



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE
SUSTANCIAS REACTIVAS: CARBÓN ACTIVADO, PIEDRA CALIZA,
TURBA, DE ORIGEN ECUATORIANO PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUA”

AUTOR: Daniel Eduardo Cabezas Tobar

TUTOR: Ing. Celia Margarita Mayacela Rojas

AMBATO – ECUADOR

Abril - 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema: **“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SUSTANCIAS REACTIVAS: CARBÓN ACTIVADO, PIEDRA CALIZA, TURBA, DE ORIGEN ECUATORIANO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA”**, elaborado por el Sr. Daniel Eduardo Cabezas Tobar, portador de la cedula de ciudadanía: C.I. 1804598561, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2021

Ing. Mg. Celia Margarita Mayacela Rojas
TUTORA

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Daniel Eduardo Cabezas Tobar**, con C.I 1804598561 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SUSTANCIAS REACTIVAS: CARBÓN ACTIVADO, PIEDRA CALIZA, TURBA, DE ORIGEN ECUATORIANO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA”**, así como también las tablas, los criterios, ideas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2021



Daniel Eduardo Cabezas Tobar
CI: 1804598561
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Marzo 2021



Daniel Eduardo Cabezas Tobar
CI: 1804598561
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Daniel Eduardo Cabezas Tobar, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SUSTANCIAS REACTIVAS: CARBÓN ACTIVADO, PIEDRA CALIZA, TURBA, DE ORIGEN ECUATORIANO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA”**.

Ambato, Marzo 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Fabián Rodrigo Morales Fiallos
Miembro Calificador

Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera
Miembro Calificador

DEDICATORIA

A Dios principalmente, por siempre permanecer a mi lado en los momentos más duros y con gran amparo y bendición para superar los obstáculos que se me han presentado y pese a encontrarnos en medio de una pandemia haber podido lograr todos los objetivos propuestos.

A mis padres, Walter y Judith, quienes han sido mis pilares fundamentales a lo largo de mi vida estudiantil, ya que con el esfuerzo de los dos logré cumplir cada meta planteada.

A mi hermana Mabel, por brindarme palabras de aliento en los momentos complicados de la vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser testigo de mi esfuerzo y dedicación a lo largo de mi vida.

A mis padres, por inculcarme valores y poder ser una buena persona antes que todo.

A mi familia, por su constante apoyo incondicional y saber que puedo contar con ellos en cualquier circunstancia.

A mis amigos, por siempre estar en las buenas y malas, por los grandes momentos compartidos tanto dentro como fuera de las aulas.

A la FICM, por brindarme los conocimientos necesarios para desenvolverme en el futuro como profesional de esta gran carrera.

A la Ing. Mg. Margarita Rojas y al Ing. Lenin Maldonado, por brindarme su asesoría, conocimientos y paciencia para poder desarrollar el presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación.....	4
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	8
1.2 Filtración	8
1.2.1 Transporte de las partículas dentro de los poros.....	11
1.2.2 Absorción.....	12
1.2.3 Adsorción.....	13
1.3 Propiedades Físicas de las sustancias reactivas.....	14
1.3.1 Granulometría: NORMAS AASHTO T 87-70 ASTM D421-58 14	
1.3.2 Relaciones volumétricas y gravimétricas.....	18
1.3.3 Propiedades Volumétricas.....	18
1.3.4 Propiedades Gravimétricas.....	20
1.3.5 Permeabilidad: NORMAS AASHTO T 215-66 ASTM D2434-68. [34] 21	
1.3.6 Conductividad Hidráulica	25
1.3.7 Coeficiente de permeabilidad.....	25
1.3.8 Velocidad de filtración real	26

1.3.9	Resistividad Hidráulica.....	27
1.4	Permeámetro.....	28
1.4.1	Permeámetro de carga constante.....	28
1.4.2	Permeámetro de carga variable.....	29
1.5	Diseño permeámetro carga constante.....	31
1.5.1	Diseño del equipo.....	32
1.5.2	Partes del permeámetro de carga constante.....	34
1.6	Sustancias reactivas en medios filtrantes.....	37
1.6.1	Carbón Activado.....	37
1.6.2	Piedra Caliza.....	42
1.6.3	Turba.....	44
1.7	Hipótesis.....	46
1.8	Objetivos:.....	46
1.8.1	Objetivo General.....	46
1.8.2	Objetivos Específicos.....	46
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....		47
2.1	Descripción de la Metodología.....	47
2.2	Materiales y Equipos.....	48
2.2.1	Sustancias reactivas.....	48
2.2.2	Instrumentos, Equipos y Materiales de Laboratorio.....	49
2.3.	Métodos.....	58
2.3.1.	Plan de Recolección de Datos.....	58
2.3.2.	Plan de Procesamiento y Análisis de Información.....	60
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		73
3.1.	Análisis y discusión de los resultados.....	73
3.1.1.	Granulometría.....	73
3.1.2.	Coficiente de compacidad:.....	79
3.1.3.	Porosidad:.....	86
3.1.4.	Esfericidad.....	95
3.1.5.	Permeabilidad.....	101
3.1.6.	Tabla de resultados de los ensayos realizados para cada sustancia reactiva. 104	
3.2.	Verificación de hipótesis.....	105

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
4.1. Conclusiones	106
4.1. Recomendaciones	108
4.2. MATERIALES DE REFERENCIA	109
5. Anexos	116
5.1. Porosidad	117
5.1.1. Carbón activado	117
5.1.2. Piedra caliza	121
5.1.3. Turba	123
5.2. Esfericidad	125
5.2.1. Carbón activado	125
5.2.2. Piedra caliza	135
5.2.3. Turba	143
5.3. Planos del permeámetro de carga constante	153
5.3.1. Vista 3d del permeámetro	159
5.4. Fichas técnicas de las sustancias reactivas utilizadas	160

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Abertura de los tamices.....	14
Tabla 2. Clasificación de Suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	16
Tabla 3. Relación de vacíos para diferentes tipos de suelos	19
Tabla 4. Clasificación de permeabilidad.....	22
Tabla 5. valores del coeficiente de permeabilidad (k) cm/seg	26
Tabla 6. Comparativa Permeámetro carga constante vs Permeámetro carga variable	31
Tabla 7. Lista de materiales para el permeámetro de carga constante	34
Tabla 8. Procesos para la regeneración del carbón activado.....	42
Tabla 9. Equipos y materiales utilizados para la realización del ensayo de Granulometría.	50
Tabla 10. Equipos y materiales utilizados para la obtención del coeficiente de compacidad	51
Tabla 11. Equipos y materiales utilizados para la obtención del tamaño nominal máximo de partículas	53
Tabla 12. Equipos y materiales utilizados para la obtención de la porosidad.....	54
Tabla 13. Equipos y materiales utilizados para determinar la esfericidad de las sustancias	56
Tabla 14. Equipos y materiales utilizados para la realización del ensayo de Permeabilidad.....	56
Tabla 15. Compacidad de suelos.....	63
Tabla 16. Granulometría del carbón activado	73
Tabla 17. Granulometría de la Piedra Caliza	75
Tabla 18. Granulometría de la Turba	77
Tabla 19. Peso Unitario del Carbón Activado	79
Tabla 20. Peso Unitario de la Piedra Caliza.....	80
Tabla 21. Peso Unitario de la Turba.....	80
Tabla 22. Peso específico 1 del Carbón Activado.....	81
Tabla 23. Peso específico 2 del Carbón Activado	82
Tabla 24. Peso específico 3 del Carbón Activado.....	82
Tabla 25. Peso específico 1 de la Piedra Caliza.....	83
Tabla 26. Peso específico 2 de la Piedra Caliza.....	83
Tabla 27. Peso específico 3 de la Piedra Caliza.....	84
Tabla 28. Peso específico 1 de la Turba.....	84
Tabla 29. Peso específico 2 de la Turba	85
Tabla 30. Peso específico 3 de la Turba.....	85
Tabla 31. Tamaño de poros del carbón activado correspondiente a la figura 26.....	87
Tabla 32. Tamaño de poros del carbón activado correspondiente a la figura 27.....	87
Tabla 33. Tamaño de poros de la piedra caliza correspondiente a la figura 31	90
Tabla 34. Tamaño de poros de la piedra caliza correspondiente a la figura 32	91

Tabla 35. Tamaño de poros de la piedra turba correspondiente a la figura 36	93
Tabla 36. Tamaño de poros de la piedra turba correspondiente a la figura 37	94
Tabla 37. Esfericidad del Carbón Activado.	97
Tabla 38. Esfericidad de la Piedra Caliza	99
Tabla 39. Esfericidad de la Turba.	101
Tabla 40. Permeabilidad del carbón activado	102
Tabla 41. Permeabilidad de la piedra caliza.....	102
Tabla 42. Permeabilidad de la turba.....	103
Tabla 43. Tabla de resultados para cada sustancia analizada.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escala de Ph.....	6
Figura 2. Diferencial de lecho filtrante para modelos de filtración.	10
Figura 3. Mecanismos para transportar partículas a los medios granulares.....	12
Figura 4. Transferencia de partículas por absorción.	13
Figura 5. Relaciones gravimétricas y volumétricas.	18
Figura 6. Ley de Darcy.....	23
Figura 7. Principios de filtración hidráulica.....	23
Figura 8. Área disponible para el paso del agua	26
Figura 9. Permeámetro carga constante	29
Figura 10. Permeámetro carga variable	30
Figura 11. Esquema básico del permeámetro de carga constante	32
Figura 12. Diseño propuesto de permeámetro de carga constante.....	33
Figura 13. Diseño 2D y 3D de la base del permeámetro	34
Figura 14. Diseño 2D y 3D de los cilindros del permeámetro.....	35
Figura 15. Diseño 2D y 3D del sistema de medida del permeámetro.....	36
Figura 16. Diseño 2D y 3D del tanque de carga constante	36
Figura 17. Estructura de un carbón activado.....	38
Figura 18. Esquema de la estructura del carbón activado.....	39
Figura 19. Esquema de granulo de Carbón Activado	39
Figura 20. Extracción de la piedra caliza.....	43
Figura 21. Procedimiento para el tratamiento de agua.....	46
Figura 22. Carbón Activado.....	48
Figura 23. Turba.....	49
Figura 24. Piedra Caliza.....	49
Figura 25. Esfericidad de una partícula.....	67
Figura 26. Fotografía del carbón activado obtenido por medio del microscopio de barrido	86
Figura 27. Fotografía del carbón activado obtenido por medio del microscopio de barrido	86
Figura 28. Fotografías obtenidas por el microscopio de barrido del carbón activado, abiertas en el programa CLEMEX.....	88
Figura 29. Porcentaje de porosidad correspondiente a la figura 26.....	88
Figura 30. Porcentaje de porosidad correspondiente a la figura 27.....	88
Figura 31. Fotografía de la piedra caliza obtenido por medio del microscopio de barrido	89
Figura 32. Fotografía de la piedra caliza obtenido por medio del microscopio de barrido	90
Figura 33. Fotografías obtenidas por el microscopio de barrido de la piedra caliza, abiertas en el programa CLEMEX.....	91
Figura 34. Porcentaje de porosidad correspondiente a la figura 31	92
Figura 35. Porcentaje de porosidad correspondiente a la figura 32	92

