de porosidad mayor (5 - 7.5 %), que el de las muestras de la cantera San Antonio Norte (0.5 - 3 %). Para este análisis petrográfico, se realiza impregnación de resina epoxica en una cámara de vacío. Aunque se utiliza esta resina, se debe tratar con cuidado los resultados de porosidad obtenidos por petrografía, ya que en algunos casos no son muy exactos debido a que el muestreo puede no ser representativo de todo el material extraído. Por tal motivo se justifica hacer ensayos de laboratorio complementarios y no basarse solo en los resultados que arroja la porosidad por medio de la petrografía, cuando el muestreo no es representativo de la población de muestras estudiadas.



Grafica No. 4: Porosidad

7.2 PROPIEDADES BÁSICAS DE DENSIDAD, ABSORCION DE AGUA Y POROSIDAD.

En este capítulo se muestran los resultados del ensayo de determinación de las propiedades físicas (Densidad aparente, Absorción aparente, Porosidad aparente) de las rocas ornamentales que son objeto de estudio. Es importante conocer estas propiedades, ya que son parámetros básicos que indican su calidad y contribuyen fuertemente en su durabilidad al ser utilizadas como rocas ornamentales o para fines en obras civiles.

Estos ensayos se realizaron a todas las muestras (excepto la muestra SAN 1-A) obtenidas en los dos puntos de explotación del material (Ver tabla No. 5.)

Tabla No. 5: Muestras utilizadas en los ensayos de Propiedades Físicas

CANTERA SAN ANTONIO	
Muestra	
Infra yacente	√
Supra yacente	√
SAN 1 - A	
SAN 1 - I	√
SAN 2	√
SAN 3	√
SAN 4	√
SAN 5	√
SAN 6	√
SAN 7	√
SAN 8	√
SAN 9	√
SAN 10	√
SAN 11	√
SAN 12	√
SAN 13	√
SAN 15	√

CANTERA TOCOGUA	
Muestra	
TCG 1	√
TCG 2	√
TCG 3	√
TCG 4	√
TCG 5	√
TCG 6	√
TCG 7	√
TCG 8	√
TCG 9	√
TCG 10	√
TCG 11	√
TCG 12	√
TCG 13	√
TCG 14	√
TCG 15	√
TCG 16	√
TCG 17	√
TCG 18	√
TCG SEG 3	√
TCG SEG 4	√
TCG SEG 5	√
TCG SEG 6	√
TCG SEG 7	√
TCG SEG 8	√

RESULTADOS Y ANÁLISIS CANTERA SAN ANTONIO NORTE.



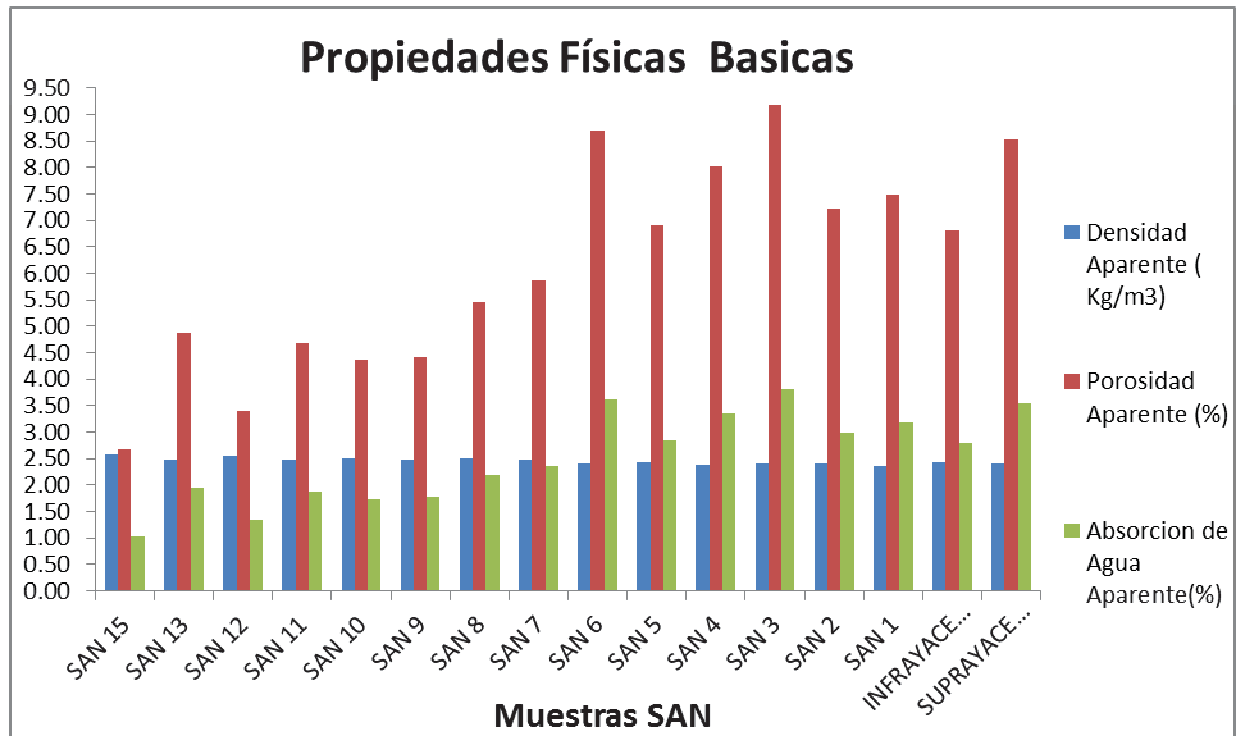
Imagen No. 57: Grupo de muestras de la cantera San Antonio Norte utilizadas para el ensayo de resistencia a los cambios de humedad

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de determinación de las propiedades físicas básicas en las muestras de la cantera San Antonio Norte (Tabla No.6 y Anexo 4), se puede observar que en la parte superior (SAN 6 a SAN 1) del segmento muestreado se presentan los valores más altos de porosidad y absorción de agua. Por lo tanto es posible deducir que estas muestras cuentan con más poros que favorecen la movilidad de agua o agentes agresivos en el interior de las rocas, produciendo así daños patológicos futuros, poca resistencia mecánica y corta durabilidad. Por otro lado se observa que las rocas obtenidas en la parte inferior (SAN 15 a SAN 7) del segmento presentan una porosidad y absorción de agua aparente, relativamente bajas, siendo estas rocas las que cuentan con las mejores características físicas, dejando circular el agua en su interior en menor proporción y reduciendo el riesgo de futuros procesos patológicos de deterioro o poca resistencia mecánica.

Tabla No. 6: Resultados de las Propiedades Básicas Físicas de las muestras de la Cantera San Antonio Norte

		PROMEDIOS CANTERA SAN ANTONIO		
		Densidad Aparente(Kg/ m3)	Porosidad Aparente (%)	Absorción de agua aparente (%)
Segmento Superior	SAN 1	2,36	7,48	3,19
	SAN 2	2,42	7,23	2,99
	SAN 3	2,41	9,17	3,81
	SAN 4	2,39	8,01	3,36
	SAN 5	2,44	6,92	2,84
	SAN 6	2,41	8,7	3,62
Segmento Inferior	SAN 7	2,48	5,87	2,37
	SAN 8	2,5	5,46	2,19
	SAN 9	2,49	4,41	1,77
	SAN 10	2,5	4,36	1,74
	SAN 11	2,48	4,68	1,89
	SAN 12	2,55	3,41	1,33
	SAN 13	2,49	4,89	1,96
	SAN 15	2,57	2,67	1,04
	INFRAYACENTE	2,43	6,83	2,81
	SUPRAYACENTE	2,42	8,54	3,55

Se puede afirmar que la porosidad aparente está directamente relacionada con la absorción de agua, y que los valores más bajos de densidad de las rocas se relacionan con una alta porosidad, como se detalla en la Grafica No 5.



Grafica No. 5: Densidad Aparente - Porosidad Aparente - Absorción de Agua Aparente

RESULTADOS Y ANÁLISIS CANTERA TOCOGUA.



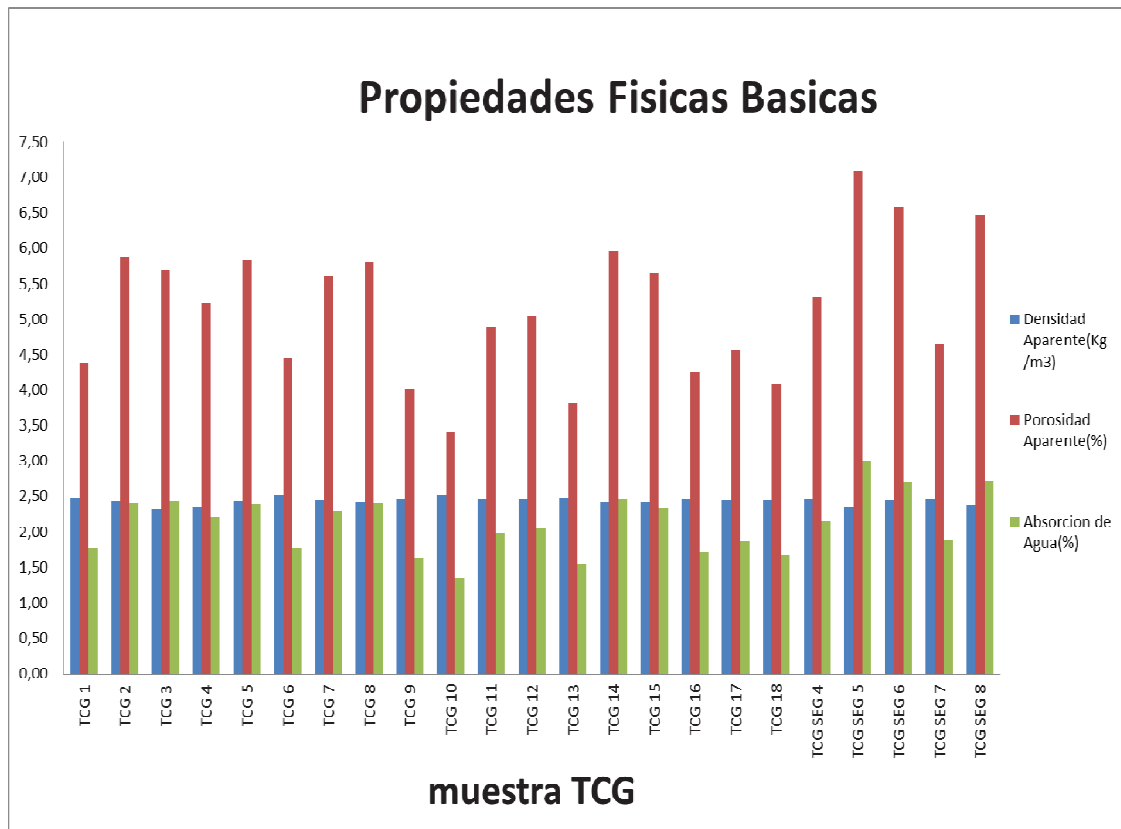
Imagen No.58: Grupo muestras de la cantera Tocogua, utilizadas para el ensayo de resistencia a los cambios de humedad

Una vez registrados los resultados de la porosidad aparente en la cantera Tocogua (Tabla No.7 y Anexo 5) se observa que los valores oscilan entre 3,30 y 7,10 %, indicándonos que son rocas relativamente poco porosas debido a su composición, corroborando lo observado en el trabajo realizado en campo (Composición y características texturales). Cabe anotar que no se observa una tendencia en los valores de los resultados. A diferencia de la cantera de San Antonio Norte, donde se evidencia un comportamiento definido en los segmentos de extracción, en Tocogua se presentan variaciones aleatorias, sin ninguna tendencia específica de los valores de densidad, porosidad y absorción de agua.

Tabla No. 7: Resultados de las propiedades básicas físicas de las muestras de la Cantera Tocogua

	PROMEDIOS CANTERA TOCOGUA		
	Densidad Aparente(Kg/m3)	Porosidad Aparente (%)	Absorción de agua aparente (%)
TCG 1	2,48	4,39	1,77
TCG 2	2,44	5,87	2,41
TCG 3	2,32	5,68	2,43
TCG 4	2,35	5,22	2,21
TCG 5	2,43	5,84	2,4
TCG 6	2,52	4,45	1,77
TCG 7	2,45	5,61	2,29
TCG 8	2,42	5,82	2,41
TCG 9	2,47	4,01	1,63
TCG 10	2,52	3,4	1,35
TCG 11	2,46	4,89	1,98
TCG 12	2,46	5,06	2,06
TCG 13	2,48	3,82	1,55
TCG 14	2,42	5,96	2,46
TCG 15	2,43	5,65	2,34
TCG 16	2,47	4,25	1,72
TCG 17	2,44	4,56	1,87
TCG 18	2,45	4,09	1,67
TCG SEG 4	2,47	5,3	2,15
TCG SEG 5	2,36	7,09	3
TCG SEG 6	2,45	6,58	2,71
TCG SEG 7	2,47	4,64	1,88
TCG SEG 8	2,38	6,48	2,72

Al igual que en la cantera San Antonio Norte, en las muestras de la cantera Tocogua, la porosidad aparente está directamente relacionada con la absorción de agua, y los valores más bajos de densidad de las rocas se relacionan con una alta porosidad, como lo demuestra el Gráfica No 6.



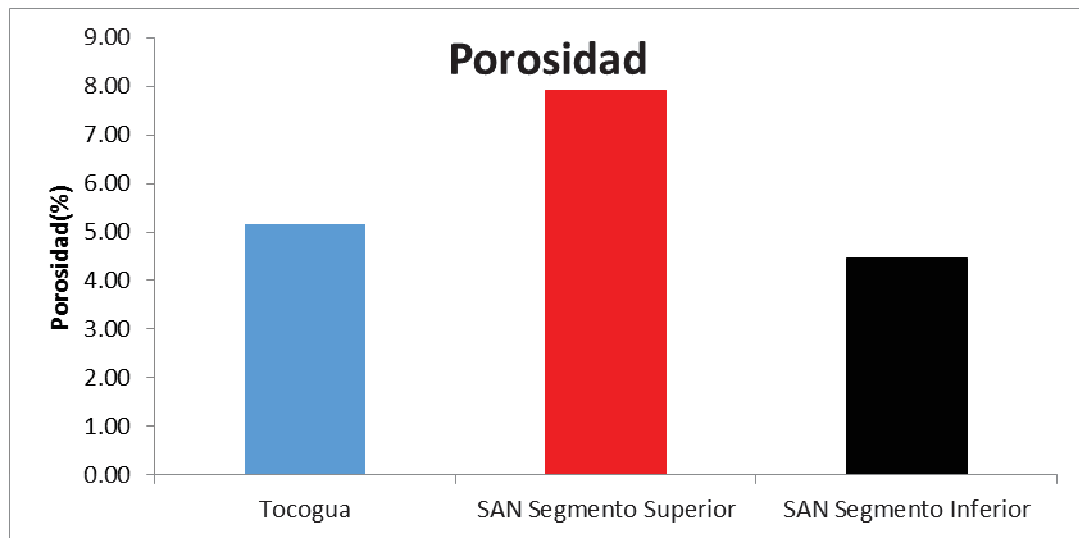
Grafica No 6: Densidad Aparente - Porosidad Aparente - Absorción de Agua Aparente

COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LAS DOS CANTERAS.

Los materiales usados en obras civiles y en arquitectura sin ninguna caracterización tecnológica, se usan de forma indiscriminada, mezclándose materiales rocosos con diferentes propiedades y procedentes de diferentes frentes de producción, lo cual genera grandes daños y el desarrollo de procesos patológicos. Debido a esto es importante realizar esta comparación para observar las diferencias entre propiedades intrínsecas de las rocas procedentes de las dos canteras objeto de estudio.

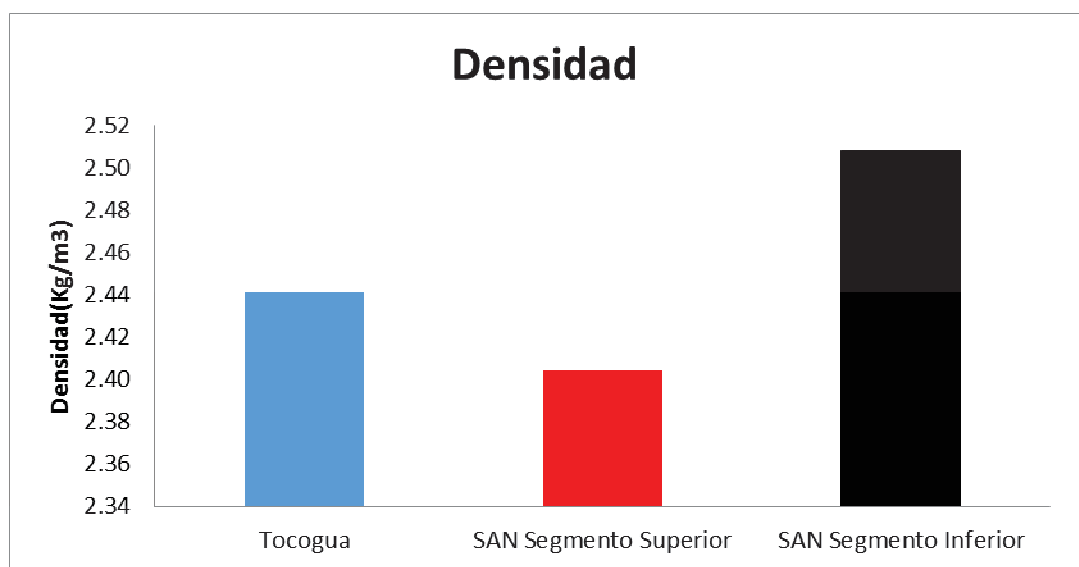
Porosidad: Al obtener el promedio estadístico de los resultados del ensayo de porosidad aparente de ambas canteras (Grafica No. 7), se observa una gran diferencia entre los porcentajes del segmento superior de la cantera San Antonio Norte con el segmento inferior, y con las rocas de la cantera Tocogua.

La mayor porosidad de las rocas del segmento superior de la Cantera San Antonio Norte, las hacen menos favorables para ser utilizadas en acabados de obra de ingeniería, debido a que por su alta porosidad facilitan el ingreso de agentes agresivos en el interior de las rocas, haciéndolas menos resistentes a los agentes atmosféricos y a los esfuerzos mecánicos.



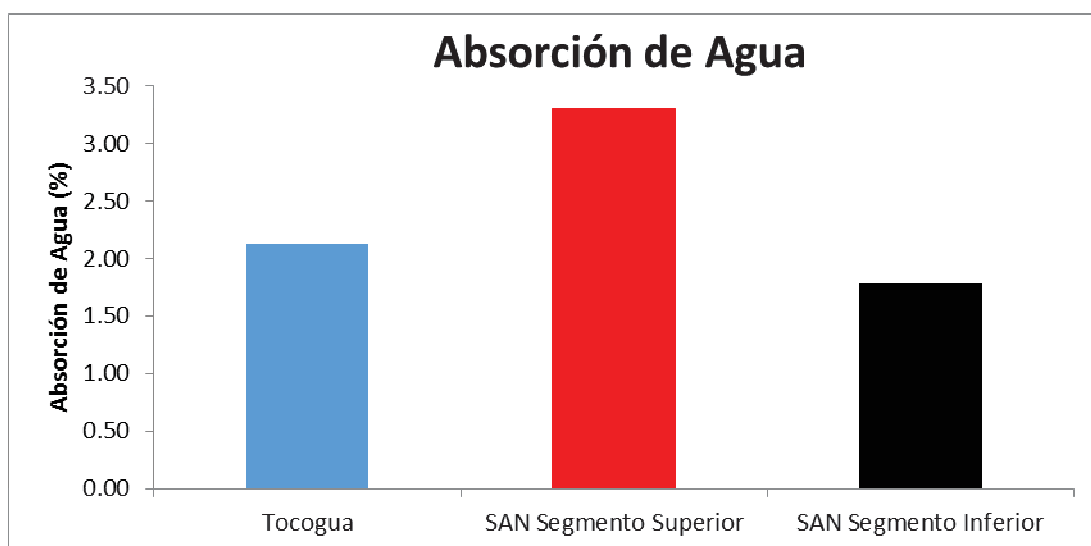
Grafica No. 7: Porosidad

Densidad Apparente: A partir del promedio estadístico realizado en los resultados obtenidos en el ensayo de densidad aparente (Grafica No. 8) se evidencia que el segmento inferior de la cantera San Antonio Norte presenta la mayor densidad, siendo estas rocas las que cuentan con las mejores propiedades mecánicas ya que presentan más fase sólida.



Grafica No. 8: Densidad

Absorción de agua: Al analizar el promedio estadístico de los resultados conseguidos en el ensayo de absorción de agua aparente (Grafica No. 9), se evidencia que las muestras obtenidas en la cantera Tocogua al igual que el segmento inferior de la cantera San Antonio Norte, presentan una absorción de agua relativamente baja que no favorece a la libre circulación de agentes agresivos en el interior de la roca, y que puedan ocasionar futuros daños patológicos.