Figura 36. Fotografía de la turba obtenido por medio del microscopio de barrido ...	93
Figura 37. Fotografía de la turba obtenido por medio del microscopio de barrido ...	93
Figura 38. Fotografías obtenidas por el microscopio de barrido de la turba, abiertas en el programa CLEMEX	94
Figura 39. Porcentaje de porosidad correspondiente a la figura 36	95
Figura 40. Porcentaje de porosidad correspondiente a la figura 37	95
Figura 41. Fotografía del carbón activado obtenido por medio del microscopio de barrido	96
Figura 42. Fotografía del carbón activado obtenido por medio del microscopio de barrido	98
Figura 43. Fotografía de la turba obtenido por medio del microscopio de barrido .	100

RESUMEN

El trabajo tiene como principal objetivo brindar información de las propiedades físico químicas de sustancias de origen ecuatoriano para el tratamiento de agua y la presentación de planos para un sistema de medición de permeabilidad.

En primera instancia se realizó una investigación bibliográfica de las propiedades del carbón activado, piedra caliza y turba ya que dichas sustancias han sido empleadas para el tratamiento de agua por filtración gracias a su eficiencia y menor costo en relación a sistemas de tratamiento convencionales como el cribado y sedimentación.

Se realizaron ciertos ensayos de laboratorio siguiendo sus normativas respectivas las cuales nos ayudaron a determinar la granulometría, tamaño nominal máximo de partículas, coeficiente de uniformidad, coeficiente de curvatura, coeficiente de compacidad, porosidad, esfericidad y permeabilidad.

Para la elaboración de planos del permeámetro se siguió la normativa AASHTO T 215 – 70 la cual se refiere a permeabilidad de suelos granulares y se utilizó el programa Autocad 2019 tanto para la elaboración de planos y modelación 3D.

ABSTRACT

The present technical work has the purpose of provide information on the physical and chemical properties of substances of Ecuadorian origin for water treatment and the presentation of plans for a permeability measurement system.

In the first place, a bibliographic research of the properties of actived carbon, limestone and peat because of these substances have been used for the water treatmet by filtration thanks their efficiency and lower cost in relation to conventional treatment systems such as screening and sedimentation.

Laboratory tests were carried out following their respective regulations, which helped us to determine the granulometry, maximum nominal size of particles, coefficient of uniformity, coefficient of curvature, coefficient of compactness, porosity, sphericity and permeability.

For the preparation of the permeameter plans, the AASHTO T 215 – 70 standard was followed, wich refers to permeability of granular soils, and the Autocad 2019 program was used both for presentation of plans and 3D modeling.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

El agua se considera un recurso no renovable ya que su cantidad es limitada y a su vez es de vital importancia para la salud, los ecosistemas, la biodiversidad, producción de alimentos, la industria, la energía y para el desarrollo económico. Las cantidades abundantes de materia orgánica, nutrientes, metales pesados y sustancias químicas en el agua constituye uno de los problemas más importantes que enfrentan la mayoría de los países del mundo, por todos estos motivos muchos países dan prioridad al control, reducción y tratamiento de las descargas urbanas, agrícolas, agroalimentarias e industriales. Debido a la complejidad de operación y a presupuestos sumamente elevados de inversión y mantenimiento en conjunto con sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales han limitado la aplicación de su respectivo tratamiento sobre municipios en las zonas rurales, y en la pequeña y mediana industria como es el caso de las lavadoras de autos que emiten gran cantidad de productos químicos, aceites y grasas los mismos que no pueden ser eliminados directamente a la alcantarilla. [1][2]

En un estudio que se realizó en base a la biofiltración para el tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de jeans se utilizó como sustancia reactiva principal la Turba y se pretendía demostrar la eficiencia de depuración en base a los siguientes parámetros: Demanda Biológica de Oxígeno DBO5, Demanda Química de Oxígeno DQO y Sólidos Totales ST, mediante la utilización de un biofiltro vertical construido a base de una cama de turba, arena de río lavada y piedra pómez. Al cabo de 36 días de monitoreos continuos de la muestra se obtuvo una eficiencia del DBO5 de 75.27%, de DQO de 79.69% teniendo así una relación de biodegradabilidad DBO5/DQO de 0.78 y una reducción de sólidos totales ST del 57.33%. Adicional a ello también se pudo observar la reducción notable del color ya que en la muestra inicial tenía un color azul oscuro y teniendo como resultado final agua color gris claro.[3]

El carbón activado fue estudiado como sustancia reactiva en la implementación a un filtro para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una lavadora y lubricadora de autos en la ciudad de Riobamba, el estudio se llevó a cabo en 90 días con un total de 10 muestras las mismas que fueron monitoreadas constantemente. Se aplicó un caudal de 0.105 lt/min que atravesarían 35 lt de material filtrante. Las muestras iniciales sin ningún tipo de tratamiento presentaban los siguientes valores a distintos parámetros a ser tomados en cuenta para su eficiencia: Aceites y grasas = 232 mg/lt, DQO=808 mg/lt y DBO5 = 348 mg/lt, al cabo de los 90 días se obtuvo los siguientes resultados: Aceites y grasas = 0.35 mg/lt, DQO = 3 mg/lt y DQO5 = 1.2 mg/lt. Demostrando así la eficiencia del Carbón activado con los siguientes porcentajes:

Aceites y grasas = 99.85%, DQO = 99.63% y DBO5 = 99.66%. [4]

Un filtro biológico implementado para el control de efluentes generados por una quesera utilizó como sustancias reactivas la piedra caliza, canutillos de cerámica, zeolita, carbón activado granular y tuvo una duración de 73 días el análisis de sus muestras. Su objetivo fue evaluar la eficiencia de los materiales filtrantes mencionados anteriormente, y para ello se basaron en los siguientes parámetros: Aceites y Grasas, DBO, DQO, ST, CT y pH. Las muestras inicialmente presentaron los siguientes valores: Aceites y Grasas = 0.6 ml/lt, DBO = 27520 mg/lt, DQO = 78865 mg/lt, SST = 3951 mg/lt, ST = 48060 mg/lt, CT = 7500 nmp/100ml y pH = 6.23 UpH y las muestras con el filtro en funcionamiento los siguientes valores: Aceites y Grasas = 1.20 ml/lt, DBO = 850mg/lt, DQO = 4852 mg/lt, SST = 126 mg/lt, ST = 2375 mg/lt, CT = 324 nmp/100ml y Ph= 7.05 UpH. Demostrando la eficiencia del filtro con los siguientes porcentajes: Sólidos Totales (95,06%), Sólidos Suspendidos Totales (96,81%), Demanda Bioquímica de Oxígeno (96,91%), Demanda Química de Oxígeno (97,16%) y Coliformes Totales (95,68%). [5]

Un filtro con piroclasto volcánico fue utilizado para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una lavadora y lubricadora de autos en la ciudad de Ambato. El volumen del piroclasto volcánico que se usó fue de 35 lt con un caudal óptimo de 0,105

lt/min. La toma de muestras se la hizo durante 90 días con un total de 10 muestras. Para medir la eficiencia del filtro se comparó los valores obtenidos de ciertos parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Aceites y Grasas. Teniendo datos iniciales de: DBO5 (14822 mg/l), DQO (35959 mg/l), aceites y grasas (486 mg/l) mientras que luego de que las aguas residuales pasaran por el material filtrante se tuvo los siguientes valores: DBO5 (97 mg/l), DQO (243 mg/l), aceites y grasas (0,19 mg/l). Con esto se puede decir que la eficiencia del filtro de acuerdo a cada parámetro es la siguiente: DBO5, DQO y aceites y grasas con porcentajes mayores al 99% y 75% de eficiencia para Aceites y Grasas.[6]

En base a las investigaciones mencionadas anteriormente se ha podido llegar a determinar que los materiales filtrantes de origen natural más utilizados son: el carbón activado, la piedra caliza, zeolitas, piroclastos volcánicos y la turba.

El carbón activado es carbón poroso que atrapa compuestos, principalmente orgánicos, presentes en un gas o en un líquido. El carbón retiene plaguicidas, grasas, aceites, detergentes, productos derivados de la desinfección, toxinas, compuestos que producen color, compuestos originados por la descomposición de algas y vegetales o por el metabolismo de animales por lo que es el más utilizado para el tratamiento de agua residual. La capacidad adsorbente del carbón activado es tal, que 1 gramo puede adsorber aproximadamente otro gramo de gases y líquidos. [7]

La caliza es una roca sedimentaria compuesta por Carbonato de Calcio (CaCO_3), especialmente Calcita y Aragonita. La cal permite ablandar el agua, purificarla, eliminar su turbiedad, neutralizar la acidez y eliminar impurezas, además de ello también se sabe que ayuda a reducir el sabor, olor y color del agua al eliminar la materia en suspensión y, por tanto, la turbiedad de la misma. [8]

La piedra caliza ha demostrado ser una alternativa rentable para aguas ácidas de mina con tamaño de sus partículas entre 0,42 y 0,59 mm, con concentraciones altas de sulfatos, y elementos mayores tales como: Ca, Mg, Fe, Mn, Co, Li, Ni, Pb, Sr y Zinc. Logrando paralelamente una estabilidad del pH en un rango de 4,5 y 5. [9][10]

Para la depuración de aguas residuales también es muy utilizada la turba ya que se aprovechan sus propiedades de absorción y adsorción, así como la actividad bacteriana que se desarrolla en su superficie. Se producen, por tanto, procesos físicos, químicos y biológicos en los que se elimina alrededor del 80% de demanda biológica de oxígeno y el 90% de sólidos en suspensión. [11]

1.1.2 Justificación

El agua es un elemento esencial de la naturaleza que contribuye al bienestar general del hombre, los animales y las plantas. Además, es uno de los pocos elementos sin los cuales no podría mantenerse la vida en el planeta.

Según la Organización Mundial de la Salud el agua está contaminada “cuando su composición se haya modificado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso, al que se le hubiera destinado en su estado natural”. [12]

La gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas, conlleva a que el agua que beben cientos de millones de personas se vea peligrosamente contaminada por la gran cantidad de efluentes residuales que contienen contaminantes como metales pesados (cadmio, zinc, cromo, níquel, mercurio) por citar los más perjudiciales para la salud provenientes generalmente de aguas subterráneas y de origen industrial ya que producen irritaciones graves de estómago, daño en los riñones, daño del páncreas, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune entre otros. La contaminación del agua también provoca que parte de los ecosistemas acuáticos terminen desapareciendo por la rápida proliferación de algas invasoras que se nutren de todos los nutrientes que les proporcionan los residuos. [13][14]

El agua puede experimentar contaminación física, química y biológica, siendo la contaminación física la que se genera por la presencia de cuerpos extraños que flotan suspendidos, y afectan el color, olor y sabor del agua. La contaminación química que es la presencia de elementos disueltos, metales, ácidos, detergentes, fertilizantes,

insecticidas, plaguicidas, consecuencia principalmente de actividades industriales, agrícolas y urbanas. La contaminación biológica se debe a la presencia de microorganismos, como bacterias, virus, protozoos y parásitos, que producen enfermedades.

La calidad del agua es un atributo que mide ciertas propiedades como son las físicas, químicas y biológicas del líquido y dependiendo de su estado le corresponde su respectivo uso ya sea como agua potable, preservación de flora y fauna, para recreación, agricultura, para la industria o transporte por lo que se tienen ciertos estándares de calidad específicos entre los cuales tenemos: Aceites y Grasas, demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), concentración de sólidos suspendidos totales (SST) y Potencial hidrógeno (Ph). [15]

Aceites y Grasas que son provenientes de todas las aguas residuales y tienen tendencia a flotar debido a que su densidad es inferior a la del agua, se sabe que las grasas son el componente de las aguas residuales que tienen tendencia a oxidarse. Cada kg de grasa produce entre 2 y 2.5 kg de DQO, lo que implica que los aceites y grasas en proceso oxidativo consumen grandes cantidades de oxígeno disuelto en los reactores biológicos provocando situaciones de “anoxia” (ausencia de oxígeno).

La demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO5) es un indicador de la cantidad de materia orgánica presente en las aguas municipales y su incremento provoca la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, dando lugar a las condiciones de “anoxia” que dañan a las comunidades biológicas de los ecosistemas acuáticos Esta prueba estima la cantidad de oxígeno que se requiere para degradar la materia orgánica del agua. La materia orgánica normalmente está compuesta por una combinación de carbono, hidrogeno y oxígeno. Los compuestos orgánicos están constituidos por: proteínas entre 40-60%, carbohidratos entre 25-50% de y aceites y grasas entre 8-12%.

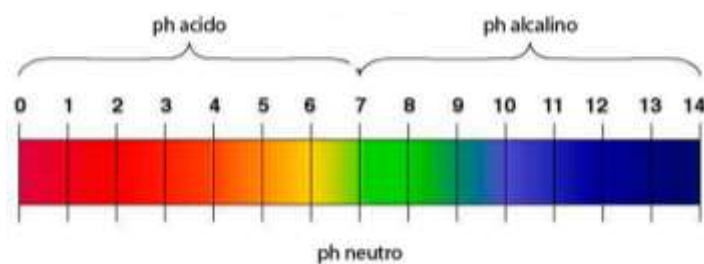
La demanda química de oxígeno (DQO) es un indicador de la presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Esta prueba se realiza para medir el oxígeno equivalente para oxidar la materia orgánica oxidable químicamente mediante un

agente oxidante fuerte por lo general se usa dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura.

Los sólidos suspendidos totales (SST) es un indicador de la cantidad de sólidos presentes en suspensión que provienen principalmente de aguas residuales y de la erosión del suelo y su aumento produce turbidez y por ende reduce la penetración de luz solar impidiendo así el desarrollo de la vegetación acuática. [16]

Potencial hidrógeno (Ph) que es un indicador de iones de hidrógeno determinando así la acidez o alcalinidad que se miden en una escala de 0 a 14 considerado con 7.0 neutro. El Ph inferior a 7 se lo considera como ácidos y un Ph superior a 7 se lo considera como bases o alcalino. El rango normal de Ph en aguas superficiales es de 6.5 a 8.5 y para aguas subterráneas de 6 a 8.5. Su medición es indispensable puesto que el agua con $Ph < 6.5$ puede ser ácida y corrosiva, por lo que el agua podría disolver iones metálicos tales como: hierro, manganeso, cobre, plomo y zinc pudiendo causar así el daño prematuro de tuberías de metal dando un sabor amargo a la misma y una característica de color azul - verde y por el contrario un $Ph > 8.5$ (alcalina) nos da ciertos problemas como: la formación de sarro en tuberías disminuyendo su diámetro, un sabor salino del agua entre otros. En la figura 1 se muestra una gráfica con la escala de ph de acuerdo a su acidez y alcalinidad con sus respectivos valores comprendidos del 0 a 14 siendo el 7 considerado como neutro.

Figura 1. Escala de Ph



Fuente: [17]

El correcto tratamiento de aguas residuales se lo puede lograr mediante una cierta combinación de procesos físicos como el cribado que es donde se eliminan los sólidos

de mayor tamaño que se encuentran en el agua, sedimentación que es el proceso en el cual las partículas en suspensión son separadas del fluido debido al efecto de la gravedad, filtración que consiste en la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias y virus) a través de un medio poroso. Procesos químicos como la coagulación y oxidación que consiste en la adición de coagulantes para desestabilizar las partículas coloidales para que puedan ser removidas, haciendo énfasis en la reducción de metales pesados la oxidación con ozono es muy eficiente. Procesos térmicos como el secado e incineración y finalmente procesos biológicos en sistemas de biomasa suspendidas o fijas, pero todos estos procesos conllevan un alto costo de inversión inicial, adquisición de equipos, costo de operación y su respectivo mantenimiento. Es por ello que nos hemos enfocado en una alternativa muy eficiente con menores costos dando lugar al tratamiento de agua residual con medios filtrantes alternativos y de esta manera poder determinar las propiedades de las sustancias empleadas como filtro con la finalidad de depurar efluentes provenientes de diferentes actividades entre ellas las sustancias emitidas por las lavadoras de autos y así comprobar su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales. [18][19]

Estudios revelan que en el ámbito de las lavadoras de autos antiguamente se utilizaba entre 70 a 90 litros de agua por cada auto de manera tradicional (cubo y esponja) en la actualidad se estima un consumo de 200 a 300 litros en una lavadora de autos por cada lavado. Considerando el tamaño del campo automotor y su constante crecimiento es visible que las lavadoras de vehículos son una industria que consume altos volúmenes de agua. Además, se sabe que las lavadoras y lubricadoras de autos producen efluentes de aceites y grasas con concentraciones de 300 mg/L a 600 mg/L los mismos que no tienen propiedades biodegradables ya que al mezclarse con detergentes aumenta la aglutinación de fósforo en el agua residual. En nuestro país existe la normativa ambiental nacional la cual prohíbe el desecho en el agua de aceites y grasas superiores a 70 mg/L por lo que es necesario el previo tratamiento de estas aguas antes de su expulsión al alcantarillado. [20][21]

La filtración cumple un papel muy importante ya que favorece a la eliminación de partículas que contiene el agua cuando el fluido pasa por un medio poroso por lo que

es importante la utilización de medios filtrantes de origen ecuatoriano ya que son de fácil acceso y su costo es relativamente bajo a los convencionales de microfiltración cuyo tamaño de poros en las membranas varía entre 0.1 y 5 μm , y nanofiltración cuyo tamaño de poros de 0.001 a 0.01 μm , por lo cual emplearemos sustancias reactivas de origen ecuatoriano como el carbón activado, zeolitas, turba, piedra caliza y piroclastos volcánicos, los cuales podrán ser remplazados una vez finalizada su vida útil.[22]

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.2 Filtración

En la filtración profunda, las partículas se eliminan continuamente, mediante el filtro a través de un proceso de transporte y fijación a los medios filtrantes. Según Iwasaki, 1937 [23] la eliminación de partículas dentro de un filtro depende de la concentración de partículas, muy similar a una ecuación de velocidad de primer orden.

$$Ec (1) \quad \frac{dC}{dz} = -\lambda C$$

Donde:

λ = coeficiente de filtración, m^{-1}
 C = masa o número de concentración de partículas, mg/l o lt^{-1}
 z = profundidad en el filtro, m