Grafica No. 9: Absorción de agua

Una vez finalizado el ensayo de propiedades físicas básicas, se concluye que las rocas areníticas extraídas en la Cantera Tocogua, en general tienen los mejores valores de densidad, porosidad y absorción de agua; cuyos resultados son más favorables que los de la Cantera San Antonio Norte para ser utilizadas como rocas ornamentales en acabados de obras de ingeniería. Los resultados indican también que por sus propiedades de densidad, porosidad y absorción de agua, estas rocas favorecerán en menor cuantía la movilidad de agua y agentes agresivos en el interior de la roca, debido a que son menos porosas, y por lo tanto presentaran menor susceptibilidad a los procesos patológicos de deterioro en comparación de las muestras adquiridas en la cantera San Antonio Norte.

Sin embargo al separar los segmentos de la cantera San Antonio Norte donde se evidencia un comportamiento definido en los resultados, podemos observar que la gráfica correspondiente a la parte inferior de la cantera nos indica que este segmento de roca cuenta con buenos valores de densidad, porosidad, y absorción de agua para ser implementadas en acabados de obras de ingeniería, a diferencia de la parte superior donde los resultados no son muy favorables.

7.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LOS CAMBIOS DE HUMEDAD.

CÁLCULOS.

Para obtener resultados de este ensayo se hizo una toma de datos de los 25 ciclos, luego se calcularon los promedios, y por último se determinó el porcentaje de resistencia a los cambios de humedad con la fórmula:

$$R(\%) = \frac{(P1 - P2)}{P1} * 100$$

Dónde:

R: Resistencia a los cambios de humedad

P1: Peso inicial de la muestras (ciclo No.3)

P2: Peso final después de los 25 ciclos (ciclo No. 25)

Hay que aclarar que el peso inicial de las muestras, se tomó como el ciclo número tres (3), ya que en los dos (2) primeros ciclos se alteró levemente el peso de las rocas, debido a que contenían fibras para su identificación. A partir del ciclo tres (3) las muestras fueron marcadas con Sharpie y no se alteró más su peso, por tal motivo se considera el ciclo número tres (3) como el peso inicial (P1). En la imagen No. 58 podemos evidenciar lo mencionado.



Imagen No. 59: Etiquetado de las muestras para su identificación

Tabla No. 9: Promedio de los resultados del ensayo de resistencia al cambio de humedad de los Ciclos No. 3 y 25 de las muestras de San Antonio Norte:

Ciclo No.3			Ciclo No.25		
	Peso sec	Peso sat		Peso sec	Peso sat
SAN 1	255,03	261,46	SAN 1	254,71	260,55
SAN 2	218,23	224,29	SAN 2	218,1	224,03
SAN 3	190,53	196,62	SAN 3	189,18	195,67
SAN 4	268,64	279,17	SAN 4	268,09	278,4
SAN 6	178,3	183,98	SAN 6	177,9	183,47
SAN 8	259,83	264,83	SAN 8	259,6	264,15
SAN 10	266,7	270,96	SAN 10	266,54	270,81
SAN 13	257,98	262,75	SAN 13	257,51	261,9

Tabla No.10 Promedio de los resultados del ensayo resistencia al cambios de humedad de los Ciclos No. 3 y 25 de las muestras de Tocogua.

Ciclo No.3			Ciclo No.25		
	Peso sec	Peso sat		Peso sec	Peso sat
TCG 2	261,65	268,2	TCG 2	260,31	267,65
TCG 3	237,18	242,86	TCG 3	236,88	242,42
TCG 5	281,02	287,71	TCG 5	280,8	287,26
TCG 6	272,99	278,76	TCG 6	272,12	277,69
TCG 12	263,11	268,75	TCG 12	263,04	268,59
TCG13	273,21	278,09	TCG13	272,7	277,46
TCG15	284,29	291,84	TCG15	284,13	291,58

PERDIDAS DE MASA Y CAMBIOS ESTETICOS EN LA ROCA.

Los resultados obtenidos pudieron verse afectados por la pérdida de masa durante los ciclos realizados. Esta situación se presentó en las muestras de la cantera San Antonio Norte (SAN) debido a su alto contenido de matriz.

Como se puede evidenciar en la imagen No.60, las muestras de San Antonio desprenden matriz arcillosa a la hora de ser saturadas con agua destilada.



Imagen No. 60: Desprendimiento de partículas en el proceso de saturación del ensayo de resistencia a los cambios de humedad



Imagen No.61: Formación de grietas en el ensayo de resistencia a los cambios de humedad

Por otro lado se observaron cambios en el color de la roca (estético), como se ve a continuación.

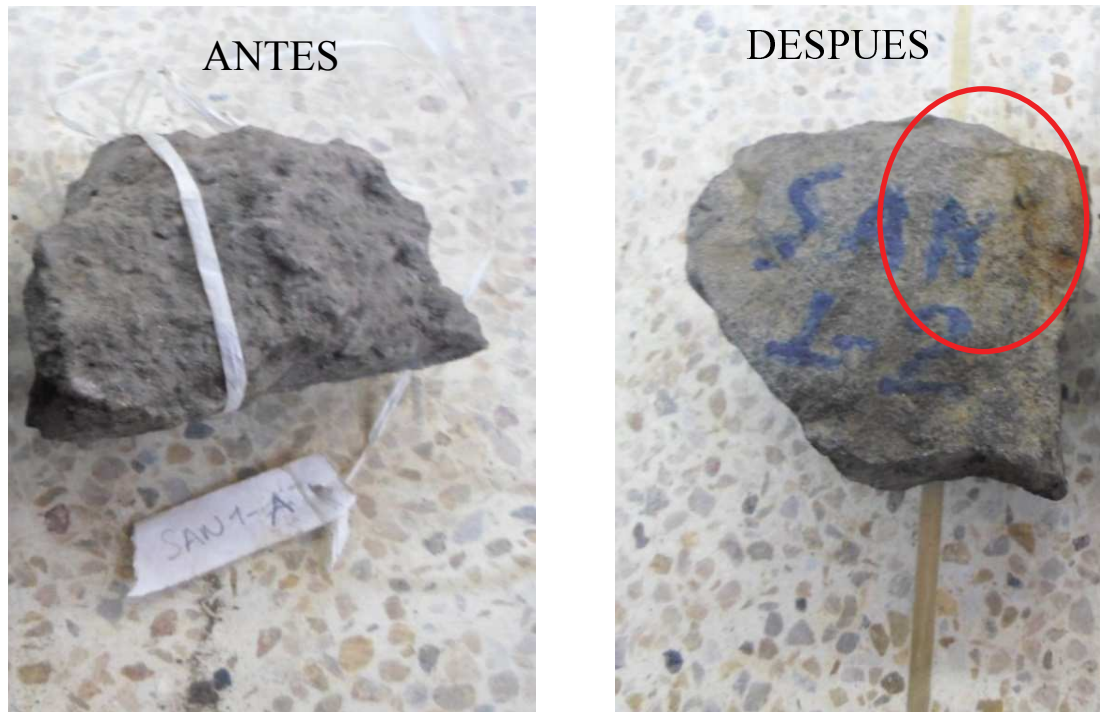


Imagen No. 62: Cambio de color de las muestras, Ensayo de resistencia a los cambios de humedad

RESULTADOS Y ANALISIS CANTERA SAN ANTONIO NORTE.

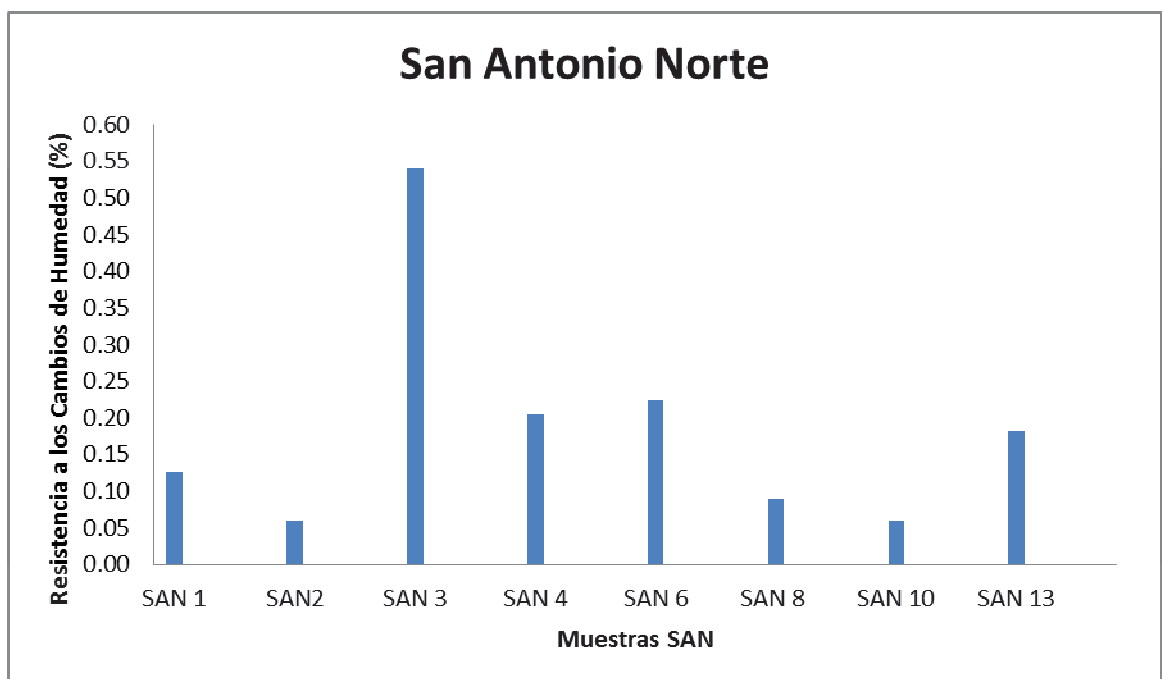
Una vez obtenidos los resultados del ensayo de resistencia a los cambios de humedad de la cantera San Antonio Norte (Tabla 11 y Grafica No. 10), se evidencia la misma tendencia que en los datos del ensayo de propiedades físicas básicas, es decir que el segmento inferior cuenta con los mejores resultados, siendo estas rocas las más aptas para ser utilizadas en acabados de obras de ingeniería, ya que poseen una resistencia a los cambios de humedad entre 0.05 y 0.20 %, mientras que en el segmento superior encontramos valores entre 0.13 y 0.54 %.

Con base en lo anterior podemos afirmar que el contenido de matriz es mucho mayor en las muestras del segmento superior, en las cuales se presentó las mayores pérdidas de masa y variaciones en los resultados del ensayo de resistencia a los cambios de humedad. Es por esto que estas rocas presentan

una mayor probabilidad de ser afectadas por los agentes atmosféricos, a diferencia de las muestras del segmento inferior.

Tabla No 11: Resultados del ensayo de resistencia a los cambios de humedad de la Cantera San Antonio Norte

Muestra	R (%)
SAN 1	0,13
SAN2	0,06
SAN 3	0,54
SAN 4	0,2
SAN 6	0,22
SAN 8	0,09
SAN 10	0,06
SAN 13	0,18



Grafica No. 10: Resultados del ensayo de resistencia a los cambios de humedad. Cantera San Antonio Norte

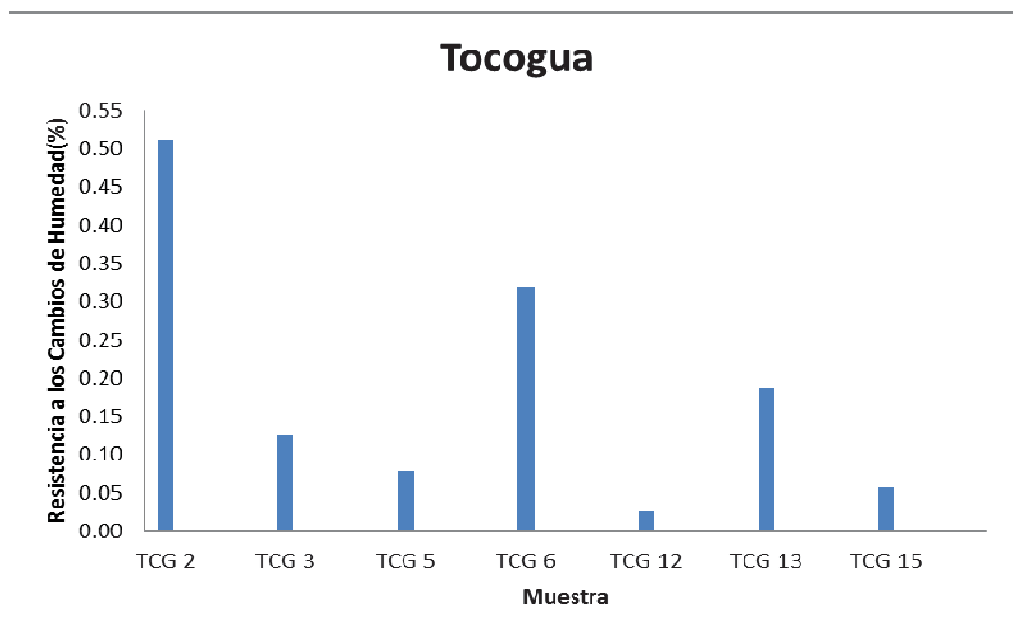
RESULTADOS Y ANALISIS CANTERA TOCOGUA.

Al analizar los resultados del ensayo de cambios de humedad en la cantera Tocogua (Tabla 12 y Gráfica No. 11), se observa que los datos presentan valores entre 0.08 y 0.51 %, evidenciando variaciones aleatorias sin ninguna tendencia específica. Al igual que el ensayo de propiedades físicas básicas, estas rocas son las que cuentan con los mejores resultados, en este caso siendo las más resistentes a los cambios de humedad.

Por otro lado se puede afirmar que debido a su escasa presencia de matriz como se puede evidenciar en el análisis de petrografía, las muestras no se vieron afectadas por grandes pérdida de masa.

Tabla No 12: Resultados de la resistencia a los cambios de humedad de la Cantera Tocogua.

Muestra	R (%)
TCG 2	0,51
TCG 3	0,13
TCG 5	0,08
TCG 6	0,32
TCG 12	0,03
TCG 13	0,19
TCG 15	0,06



Grafica No.11: Resultado del ensayo de resistencia a los cambios de humedad Cantera Tocogua

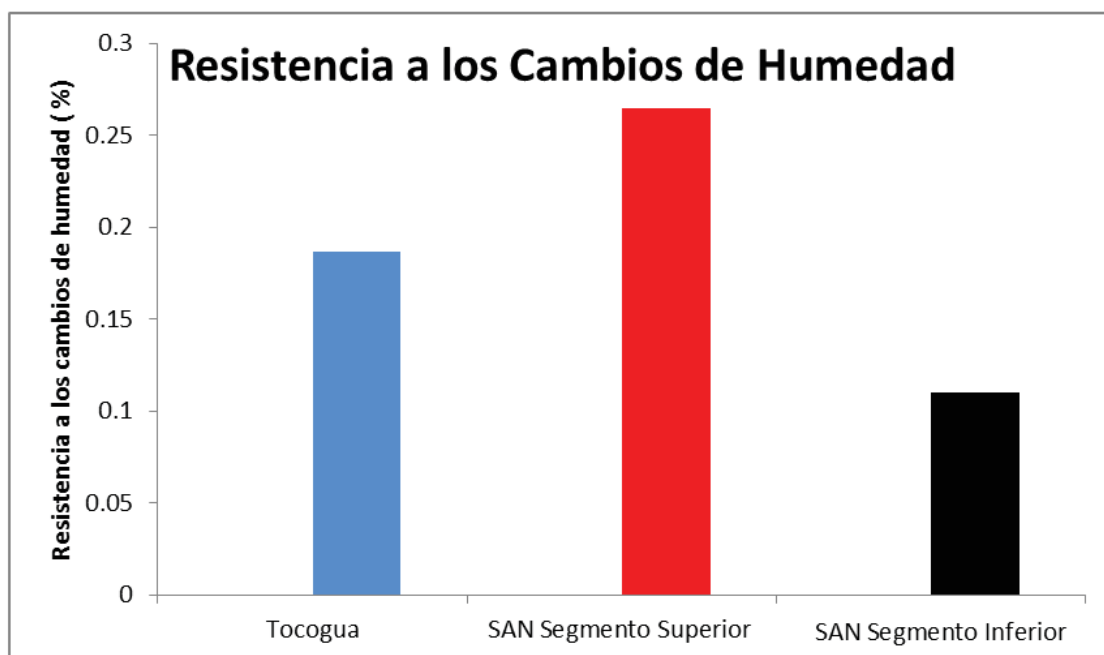
Los valores obtenidos en cada uno de los 25 ciclos, así como el promedio de las muestras ensayadas de cada uno de los 25 ciclos se muestran en el Anexo 6. Los gráficos de Peso vs No de ciclo para las canteras San Antonio Norte y Tocogua se muestran en el Anexo 7.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LAS DOS CANTERAS

Es importante realizar esta comparación para observar la diferencia entre los resultados de las dos canteras que son objeto de estudio, ya que los materiales usados en obras civiles se usan de forma indiscriminada, mezclándose materiales rocosos con diferentes propiedades y procedentes de diferentes frentes de producción. Esto genera grandes daños y el desarrollo de procesos patológicos.

Al analizar el promedio estadístico de los resultados obtenidos (Grafica No.12), se puede afirmar que las muestras que tienden a tener una mejor resistencia a los cambios de humedad en general son las de la Cantera Tocogua, ya que los valores oscilan entre 0 y 0,19 %, mientras que los de la Cantera San Antonio Norte oscilan entre 0 y 0,26 %. Esto conduce a concluir que las muestras de Tocogua son útiles para resistir mayores variaciones de temperatura, teniendo en cuenta que en los lugares donde se explotan y utilizan los materiales, se presentan variaciones repentinas de temperatura, como antes se mencionó.

Sin embargo al separar los segmentos de la cantera San Antonio Norte, donde se evidencia un comportamiento definido en los resultados, se concluye que las rocas areníticas extraídas del segmento inferior de la Cantera San Antonio Norte, tienen los mejores porcentajes de resistencia a los cambios de humedad. Cuyos resultados son más favorables que los del segmento superior. Los resultados indican que las muestras representativas de dicho segmento no tuvieron un cambio brusco en su peso durante los 25 ciclos.



Grafica No. 12: Promedio estadístico de los resultados de resistencia a los cambios de humedad de ambas canteras.

7.4. CORRELACIÓN DE LA POROSIDAD ENTRE LOS DOS (2) MÉTODOS ENSAYADOS (PETROGRAFIA Y ENSAYO PROPIEDADES BASICAS)

Al comparar los resultados obtenidos de porosidad, por medio de los dos (2) métodos diferentes utilizados, se pueden hacer las siguientes observaciones:

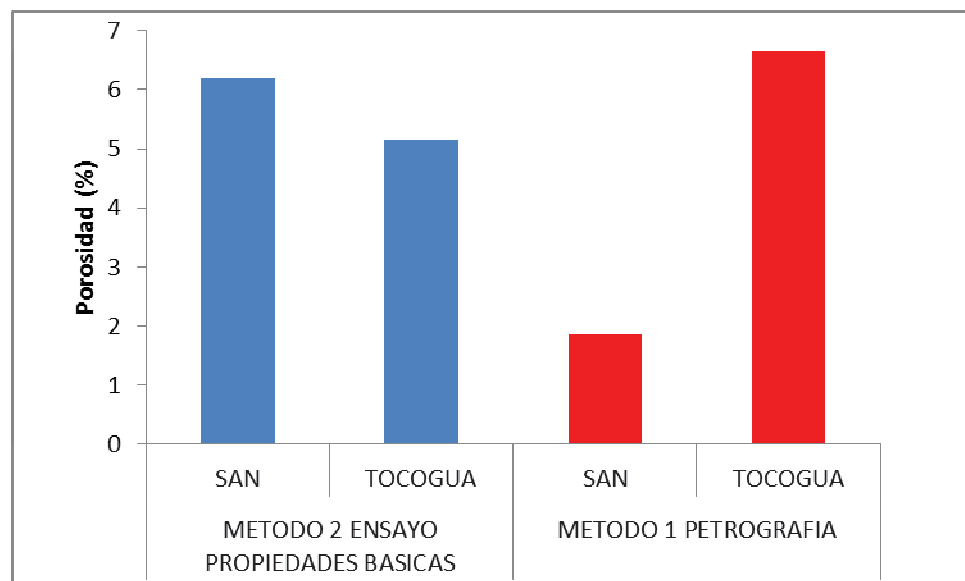
Se observa una gran diferencia en los resultados de la porosidad de las muestras de la cantera San Antonio Norte (SAN), por medio de los dos (2) métodos ensayados (gráfica No.13). Así, mientras que en la determinación de porosidad por medio de las propiedades básicas determinadas en laboratorio, los mayores valores de porosidad se encuentran en las muestras de la cantera San Antonio Norte, en los de petrografía los mayores son los de la cantera Tocogua, lo cual lleva a pensar en errores analíticos. Esto se debe a varios factores que deben ser tenidos en cuenta:

1- Mientras que en el ensayo de laboratorio de propiedades básicas permite lograr mayor saturación de la muestra y el contenido de porosidad está en función del volumen saturado por agua en un período no menor de 24 horas, el análisis de porosidad por petrografía se basa en la impregnación de resina al vacío, en este caso puede ocurrir que todos los vacíos no se llenen.