Si se conociera el coeficiente de filtración, sería posible calcular la concentración de partículas del efluente a partir de un filtro. Desafortunadamente, la filtración es un proceso complejo, y el coeficiente de filtración puede variar tanto en tiempo como en profundidad en el filtro y depende de las propiedades del lecho filtrante (forma y distribución del tamaño, porosidad, profundidad), suspensión influyente (turbidez, concentración de partículas, distribución del tamaño de partícula, densidad de las partículas) y el agua (viscosidad del agua, temperatura, condiciones de pretratamiento) y condiciones de operación (velocidad de filtración). [24]

En 1971, Yao et al [25] presenta su modelo básico para aplicaciones de tratamiento de agua. La teoría de Yao et al se basa en la acumulación de partículas en un solo filtro granular denominado "colector", el cual se incorpora a un balance de masa en un corte diferencial a través de un filtro. La acumulación en un solo colector se define como la velocidad a la que las partículas entran en la región de influencia del colector multiplicada por un factor de eficiencia del transporte y un factor de eficiencia del accesorio. La eficiencia de transporte η y la eficiencia de fijación α son relaciones que describen la fracción de partículas que entran en contacto y se adhieren al medio granular. Representado en la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\text{partículas en contacto con el colector}}{\text{partículas que se acercan al colector}}$$

$$\alpha = \frac{\text{partículas adheridas al colector}}{\text{partículas en contacto con el colector}}$$

Donde:

η = eficiencia de transporte, adimensional α = eficiencia de fijación, adimensional
--

El flujo de masa de partículas que se acerca al colector es el flujo de masa a través del área de la sección transversal del colector:

Ec (2) *Flujo de masa que sigue al colector* $= vC \frac{\pi}{4} d^2$

Donde:

v = velocidad superficial, m/s C = concentración de partículas, mg/l d = diámetro del colector, m

El desarrollo del modelo se basó en un colector único aislado en un campo de flujo uniforme, por lo que la velocidad en la ecuación anterior es la tasa de filtración.

La acumulación de partículas en un solo colector se aplica a un balance de masa en un filtro utilizando un elemento diferencial de profundidad como el volumen de control,

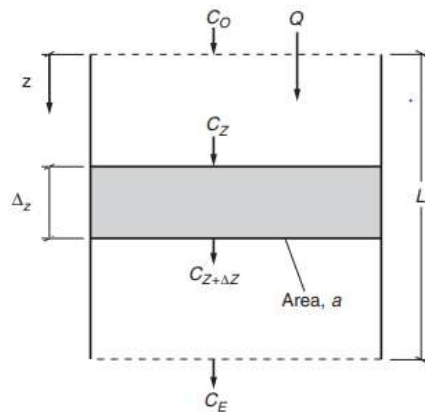
como se muestra en la figura 2. Se debe determinar el número de recolectores en el volumen de control, que es el volumen total de medios dentro del volumen de control dividido por el volumen de un solo recolector. [24]

$$Ec(3) \quad \text{Número de colectores} = \frac{(1 - \varepsilon)a \Delta z}{\left(\frac{\pi}{6}\right) d^3}$$

Donde:

ε = porosidad
 a = área transversal del lecho filtrante, m²
 Δz = variación de profundidad en el filtro, m

Figura 2. Diferencial de lecho filtrante para modelos de filtración.



Fuente:[24]

La acumulación total de partículas dentro del volumen de control es el producto del número de colectores y la acumulación en un colector aislado. Estos términos se pueden aplicar a un balance de masa en el elemento diferencial:

$$\text{Acumulación de partículas} = \text{masa de entrada} - \text{masa de salida}$$

La pérdida de partículas debido a reacciones (es decir, producción de biomasa o consumo de partículas mediante actividad química o biológica) no está incluida en el

modelo. La difusión es insignificante en comparación con el flujo convectivo, por lo que el balance de masa se puede escribir como:

$$Ec(4) \quad \left(vC \frac{\pi}{4} d^2 \eta \alpha \right) \left[\frac{(1-\epsilon) a \Delta z}{(\pi/6) d^3} \right] = QC_z - QC_{z+\Delta z} = -va (C_{z+\Delta z} - C_z)$$

Donde: Q = flujo a través del filtro, m³/s

Tomando el límite Δz como 0 en la ecuación anterior se la puede expresar así:

$$Ec(5) \quad \frac{dC}{dz} = \frac{-3(1-\epsilon)\eta\alpha C}{2d_c}$$

Como la ecuación (1) es igual a la ecuación (5) se define el coeficiente del filtro como:

$$Ec(6) \quad \lambda = \frac{3(1-\epsilon)\eta\alpha}{2d_c}$$

Si los parámetros en la ecuación. (6) (ϵ , η , α y d_c) son constantes con respecto a la profundidad en el filtro, la ecuación. (5) se puede integrar para obtener la expresión:

$$Ec(7) \quad C = C_0 \wedge \left[\frac{-3(1-\epsilon)\eta\alpha L}{2d_c} \right]$$

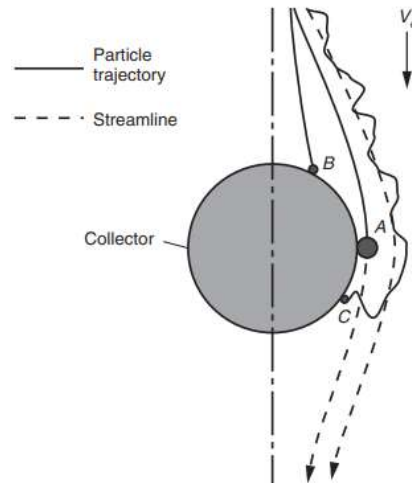
Donde: C_0 = concentración de partículas en filtro, mg / L
L = profundidad del filtro, m

1.2.1 Transporte de las partículas dentro de los poros.

Es un fenómeno físico e hidráulico, que está influenciado por parámetros que gobiernan la transferencia de masas. Los mecanismos que pueden realizar transporte son: intercepción, sedimentación, difusión.

En la figura 3 se muestra un esquema de los mecanismos de transporte de partículas producidas en la filtración.

Figura 3. Mecanismos para transportar partículas a los medios granulares.



Fuente:[24]

Mecanismos de transporte de partículas en la teoría fundamental de filtración:

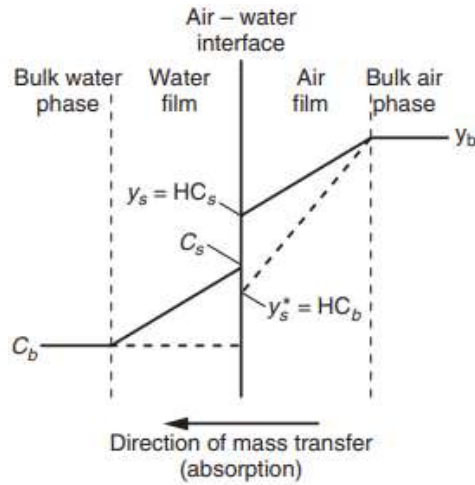
- Intercepción, la partícula A sigue la línea de corriente, pero choca con el colector debido a la proximidad entre la línea de corriente y el colector.
- Sedimentación, la partícula B se desvía de la línea de corriente y choca con el colector debido a las fuerzas gravitacionales.
- Difusión, la partícula C choca con el colector debido a movimiento aleatorio.

1.2.2 Absorción.

Es el fenómeno a través del cual los átomos, moléculas o iones pasan de una fase en masa y se distribuye homogéneamente en otra fase en masa, en lugar de acumularse en el interfaz entre fases.

En la figura 4 se muestra un esquema general de la transferencia de las partículas provocado por el fenómeno de absorción.

Figura 4. Transferencia de partículas por absorción.



Fuente:[24]

Donde:

Y_s = concentración de fase gaseosa de A en la interfaz aire-agua, mg / L.
 H = constante de la ley de Henry, L de agua / L de aire, sin dimensiones.
 C_s = concentración de fase líquida de A en la interfaz aire-agua, mg / L

El equilibrio local ocurre en la interfaz aire-agua porque el movimiento molecular aleatorio (en una escala local de nanómetros en el agua y miles de nanómetros en el lado del aire) hace que el componente A se disuelva en la fase acuosa y se volatilice en el aire a una velocidad más rápida que la difusión hacia o desde la interfaz aire-agua. En consecuencia, se puede suponer el equilibrio local y la ley de Henry se puede utilizar para relacionar Y_s con C_s . [24]

1.2.3 Adsorción.

Esta propiedad tiene la característica que permite que los átomos superficiales de un material tienen la capacidad para atraer y retener ciertas moléculas de otros materiales; a esto se le denomina Fuerzas de Van Der Waals que en este caso son las fuerzas de atracción que tienen las moléculas de un material (Adsorbente) con respecto a las moléculas de otro al que van a retener (Adsorbato), y tienen relación con el área disponible del material. Existen dos tipos de adsorción que son: [26]

1.3 Propiedades Físicas de las sustancias reactivas

1.3.1 Granulometría: NORMAS AASHTO T 87-70 ASTM D421-58

La granulometría se define como la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca, para su distribución se la puede realizar mediante dos métodos de acuerdo al diámetro de las partículas. El primero consistente en la medición y graduación de suelo para partículas cuyos diámetros sean mayores de 0.075 mm a través de la utilización de varios tamices normados que generalmente van reduciendo sus dimensiones en una progresión geométrica de 2, y el segundo método se lo realiza por medio de un análisis hidrométrico para partículas menores de 0.075 mm de diámetro.

Las aberturas de los tamices se han estandarizado de acuerdo a las especificaciones de las normas AASHTO T87 – 70 y la ASTM D421-58 que corresponden al ensayo de granulometría, mismas que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Abertura de los tamices.

TAMIZ	ABERTURA	TAMIZ	ABERTURA
	mm		mm
4"	100	N°4	4,75
3 1/2"	90	N°8	2,36
3"	75	N°10	2
2 1/2"	60	N°18	1,18
2"	50	N°30	0,6
1 3/4"	45	N°35	0,43
1 1/2"	37,5	N°40	0,425
1 1/4"	31,5	N°50	0,3
1"	25	N°60	0,25
7/8"	22,4	N°80	0,18
3/4"	19	N°100	0,15
5/8"	16	N°200	0,075
1/2"	12,5	N°270	0,053
3/8"	9,5	N°400	0,038
5/16"	8		
1/4"	6,3		

Fuente: [27]

La granulometría es fundamental en la filtración ya que gracias a ella se eligen los tamaños adecuados de partículas necesarias para una eficiente remoción de contaminantes. De acuerdo a la CLASIFICACIÓN mediante las normas AASHTO T87 – 70 y la ASTM D421-58 tenemos la siguiente[28]:

- Fragmentos rocosos: los fragmentos rocosos angulares que quedan retenidos en el tamiz de 3".
- Cantos rodados: los fragmentos rocosos redondeados que quedan retenidos en el tamiz de 3".
- Piedras: Todas las partículas rocosas angulares, ya sean naturales o trituradas que pasan el tamiz de 3" y quedan retenidas en el tamiz N°10.
 - Piedra gruesa: que pasa el tamiz de 3" y que queda retenido en el de 1".
 - Piedra mediana: que pasa el tamiz de 1" y queda retenido en el tamiz de 3/8".
 - Piedra fina que pasa el tamiz de 3/8" y queda retenida en el tamiz N°10.
- Gravas: Todas las partículas redondeadas que pasan el tamiz de 3" y quedan retenidas en el tamiz N°10.
 - Grava gruesa: que pasa el tamiz de 3" y queda retenido en el de 1".
 - Grava mediana: que pasa el tamiz de 1" y queda retenido en el tamiz de 3/8".
 - Grava fina: que pasa el tamiz de 3/8" y queda retenida en el tamiz N°10.
- Arena: todo material granular que resulta de la desintegración, desgaste y trituración de las rocas, que pasan el tamiz N°10, pero quedan retenidos en el tamiz N°200.
 - Arena gruesa: Material que pasa el tamiz N°10 y queda retenido en el tamiz N°40.
 - Arena fina: Material que pasa el tamiz N°40 y queda retenido en el tamiz N°200.

De acuerdo al Sistema Unificado de CLASIFICACIÓN de Suelos (SUCS) [29] tenemos la tabla 2 que nos muestra su respectiva clasificación:

Tabla 2. Clasificación de Suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

DIVISIÓN MAYOR			SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS. Más de la mitad retenido tamiz N° 200	GRAVAS Retenida por el tamiz N°4	VISUALMENTE SE PUEDE CLASIFICAR MIDIENDO 0,5 cm COMO REFERENTE AL TAMIZ N° 4	GRAVAS LIMPIAS	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco de finos	Cu mayor de 4 ; Cc entre 1 y 3
				GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco de finos	No satisfacen todos los requisitos de graduación para GW
			GRAVA CON FINOS	GM	Gravas limosas, mezcla de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG Abajo línea "A" o I.P.<4
				GC	Gravas limosas, mezcla de grava, arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG Abajo línea "A" o I.P.>7
	ARENAS Pasa el tamiz N°4		ARENA LIMPIA	SW	Arenas bien graduadas, arena con grava, poco o nada de finos	Cu mayor de 6 ; Cc entre 1 y 3
				SP	Arenas mal graduadas, arena con grava, poco o nada de finos	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW
			ARENA CON FINOS	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG Abajo línea "A" o I.P.<4
				SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG Abajo línea "A" o I.P.>7
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS. Más de la mitad pasa tamiz N° 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50		ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos pasticos	CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL SISTEMA S.U.C.S	
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas		
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas de baja plasticidad		
	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos		
			CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas		
			OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad		
	SUELOS ORGÁNICOS	P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos			

Fuente: [30]

1.3.1.1 Parámetros de la Granulometría:

Los parámetros de la granulometría nos aportan información completa, técnica y comprensible de las sustancias analizadas, como el tamaño máximo de las partículas,

el diámetro efectivo, los coeficientes de uniformidad, y curvatura y en general si el suelo está bien o mal distribuido.

Las principales características de una muestra se presentan a continuación:

- Tamaño nominal máximo: Es el tamaño de las partículas mayores que se encuentran en la muestra. Algunos autores representan al TNM como el tamaño del grupo de partículas que alcanzan el 5% del total de la muestra.
- Diámetro efectivo (D_{10}): Es el tamaño del grupo de partículas que representan al 10% del material que pasa, expresado en milímetros.
- Diámetro equiparable (D_{30}): Es el tamaño del grupo de partículas que representan al 30% del material que pasa expresado en milímetros.
- Diámetro dimensional (D_{60}): Es el tamaño del grupo de partículas que representan al 60% del material que pasa expresado en milímetros.
- Coeficiente de uniformidad (C_u): Físicamente el coeficiente es más bien de no-uniformidad ya que la relación existente es inversa, es decir, si el número del C_u decrece, la uniformidad aumenta. Si el C_u es mayor que 3 los suelos tienden a ser bien graduados, en cambio si el C_u es menor que 3 los suelos tienden a ser mal graduados o muy uniformes.
Físicamente el coeficiente es más bien de no-uniformidad ya que la relación existente es inversa, es decir, si el número del C_u decrece, la uniformidad aumenta. Si el C_u es mayor que 3 los suelos tienden a ser bien graduados, en cambio si el C_u es menor que 3 los suelos tienden a ser mal graduados o muy uniformes.
- Coeficiente de curvatura (C_c): Este coeficiente es útil para poder determinar la graduación del material. Cuando el coeficiente de curvatura está entre 1 y 3 los suelos están bien graduados en cambio si el C_c es menor que 1 ó mayor que 3, los suelos serán uniformemente distribuidos, o sea, mal graduados. [31]

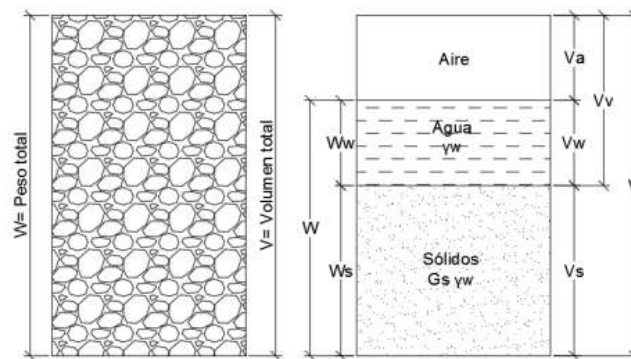
1.3.2 Relaciones volumétricas y gravimétricas

El volumen de una muestra de suelo está conformado por tres elementos: el volumen de sólidos que es la mayor parte de la muestra, el volumen de agua y el volumen de aire. Por otro lado, el peso de la muestra viene dado por el peso de los sólidos más el peso del agua y el peso del aire es despreciable.

Las principales relaciones de un suelo son: la relación de vacíos, porosidad y grado de saturación de los suelos.

En la figura 5 se muestra el peso total y volumen total del suelo.

Figura 5. Relaciones gravimétricas y volumétricas.



Fuente: [30]

1.3.3 Propiedades Volumétricas

Relación de vacíos (e)

Es la relación que existe entre el volumen de vacíos del suelo (V_v) con respecto al volumen de sólidos (V_s). El índice de vacíos varía entre 0.3 y 1.3, llegando hasta 3 o más cuando los suelos son muy sueltos, a mayor relación el suelo es más blando y deformable. [32]

Ec(11)

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

En la tabla 3 se muestran valores correspondientes a la relación de vacíos para diferentes tipos de suelos:

Tabla 3. Relación de vacíos para diferentes tipos de suelos

TIPO DE SUELO	Relación de vacíos
Arena suelta uniforme	0,8
Arena densa uniforme	0,45
Arena limosa suelta de grano angular	0,65
Arena limosa densa de grano angular	0,4
Arcilla firme	0,6
Arcilla suave	0,9 - 1,4
Loess	0,9
Arcilla orgánica suave	2,5 - 3,2
Tilita glacial	0,3

Fuente: [30]

1.3.3.1 Porosidad (n)

La porosidad es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de la muestra expresada en porcentaje.

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso.

Cuando se tiene un bajo porcentaje de porosidad es debido a que el suelo se encuentra consolidado o densificado y por el contrario cuando se tiene un alto porcentaje de porosidad, el suelo es altamente compresible.[33]

$$Ec(12) \quad n\% = \frac{V_v}{V_t} * 100$$

Donde:

n% = porosidad; %
 V_v = Volumen de vacíos, m³
 V_t = Volumen total de la muestra, m³

1.3.3.2 Grado de saturación (G)

Mide el porcentaje de saturación de una muestra de suelo, es decir el volumen del agua (V_w) respecto al volumen de vacíos (V_v)

$$Ec(13) \quad G = \frac{V_w}{V_v}$$

1.3.3.3 Correlación entre porosidad y relación de vacíos

Partiendo de la ecuación (11) tenemos:

$$Ec(14) \quad e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V_t - V_v}$$

Dividiendo el numerador y denominador para V_t tenemos:

$$e = \frac{\frac{V_v}{V_t}}{1 - \frac{V_v}{V_t}}$$

$$Ec(15) \quad e = \frac{n}{1 - n}$$

De la ecuación (12) tenemos la expresión de porosidad:

$$Ec(16) \quad n = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_v}{V_s + V_v}$$

Dividiendo el numerador y denominador para V_s tenemos:

$$n = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{1 + \frac{V_v}{V_s}}$$

$$Ec(17) \quad n = \frac{e}{1 + e}$$

1.3.4 Propiedades Gravimétricas

1.3.4.1 Contenido de humedad

Es la relación que existe entre el peso del agua (W_w) y el peso de los sólidos (W_s) para un volumen determinado de suelo. Por lo general la humedad de un suelo granular

(gravas y arenas) está entre un 5% a 8%, entre un 60% a 70% en suelos arcillosos y se puede alcanzar más de 300% para suelos orgánicos. [32]

$$Ec(18) \quad W\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

También la podemos calcular en función del peso de la muestra húmeda y seca:

$$Ec(19) \quad W\% = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{peso seco}}$$

Nota: Para obtener el peso seco de una muestra de suelo se la coloca en el horno por 24 horas.