2- En el análisis petrográfico se utilizó una menor cantidad de muestras, por lo que dichos resultados no pueden ser representativos de todos los segmentos.

Por el contrario los resultados de la cantera Tocogua son relativamente iguales en los dos (2) ensayos, siendo estas rocas las menos porosas.

Con base en lo anterior se recomienda hacer el ensayo de porosidad por medio de propiedades básicas, el cual se hace con un numero de muestras significativas del segmento a investigar y se hace con instrumentos relativamente simples, arrojando unos resultados óptimos, y no solo basarse en los resultados que da el análisis de porosidad por medio de la petrografía ya que asume altos costos y es un análisis muy puntual.



Grafica No. 13: Resultado de la porosidad con los dos métodos ensayados

7.5. ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS EN LAS CANTERAS OBJETO DE ESTUDIO.

Con base en todos los resultados de los ensayos propuestos en esta investigación se puede afirmar lo siguiente:

CANTERA SAN ANTONIO NORTE:

- No vale la pena que se haga la extracción de todos los segmentos de la cantera San Antonio, debido a que en los ensayos de propiedades básicas se pudo evidenciar un comportamiento definido, donde se observó que las rocas pertenecientes al segmento inferior (SAN 7 a SAN 15), presentan mejores resultados de densidad, porosidad y absorción de agua, a diferencia del segmento superior (SAN 1 a SAN 6), donde los resultados no son muy buenos, favoreciendo en mayor cuantía la movilidad de agua y agentes agresivos en el interior de la roca, que pueda ocasionar problemas patológicos.
- La misma tendencia en los resultados se observó en el ensayo de resistencia a los cambios de humedad, en el cual las muestras del segmento inferior no tienen cambios bruscos en su peso durante los 25 ciclos. Estos resultados son muy favorables teniendo en cuenta que en los lugares donde se utilizan estos materiales se presentan variaciones repentinas de temperatura. Por el contrario las muestras del segmento superior se vieron afectadas por pérdidas de masa durante los ciclos realizados, debido a su alto contenido de matriz arcillosa, como se puede ver en el análisis de petrografía.

En la imagen No.63 se demarca el segmento inferior (capa aprovechable) y el segmento superior (capa no aprovechable) de la cantera San Antonio Norte según los resultados de los ensayos realizados.



Imagen No. 63: Demarcación de los segmentos en la cantera San Antonio Norte en función de los resultados obtenidos en los ensayos.

CANTERA TOCOGUA:

- Las rocas extraídas en la cantera Tocogua en general, tienen buenos valores en el ensayo de propiedades básicas. Los resultados indican también que por sus propiedades de densidad, porosidad y absorción de agua, estas no favorecerán la movilidad de agua y agentes agresivos en el interior de la roca debido a que son menos porosas, y por lo tanto presentarán menor susceptibilidad a los procesos patológicos de deterioro.
- Al igual que el ensayo de propiedades básicas, estas rocas son resistentes a los cambios de humedad, ya que en general no hubo cambios bruscos en el peso de las muestras durante la prueba. Como se observó en el análisis de petrografía, estas rocas contienen poca presencia de matriz arcillosa, por tal motivo no hubo pérdida de masa en los 25 ciclos, a diferencia de las muestras de San Antonio Norte.

En la imagen No. 64 se muestra la cantera Tocogua cuyos segmentos cuentan en general con buenas propiedades intrínsecas para ser explotados.



Imagen No. 64: Cantera Tocogua.

CAPÍTULO 8. IMPORTANCIA DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS PARA LA FORMACIÓN EN LA INGENIERÍA CIVIL.

El uso correcto de las rocas y otros materiales de piedra en la construcción requiere el conocimiento de sus propiedades, con el objeto de determinar la calidad de ellos. Dicha calidad del material se define por las características de la roca y la interacción con el medio ambiente, o con otros materiales, por lo que la calidad de una roca puede ser buena o mala, y sus características indican un buen o un mal funcionamiento de esta.

En el campo de la ingeniería civil las rocas tienen diversa utilización, ya sea como agregados para concreto, agregados para balasto de ferrocarril, agregados para pavimentos, y revestimiento tanto de fachadas como pisos. Para cada una de estas aplicaciones de las rocas, se requiere el conocimiento de un determinado conjunto de sus propiedades, incluso para una aplicación dada, que no se limita a la caracterización físico-mecánica comúnmente utilizada; debe haber una jerarquía entre dichas propiedades en términos de importancia, con el fin de cumplir con funciones específicas en una obra determinada.

Tabla No. 13: Importancia de las características tecnológicas (Frazao) [45]

Características tecnológicas	revestimientos		Pavimentos		Concretos	Balasto
	Interiores	Exteriores	Interiores	Exteriores		
Descripción Petrográfica	I	I	I	I	I	I
Análisis químico	PI	PI	PI	PI	PI	PI
Densidad Aparente	I	I	I	I	I	I
Absorción de Agua	PI	I	PI	I	PI	MI
Resistencia Compresión	PI	I	PI	I	I	I
Resistencia Flexión	PI	I	I	I	MI	MI
Resistencia choque	--	--	I	MI	I	I

MI: muy importante; I: importante; PI: poco importante

La idoneidad de un material para una aplicación particular no se puede definir sin el conocimiento de sus características, y sin tener en cuenta las condiciones en las que se encuentran. A continuación se muestran los requisitos o especificaciones técnicas de diversos usos de las rocas en la ingeniería civil, y la importancia de realizar ensayos como los propuestos en este trabajo.

CONCRETO.

El concreto es un material de construcción compuesto por la mezcla adecuada de proporciones de un aglomerante (cemento), con uno o más materiales (agregados) y agua. La calidad del concreto depende de la calidad de sus componentes, y por esta razón se debe prestar atención a las características de los agregados, ya que aproximadamente el 85% del concreto son agregados.

Al analizar los resultados de los ensayos propuestos en esta investigación y según las especificaciones para agregados del concreto (Ver Tabla No.14) las rocas más favorables para uso de agregado de concreto son las de ambas canteras debido a que poseen un porcentaje de absorción de agua menor al 5 % y su densidad es mayor (>1121 Kg/m³) a la que se presenta en las especificaciones.

Es importante aclarar que se hace énfasis en los ensayos realizados en esta investigación, sin embargo se deben de verificar los otros ensayos que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla No.14: Especificaciones técnicas de los agregados del concreto. (Frazao) [45]

Propiedades	Normas						
	AASHTO M80 (1)	ASTM C 33 (2)	ABNT NBR 7211 (2)	BS 882/pt2	DIN 4226 (3)	SABS 1083 (3)	AFNOR NF B 18-301 (3)
Requisitos Generales	Grava, Piedra y escoria triturada, duros, resistentes y durables	Guijarros y escoria de piedra triturada o molida	agregados duros, compactos y limpios	Agregados duros, durables y limpios	Agregados duros, durables y limpios	ne	Aragados inalterados
Absorcion de Agua	ne	ne	ne	ne	< 0,5 %	ne	< 5 %
Masa Unitaria	>1121 Kg/m ³	1121 Kg/m ³	ne	ne	ne	ne	ne
Materia Organica	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Terrones de Arcilla	<0,25%(sin tolerancia)	<5%	<1%	ne	ne	ne	ne
Particulas Blandas y Friables	<2%(tolerancia = 5%)	<5%	<2%	ne	ne	ne	ne
material porlvoriento	<0,5%(tolerancia=1%)	<1%	<1%	ne	ne	<1,5%	<5%
particulas leves	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
material carbonoso	ne	<0,5 %	<0,5%	ne	ne	ne	ne
forma	ne	ne	m. < 3C:1E	ne	>50% de <3C:1E	ne	CV>0,15
Abrasion "los Angeles"	<40%	<50%	<50%	ne	ne	ne	-
Aplastamiento	ne	ne	ne	<30 %	ne	<29%	-
10 % de finos	ne	ne	ne	>100 KN p/csd	ne	>110 KN p/csd	-
Compresion Uniaxial	ne	ne	ne	ne	>100 Mpa	ne	-

ne = no especifica

CV=coeficiente volumetrico

BALASTO Y PAVIMENTO.

Los agregados rocosos son el principal componente del balasto, dichos agregados proporcionan una elasticidad adecuada, un drenaje adecuado, previenen vacíos entre durmientes, dificultan el crecimiento de vegetación, facilita los trabajos de reparación, etc. Es por ello que el material que constituye el balasto debe mantener sus propiedades intrínsecas al máximo posible sin cambios en el tiempo, por esto además de un proceso constructivo, las características de los agregados deben ser las más adecuadas posibles.

Los agregados usados en los pavimentos deben tener las características apropiadas, y tener compatibilidad entre ellos de modo que la mezcla pueda ejercer su función a la satisfacción.

Al observar los resultados de los ensayos propuestos en esta investigación, se evidencia que las rocas de ambas canteras no sirven ya que el contenido de porosidad es mayor (5 % a 8 %), y su densidad es menor al límite que presenta las especificaciones que deben de tener los agregados que se utilizan para el balasto de ferrocarriles (Ver Tabla No. 15).

Es importante aclarar que se hace énfasis en los ensayos realizados en esta investigación, sin embargo se deben de verificar los otros ensayos que se muestran en la Tabla No 15.

Tabla No.15: Especificaciones técnicas del balasto y los agregados del pavimento. (Frazao) [45]

Propiedades	Normas						
	AASHTO M80 (1)	ASTM C 33 (2)	ABNT NBR 7211 (2)	BS 882/pt2	DIN 4226 (3)	SABS 1083 (3)	AFNOR NF B 18-301 (3)
Requisitos Generales	duros, durables y limpios	ne	duros, durables y limpios	duros, resistentes, durables y limpios	duros, resistentes, durables y limpios	ne	duros, durables y limpios
Masa Especifica	>2400 Kg/m ³	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Porosidad	<1%	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Masa Unitaria	ne	1121 Kg/m ³ p/escoria	ne	1121 Kg/m ³ p/escoria	1041 Kg/m ³ p/escoria	ne	ne
Materia organica	ne	ne	<2%	ne	ne	ne	<2%
Terrones de Arcilla	<1%	<0,5%	<2%	ne	ne	ne	<2%
Particulas Blandas y Friables	<5%	<5%	ne	ne	ne	ne	ne
material porlvoriento	<1%	<1%	<1,5%	ne	ne	<12%	<1,5%
forma	>90 % de cubicos	<5% de C>5E	>90 % de cubicos	ne	<15% de C>5E	>75 % de cubicos	<10% de C+L>6E
Abrasion "los Angeles"	<40 %	<40%	<50%	<40% p/revestimiento	<40% p/revestimiento	ne	<50%
Aplastamiento	ne	ne	ne	ne	ne	<29%	ne
10 % de finos	ne	ne	ne	ne	ne	>110 KN	ne
Tenacidad "treton"	<20%	ne	<20% p/basaltos	ne	ne	ne	ne

ne = no especifica

REVESTIMIENTO:

En cuanto al uso de las rocas como revestimiento se especifica que deben de tener un porcentaje de absorción de agua menor al 3 % y que la densidad aparente debe de ser mayor a 2400 kg/m³, lo cual nos permite afirmar que en cierta medida las muestras de San Antonio Segmento Superior y Tocogua son útiles para revestimientos, sin embargo no cumplen con el criterio de la densidad.

Se hace énfasis en los ensayos realizados en esta investigación, sin embargo se deben de verificar los otros ensayos que se muestran en la Tabla No. 16

Tabla No.16: Especificaciones técnicas de las rocas para revestimientos. (Frazao) [45]

Tipos de Rocas	Propiedades	Masa Especifica aparente (kg/cm3)	Porosidad Aparente (%)	Absorcion de Agua Aparente (%)	Velocidad de Propagacion de Ondas (m/s)	Coefficiente de dilatacion termica linear (10E-3 mm/m°C	Desgaste (mm)	Resistencia a la compresion (Mpa)	Resistencia a la Flexion (por 3 Puntos)(Mpa)	Resistencia a la Flexion (por 4 Puntos)(Mpa)	Modulo de Deformabili dad(Gpa)	Resistencia al Impacto (m)	Referencia Normativa para especificaciones
Granitos		>2560	ne	<0,4	ne	ne	ne	>131	10,34	8,27	ne	ne	ASTM C 615
Mármoles													
travertino		>2595	ne	<0,75	ne	ne	ne	>52	>7	ne	ne	ne	ASTM C 503
calcítico		>2800	ne	<0,75	ne	ne	ne	>52	>7	ne	ne	ne	
serpentinico		>2690	ne	<0,75	ne	ne	ne	>52	>7	ne	ne	ne	
Dolomítico		>2305	ne	<0,75	ne	ne	ne	>52	>7	ne	ne	ne	
calizas													
Baja densidad		1760/2160	ne	<12	ne	ne	ne	>12	>2,9	ne	ne	ne	ASTM C 568
media densidad		2160/2560	ne	<7,5	ne	ne	ne	>28	>3,4	ne	ne	ne	
alta densidad		>2560	ne	<3,0	ne	ne	ne	>55	>6,9	ne	ne	ne	
Areniscas													
>60 % SiO2		>2160	ne	<20	ne	ne	ne	>13,8	>2,1	ne	ne	ne	ASTM C 616
>90 % SiO2		>2400	ne	<3	ne	ne	ne	>68,9	>6,9	ne	ne	ne	
>95 % SiO2		>2560	ne	<1	ne	ne	ne	>137,9	>13,9	ne	ne	ne	
Rocas Silicatadas		>2550	<1	<0,4	>4000	<12	<1	>100	>10	ne	>30	<0,3	Frazao & Farjallat(1996)
Referencia Normativa Para ensayos		NBR 12766 ou ASTM C 97	NBR 12766	NBR 12766 ou ASTM C 97	NE	NBR 12765	NBR12042	NBR 12767 ou ASTM C 170	NBR 12767 ou ASTM C 99	ASTM C 880	NBR 10341 ou ASTM D 3148	NBR 12764	-

CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

9.1 Conclusiones

- Durante el desarrollo de esta investigación, se observó que en gran medida hubo correlación entre los ensayos propuestos. En primera instancia se observó que un valor alto en la densidad de las rocas, generalmente está relacionado con una baja porosidad y por consiguiente una baja absorción de agua. En segunda instancia se observó que el porcentaje de matriz visto en el análisis petrográfico, se relaciona con las muestras que tuvieron pérdidas de masa en el ensayo de resistencia a los cambios de humedad.
- Se determinaron dos segmentos diferentes en la cantera San Antonio Norte, donde se observó que las rocas pertenecientes al segmento inferior (SAN 7 a SAN 15), presentan los mejores valores en los ensayos realizados en esta investigación, a diferencia del segmento superior (SAN 1 a SAN 6), donde los resultados no son muy buenos, favoreciendo en mayor cuantía la movilidad de agua y agentes agresivos en el interior de la roca, lo cual puede ocasionar problemas patológicos. Por lo tanto se hace necesario limitar la extracción de materiales al segmento inferior.
- Si se comparan los materiales de las dos canteras muestreadas, las rocas extraídas en la cantera Tocogua, en general cuentan con las mejores propiedades intrínsecas según los resultados de los ensayos. Esto nos indica que por sus propiedades de densidad, porosidad, absorción de agua, resistencia a los cambios de humedad y contenido de matriz, estas rocas favorecerán en menor cuantía la movilidad de agua y agentes agresivos en el interior de ella, debido a que son menos porosas, y por lo tanto presentarán menor susceptibilidad a los procesos patológicos de deterioro.
- En el campo de la ingeniería civil, nosotros como profesionales y responsables de las obras civiles, tenemos el deber de conocer las propiedades de los materiales que son empleados. Con el fin de establecer el buen y correcto uso en las construcciones.

- La realización de los ensayos pertinentes a los materiales antes de ser usados en las obras, nos sirve como herramienta de control de calidad.
- La determinación de las propiedades de los materiales se debe hacer por medio de diferentes ensayos, que permitan el conocimiento completo de sus propiedades, y no basarse solamente en una herramienta o tomando conclusiones con resultados de pocas muestras o no representativas.
- Es importante realizar los ensayos propuestos en esta investigación, ya que con ello podemos prevenir problemas patológicos en materiales usados en las obras civiles.
- La comprensión e interpretación de los ensayos que se deben realizar a los materiales usados en obras civiles pueden traer beneficios estéticos, sociales, técnicos y económicos, además de garantizar la durabilidad de los materiales en sus diferentes usos.

9.2 Recomendaciones

TULO 10. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bernal V.; Ruiz S., Celada M.; Morales C. (2004). "Aprovechamiento de materiales Lapidarios en la Sierra Nevada de Santa Marta, departamentos del Cesar y la Guajira. En Servicio Geológico Colombiano SGC.

- [7] Gomez, L. Stella; Perez, Nancy; Buergo Monica, et al (2013);
Technological characteristics of compressed earth blocks for its use as a

- [15] Molina, E; Ordaz J., Valdeon L. (2013). Relaciones entre porosidad, contenido en arcillas y durabilidad de areniscas; En *Revista Materiales de construcción*. Volumen. 35. Consultado el 15 de septiembre de 2014. disponible en <http://materconstrucc.revistas.csic.es>

- [16] Becerra, Javier (2013). Proyecto de Investigación: la extracción minera de areniscas de la formación une. Incidencia en la estabilidad de taludes. Caracterización físico-química, mecánica y de alterabilidad para optimización de extracción y uso en obras viales y en arquitectura. Informe de Avance.

- [17] Google Earth (s.f.). Ciudad de Duitama. Consultado el 21 de Febrero de 2015. Disponible en www.GoogleEarth.com

- [18] Becerra, J. (2013). Guía de Ensayos de Laboratorio, Proyecto de investigación “la extracción minera de areniscas de la formación une, incidencia en la estabilidad de taludes, características físico-químicas, mecánica y de alterabilidad para optimización de extracción y uso en obras viales y en arquitectura”. Manuscrito enviado para su publicación.

- [19] Norma Técnica Colombiana: NTC 176 (1995). *Ingeniería Civil y Arquitectura, Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción de agua del agregado grueso*, Colombia. Editores: Instituto Colombiano de Normas técnicas y Certificación (ICONTEC).

- [20] Universidad de Almería.(s.f.). *Rocas Ornamentales*. Consultado el 15 de noviembre de 2014. Disponible en <http://www.ual.es/~mjariza/Tema2NatApuntes.pdf>

- [21] Universidad Politécnica de Madrid (2007). *Explotación de Roca ornamental. Diseño de explotaciones y selección de maquinaria y equipos*. Madrid, España. Consultado el 25 de enero de 2015, Disponible en http://oa.upm.es/21840/1/071120_I3_roca_ornamental.pdf

- [22] Gonzales, M.; Lopez F.(2013) Guía para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos elevados registrables de piedra natural 1era edición. (ISBN: 978-84-9839-412-2).Editorial Vigo. 80 pag.

- [23] Universidad de Oviedo (s.f.).*Materiales de Construcción*. Consultado el 24 de enero de 2015 .Disponible <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema3.MaterialesCONSTRUCCION.PptreosNaturales.PPT.pdf>

- [24] Acabados en Concreto Arquitectónico (s.f). Consultado el 19 de febrero de 2015. Disponible <http://blogargos.smdigitaltest.com/acabados-en-concreto-arquitectonico-tecnica-del-abujardado/>
- [25] Acuatro Arquitectónicos (s.f.). Revestimiento de fachadas. Consultado el 19 de febrero de 2015. Disponible en

- [35] Universidad Complutense de Madrid (s.f.). Atlas de Petrología Sedimentaria. Consultado el 10 de Febrero de 2015. Disponible en <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/petrosed/rd/cdd/index.html>
- [36] Capilla de Jesús Resucitado. Consultado el 8 de Febrero de 2015. Disponible en <http://www.minube.com/fotos/rincon/122147/572797>
- [37] Convento de Nuestra Señora de Monguí. Consultado el 8 de Febrero de 2015. Disponible en <http://spoliarium-macellum.blogspot.com/2014/02/basilica-menor-nuestra-senora-de-mongui.html>
- [38] Catedral Primada de Colombia. Consultado el 8 de Febrero de 2015. Disponible en <http://www.catedraldebogota.org/>
- [39] Peña, L(2005). Análisis Petrográfico de ataque de sales del sulfato a la matriz del cemento de morteros y concreto. En *Revista Universidad Nacional de Colombia*. Volumen 1. Consultado el 19 de diciembre. Disponible en <http://www.revistas.unal.edu.co>
- [40] Universidad Nacional de la Plata (2014). Sedimentología. Trabajo Prácticos. Consultado el 10 de enero de 2015. Disponible en http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/sedimentologia/pdf/guia_tp.pdf
- [41] Benavente, D.(s.f.) “Propiedades físicas y utilización de rocas ornamentales”. En: Utilización de rocas y minerales industriales / ed. M^a Ángeles García del Cura y Juan Carlos Cañaveras. Alicante: Universidad de Alicante, 2006. (Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía; 2). pp. 123-153
- [42] Rodríguez, J (2010). Propiedades Físicas: Densidad y Porosidad

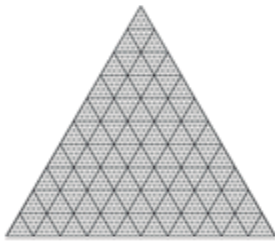
CAPITULO 11.