1.3.4.2 Relaciones entre pesos y volúmenes

Peso específico

Es la relación que existe entre el peso del suelo (W) y su volumen (V), se puede considerar el peso específico del suelo tanto en estado húmedo como en estado seco.

$$Ec(20) \quad \gamma = \frac{W}{V}$$

1.3.5 Permeabilidad: NORMAS AASHTO T 215-66 ASTM D2434-68. [34]

Es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua a través de su masa. Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración. La permeabilidad del suelo depende del tamaño y forma de los granos del suelo, del porcentaje de vacíos, la forma y distribución de vacíos. [35]

Viscosidad del fluido en los poros: A medida que la temperatura aumenta, la viscosidad del agua disminuye y el coeficiente de permeabilidad aumenta, es decir, la velocidad del flujo aumenta.

La tabla 4 nos muestra la clasificación de permeabilidad según sus valores y ésta va de muy permeables a impermeables.

Tabla 4. Clasificación de permeabilidad

Muy permeables gruesa	Mayor de 10^{-1} Grava
Permeabilidad media	$10^{-1} - 10^{-3}$ arenas, arenas finas
Baja permeabilidad	$10^{-3} - 10^{-5}$ arena limosa, sucia
Muy baja permeabilidad	$10^{-5} - 10^{-7}$ limos
Impermeable	$10^{-7} - 10^{-9}$ arcillas

Fuente: [36]

1.3.5.1 Permeabilidad Real - Ley de Darcy.

El flujo de agua a través de medios porosos está gobernado por la ley de Darcy (1856), quien estudió las características del agua a través de filtros de material térreo y encontró que para velocidades pequeñas (figura 6) el caudal se lo puede representar mediante la siguiente ecuación:[34]

$$Ec(21) \quad Q = \frac{\partial v}{\partial t} = k * i * A$$

Donde:

Q = caudal, cm³/seg
 ∂v = variación de volumen en un diferencial de tiempo
 ∂t = diferencial de tiempo
k = coeficiente de permeabilidad, cm/seg
i = gradiente hidráulico, adimensional
A= sección transversal del filtro, cm²

Si se considera la ecuación de continuidad:

$$Ec(22) \quad Q = v * A$$

Donde:

Q = caudal, cm³/seg
v = velocidad, cm/seg
A= sección transversal del filtro, cm²

Es posible relacionarlas y tener la ecuación conocida como Ley de Darcy:

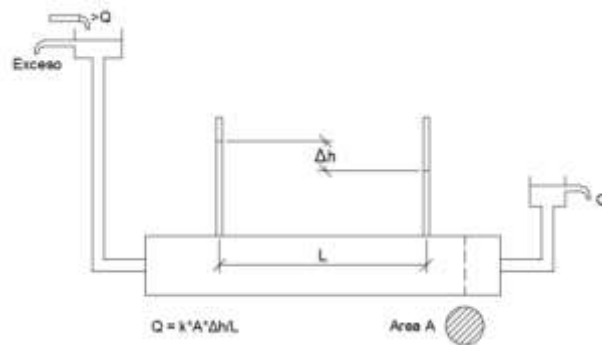
Ec(23)

$$v = k * i$$

Donde:

v = velocidad, cm/seg
 k = coeficiente de permeabilidad cm/seg
 i = gradiente hidráulico, adimensional

Figura 6. Ley de Darcy



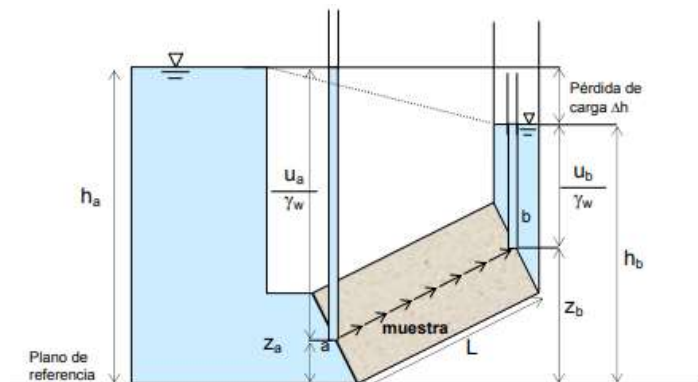
Fuente:[32]

1.3.5.2 Gradiente Hidráulico

La circulación del agua dentro de un medio poroso se describe a través de líneas de filtración, las mismas que a su vez son curvas descritas por el escurrimiento a través de un material permeable. [34]

La figura 7 muestra un esquema general de la filtración en un medio poroso.

Figura 7. Principios de filtración hidráulica



Fuente:[34]

Los puntos a y b representan los extremos de una línea de filtración dentro de una muestra de suelo. Cada extremo cuenta con un tubo piezométrico para indicar el nivel del agua en cada punto.

Para cualquier punto en la muestra la carga total es la misma por ejemplo para el punto b:

$$Ec(24) \quad h_b = z_b + \frac{U_b}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} \quad [m]$$

Donde:

z_b = carga de posición en b respecto de un plano arbitrario, m
 U_b/γ_w = carga por presiones neutras, m
 U_b = presión neutra en b, KN/m²
 $v^2/2g$ = carga por velocidad, m
 v = velocidad, m/seg
 g = aceleración de la gravedad, m/seg²

En flujo laminar la carga por velocidad es despreciable.

Comparando los dos valores de carga total en a y b, se observa una diferencia entre ambos, ese valor es la pérdida de carga Δh .

$$Ec(25) \quad \Delta h_b = h_a - h_b$$

Relacionando la pérdida de carga con el recorrido de la línea de filtración se obtiene el gradiente hidráulico i , que es adimensional.

$$Ec(26) \quad i = \frac{\Delta h}{L}$$

Donde:

L = longitud del recorrido en la muestra de suelo, m.

Si se relaciona con el peso específico del fluido obtenemos el gradiente de presiones.

$$Ec(27) \quad i_p = \gamma_w * i = \gamma_w * \frac{\Delta h}{L} \quad [KN/m^3]$$

1.3.6 Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica de los suelos es un valor que integra macroscópicamente a todas las características del suelo que tienen que ver con el movimiento del agua. Se la define como la constante de proporcionalidad de la Ley de Darcy. Ecuación 21 ($V=K*i$).

La conductividad hidráulica expresa la habilidad del suelo saturado de permitir el paso del agua.

1.3.7 Coeficiente de permeabilidad

Los estudios de Darcy también utilizan un valor de velocidad v , la cual es velocidad de descarga que es la cantidad de agua que circula durante un cierto tiempo a través de una superficie unitaria perpendicular a las líneas de filtración.

En arenas firmes saturadas y en otros suelos de granos finos también saturados, en los cuales la circulación de agua no influye en la estructura del material, la velocidad queda definida por:[34]

$$Ec(28) \quad v = i_p * \frac{k}{\eta} \quad [cm/seg]$$

Donde:

v = velocidad de descarga, cm/seg
 η = viscosidad del agua, KN seg / cm²
 k = constante de permeabilidad (empírica), cm²
 i_p = gradiente de presiones, KN/cm³

La viscosidad del agua disminuye con la temperatura, k es constante para un material permeable dado, con porosidad dada y es independiente de las propiedades físicas del líquido que filtra el material.

Reemplazando el valor de i_p por su equivalente $i * \gamma_w$ tenemos:

$$Ec(29) \quad v = i * \gamma_w * \frac{k}{\eta}$$

En filtraciones poco profunda y poca variación de temperatura, γ_w es constante la ecuación anterior queda descrita así:

$$Ec(30) \quad v = k * i$$

De donde:

$$Ec(31) \quad k = \gamma_w * \frac{K}{\eta} \quad [cm/seg]$$

El valor del coeficiente de permeabilidad k expresado en cm/s , varía entre los diferentes suelos y puede ser considerado como la velocidad del agua a través de un suelo cuando está sujeta a un gradiente hidráulico unitario. En la tabla 5 se muestran valores del coeficiente de permeabilidad (k).

Tabla 5. valores del coeficiente de permeabilidad (k) cm/seg

TIPO DE SUELO	RANGO DE PERMEABILIDAD (cm/s)	DESCRIPCIÓN
Grava dispersa (GP)	1,0 o mayor	Muy alta
Grava uniforme (GP)	2×10^{-1} a 1,0	Alta
Grava bien graduada (GW)	5×10^{-2} a 3×10^{-1}	Moderadamente alta
Arena uniforme (SP)	5×10^{-3} a 2×10^{-1}	Moderadamente alta
Arena bien graduada (SW)	1×10^{-3} a 1×10^{-1}	Baja a moderada
Arena limosa (SM)	1×10^{-3} a 5×10^{-3}	Baja a moderada
Arena arcillosa (SC)	1×10^{-4} a 1×10^{-3}	Baja a muy baja
Limo (ML)	5×10^{-5} a 1×10^{-4}	Muy baja
Arcilla (CL)	1×10^{-8} a 1×10^{-5}	Muy baja a casi impermeable

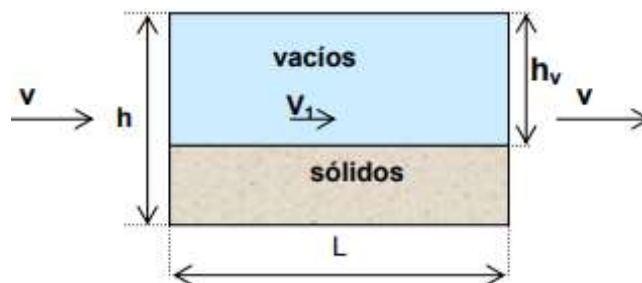
Fuente: [36]

1.3.8 Velocidad de filtración real

Relacionando el área de sólidos y el área de vacíos de una sección transversal del suelo con el caudal de flujo a diferencia del área total que considera Darcy, se obtiene una manera de calcular la velocidad de infiltración del flujo de manera real.