ANEXOS

Anexo 1

Identificación:

DESCRIPCIÓN CAPA:	
Dimensión:	

DESCRIPCIÓN MUESTRA DE MANO		
Tipo de roca:		
Color:		
Laminación:		
Textura:	Tamaño de grano:	
	Selección:	
	Redondez:	
	Madurez:	
Composición mineralógica:		Qm 100%  F 100% Lt 100%

Observaciones:

Anexo 4

Tabla No. 6: Resultados de los ensayos de Propiedades Físicas Básicas las Muestras de la Cantera San Antonio Norte

Muestra		Wrecipiente	Wrecipiente + muestra	Wrecipiente + muestra seca	Wmuestra seca	Wmuestra inmersa	Wmuestra saturada	Densidad Aparente	Porosidad Aparente	Absorción de agua aparente
SAN 15	1	50,12	312,50	310,68	260,56	161,86	263,27	2,5694	2,6723	1,0401
SAN 13	1	49,69	288,98	288,25	238,56	147,90	243,46	2,4964	5,1277	2,0540
	2	52,79	333,35	332,31	279,52	174,18	284,31	2,5381	4,3494	1,7137
	3	49,70	178,35	177,95	128,25	78,84	130,73	2,4716	4,7793	1,9337
	4	44,09	124,06	123,88	79,79	49,19	81,50	2,4695	5,2925	2,1431
SAN 12	1	56,10	380,72	380,15	324,05	201,53	328,22	2,5578	3,2915	1,2868
	2	39,54	171,24	171,03	131,49	81,91	133,25	2,5612	3,4281	1,3385
	3	51,15	362,26	361,74	310,59	192,75	315,08	2,5390	3,6704	1,4456
	4	37,80	182,43	182,18	144,38	89,67	146,21	2,5536	3,2366	1,2675
SAN 11	1	52,53	379,91	379,37	326,84	200,53	333,51	2,4578	5,0158	2,0408
	2	39,75	222,74	222,31	182,56	112,51	185,63	2,4967	4,1986	1,6816
	3	47,39	329,58	329,01	281,62	174,02	286,83	2,4964	4,6184	1,8500
	4	40,17	258,50	258,12	217,95	133,41	222,28	2,4525	4,8723	1,9867
SAN 10	1	38,89	236,35	236,08	197,19	121,51	200,62	2,4926	4,3357	1,7394
	2	45,86	264,52	263,96	218,10	136,23	221,75	2,5503	4,2680	1,6735
	3	39,57	347,76	347,34	307,77	189,60	313,32	2,4876	4,4859	1,8033
	4	51,91	328,43	328,06	276,15	169,90	281,00	2,4856	4,3654	1,7563
SAN 9	1	39,75	223,86	223,60	183,85	113,45	187,10	2,4963	4,4128	1,7677
	2	47,39	337,25	336,86	289,47	178,25	294,57	2,4886	4,3845	1,7618
	3	52,79	307,68	307,33	254,54	156,85	258,86	2,4952	4,2349	1,6972
	4	52,53	274,26	273,94	221,41	136,62	225,51	2,4908	4,6124	1,8518
SAN 8	1	39,57	320,91	319,89	280,32	174,02	286,18	2,4993	5,2247	2,0905
	2	56,10	350,78	349,49	293,39	182,44	300,29	2,4895	5,8549	2,3518
	3	49,69	266,70	265,90	216,21	134,30	221,08	2,4915	5,6119	2,2524
	4	51,15	293,97	293,04	241,89	150,36	246,84	2,5072	5,1306	2,0464
SAN 7	1	39,55	171,56	171,19	131,64	81,10	134,85	2,4491	5,9721	2,4385
	2	49,69	169,50	169,17	119,48	73,57	122,43	2,4454	6,0377	2,4690
	3	44,09	332,86	331,56	287,47	179,48	293,47	2,5219	5,2636	2,0872
	4	37,80	218,75	218,08	180,28	112,45	184,76	2,4932	6,1955	2,4850

SAN 6	1	50,11	306,14	300,89	250,78	155,46	257,69	2,4531	6,7593	2,7554
	2	49,69	237,13	231,95	182,26	113,46	189,56	2,3950	9,5926	4,0053
	3	56,10	180,15	176,67	120,57	74,84	126,2	2,3475	10,9618	4,6695
	4	45,85	156,23	153,80	107,95	67,15	111,26	2,4473	7,5040	3,0662
SAN 5	1	45,85	175,57	175,21	129,36	79,96	132,91	2,4431	6,7044	2,7443
	2	50,12	318,28	317,32	267,20	165,23	275,80	2,4166	7,7779	3,2186
	3	38,89	241,04	243,44	204,55	126,46	209,65	2,4588	6,1305	2,4933
	4	42,86	334,36	333,28	290,42	180,06	298,80	2,4458	7,0574	2,8855
SAN 4	1	43,20	170,36	169,24	126,04	77,52	129,78	2,4118	7,1565	2,9673
	2	48,55	343,86	341,29	292,74	180,50	303,15	2,3868	8,4876	3,5561
	3	50,14	271,10	269,45	219,31	135,13	226,67	2,3958	8,0402	3,3560
	4	50,52	339,91	337,65	287,13	175,52	297,32	2,3574	8,3662	3,5489
SAN 3	1	36,16	195,75	194,39	158,23	98,34	165,12	2,3694	10,3175	4,3544
	2	39,56	262,32	260,74	221,18	138,43	229,40	2,4314	9,0359	3,7164
	3	51,38	184,94	183,96	132,58	82,40	136,92	2,4318	7,9604	3,2735
	4	38,72	180,07	178,99	140,27	87,24	145,76	2,3970	9,3814	3,9139
SAN 2	1	48,05	175,83	175,49	127,44	78,69	131,35	2,4201	7,4250	3,0681
	2	51,76	337,18	336,45	284,69	175,46	293,65	2,4087	7,5810	3,1473
	3	51,36	295,92	295,32	243,96	150,52	250,76	2,4338	6,7837	2,7873
	4	41,59	255,15	254,66	213,07	131,22	219,34	2,4180	7,1153	2,9427
SAN 1- I	1	48,62	293,84	283,24	234,62	142,48	242,44	2,3471	7,8231	3,3330
	2	52,53	375,83	375,04	322,51	196,29	330,80	2,3977	6,1631	2,5705
	3	38,84	273,10	272,33	233,49	141,46	243,84	2,2806	10,1094	4,4327
	4	48,04	259,55	259,00	210,96	128,46	216,06	2,4082	5,8219	2,4175
INFRAYACENTE	1	42,84	362,32	361,68	318,84	196,70	327,39	2,4397	6,5422	2,6816
	2	44,09	355,55	355,00	310,91	191,59	320,04	2,4205	7,1078	2,9365
	3									
	4									
SUPRAYACENTE	1	52,78	274,89	273,86	221,08	136,62	229,26	2,3864	8,8299	3,7000
	2	49,75	318,62	317,85	268,10	167,02	276,31	2,4531	7,5121	3,0623
	3	47,38	283,43	282,34	234,96	147,29	246,68	2,3640	11,7919	4,9881
	4	51,14	291,40	290,72	239,58	148,56	245,41	2,4737	6,0196	2,4334

Anexo 5

Tabla No. 7: Resultados de los ensayos de Propiedades Físicas Básicas de las Muestras de la Cantera Tocogua

Muestra		$W_{recipiente}$	$W_{recipiente + muestra}$	$W_{recipiente} + muestra seca$	$W_{muestra seca}$	$W_{muestra inmersa}$	$W_{muestra saturada}$	Densidad Aparente	Porosidad Aparente	Absorción de agua aparente
TCG 1	1	51,77	337,77	337,57	285,80	174,84	290,80	2,4646	4,3118	1,7495
	2	43,18	267,42	267,42	224,24	137,88	227,46	2,5032	3,5946	1,4360
	3	51,36	313,62	313,40	262,04	161,33	266,03	2,5028	3,8109	1,5227
	4	39,55	303,87	303,68	264,13	161,46	268,87	2,4591	4,4130	1,7946
TCG 2	1	45,84	310,85	310,43	264,59	162,82	270,86	2,4490	5,8034	2,3697
	2	50,51	131,05	311,66	261,15	159,79	267,19	2,4316	5,6238	2,3128
	3	48,56	270,92	270,48	221,92	136,60	227,49	2,4416	6,1283	2,5099
	4	48,04	326,90	326,46	278,42	170,64	284,82	2,4384	5,6052	2,2987
TCG 3	1	56,08	328,19	327,40	271,32	166,42	278,26	2,4260	6,2053	2,5579
	2	49,74	282,85	362,32	312,58	187,54	320,76	2,3463	6,1402	2,6169
	3	51,15	274,70	274,15	223,00	136,94	228,58	2,4334	6,0890	2,5022
	4	47,38	318,14	317,51	270,13	165,53	277,02	2,4229	6,1799	2,5506
TCG 4	1	44,09	329,03	328,59	284,50	144,87	290,02	1,9600	3,8030	1,9402
	2	48,03	317,94	317,51	269,48	165,31	275,39	2,4480	5,3688	2,1931
	3	51,79	312,57	311,97	260,18	159,72	265,65	2,4562	5,1638	2,1024
	4	49,68	308,86	308,21	258,53	159,02	264,80	2,4440	5,9274	2,4253
TCG 5	1	51,38	310,60	310,18	258,80	158,88	265,00	2,4387	5,8424	2,3957
	2	48,62	327,12	326,88	278,26	169,94	285,20	2,4142	6,0212	2,4941
	3	52,58	270,48	270,16	217,58	133,39	223,22	2,4221	6,2785	2,5922
	4	50,14	269,75	269,37	219,23	134,82	223,89	2,4613	5,2318	2,1256
TCG 6	1									
	2	41,58	309,44	309,00	267,42	167,25	270,89	2,5803	3,3481	1,2976
	3	38,89	206,30	205,70	166,81	104,76	169,75	2,5667	4,5238	1,7625
	4	36,16	287,86	287,41	251,25	154,19	256,04	2,4669	4,7030	1,9065
TCG 7	1	38,83	317,80	317,33	278,50	170,83	284,44	2,4514	5,2284	2,1329
	2	42,82	330,00	329,36	286,54	176,35	293,15	2,4533	5,6592	2,3068
	3	39,54	318,39	317,90	278,36	171,42	285,34	2,4435	6,1271	2,5075
	4	50,11	310,22	309,76	259,65	160,00	265,74	2,4556	5,7594	2,3455

TCG 8	1	39,74	309,69	309,28	269,54	164,84	275,35	2,4391	5,2574	2,1555
	2	50,50	334,44	333,99	283,49	173,87	293,45	2,3707	8,3292	3,5134
	3	45,84	333,94	333,48	287,64	175,99	293,45	2,4488	4,9464	2,0199
	4									
TCG 9	1	50,52	341,45	341,02	290,50	177,07	296,15	2,4395	4,7447	1,9449
	2	48,59	292,52	292,33	243,74	148,50	247,50	2,4620	3,7980	1,5426
	3	50,15	345,79	345,54	295,39	180,16	300,75	2,4495	4,4448	1,8146
	4									
TCG 10	1	52,58	327,48	327,33	274,75	169,27	278,07	2,5253	3,0515	1,2084
	2	51,38	290,49	290,27	238,89	147,56	241,90	2,5322	3,1906	1,2600
	3	47,38	309,70	309,14	261,76	161,19	264,62	2,5308	2,7652	1,0926
	4	51,76	316,25	316,04	264,28	163,11	267,52	2,5312	3,1032	1,2260
TCG 11	1	49,75	330,16	329,45	279,70	171,88	285,25	2,4671	4,8955	1,9843
	2	44,07	324,12	323,51	279,44	171,50	284,56	2,4716	4,5286	1,8322
	3	43,19	208,50	208,16	164,97	101,26	168,34	2,4593	5,0239	2,0428
	4									
TCG 12	1	49,69	270,36	269,74	220,05	134,92	224,62	2,4532	5,0948	2,0768
	2	48,05	333,30	332,61	284,56	174,19	290,68	2,4428	5,2537	2,1507
	3	52,79	339,49	338,75	285,96	177,57	292,45	2,4892	5,6494	2,2695
	4	56,09	246,90	246,27	190,18	116,80	195,16	2,4270	6,3553	2,6186
TCG 13	1	39,54	327,62	327,39	287,85	176,33	291,22	2,5054	2,9332	1,1707
	2	38,89	328,85	328,63	289,74	177,53	293,28	2,5032	3,0583	1,2218
	3	51,15	342,18	341,95	290,80	178,01	294,60	2,4942	3,2593	1,3067
	4	125,82	409,18	408,88	283,06	172,65	287,91	2,4558	4,2079	1,7134
TCG 14	1	42,85	289,30	273,58	230,73	141,21	236,10	2,4316	5,6592	2,3274
	2	39,76	286,14	285,64	245,88	150,61	251,64	2,4337	5,7013	2,3426
	3									
	4									
TCG 15	1	44,09	330,81	330,08	285,99	174,83	293,75	2,4049	6,5254	2,7134
	2	51,14	330,47	329,83	278,69	169,91	285,42	2,4127	5,8263	2,4149
	3	39,54	272,41	271,59	232,05	141,18	238,14	2,3933	6,2809	2,6244
	4									
TCG 16	1	56,09	341,02	340,70	284,61	174,87	289,13	2,4909	3,9559	1,5881
	2	43,19	330,95	328,82	285,63	175,37	290,01	2,4915	3,8207	1,5335
	3	50,13	336,59	336,19	286,06	175,71	291,5	2,4705	4,6982	1,9017
	4	39,55	337,45	337,09	297,54	182,38	302,23	2,4826	3,9132	1,5763

TCG 17	1	47,39	327,82	327,50	280,11	170,14	285,74	2,4231	4,8702	2,0099
	2	50,15	338,20	337,96	287,81	175,35	293,4	2,4380	4,7353	1,9423
	3	48,57	328,04	327,74	279,17	170,19	284,4	2,4444	4,5793	1,8734
	4	50,52	332,96	332,68	282,16	171,81	287,63	2,4362	4,7228	1,9386
TCG 18	1	52,60	337,48	337,20	284,60	173,36	289,08	2,4594	3,8714	1,5741
	2	49,68	273,58	273,38	223,70	136,85	227,25	2,4746	3,9270	1,5869
	3	48,63	290,30	290,09	241,46	146,75	245,34	2,4491	3,9355	1,6069
	4	51,38	328,66	328,42	277,04	167,50	282,33	2,4126	4,6068	1,9095

TCG SEG 4	1	38,98	338,67	337,61	298,63	184,15	304,75	2,4762	5,0746	2,0494
	2	41,11	265,46	264,55	223,44	137,93	228,45	2,4684	5,5347	2,2422
	3									
	4									
TCG SEG 5	1	44,08	342,24	341,79	297,71	181,00	306,04	2,3809	6,6619	2,7980
	2	49,66	311,72	311,37	261,71	159,07	269,19	2,3766	6,7926	2,8581
	3	50,51	306,07	305,64	255,13	154,82	262,77	2,3634	7,0774	2,9946
	4	51,34	337,98	336,52	285,18	172,65	294,74	2,3358	7,8303	3,3523
TCG SEG 6	1	50,12	64,93	264,19	214,07	132,15	218,86	2,4688	5,5242	2,2376
	2	43,18	391,92	390,43	347,25	214,90	354,84	2,4814	5,4238	2,1857
	3	50,10	316,11	312,94	262,84	162,36	273,87	2,3571	9,8915	4,1965
	4	48,63	339,27	338,09	289,46	179,33	295,86	2,4840	5,4921	2,2110
TCG SEG 7	1	39,53	267,00	266,70	227,17	139,59	231,22	2,4792	4,4199	1,7828
	2	48,56	311,00	310,59	262,03	160,86	266,79	2,4736	4,4935	1,8166
	3	39,56	318,09	317,52	277,96	170,98	283,46	2,4712	4,8898	1,9787
	4	56,09	292,30	292,00	235,91	144,99	240,46	2,4710	4,7659	1,9287
TCG SEG 8	1	47,38	341,73	340,96	293,58	178,58	300,77	2,4027	5,8843	2,4491
	2	51,76	325,27	324,60	272,84	165,50	280,66	2,3692	6,7906	2,8661
	3	52,58	333,35	332,62	280,04	170,35	287,13	2,3980	6,0712	2,5318
	4	51,14	344,40	343,58	292,44	177,52	301,33	2,3620	7,1804	3,0399

ANEXO 6

Ciclo No.1

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	211,15	214,22
	2	322,00	328,45
	3	232,75	241,56
SAN2	A		
	1	127,49	130,94
	2	284,21	292,56
	3	243,40	249,89
SAN 3	A		
	1	156,48	162,53
	2	220,53	228,44
	3	196,95	201,20
SAN 4	A		
	1	285,65	295,99
	2	291,95	302,00
	3	229,53	240,38
SAN 6	A		
	1	107,69	110,89
	2	178,69	185,52
	3	249,41	256,21
SAN 8	A		
	1	248,93	253,87
	2	283,53	189,51
	3	247,85	252,16
SAN 10	A		
	1	275,69	280,74
	2	217,20	220,20
	3	307,50	312,97
SAN 13	A		
	1	237,54	242,58
	2	278,54	283,63
	3	259,44	263,57

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	264,76	270,83
	2	247,78	253,97
	3	274,36	281,12
TCG 3	A		
	1	225,26	230,30
	2	250,23	257,02
	3	237,17	242,80
TCG 5	A		
	1	257,75	264,20
	2	301,20	308,09
	3	285,20	292,80
TCG 6	A		
	1	280,34	286,26
	2	246,47	252,58
	3	293,06	299,40
TCG 12	A		
	1	219,94	224,64
	2	284,26	290,74
	3	285,48	292,12
TCG 13	A		
	1	293,59	298,55
	2	283,14	283,39
	3	243,79	248,35
TCG 15	A		
	1	285,82	293,73
	2	277,87	285,57
	3	289,60	297,89

Ciclo No.2

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,86	214,40
	2	322,11	328,37
	3	232,83	241,47
SAN2	A		
	1	127,28	130,86
	2	284,34	292,30
	3	243,50	249,62
SAN 3	A		
	1	155,97	162,89
	2	220,84	228,40
	3	196,31	200,83
SAN 4	A		
	1	285,85	295,82
	2	292,15	301,69
	3	229,13	239,91
SAN 6	A		
	1	107,73	110,83
	2	178,72	185,40
	3	249,68	256,18
SAN 8	A		
	1	248,94	253,66
	2	283,67	289,13
	3	248,04	251,80
SAN 10	A		
	1	275,75	280,44
	2	217,33	220,00
	3	307,52	312,60
SAN 13	A		
	1	237,63	242,23
	2	278,74	283,09
	3	258,50	263,04

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,73	270,33
	2	247,70	253,38
	3	274,15	280,48
TCG 3	A		
	1	225,06	229,92
	2	250,18	256,23
	3	236,97	242,31
TCG 5	A		
	1	257,77	263,31
	2	301,11	307,56
	3	284,92	291,96
TCG 6	A		
	1	280,13	285,42
	2	246,53	252,02
	3	293,02	298,69
TCG 12	A		
	1	220,10	224,35
	2	284,39	290,08
	3	285,67	291,71
TCG 13	A		
	1	293,54	298,02
	2	283,17	288,74
	3	243,78	247,87
TCG 15	A		
	1	285,93	293,30
	2	277,99	285,23
	3	289,74	297,27

Ciclo No.3

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,64	214,51
	2	321,88	328,41
	3	232,58	241,47
SAN2	A		
	1	127,21	130,75
	2	284,11	292,42
	3	243,37	249,70
SAN 3	A		
	1	154,40	160,90
	2	220,31	228,26
	3	195,89	200,70
SAN 4	A		
	1	285,40	295,85
	2	291,84	301,71
	3	228,69	239,94
SAN 6	A		
	1	107,55	110,68
	2	178,12	185,13
	3	249,22	256,14
SAN 8	A		
	1	248,68	253,64
	2	283,35	289,11
	3	247,46	251,74
SAN 10	A		
	1	275,60	280,36
	2	217,15	219,99
	3	307,34	312,52
SAN 13	A		
	1	237,44	242,20
	2	278,42	283,10
	3	258,07	262,94

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,40	270,47
	2	247,61	253,35
	3	273,96	280,79
TCG 3	A		
	1	224,90	229,40
	2	249,91	256,43
	3	236,75	242,27
TCG 5	A		
	1	257,55	263,48
	2	300,87	307,60
	3	284,64	292,07
TCG 6	A		
	1	279,89	285,42
	2	246,31	252,17
	3	292,79	298,69
TCG 12	A		
	1	219,83	224,34
	2	284,16	290,13
	3	285,35	291,80
TCG 13	A		
	1	293,39	297,94
	2	282,64	288,50
	3	243,61	247,83
TCG 15	A		
	1	285,67	293,37
	2	277,74	285,07
	3	289,47	297,10

Ciclo No.4

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,60	214,42
	2	321,83	328,36
	3	232,53	241,59
SAN2	A		
	1	127,16	130,80
	2	284,10	292,44
	3	243,33	249,66
SAN 3	A		
	1	154,22	161,38
	2	220,30	228,31
	3	195,87	200,71
SAN 4	A		
	1	285,39	295,68
	2	291,82	301,67
	3	228,59	240,01
SAN 6	A		
	1	107,57	110,67
	2	178,08	185,24
	3	249,46	256,35
SAN 8	A		
	1	248,68	253,85
	2	283,34	289,14
	3	247,49	251,59
SAN 10	A		
	1	275,60	280,34
	2	217,09	220,02
	3	307,32	312,68
SAN 13	A		
	1	237,38	242,22
	2	278,43	283,25
	3	258,08	263,09

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,39	270,18
	2	247,56	253,45
	3	273,92	280,84
TCG 3	A		
	1	224,85	229,98
	2	249,84	256,28
	3	236,72	242,14
TCG 5	A		
	1	257,55	263,59
	2	300,86	307,52
	3	284,60	291,96
TCG 6	A		
	1	279,86	285,42
	2	246,29	252,07
	3	292,78	298,56
TCG 12	A		
	1	219,82	224,32
	2	284,14	290,04
	3	285,34	291,73
TCG 13	A		
	1	283,32	298,05
	2	282,34	288,35
	3	243,60	247,81
TCG 15	A		
	1	285,66	293,27
	2	277,72	285,26
	3	289,46	297,02

Ciclo No. 5

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,60	214,39
	2	321,80	328,50
	3	232,50	241,22
SAN2	A		
	1	127,14	130,75
	2	284,10	292,48
	3	243,31	249,72
SAN 3	A		
	1	153,89	160,92
	2	220,26	228,20
	3	185,78	200,60
SAN 4	A		
	1	285,32	295,66
	2	291,74	301,93
	3	228,52	239,79
SAN 6	A		
	1	107,52	110,69
	2	177,96	185,07
	3	249,16	256,02
SAN 8	A		
	1	248,67	253,54
	2	283,33	289,12
	3	247,34	251,58
SAN 10	A		
	1	275,57	280,29
	2	217,06	220,00
	3	307,32	312,45
SAN 13	A		
	1	237,36	242,15
	2	278,41	283,14
	3	258,07	263,09

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,31	270,26
	2	247,56	253,49
	3	273,90	280,75
TCG 3	A		
	1	224,82	229,96
	2	249,78	256,32
	3	236,67	242,32
TCG 5	A		
	1	257,51	263,36
	2	300,80	307,60
	3	284,57	292,14
TCG 6	A		
	1	279,81	284,04
	2	246,28	252,17
	3	292,76	299,02
TCG 12	A		
	1	219,83	224,31
	2	284,12	290,30
	3	285,34	291,90
TCG 13	A		
	1	293,26	298,09
	2	282,27	288,36
	3	243,55	247,78
TCG 15	A		
	1	285,62	293,42
	2	277,70	285,18
	3	289,44	297,39

Ciclo No.6

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,61	214,52
	2	321,81	328,44
	3	232,42	241,50
SAN2	A		
	1	127,15	130,76
	2	284,07	292,47
	3	243,31	249,68
SAN 3	A		
	1	153,87	160,12
	2	220,24	228,26
	3	195,74	200,56
SAN 4	A		
	1	285,24	295,75
	2	291,72	301,78
	3	228,45	239,82
SAN 6	A		
	1	107,51	110,68
	2	177,96	185,20
	3	249,17	256,01
SAN 8	A		
	1	248,68	253,54
	2	283,32	289,05
	3	247,33	251,61
SAN 10	A		
	1	245,57	280,38
	2	217,07	219,98
	3	307,31	312,57
SAN 13	A		
	1	237,36	242,18
	2	278,41	283,06
	3	258,05	262,93

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,27	270,24
	2	247,55	253,40
	3	273,88	280,77
TCG 3	A		
	1	224,81	229,90
	2	249,77	256,40
	3	236,66	242,17
TCG 5	A		
	1	257,49	263,40
	2	300,81	307,65
	3	284,53	292,03
TCG 6	A		
	1	278,47	283,05
	2	246,28	252,15
	3	292,77	298,88
TCG 12	A		
	1	219,83	224,42
	2	284,12	290,17
	3	285,33	291,42
TCG 13	A		
	1	293,27	298,02
	2	282,23	288,43
	3	243,58	247,82
TCG 15	A		
	1	285,66	293,40
	2	277,72	285,01
	3	289,41	297,17

Ciclo No.7

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,60	214,49
	2	321,80	328,30
	3	232,33	241,29
SAN2	A		
	1	127,14	130,74
	2	284,05	292,35
	3	243,30	249,55
SAN 3	A		
	1	153,13	160,11
	2	220,22	228,17
	3	195,76	200,55
SAN 4	A		
	1	285,12	295,62
	2	291,69	301,62
	3	228,43	239,47
SAN 6	A		
	1	107,49	110,68
	2	177,91	185,05
	3	249,11	256,04
SAN 8	A		
	1	248,66	253,64
	2	283,28	289,10
	3	247,34	251,58
SAN 10	A		
	1	275,55	280,32
	2	217,07	219,80
	3	307,30	312,49
SAN 13	A		
	1	237,36	242,08
	2	278,39	283,06
	3	258,03	262,95

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,25	270,10
	2	247,54	253,36
	3	273,84	280,54
TCG 3	A		
	1	224,79	229,90
	2	249,74	256,30
	3	236,65	252,15
TCG 5	A		
	1	257,47	263,24
	2	300,80	307,69
	3	284,48	292,00
TCG 6	A		
	1	277,58	283,09
	2	246,28	251,98
	3	292,73	298,79
TCG 12	A		
	1	219,84	224,44
	2	284,11	290,25
	3	285,29	291,91
TCG 13	A		
	1	293,25	297,91
	2	282,18	288,34
	3	243,55	247,78
TCG 15	A		
	1	285,62	293,38
	2	277,72	285,12
	3	289,41	297,16

Ciclo No.8

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,62	214,52
	2	321,77	328,45
	3	232,28	241,31
SAN2	A		
	1	127,11	130,75
	2	284,04	292,38
	3	243,04	249,66
SAN 3	A		
	1	153,05	159,99
	2	220,14	228,06
	3	195,67	200,52
SAN 4	A		
	1	285,12	295,48
	2	291,63	301,53
	3	228,35	239,59
SAN 6	A		
	1	107,48	110,63
	2	177,87	185,05
	3	249,12	255,97
SAN 8	A		
	1	248,63	253,56
	2	283,19	288,94
	3	247,30	251,54
SAN 10	A		
	1	275,56	280,23
	2	216,93	219,77
	3	307,29	312,43
SAN 13	A		
	1	237,33	242,10
	2	278,37	283,10
	3	258,02	262,93

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,18	269,93
	2	247,54	253,17
	3	273,86	280,28
TCG 3	A		
	1	224,80	229,73
	2	249,86	256,11
	3	236,64	242,16
TCG 5	A		
	1	257,42	263,10
	2	300,87	307,38
	3	284,51	291,72
TCG 6	A		
	1	277,43	282,88
	2	246,27	251,97
	3	292,73	298,48
TCG 12	A		
	1	219,82	224,23
	2	284,14	289,97
	3	285,33	291,58
TCG 13	A		
	1	293,27	297,76
	2	282,18	288,22
	3	243,54	247,68
TCG 15	A		
	1	285,63	293,27
	2	277,71	284,96
	3	289,38	297,06

Ciclo No.9

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,61	214,55
	2	321,75	328,40
	3	232,25	241,17
SAN2	A		
	1	127,15	130,74
	2	284,03	292,36
	3	243,27	249,67
SAN 3	A		
	1	153,04	160,05
	2	220,14	228,02
	3	195,69	200,48
SAN 4	A		
	1	285,00	295,50
	2	291,67	301,54
	3	228,31	239,57
SAN 6	A		
	1	107,48	110,65
	2	177,83	185,06
	3	249,11	255,97
SAN 8	A		
	1	248,66	253,58
	2	283,28	288,99
	3	247,31	251,57
SAN 10	A		
	1	275,56	280,28
	2	216,92	219,78
	3	307,30	312,50
SAN 13	A		
	1	237,31	242,05
	2	278,39	283,08
	3	258,01	262,94

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,16	269,92
	2	247,55	253,16
	3	273,87	280,22
TCG 3	A		
	1	224,79	229,68
	2	249,74	256,07
	3	236,64	242,10
TCG 5	A		
	1	257,41	263,15
	2	300,78	307,33
	3	284,50	291,58
TCG 6	A		
	1	277,56	282,85
	2	246,26	251,91
	3	292,75	298,52
TCG 12	A		
	1	219,84	224,27
	2	284,12	289,97
	3	285,32	291,60
TCG 13	A		
	1	293,26	297,82
	2	282,16	288,14
	3	243,40	241,56
TCG 15	A		
	1	285,63	293,26
	2	277,69	284,96
	3	289,89	297,02

Ciclo No.10

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,60	214,65
	2	321,74	328,48
	3	232,22	241,23
SAN2	A		
	1	127,12	130,73
	2	284,04	292,36
	3	243,27	249,65
SAN 3	A		
	1	153,00	160,04
	2	220,13	228,01
	3	195,65	200,53
SAN 4	A		
	1	285,00	295,48
	2	291,63	301,59
	3	228,25	239,66
SAN 6	A		
	1	107,48	110,69
	2	177,85	185,05
	3	249,12	255,50
SAN 8	A		
	1	248,65	253,65
	2	283,28	288,88
	3	247,32	251,61
SAN 10	A		
	1	275,54	280,27
	2	216,92	219,78
	3	307,29	312,60
SAN 13	A		
	1	237,33	240,99
	2	278,38	283,03
	3	258,02	262,89

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,13	269,88
	2	247,54	253,20
	3	273,81	280,26
TCG 3	A		
	1	224,75	229,71
	2	249,73	256,03
	3	236,66	242,13
TCG 5	A		
	1	257,40	263,23
	2	300,78	307,39
	3	284,47	291,61
TCG 6	A		
	1	277,54	282,82
	2	246,26	251,93
	3	292,75	298,50
TCG 12	A		
	1	219,85	224,19
	2	284,13	289,91
	3	285,32	291,68
TCG 13	A		
	1	293,25	297,78
	2	282,10	288,12
	3	243,37	247,51
TCG 15	A		
	1	285,63	293,17
	2	277,70	284,14
	3	289,40	297,11

Ciclo No.11

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,61	214,53
	2	321,70	328,29
	3	232,19	241,15
SAN2	A		
	1	127,12	130,74
	2	284,02	292,33
	3	243,25	249,60
SAN 3	A		
	1	152,98	160,02
	2	220,09	228,04
	3	195,64	200,47
SAN 4	A		
	1	284,96	295,47
	2	291,57	301,45
	3	228,27	239,50
SAN 6	A		
	1	107,48	110,57
	2	177,81	185,01
	3	249,08	255,86
SAN 8	A		
	1	248,65	253,58
	2	283,04	288,73
	3	247,30	251,58
SAN 10	A		
	1	275,54	280,30
	2	216,91	219,82
	3	307,27	312,51
SAN 13	A		
	1	236,33	240,95
	2	278,38	283,04
	3	258,00	262,86

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,10	269,85
	2	247,52	253,16
	3	273,81	280,20
TCG 3	A		
	1	224,77	229,69
	2	249,71	256,01
	3	236,62	242,07
TCG 5	A		
	1	257,38	263,11
	2	300,75	307,32
	3	284,44	291,61
TCG 6	A		
	1	277,54	282,83
	2	246,24	251,90
	3	292,73	298,51
TCG 12	A		
	1	219,82	224,20
	2	284,09	290,04
	3	285,29	291,55
TCG 13	A		
	1	293,25	297,78
	2	282,06	288,04
	3	243,38	247,50
TCG 15	A		
	1	285,62	293,17
	2	277,69	284,96
	3	289,39	296,95

Ciclo No.12

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,58	214,45
	2	321,71	328,24
	3	232,16	241,06
SAN2	A		
	1	127,12	130,72
	2	284,01	292,33
	3	243,24	249,61
SAN 3	A		
	1	152,95	159,81
	2	220,06	227,97
	3	195,62	200,46
SAN 4	A		
	1	284,97	295,41
	2	291,57	301,38
	3	228,25	239,42
SAN 6	A		
	1	107,46	110,57
	2	177,80	184,97
	3	249,11	255,87
SAN 8	A		
	1	248,68	253,50
	2	283,04	288,67
	3	247,30	251,53
SAN 10	A		
	1	275,53	280,22
	2	216,88	219,71
	3	307,29	312,46
SAN 13	A		
	1	236,31	240,93
	2	278,32	282,96
	3	257,98	262,84

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,07	269,89
	2	247,51	253,09
	3	273,80	280,29
TCG 3	A		
	1	224,75	229,60
	2	249,70	255,99
	3	236,61	242,04
TCG 5	A		
	1	257,38	263,06
	2	300,78	307,40
	3	284,42	291,55
TCG 6	A		
	1	277,52	282,73
	2	246,24	251,82
	3	292,71	298,50
TCG 12	A		
	1	219,79	224,27
	2	284,11	289,89
	3	285,24	291,53
TCG 13	A		
	1	293,22	297,79
	2	282,05	287,91
	3	243,36	247,48
TCG 15	A		
	1	285,59	293,10
	2	277,67	284,87
	3	289,27	296,90

Ciclo No.13

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,56	214,29
	2	321,70	327,86
	3	232,14	240,66
SAN2	A		
	1	127,12	130,69
	2	284,01	292,21
	3	243,24	249,47
SAN 3	A		
	1	152,90	159,83
	2	220,04	227,69
	3	195,61	200,47
SAN 4	A		
	1	284,96	295,27
	2	291,55	301,38
	3	228,26	239,43
SAN 6	A		
	1	107,47	110,66
	2	177,79	185,20
	3	249,08	255,84
SAN 8	A		
	1	248,65	253,50
	2	283,05	288,75
	3	247,31	251,50
SAN 10	A		
	1	275,53	280,20
	2	216,87	219,73
	3	307,27	312,53
SAN 13	A		
	1	236,30	240,95
	2	278,32	283,19
	3	257,96	262,85

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,05	269,79
	2	247,51	253,14
	3	273,80	280,24
TCG 3	A		
	1	224,75	229,68
	2	249,69	256,00
	3	236,61	241,99
TCG 5	A		
	1	257,37	263,06
	2	300,78	307,32
	3	284,42	291,57
TCG 6	A		
	1	277,54	282,81
	2	246,23	252,06
	3	292,71	298,54
TCG 12	A		
	1	219,80	224,34
	2	284,09	289,91
	3	285,24	291,61
TCG 13	A		
	1	293,22	297,80
	2	282,04	287,85
	3	243,36	247,46
TCG 15	A		
	1	285,39	293,25
	2	277,66	284,87
	3	289,26	296,86

Ciclo No.14

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,59	215,57
	2	321,68	329,58
	3	232,26	242,23
SAN2	A		
	1	127,10	130,80
	2	284,00	292,71
	3	243,23	249,88
SAN 3	A		
	1	152,92	160,18
	2	219,67	227,96
	3	195,58	200,55
SAN 4	A		
	1	284,92	295,75
	2	291,54	301,88
	3	228,14	239,88
SAN 6	A		
	1	107,43	110,70
	2	177,74	185,55
	3	249,05	256,18
SAN 8	A		253,74
	1	248,64	253,74
	2	283,05	288,91
	3	247,29	251,71
SAN 10	A		
	1	275,51	280,41
	2	216,86	219,82
	3	307,28	312,65
SAN 13	A		
	1	236,31	241,17
	2	278,34	283,16
	3	257,98	263,03

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,05	270,09
	2	247,50	253,27
	3	273,80	280,51
TCG 3	A		
	1	224,76	229,83
	2	249,68	256,22
	3	236,62	242,23
TCG 5	A		
	1	257,34	263,28
	2	300,76	307,60
	3	284,43	291,99
TCG 6	A		
	1	277,52	283,07
	2	246,24	252,11
	3	292,73	298,63
TCG 12	A		
	1	219,83	224,31
	2	284,09	290,17
	3	285,24	291,74
TCG 13	A		
	1	293,22	297,92
	2	281,78	287,96
	3	243,35	247,04
TCG 15	A		
	1	285,61	293,44
	2	277,68	285,08
	3	289,33	297,14

Ciclo No.15

peso sec peso sat			
SAN 1	A		
	1	210,60	215,52
	2	321,66	329,55
	3	232,27	242,23
SAN2	A		
	1	127,09	130,88
	2	284,00	292,71
	3	243,22	249,87
SAN 3	A		
	1	152,91	160,18
	2	219,67	227,97
	3	195,58	200,56
SAN 4	A		
	1	284,90	295,76
	2	291,56	301,88
	3	228,12	239,90
SAN 6	A		
	1	107,45	110,71
	2	177,72	185,53
	3	249,04	256,16
SAN 8	A		
	1	248,63	253,73
	2	283,03	288,92
	3	247,27	251,71
SAN 10	A		
	1	275,50	280,41
	2	216,85	219,82
	3	307,28	312,65
SAN 13	A		
	1	236,30	241,17
	2	278,30	283,16
	3	257,97	263,03

peso sec peso sat			
TCG 2	A		
	1	263,04	270,09
	2	247,51	253,27
	3	273,80	280,50
TCG 3	A		
	1	224,76	229,83
	2	249,68	256,20
	3	236,62	242,23
TCG 5	A		
	1	257,32	263,29
	2	300,74	307,60
	3	284,40	291,98
TCG 6	A		
	1	277,50	283,07
	2	246,22	252,11
	3	292,70	298,64
TCG 12	A		
	1	219,82	224,33
	2	284,08	290,17
	3	285,24	291,74
TCG 13	A		
	1	293,21	297,92
	2	281,77	287,96
	3	243,34	247,64
TCG 15	A		
	1	285,62	293,43
	2	277,67	285,08
	3	289,31	297,14

Ciclo No.16

peso sec peso sat			
SAN 1	A		
	1	210,56	214,38
	2	321,66	327,91
	3	232,18	240,58
SAN2	A		
	1	127,12	130,71
	2	283,97	293,39
	3	243,21	249,55
SAN 3	A		
	1	152,73	159,95
	2	219,64	227,41
	3	195,55	200,42
SAN 4	A		
	1	284,90	295,31
	2	291,54	301,33
	3	228,09	239,16
SAN 6	A		
	1	107,43	110,56
	2	177,62	184,92
	3	249,04	255,79
SAN 8	A		
	1	248,63	253,47
	2	283,00	288,57
	3	247,27	251,63
SAN 10	A		
	1	275,51	280,31
	2	216,86	219,69
	3	307,26	312,55
SAN 13	A		
	1	236,31	240,94
	2	278,32	283,06
	3	257,96	262,89

peso sec peso sat			
TCG 2	A		
	1	263,02	269,50
	2	247,49	253,18
	3	273,77	280,34
TCG 3	A		
	1	224,74	229,80
	2	249,65	256,05
	3	236,58	242,16
TCG 5	A		
	1	257,32	263,16
	2	300,74	307,54
	3	284,40	291,82
TCG 6	A		
	1	277,51	282,91
	2	246,22	251,96
	3	292,73	298,50
TCG 12	A		
	1	219,81	282,91
	2	284,09	251,96
	3	285,22	298,50
TCG 13	A		
	1	293,20	224,31
	2	281,77	290,04
	3	243,27	291,65
TCG 15	A		
	1	285,61	293,35
	2	277,67	285,03
	3	289,22	296,85

Ciclo No.17

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,55	215,56
	2	321,65	329,51
	3	232,09	242,03
SAN2	A		
	1	127,10	130,83
	2	283,95	292,60
	3	243,20	249,77
SAN 3	A		
	1	152,75	160,34
	2	219,60	27,92
	3	195,52	200,57
SAN 4	A		
	1	284,90	295,74
	2	291,56	301,82
	3	228,11	239,87
SAN 6	A		
	1	107,42	110,70
	2	177,61	185,34
	3	249,04	256,13
SAN 8	A		
	1	248,65	253,68
	2	283,00	288,84
	3	247,23	251,66
SAN 10	A		
	1	275,51	280,41
	2	216,88	219,83
	3	307,25	312,69
SAN 13	A		
	1	236,31	241,18
	2	278,32	283,14
	3	257,95	262,96