La figura 8 muestra un esquema de la velocidad de infiltración del flujo en relación al área de sólidos y al área de vacíos del material.

Figura 8. Área disponible para el paso del agua



Fuente:[34]

Si el caudal está en régimen laminar, por continuidad:

$$Ec(32) \quad A * v = Av * v1$$

De donde:
$$v1 = \frac{A}{Av} * v$$

$$Ec(33)$$

Si se considera una muestra de suelo de longitud L.

$$Ec(34) \quad \frac{A * L}{Av * L} = \frac{V}{Vv} = \frac{1}{n} = \frac{1 + e}{e}$$

Donde:

$A * L = V =$ volumen total $Av * L = Vv =$ volumen de vacíos $n =$ porosidad del suelo $e =$ relación de vacíos

Reemplazando tenemos:

$$Ec(35) \quad V1 = \frac{1 + e}{e} * v$$

Donde:

$V =$ Velocidad de descarga, cm/seg $V1 =$ Velocidad de filtración, cm/seg

1.3.9 Resistividad Hidráulica.

Hoyos en 2003,[37] propuso el concepto de resistividad hidráulica a partir de una investigación experimental enfocada a mejorar la comprensión del comportamiento del flujo de agua en materiales granulares. El definió la resistividad hidráulica como la resistencia al paso del agua, por unidad de área y de longitud, de un medio permeable bajo una carga externa unitaria, a la que corresponde la siguiente definición operacional: Constante de proporcionalidad de la variación lineal de gradiente

hidráulico en relación con la carga hidráulica externa y se la expresa mediante la siguiente expresión matemática:

$$Ec(36) \quad i = \xi * H1$$

Donde:

<p>i = gradiente hidráulico $H1$ = carga hidráulica externa ξ = resistividad hidráulica</p>
--

La carga hidráulica externa se la define como la distancia entre el nivel de rebose del tanque de alimentación y el nivel de entrada de la cámara de permeámetro. Hoyos además encontró una correlación entre los valores experimentales de conductividad y de resistividad hidráulica denotada por la ecuación (35) con un coeficiente de correlación $R^2 = 0.96$ con 11 pares de valores:

$$Ec(37) \quad \xi = 0.002 * k^{-0.68}$$

1.4 Permeámetro

Un permeámetro es un aparato que sirve para medir la permeabilidad de los materiales ante el paso de fluidos a través de ellos. Es un método directo de medir el coeficiente de permeabilidad.

1.4.1 Permeámetro de carga constante

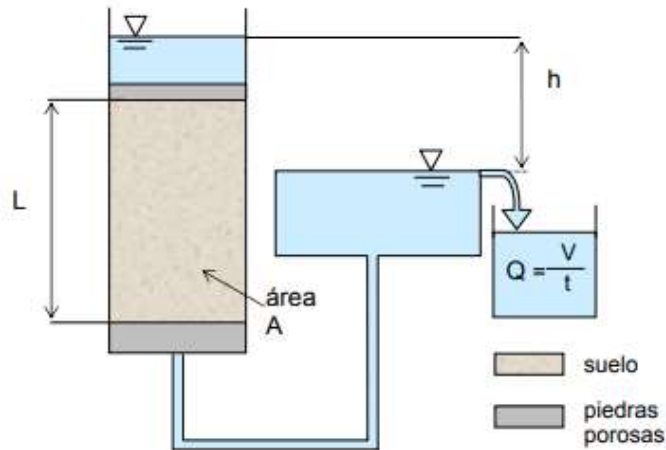
Los niveles de agua de entrada y salida se mantienen constantes por medio de compuertas. La pérdida de carga h , depende de la diferencia entre los niveles de agua. El diámetro D y el largo L son conocidos. El agua de salida es recogida en una probeta graduada y la cantidad de descarga Q es medida. Se los suele aplicar en suelos permeables: limos, arenas y gravas.

Para el cálculo de k se determina el caudal circulante, midiendo el tiempo t durante el cual se llena un recipiente de volumen V conocido.[34]

La figura 9 muestra un esquema general del funcionamiento del permeámetro de carga constante.

$$Ec(38) \quad Q = \frac{V}{t} \text{ [m}^3\text{/seg]}$$

Figura 9. Permeámetro carga constante



Fuente: [34]

Aplicando la Ley de Darcy se obtiene:

$$Ec(39) \quad Q = K * i * A = \frac{V}{T}$$

$$Ec(40) \quad i = \frac{h}{L}$$

$$Ec(41) \quad A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Reemplazando **Ec (38)** y **Ec (40)** en **Ec (39)** tenemos

$$Ec(42) \quad K = \frac{V * L}{t * h * A}$$

1.4.2 Permeámetro de carga variable

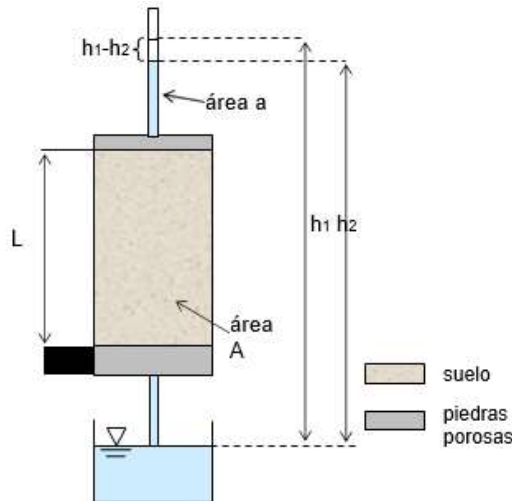
Se lo suele aplicar en suelos menos permeables: arcilla y limo.

La cantidad de agua escurrida es medida en forma indirecta es decir por medio de la observación de la relación entre la caída de nivel de agua en un tubo recto colocado sobre la muestra y el tiempo trascurrido. La longitud L, el área A de la muestra y el

área “a” del tubo recto son conocidos. Las observaciones se las realiza mínimo en dos niveles diferentes de agua en el tubo recto.[34]

La figura 10 muestra un esquema general del funcionamiento del permeámetro de carga variable.

Figura 10. Permeámetro carga variable



Fuente [34]

Consideramos h_1 como la altura del agua medida en un tiempo t_1 y h_2 como la altura del agua medida en un tiempo t_2 ; h es la altura del agua intermedia en un tiempo t . La relación del flujo puede ser expresada como el área del tubo recto multiplicada por la velocidad de caída. La velocidad de caída es $-\partial h/\partial t$, el signo negativo significa que la carga h disminuye al aumentar el tiempo.

La ecuación de acuerdo a Darcy:

$$Ec(41) \quad \partial Q = a * \partial v = -a * \frac{\partial h}{\partial t} = k * i * A = K * \frac{h}{L} * A$$

Reordenando e integrando:

$$-a * \int_{h_1}^{h_2} \frac{1}{h} \partial h = \frac{K}{L} * A * \int_{t_1}^{t_2} \partial t$$

Obtenemos el valor del coeficiente k:

$$K = \frac{a*L}{A*\Delta t} * \ln \frac{h1}{h2} \quad \text{o bien} \quad K = 2.3 \frac{a*l}{A*\Delta t} * \log_{10} \frac{h1}{h2}$$

Tabla 6. Comparativa Permeámetro carga constante vs Permeámetro carga variable

Permeámetro carga constante	Permeámetro carga variable
Se lo puede aplicar en suelos permeables (Limo, arena y grava)	Se lo aplica en suelos menos permeables (arcilla y limo)
Niveles de agua constantes	Diferentes niveles de agua
Menor exactitud	Brinda mayor exactitud
El error se produce con la formación de una pequeña capa de material fino en la superficie de la muestra que actúa como filtro.	Puede afectarse de acuerdo a diferentes tipos de tubos rectos con mayores o menores áreas de acuerdo a la penetrabilidad de los materiales
Las probetas utilizadas deben provenir de muestras inalteradas.	Las probetas utilizadas deben provenir de muestras inalteradas.
Los resultados se ven afectados por la presencia de aire ya sea en el permeámetro o en los poros.	Los resultados se ven afectados por la presencia de aire ya sea en el permeámetro o en los poros.

Fuente: [34]

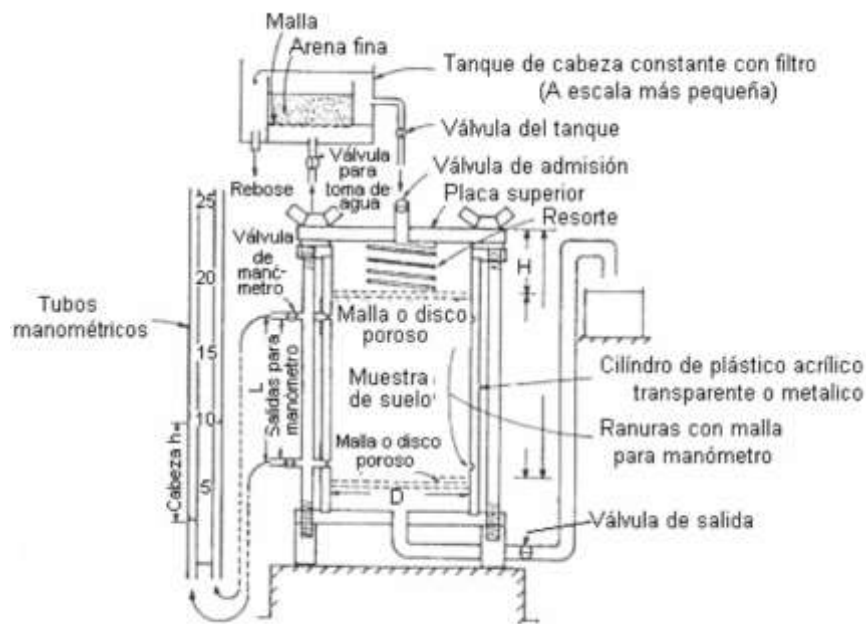
1.5 Diseño permeámetro carga constante

El diseño cumplirá con las especificaciones de las normas ASTM 2434 – 68 y la INVE– 130 – 07 que son especificaciones para suelos granulares, mismas que detallan los diámetros de los cilindros, la utilización de piedras porosas y la presión que deben garantizar los resortes para su adecuado funcionamiento.