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,01	270,03
	2	247,51	253,31
	3	273,78	280,47
TCG 3	A		
	1	224,71	229,78
	2	249,65	256,18
	3	236,58	242,16
TCG 5	A		
	1	257,32	263,21
	2	300,73	307,49
	3	284,40	291,95
TCG 6	A		
	1	277,51	282,91
	2	246,22	252,08
	3	292,72	298,71
TCG 12	A		
	1	219,81	224,32
	2	284,09	290,10
	3	285,22	291,73
TCG 13	A		
	1	293,20	297,88
	2	281,76	288,02
	3	243,27	247,61
TCG 15	A		
	1	285,58	293,41
	2	277,63	285,16
	3	289,19	297,05

Ciclo No.18

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,55	214,41
	2	321,63	327,84
	3	232,05	240,60
SAN2	A		
	1	127,11	130,69
	2	283,99	292,20
	3	243,20	249,51
SAN 3	A		
	1	152,69	159,75
	2	219,59	227,44
	3	195,53	200,33
SAN 4	A		
	1	285,04	295,20
	2	291,55	301,32
	3	228,11	239,17
SAN 6	A		
	1	107,42	110,56
	2	177,59	184,85
	3	249,03	255,77
SAN 8	A		
	1	248,64	253,37
	2	283,00	288,47
	3	247,22	251,51
SAN 10	A		
	1	275,51	280,21
	2	216,86	219,73
	3	307,26	312,49
SAN 13	A		
	1	236,30	240,97
	2	278,32	282,94
	3	257,96	262,88

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,00	269,72
	2	247,51	253,00
	3	273,77	280,11
TCG 3	A	261,43	
	1	224,73	229,56
	2	249,65	255,84
	3	236,57	241,93
TCG 5	A	236,98	
	1	257,32	263,00
	2	300,73	307,17
	3	284,40	291,48
TCG 6	A	280,82	
	1	277,51	282,79
	2	246,21	251,86
	3	292,71	298,38
TCG 12	A	272,14	
	1	219,81	224,20
	2	284,08	289,93
	3	285,22	291,44
TCG 13	A	263,04	
	1	293,19	297,74
	2	281,73	287,68
	3	243,27	247,40
TCG 15	A	272,73	
	1	285,58	293,14
	2	277,65	284,87
	3	289,21	296,75

Ciclo No.19

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,56	214,32
	2	321,62	327,88
	3	232,00	240,62
SAN2	A		
	1	127,11	130,73
	2	283,96	292,45
	3	243,21	249,60
SAN 3	A		
	1	152,63	159,91
	2	219,56	227,54
	3	195,53	249,62
SAN 4	A		
	1	284,85	295,40
	2	291,50	301,36
	3	228,10	239,08
SAN 6	A		
	1	107,40	110,53
	2	177,52	185,06
	3	249,00	255,79
SAN 8	A		
	1	248,62	253,52
	2	282,99	288,61
	3	247,27	251,59
SAN 10	A		
	1	275,51	280,32
	2	216,87	219,74
	3	307,26	312,51
SAN 13	A		
	1	236,29	241,00
	2	278,30	283,09
	3	257,96	263,03

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,00	269,82
	2	247,49	253,16
	3	273,77	280,21
TCG 3	A		
	1	224,73	229,62
	2	249,65	255,98
	3	236,56	242,14
TCG 5	A		
	1	257,31	263,05
	2	300,73	307,35
	3	284,39	291,73
TCG 6	A		
	1	277,50	282,85
	2	246,21	252,06
	3	292,71	298,52
TCG 12	A		
	1	219,82	224,30
	2	284,08	290,03
	3	285,23	291,72
TCG 13	A		
	1	293,18	297,76
	2	281,71	287,88
	3	243,27	247,57
TCG 15	A		
	1	285,58	293,27
	2	277,65	284,99
	3	289,20	296,80

Ciclo No.20

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,57	214,38
	2	321,61	327,91
	3	231,99	240,58
SAN2	A		
	1	127,11	130,71
	2	283,98	292,39
	3	243,20	249,55
SAN 3	A		
	1	152,63	159,95
	2	219,50	227,41
	3	195,50	200,42
SAN 4	A		
	1	284,77	295,31
	2	291,50	301,33
	3	228,08	239,16
SAN 6	A		
	1	107,38	110,56
	2	177,38	184,92
	3	249,00	255,79
SAN 8	A		
	1	248,61	253,47
	2	282,99	288,57
	3	247,27	251,63
SAN 10	A		
	1	275,52	280,31
	2	216,86	219,69
	3	307,25	312,55
SAN 13	A		
	1	236,29	240,94
	2	278,30	283,06
	3	257,95	262,89

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	263,02	269,50
	2	247,49	253,82
	3	273,75	280,34
TCG 3	A		
	1	224,70	229,80
	2	249,62	256,05
	3	236,56	242,16
TCG 5	A		
	1	257,25	263,16
	2	330,71	307,54
	3	284,38	291,82
TCG 6	A		
	1	277,47	282,91
	2	246,20	251,96
	3	292,69	298,50
TCG 12	A		
	1	219,80	224,31
	2	284,06	290,04
	3	285,21	291,65
TCG 13	A		
	1	293,18	297,84
	2	281,70	287,71
	3	243,28	247,49
TCG 15	A		
	1	285,58	293,35
	2	277,65	285,03
	3	289,20	286,85

Ciclo No.21

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,56	214,10
	2	321,61	327,39
	3	231,97	240,17
SAN2	A		
	1	127,11	130,65
	2	283,98	292,03
	3	243,21	249,41
SAN 3	A		
	1	152,61	159,51
	2	219,43	227,19
	3	195,50	200,32
SAN 4	A		
	1	284,76	294,89
	2	291,46	301,25
	3	228,05	239,05
SAN 6	A		
	1	107,36	110,49
	2	177,38	184,37
	3	248,99	255,76
SAN 8	A		
	1	248,59	253,04
	2	282,96	288,06
	3	247,26	251,34
SAN 10	A		
	1	275,51	280,00
	2	216,84	219,72
	3	307,27	312,11
SAN 13	A		
	1	236,28	240,83
	2	278,30	282,79
	3	257,94	262,73

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	262,75	269,85
	2	247,47	252,98
	3	273,71	280,13
TCG 3	A		
	1	224,70	229,53
	2	249,36	255,86
	3	236,57	241,88
TCG 5	A		
	1	257,27	262,80
	2	300,73	307,34
	3	284,40	291,63
TCG 6	A		
	1	277,49	282,80
	2	246,18	251,95
	3	292,69	298,33
TCG 12	A		
	1	219,82	224,34
	2	284,06	290,01
	3	285,23	291,41
TCG 13	A		
	1	293,18	297,50
	2	281,66	287,53
	3	243,27	247,35
TCG 15	A		
	1	285,57	293,13
	2	277,64	284,91
	3	289,19	296,71

Ciclo No.22

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,58	214,45
	2	321,59	327,98
	3	231,95	240,68
SAN2	A		
	1	127,12	130,67
	2	284,01	292,07
	3	243,24	249,39
SAN 3	A		
	1	152,63	159,26
	2	219,38	226,36
	3	195,54	200,30
SAN 4	A		
	1	284,62	295,03
	2	291,53	301,41
	3	228,07	239,03
SAN 6	A		
	1	107,40	110,46
	2	177,01	184,23
	3	249,06	255,73
SAN 8	A		
	1	248,61	253,43
	2	283,02	288,58
	3	247,25	251,56
SAN 10	A		
	1	275,51	280,12
	2	216,90	219,67
	3	307,30	312,31
SAN 13	A		
	1	236,27	240,97
	2	278,30	282,99
	3	257,94	266,76

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	262,77	269,82
	2	247,47	252,95
	3	273,77	280,15
TCG 3	A		
	1	224,73	229,51
	2	249,66	255,86
	3	236,56	241,95
TCG 5	A		
	1	257,24	262,89
	2	300,73	307,22
	3	284,40	291,45
TCG 6	A		
	1	277,51	282,76
	2	246,21	251,77
	3	292,71	298,38
TCG 12	A		
	1	219,78	224,25
	2	284,07	289,90
	3	285,24	291,41
TCG 13	A		
	1	293,18	297,63
	2	281,66	287,51
	3	243,25	247,35
TCG 15	A		
	1	285,60	293,11
	2	277,65	284,78
	3	289,18	296,64

Ciclo No.23

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,55	214,41
	2	321,65	327,84
	3	232,09	240,60
SAN2	A		
	1	127,10	130,69
	2	283,95	292,20
	3	243,20	249,51
SAN 3	A		
	1	152,75	159,75
	2	219,60	227,44
	3	195,52	200,33
SAN 4	A		
	1	284,90	295,20
	2	291,56	301,32
	3	228,11	239,17
SAN 6	A		
	1	107,42	110,56
	2	177,61	184,85
	3	249,04	255,77
SAN 8	A		
	1	248,65	253,37
	2	283,00	288,47
	3	247,23	251,51
SAN 10	A		
	1	275,51	280,21
	2	216,88	219,73
	3	307,25	312,49
SAN 13	A		
	1	236,31	240,97
	2	278,32	282,94
	3	257,95	262,88

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	262,74	269,72
	2	247,51	253,00
	3	273,78	280,11
TCG 3	A		
	1	224,71	229,56
	2	249,65	255,84
	3	236,58	241,93
TCG 5	A		
	1	257,32	263,00
	2	300,73	307,17
	3	284,40	291,48
TCG 6	A		
	1	277,51	282,79
	2	246,22	251,86
	3	292,72	298,38
TCG 12	A		
	1	219,81	224,20
	2	284,09	289,93
	3	285,22	291,44
TCG 13	A		
	1	293,20	297,74
	2	281,76	287,68
	3	243,27	247,40
TCG 15	A		
	1	285,58	293,14
	2	277,63	284,87
	3	289,19	296,75

Ciclo No.24

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,56	214,10
	2	321,61	327,39
	3	231,97	240,17
SAN2	A		
	1	127,11	130,65
	2	283,98	292,03
	3	243,21	249,41
SAN 3	A		
	1	152,61	159,51
	2	219,43	227,19
	3	195,50	200,32
SAN 4	A		
	1	284,76	294,89
	2	291,46	301,25
	3	228,05	239,05
SAN 6	A		
	1	107,36	110,49
	2	177,38	184,37
	3	248,99	255,76
SAN 8	A		
	1	248,59	253,04
	2	282,96	288,06
	3	247,26	251,34
SAN 10	A		
	1	275,51	280,00
	2	216,84	219,72
	3	307,27	312,11
SAN 13	A		
	1	236,28	240,83
	2	278,30	282,79
	3	257,94	262,73

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	262,77	269,80
	2	247,47	252,95
	3	273,77	280,15
TCG 3	A		
	1	224,73	229,51
	2	249,66	255,86
	3	236,56	241,95
TCG 5	A		
	1	257,24	262,89
	2	300,73	307,22
	3	284,40	291,45
TCG 6	A		
	1	277,51	282,76
	2	246,21	251,77
	3	292,71	298,38
TCG 12	A		
	1	219,78	224,25
	2	284,07	289,90
	3	285,24	291,41
TCG 13	A		
	1	293,18	297,63
	2	281,66	287,51
	3	243,25	247,35
TCG 15	A		
	1	285,60	293,11
	2	277,65	284,78
	3	289,18	296,64

Ciclo No.25

		peso sec	peso sat
SAN 1	A		
	1	210,56	214,10
	2	321,61	327,39
	3	231,97	240,17
SAN2	A		
	1	127,11	130,65
	2	283,98	292,03
	3	243,21	249,41
SAN 3	A		
	1	152,61	159,51
	2	219,43	227,19
	3	195,50	200,32
SAN 4	A		
	1	284,76	294,89
	2	291,46	301,25
	3	228,05	239,05
SAN 6	A		
	1	107,36	110,49
	2	177,38	184,37
	3	248,99	255,76
SAN 8	A		
	1	248,59	253,04
	2	282,96	288,06
	3	247,26	251,34
SAN 10	A		
	1	275,51	280,00
	2	216,84	219,72
	3	307,27	312,11
SAN 13	A		
	1	236,28	240,83
	2	278,30	282,79
	3	257,94	262,73

		peso sec	peso sat
TCG 2	A		
	1	262,75	269,85
	2	247,47	252,98
	3	273,71	280,13
TCG 3	A		
	1	224,70	229,53
	2	249,36	255,86
	3	236,57	241,88
TCG 5	A		
	1	257,27	262,80
	2	300,73	307,34
	3	284,40	291,63
TCG 6	A		
	1	277,49	282,80
	2	246,18	251,95
	3	292,69	298,33
TCG 12	A		
	1	219,82	224,34
	2	284,06	290,01
	3	285,23	291,41
TCG 13	A		
	1	293,18	297,50
	2	281,66	287,53
	3	243,27	247,35
TCG 15	A		
	1	285,57	293,13
	2	277,64	284,91
	3	289,19	296,71

Ciclo No.1

	peso sec	peso sat
SAN 1	255,30	261,41
SAN2	218,37	224,46
SAN 3	191,32	197,39
SAN 4	269,04	279,46
SAN 6	178,60	184,21
SAN 8	260,10	231,85
SAN 10	266,80	271,30
SAN 13	258,51	263,26

	peso sec	peso sat
TCG 2	262,30	268,64
TCG 3	237,55	243,37
TCG 5	281,38	288,36
TCG 6	273,29	279,41
TCG 12	263,23	269,17
TCG 13	273,50	276,76
TCG 15	284,43	292,40

Ciclo No.2

	peso sec	peso sat
SAN 1	255,27	261,41
SAN2	218,37	224,26
SAN 3	191,04	197,37
SAN 4	269,04	279,14
SAN 6	178,71	184,14
SAN 8	260,22	264,86
SAN 10	266,77	271,01
SAN 13	258,29	262,79

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,86	268,06
TCG 3	237,40	242,82
TCG 5	281,27	287,61
TCG 6	273,23	278,71
TCG 12	263,21	268,71
TCG 13	273,50	278,21
TCG 15	284,55	291,93

Ciclo No.3

	peso sec	peso sat
SAN 1	255,03	261,46
SAN2	218,23	224,29
SAN 3	190,20	196,62
SAN 4	268,64	279,17
SAN 6	178,30	183,98
SAN 8	259,83	264,83
SAN 10	266,70	270,96
SAN 13	257,98	262,75

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,65	268,20
TCG 3	237,18	242,86
TCG 5	281,02	287,71
TCG 6	272,99	278,76
TCG 12	263,11	268,75
TCG 13	273,21	278,09
TCG 15	284,29	291,84

Ciclo No.4

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,98	261,45
SAN2	218,19	224,30
SAN 3	190,13	196,80
SAN 4	268,60	279,12
SAN 6	178,27	184,08
SAN 8	259,83	264,86
SAN 10	266,67	271,01
SAN 13	257,96	262,85

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,63	268,15
TCG 3	237,13	242,80
TCG 5	281,01	287,69
TCG 6	272,98	278,69
TCG 12	263,12	268,78
TCG 13	273,09	278,07
TCG 15	284,28	291,88

Ciclo No. 5

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,96	261,37
SAN2	218,18	224,31
SAN 3	189,97	196,57
SAN 4	268,52	279,12
SAN 6	178,21	183,92
SAN 8	259,78	264,78
SAN 10	266,65	270,91
SAN 13	257,94	262,79

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,59	268,16
TCG 3	237,09	242,86
TCG 5	280,96	287,70
TCG 6	272,95	278,41
TCG 12	263,09	268,83
TCG 13	273,02	287,07
TCG 15	284,27	291,99

Ciclo No.6

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,94	261,48
SAN2	218,17	224,28
SAN 3	189,95	196,31
SAN 4	268,47	279,11
SAN 6	178,21	183,96
SAN 8	259,77	264,73
SAN 10	266,65	270,97
SAN 13	257,94	262,72

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,56	268,13
TCG 3	237,08	242,82
TCG 5	280,94	287,69
TCG 6	272,50	278,02
TCG 12	263,09	268,83
TCG 13	273,02	278,09
TCG 15	284,26	291,86

Ciclo No.7

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,91	261,36
SAN2	218,16	224,21
SAN 3	189,70	196,,27
SAN 4	268,41	278,99
SAN 6	178,17	183,92
SAN 8	259,76	264,77
SAN 10	266,64	270,87
SAN 13	257,92	262,69

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,54	268,00
TCG 3	237,06	242,78
TCG 5	280,92	287,64
TCG 6	272,19	277,95
TCG 12	263,08	268,86
TCG 13	272,99	278,01
TCG 15	284,25	291,88

Ciclo No.8

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,89	261,42
SAN2	218,16	224,26
SAN 3	189,62	196,20
SAN 4	268,36	278,86
SAN 6	178,15	184,21
SAN 8	259,76	266,68
SAN 10	266,59	270,81
SAN 13	257,90	262,71

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,52	267,79
TCG 3	237,06	242,66
TCG 5	280,90	287,40
TCG 6	272,14	277,77
TCG 12	263,09	268,59
TCG 13	272,99	277,88
TCG 15	284,24	291,76

Ciclo No.9

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,87	261,37
SAN2	218,15	224,25
SAN 3	189,62	196,80
SAN 4	268,32	278,87
SAN 6	178,14	183,89
SAN 8	259,75	264,71
SAN 10	266,59	270,85
SAN 13	257,90	262,69

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,52	267,76
TCG 3	237,05	242,61
TCG 5	280,89	287,35
TCG 6	272,19	277,76
TCG 12	263,09	268,61
TCG 13	272,94	277,84
TCG 15	284,23	291,74

Ciclo No.10

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,85	261,45
SAN2	218,14	224,25
SAN 3	189,59	196,19
SAN 4	268,29	278,91
SAN 6	178,15	183,72
SAN 8	259,75	264,71
SAN 10	266,58	270,88
SAN 13	257,91	262,30

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,49	267,78
TCG 3	237,05	242,62
TCG 5	280,88	287,41
TCG 6	272,18	277,75
TCG 12	263,10	268,59
TCG 13	272,91	277,80
TCG 15	284,24	291,47

Ciclo No.11

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,83	261,32
SAN2	218,12	224,22
SAN 3	189,57	196,18
SAN 4	268,27	278,81
SAN 6	178,12	183,81
SAN 8	259,66	264,63
SAN 10	266,57	270,88
SAN 13	257,57	262,28

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,48	267,74
TCG 3	237,03	242,59
TCG 5	280,86	287,35
TCG 6	272,17	277,75
TCG 12	263,07	268,60
TCG 13	272,90	277,77
TCG 15	284,23	291,69

Ciclo No.12

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,82	261,25
SAN2	218,12	224,22
SAN 3	189,54	196,08
SAN 4	268,26	278,74
SAN 6	178,12	183,80
SAN 8	259,67	264,57
SAN 10	266,57	270,80
SAN 13	257,54	262,24

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,46	267,76
TCG 3	237,02	242,54
TCG 5	280,86	287,34
TCG 6	272,16	277,68
TCG 12	263,05	268,56
TCG 13	272,88	277,73
TCG 15	284,22	291,62

Ciclo No.13

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,80	260,94
SAN2	218,12	224,12
SAN 3	189,52	196,00
SAN 4	268,26	278,69
SAN 6	178,11	183,90
SAN 8	259,67	264,58
SAN 10	266,56	270,82
SAN 13	257,53	262,33

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,45	267,72
TCG 3	237,02	242,56
TCG 5	280,86	287,32
TCG 6	272,16	277,80
TCG 12	263,04	268,62
TCG 13	272,87	277,70
TCG 15	284,21	291,66

Ciclo No.14

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,80	262,46
SAN2	218,11	224,46
SAN 3	189,39	196,23
SAN 4	268,20	279,17
SAN 6	178,07	184,14
SAN 8	259,66	264,79
SAN 10	266,55	270,96
SAN 13	257,54	262,45

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,45	267,96
TCG 3	237,02	242,76
TCG 5	280,84	287,62
TCG 6	272,16	277,94
TCG 12	263,05	268,74
TCG 13	272,78	277,64
TCG 15	284,21	291,89

Ciclo No.15

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,79	262,43
SAN2	218,10	224,49
SAN 3	189,39	196,24
SAN 4	268,19	279,18
SAN 6	178,07	184,13
SAN 8	259,64	264,79
SAN 10	266,54	270,96
SAN 13	257,52	262,45

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,45	267,95
TCG 3	237,02	242,75
TCG 5	280,82	287,62
TCG 6	272,14	277,94
TCG 12	263,05	268,75
TCG 13	272,77	277,84
TCG 15	284,20	291,88

Ciclo No.16

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,77	260,96
SAN2	218,10	224,55
SAN 3	189,31	195,93
SAN 4	268,18	278,60
SAN 6	178,03	183,76
SAN 8	259,63	264,56
SAN 10	266,54	270,85
SAN 13	257,53	262,30

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,43	267,67
TCG 3	236,99	242,67
TCG 5	280,82	287,51
TCG 6	272,15	277,79
TCG 12	263,04	268,67
TCG 13	272,75	268,67
TCG 15	284,17	291,74

Ciclo No.17

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,76	262,37
SAN2	218,10	224,40
SAN 3	189,29	196,28
SAN 4	268,19	279,14
SAN 6	178,02	184,06
SAN 8	259,63	264,73
SAN 10	266,55	270,98
SAN 13	257,53	262,43

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,43	267,94
TCG 3	236,98	242,71
TCG 5	280,82	287,55
TCG 6	272,15	277,90
TCG 12	263,04	268,72
TCG 13	272,74	277,84
TCG 15	284,17	291,87

Ciclo No.18

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,74	260,95
SAN2	218,10	224,13
SAN 3	189,27	195,84
SAN 4	268,17	278,56
SAN 6	178,01	183,73
SAN 8	259,62	264,45
SAN 10	266,54	270,81
SAN 13	257,53	262,26

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,43	267,61
TCG 3	236,98	242,44
TCG 5	280,82	287,22
TCG 6	272,14	277,68
TCG 12	263,04	268,52
TCG 13	272,73	277,61
TCG 15	284,15	291,59

Ciclo No.19

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,73	260,94
SAN2	218,09	224,26
SAN 3	189,24	212,36
SAN 4	268,15	278,61
SAN 6	177,97	183,79
SAN 8	259,63	264,57
SAN 10	266,55	270,86
SAN 13	257,52	262,37

	peso sec	peso sat
TCG 2	261,42	267,73
TCG 3	236,98	242,58
TCG 5	280,81	287,38
TCG 6	272,14	277,81
TCG 12	263,04	268,68
TCG 13	272,72	277,74
TCG 15	284,14	291,69

Ciclo No.20

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,72	260,96
SAN2	218,10	224,22
SAN 3	189,21	195,93
SAN 4	268,12	278,60
SAN 6	177,92	183,76
SAN 8	259,62	264,56
SAN 10	266,54	270,85
SAN 13	257,51	262,30

	peso sec	peso sat
TCG 2	260,42	267,89
TCG 3	236,96	242,67
TCG 5	280,78	287,51
TCG 6	272,12	277,79
TCG 12	263,02	268,67
TCG 13	272,72	277,68
TCG 15	284,14	288,41

Ciclo No.21

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,71	260,55
SAN2	218,10	224,03
SAN 3	189,18	195,67
SAN 4	268,09	278,40
SAN 6	177,91	183,54
SAN 8	259,60	264,55
SAN 10	266,54	270,61
SAN 13	257,51	262,22

	peso sec	peso sat
TCG 2	260,31	267,65
TCG 3	236,98	242,42
TCG 5	280,80	287,26
TCG 6	272,12	277,69
TCG 12	263,04	268,59
TCG 13	272,70	277,46
TCG 15	284,13	291,58

Ciclo No.22

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,71	261,04
SAN2	218,10	224,04
SAN 3	189,18	195,31
SAN 4	268,07	278,49
SAN 6	177,82	183,47
SAN 8	259,63	264,52
SAN 10	266,57	270,70
SAN 13	257,50	261,91

	peso sec	peso sat
TCG 2	260,34	267,64
TCG 3	236,98	242,44
TCG 5	280,79	287,19
TCG 6	272,14	277,64
TCG 12	263,03	268,52
TCG 13	272,70	277,50
TCG 15	284,14	291,51

Ciclo No.23

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,73	260,95
SAN2	218,10	224,03
SAN 3	189,19	195,84
SAN 4	268,09	278,42
SAN 6	177,88	183,47
SAN 8	259,63	264,45
SAN 10	266,55	270,81
SAN 13	257,53	261,90

	peso sec	peso sat
TCG 2	260,33	267,61
TCG 3	236,98	242,44
TCG 5	280,82	287,22
TCG 6	272,15	277,68
TCG 12	263,04	268,52
TCG 13	272,74	277,61
TCG 15	284,13	291,59

Ciclo No.24

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,71	260,55
SAN2	218,10	224,03
SAN 3	189,18	195,67
SAN 4	268,09	278,40
SAN 6	177,91	183,54
SAN 8	259,60	264,15
SAN 10	266,54	270,61
SAN 13	257,51	261,89

	peso sec	peso sat
TCG 2	260,32	267,63
TCG 3	236,98	242,44
TCG 5	280,79	287,19
TCG 6	272,14	277,64
TCG 12	263,03	268,52
TCG 13	272,70	277,50
TCG 15	284,14	291,51

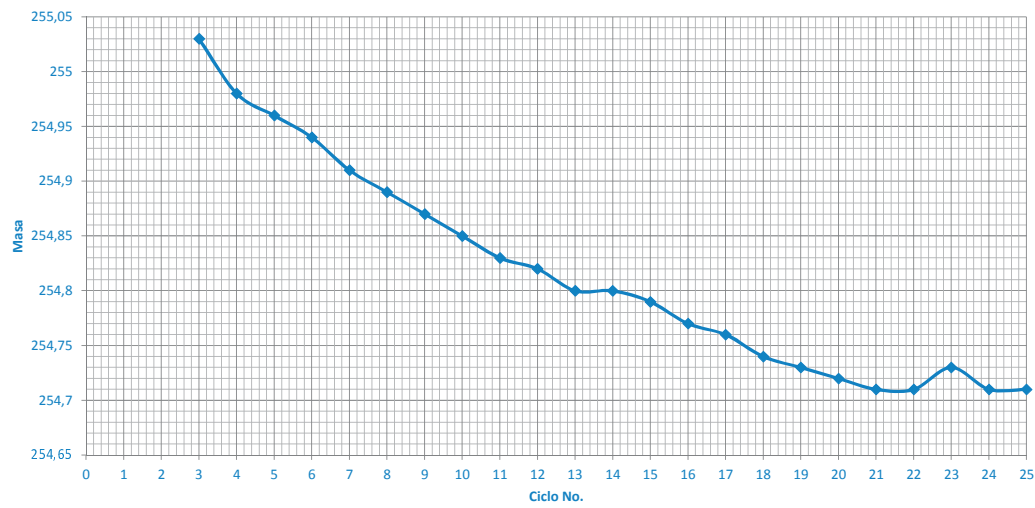
Ciclo No.25

	peso sec	peso sat
SAN 1	254,71	260,55
SAN2	218,10	224,03
SAN 3	189,18	195,67
SAN 4	268,09	278,40
SAN 6	177,90	183,47
SAN 8	259,60	264,15
SAN 10	266,54	270,81
SAN 13	257,51	261,90

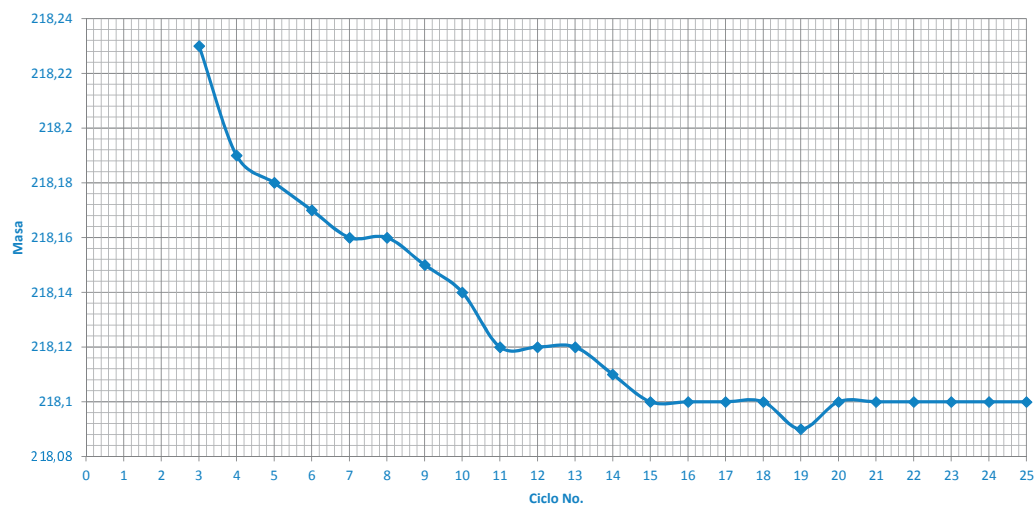
	peso sec	peso sat
TCG 2	260,31	267,65
TCG 3	236,98	242,42
TCG 5	280,80	287,26
TCG 6	272,12	277,69
TCG 12	263,04	268,59
TCG 13	272,70	277,46
TCG 15	284,13	291,58

ANEXO 7

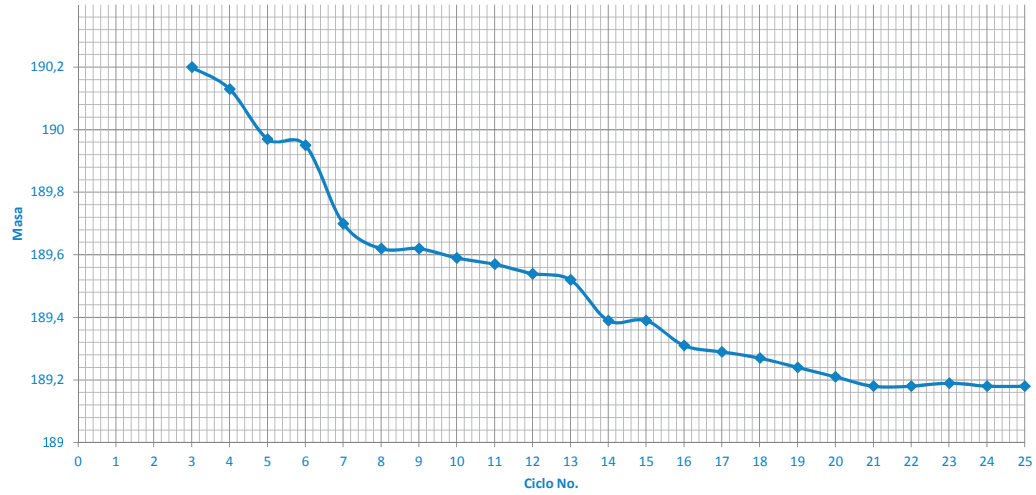
Muestra : SAN 1



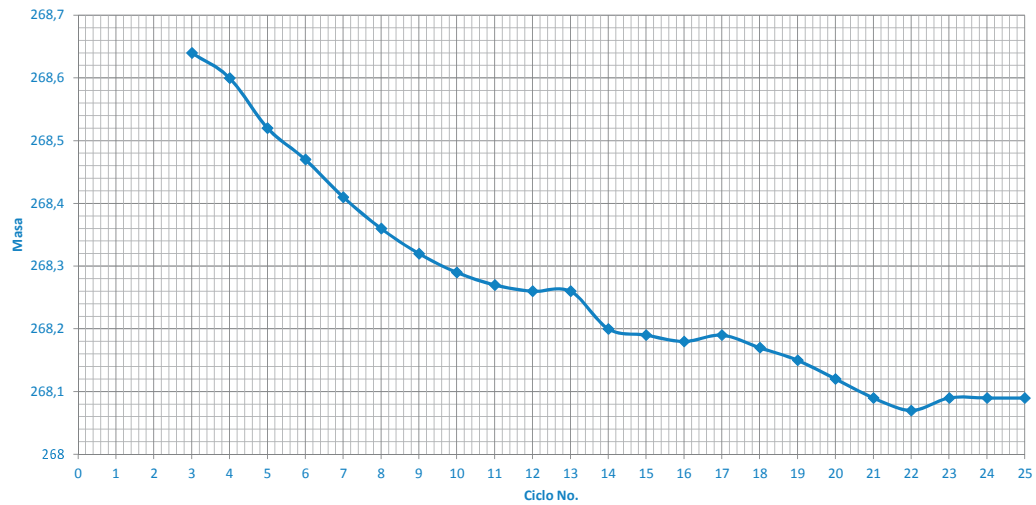
Muestra : SAN 2

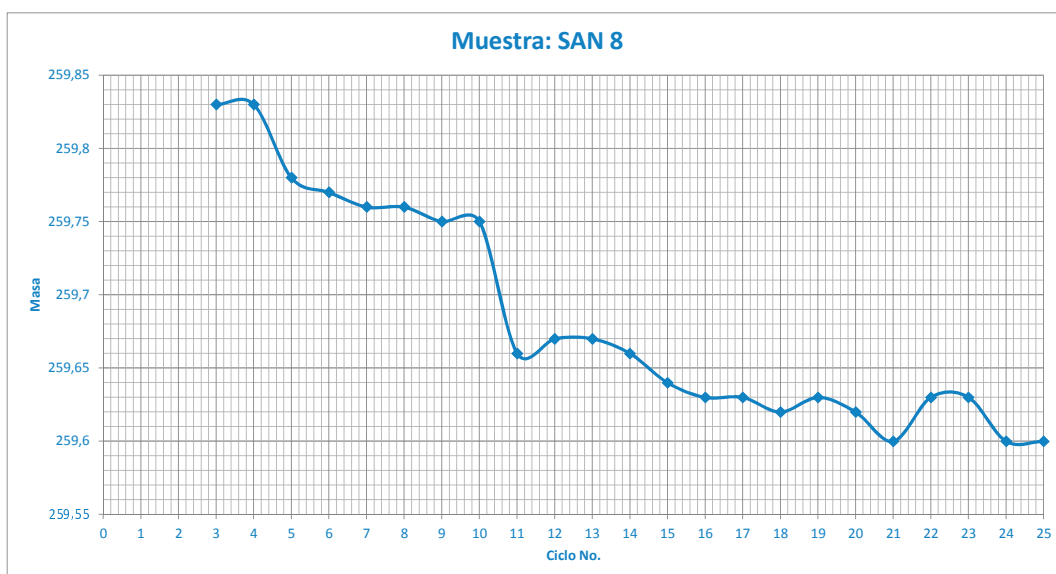
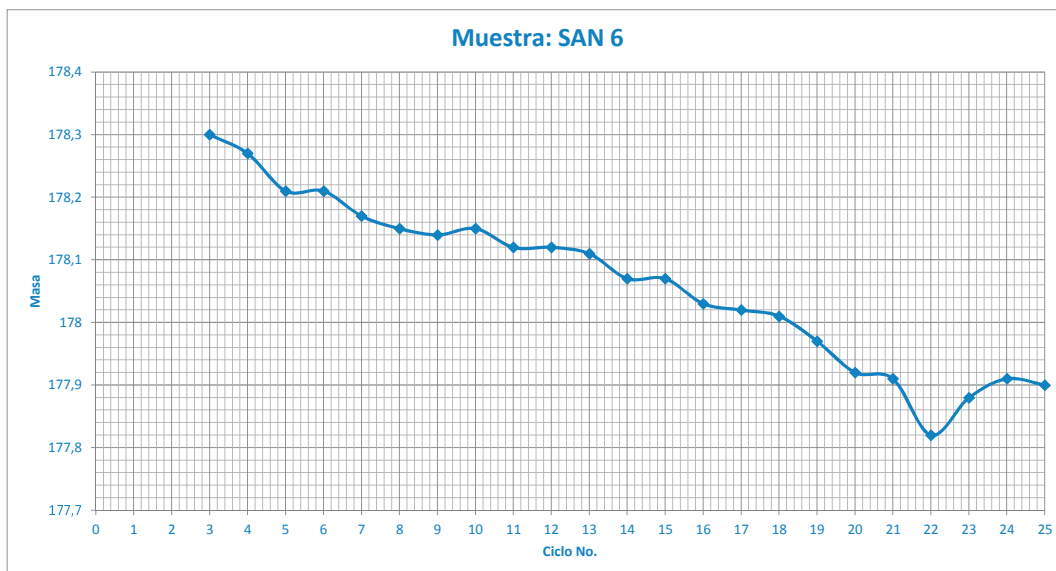


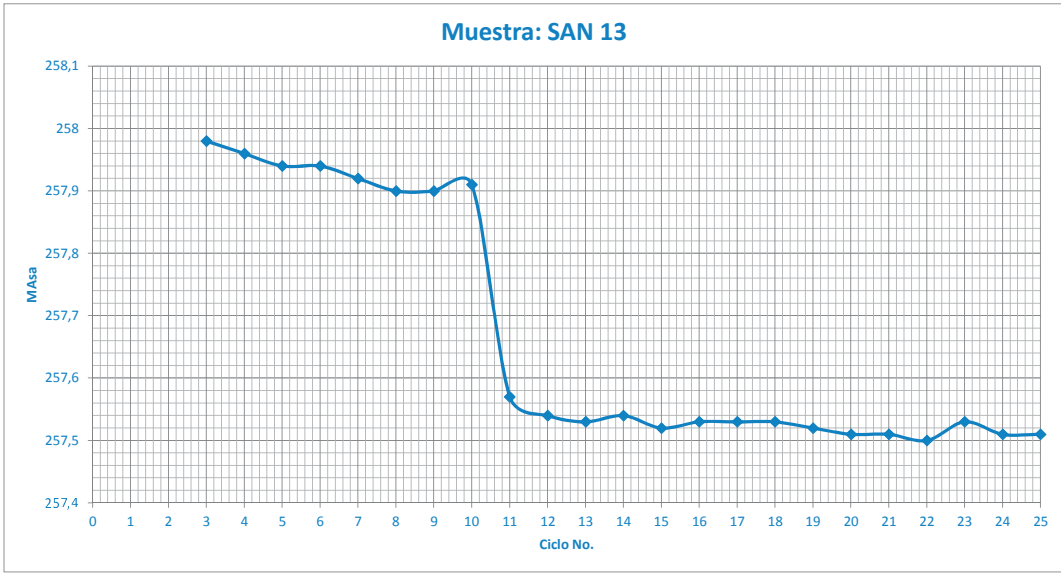
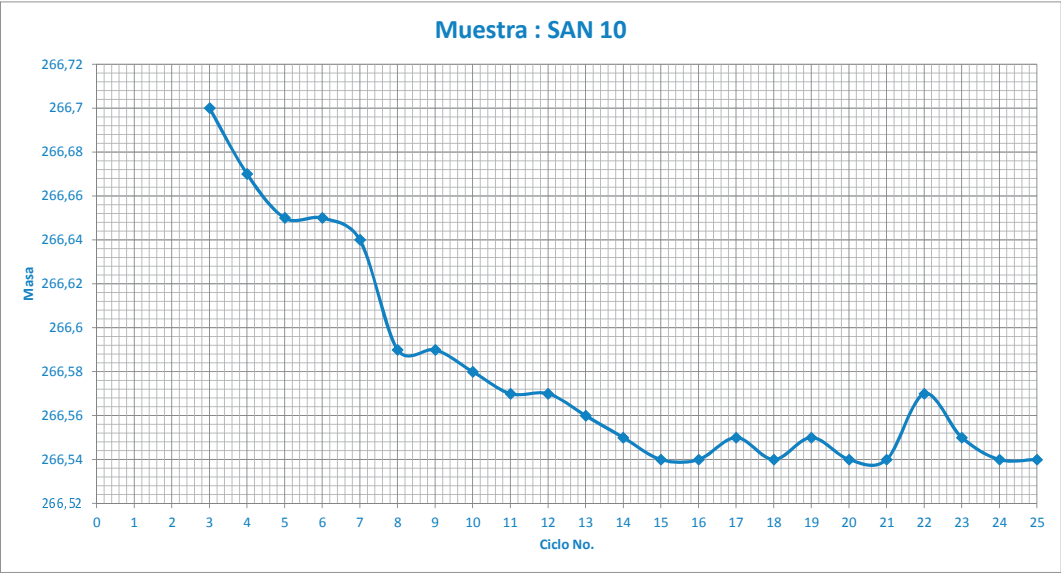
Muestra : SAN 3

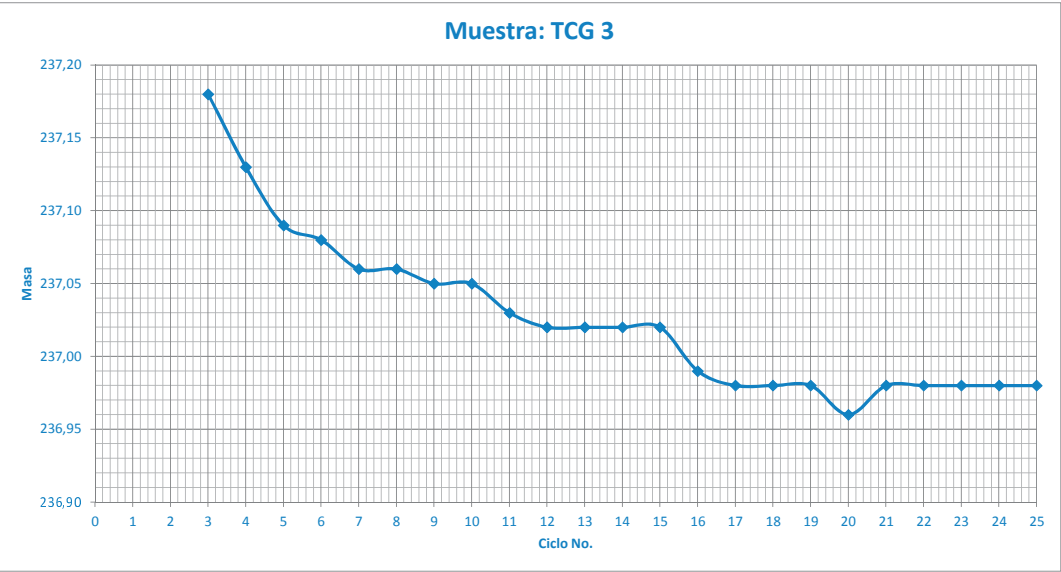
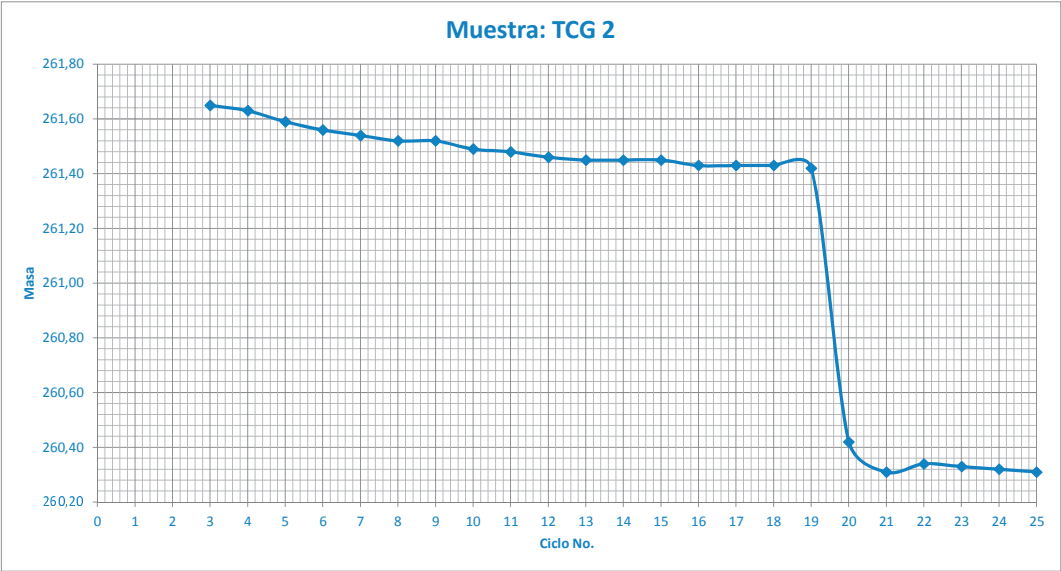


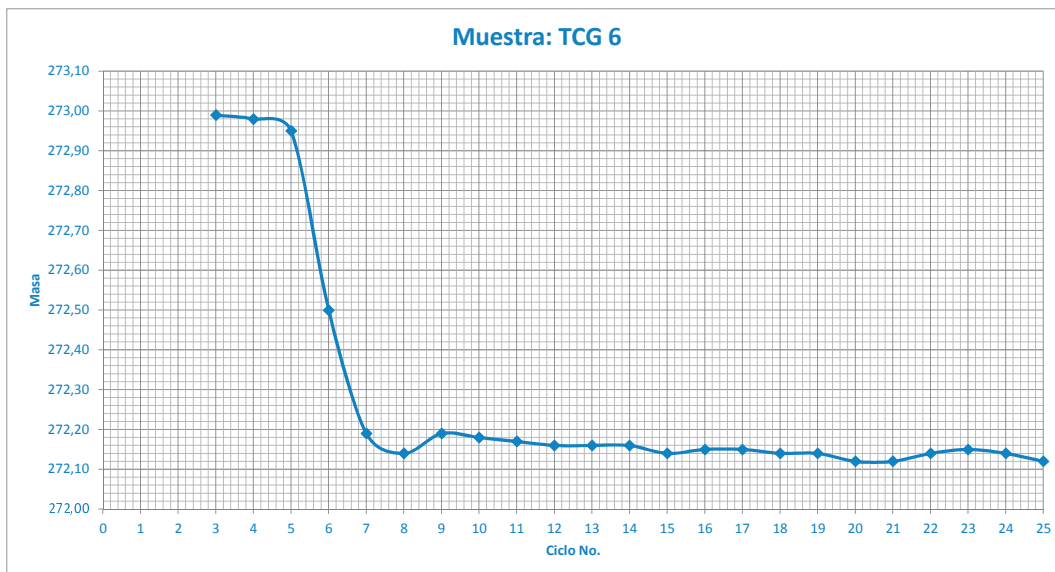
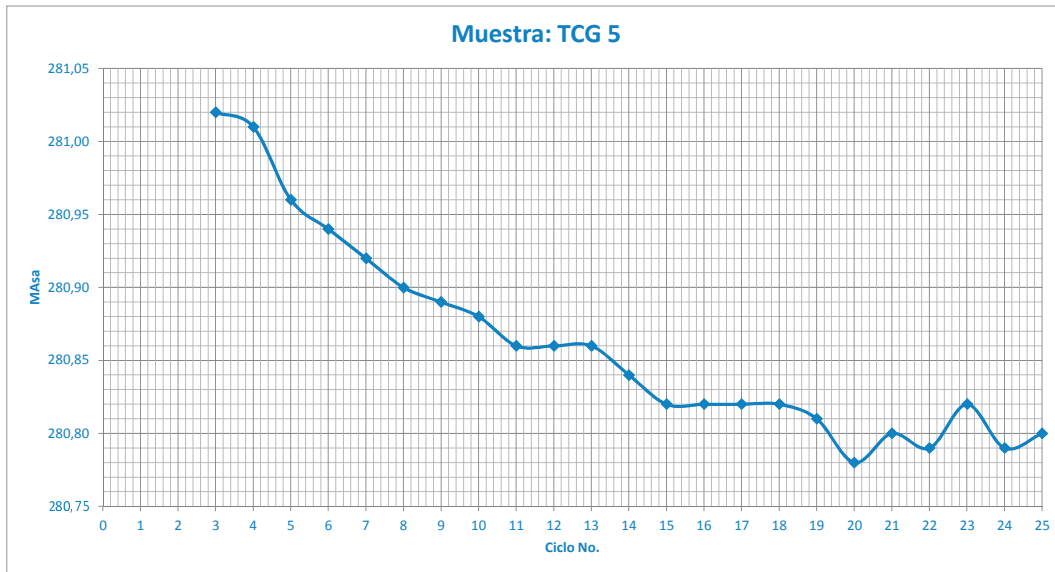
Muestra: SAN 4



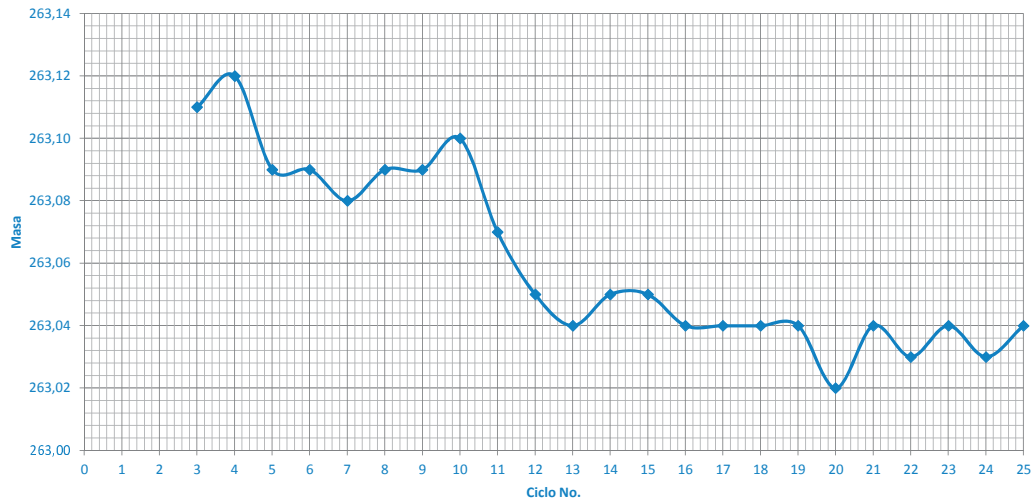




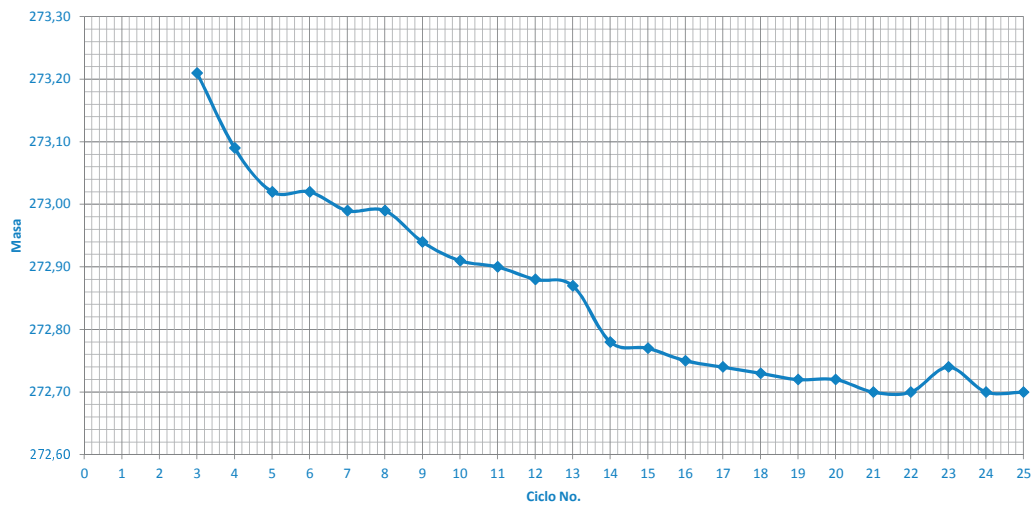


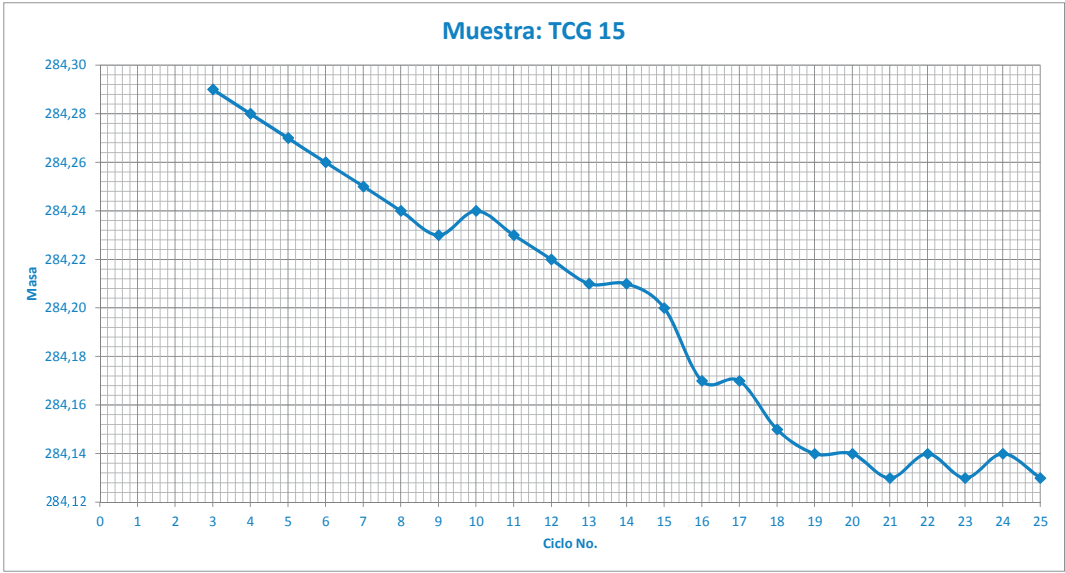


Muestra: TCG 12



Muestra: TCG 13





**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN UNE
CANTERA SAN ANTONIO NORTE (SAN)**

CORDENADAS DEL SEGMENTO LEVANTADO: N: 1.138.581.
E: 1.117.528.
Z: 2599 m

PROYECTO: Investigación y Caracterización de Rocas
Orbamentales en la Formación de los Ingenieros Civiles

ESCALA: 1:10

FECHA: 24 - 02 - 2015

EDAD	UNIDAD	SEGMENTO	PUNTO POLIGONAL	MUESTRA	ESPESOR ACUMULADO	LITOLOGIA, FORMA DE ESTRATOS, LAMINACIÓN INTERNA													ESTRATIFICACIÓN INTERNA	COLOR	DENSIDAD				POROSIDAD				ABSORCIÓN								
						Md	Wc	Pc	Gr	Carbonatos	A	A+Li	Li	mf	f	m	mg	g			4	8	16	32	64	2.40	2.45	2.50	2.55	2	4	6	8	1	2	3	4
				SAN 1																																	
				SAN 2																																	
				SAN 3																																	
				SAN 4																																	
				SAN 5																																	
				SAN 6																																	
				SAN 7																																	
				SAN 8																																	
				SAN 9																																	
				SAN 10																																	
				SAN 11																																	
				SAN 12																																	
				SAN 13																																	
				SAN 14																																	
				SAN 15																																	

CONVENCIONES :



CUARZOARENITA

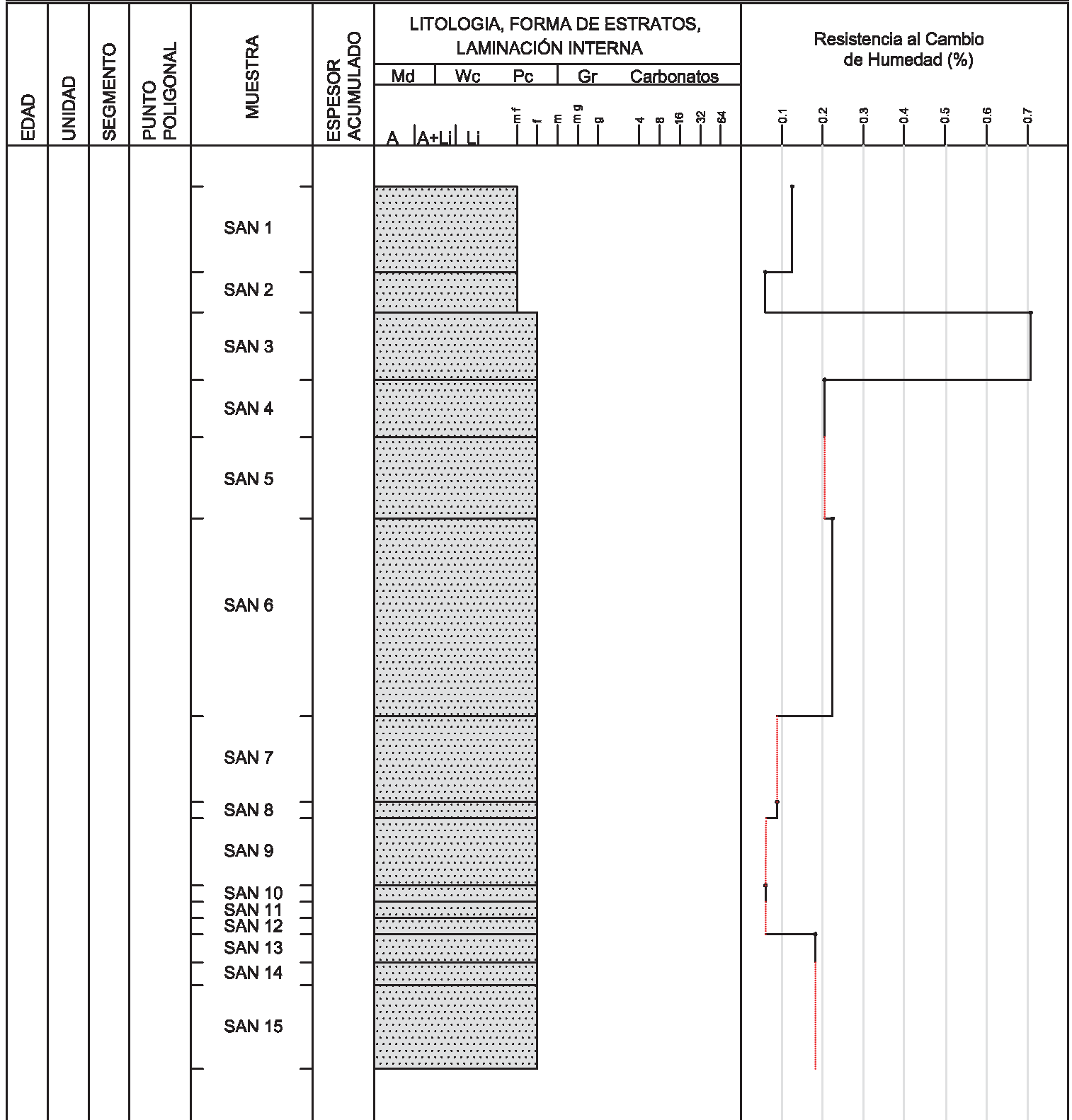
**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN UNE
CANTERA SAN ANTONIO NORTE (SAN)**

CORDENADAS DEL SEGMENTO LEVANTADO: N: 1.138.581.
E: 1.117.526.
Z: 2599 m

PROYECTO: Investigación y Caracterización de Rocas
Orbamentales en la Formación de los Ingenieros Civiles

ESCALA: 1:10

FECHA: 24 - 02 - 2015

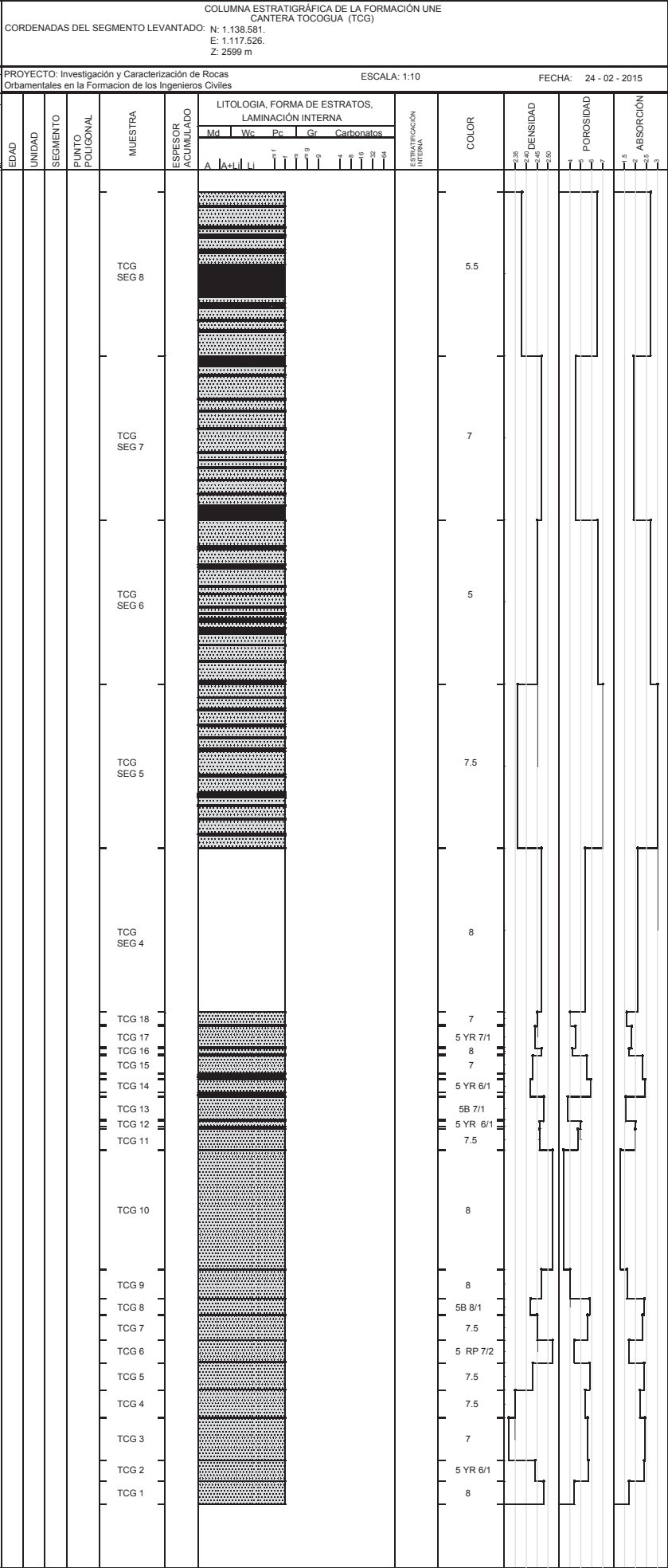


CONVENCIONES :

— Segmentos Analizados
..... Segmentos No Analizados



CUARZOARENITA



CONVENCIONES :



CUARZOARENITA

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN UNE CANTERA TOCOGUA (TCG)																																									
CORDENADAS DEL SEGMENTO LEVANTADO: N: 1.138.581. E: 1.117.526. Z: 2599 m																																									
PROYECTO: Investigación y Caracterización de Rocas Ornamentales en la Formación de los Ingenieros Civiles					ESCALA: 1:10			FECHA: 24 - 02 - 2015																																	
EDAD	UNIDAD	SEGMENTO	PUNTO POLIGONAL	MUESTRA	ESPESOR ACUMULADO	LITOLOGÍA, FORMA DE ESTRATOS, LAMINACIÓN INTERNA										Resistencia al Cambio de Humedad (%)																									
						Md		Wc		Pc		Gr		Carbonatos		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
						A		B		C		D		E																											
</																																									