En la figura 11 se muestra el esquema básico del permeámetro de carga constante el cual se obtuvo de información recopilada en el proceso de investigación, se evaluaron

diferentes criterios técnicos necesarios para el diseño del equipo y teniendo en cuenta el diseño básico del permeámetro, se analizó la funcionalidad, eficiencia y aspectos económicos, con base en esto se planteó la optimización del esquema, incorporando accesorios y herramientas que generen mejoras en su funcionamiento y desempeño del mismo.

Figura 11. Esquema básico del permeámetro de carga constante

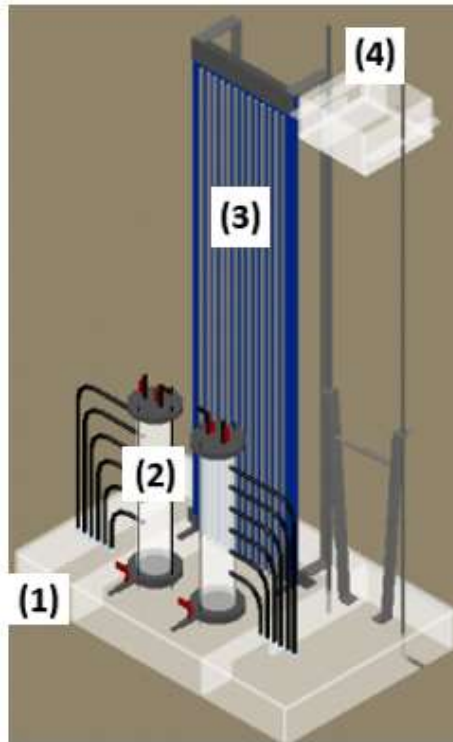


Fuente: [38]

1.5.1 Diseño del equipo.

El equipo consta de una base en acrílico (resistente al agua), dos cilindros del mismo material, cada uno sellado por una tapa superior e inferior en aluminio, un sistema de medida de presión conformada por 12 tubos piezométricos, conectados a los cilindros mediante mangueras flexibles de pared gruesa, adicionalmente cuenta con un piezómetro conectado de igual manera al tanque de almacenamiento y suministro del fluido; las conexiones hidráulicas cuentan con válvulas de sellado rápido como se muestra en la figura 12. El diseño del permeámetro se lo realizó en el programa Autocad 2019 primero dibujando todas sus partes en 2D para posteriormente llevarlos a una vista 3D en el mismo programa.

Figura 12. Diseño propuesto de permeámetro de carga constante



Fuente: Autoría Propia

De acuerdo a la numeración en la figura 12 tenemos las siguientes partes con su función en el permeámetro.

El número 1 corresponde a la base en acrílico (resistente al agua) del equipo la cual se va a encargar de dar la estabilidad al permeámetro, el número 2 nos indica los cilindros al igual que la base son de acrílico y constan con una tapa superior e inferior de aluminio los cuales nos van a permitir introducir la muestra de suelo para su posterior saturación cada cilindro tiene 6 perforaciones de 3/8" en su altura para la conexión de mangueras flexibles que van al sistema de medición, el número 3 indica el sistema de medida el cual cuenta con un vinilo a escala milimétrica y nos va a permitir tomar medidas con mayor precisión de los niveles por medio de los tubos piezométricos y finalmente el número 4 muestra el tanque de carga constante fabricado en acrílico el cual se va a encargar del suministro del fluido desde una altura establecida.

En la tabla 7 se muestra detalladamente la descripción de los materiales y componentes del permeámetro de carga constante con su respectiva unidad y cantidad

Tabla 7. Lista de materiales para el permeámetro de carga constante

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
Base en acrílico de 0,8m x 0,5m y altura de 0,1m con espesor de 10 mm*	und	1
Soportes longitudinales de 0,8 x 0,1 m espesor de 10 mm*	und	2
Soportes transversales de 0,5 x 0,1 m espesor de 10 mm*	und	2
Lamina en acrílico de 1,1 x 0,30 m espesor de 10 mm*	und	1
Cilindros en acrílico h= 0,4m, ϕ 0,08m y espesor 2 mm*	und	2
Tanque en acrílico 0,20 x 0,20 x 0,10(carga de posición) con 5 salidas rebosadero 0,20x 0,10 x 0,05*	und	1
Tapas para cilindros en aluminio ϕ 0,12m y espesor de 2mm	und	4
Válvula de paso tipo bola en bronce de 3/8"	und	6
Válvulas de conexión rápida en acero inoxidable de 3/8"	und	21
Tubos piezómetros de h=1,1 m espesor 10 mm	und	13
Escala milimétrica en vinilo resistente al agua.	und	1
Juego de piedras porosas ϕ 3" espesor 6mm de espesor.	jg	2
Manguera ϕ 3/8" pared gruesa	m	30
Varillas en acero de ϕ 1/2" largo de 1,2m (soporte de tanque) roscada, con soportes en aluminio.	und	2

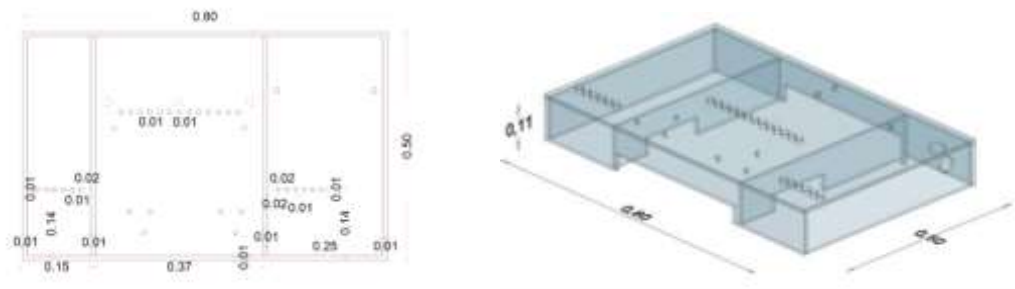
Fuente: Autoría Propia

1.5.2 Partes del permeámetro de carga constante

1.5.2.1 Base

Base de 80 x 50 cm, soportada por 4 apoyos transversales de 50 x 10 cm (2 laterales, 2 centrales) y 2 apoyos longitudinales de 80 x 10 cm, en láminas de acrílico de espesor de 10 mm como se muestra en la figura 13.

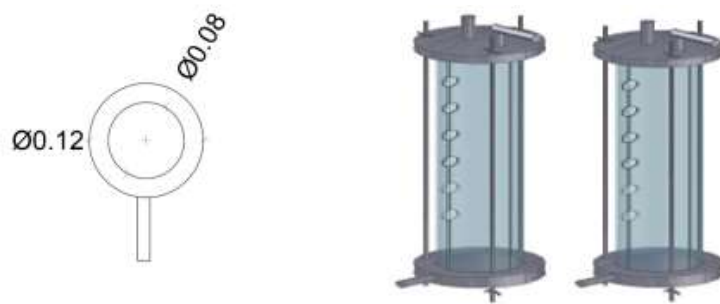
Figura 13. Diseño 2D y 3D de la base del permeámetro



1.5.2.2 Cilindros

Cilindros de acrílico de $\varnothing = 3''$ donde se utilizarán partículas máximas de $3/8''$ una altura de 40 cm y espesor 3 mm ; sellados mediante 2 tapas en aluminio de $\varnothing = 12\text{cm}$, la tapa superior cuenta con un $e = 15\text{mm}$, 2 perforaciones de $3/8''$ para la instalación de dos válvula de paso en cobre para el sistema de purga y descarga del equipo; la tapa inferior cuenta con un $e = 20\text{mm}$, una perforación de $3/8''$ en su altura para la instalación de una válvula de paso en cobre que permite la saturación de la muestra; cada cilindro cuenta con 6 perforaciones de $3/8''$ en su altura para la instalación de seis válvulas de sellado rápido en acero inoxidable como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Diseño 2D y 3D de los cilindros del permeámetro

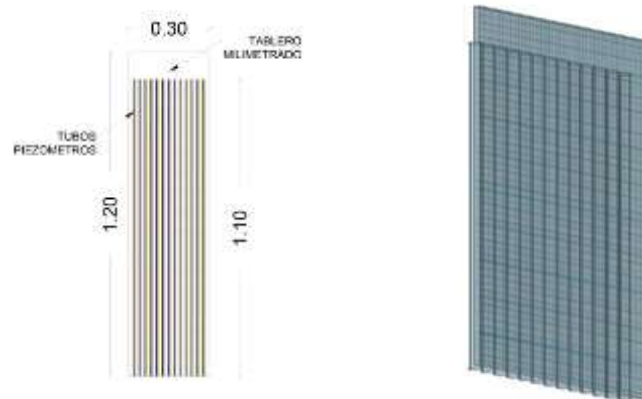


Fuente: Autoría Propia

1.5.2.3 Sistema de medida

Lamina en acrílico de 1.20 x 0.3 m con $e = 10\text{mm}$, cuenta con un vinilo con escala milimétrica resistente al agua que permite tomar medidas con mayor precisión como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Diseño 2D y 3D del sistema de medida del permeámetro

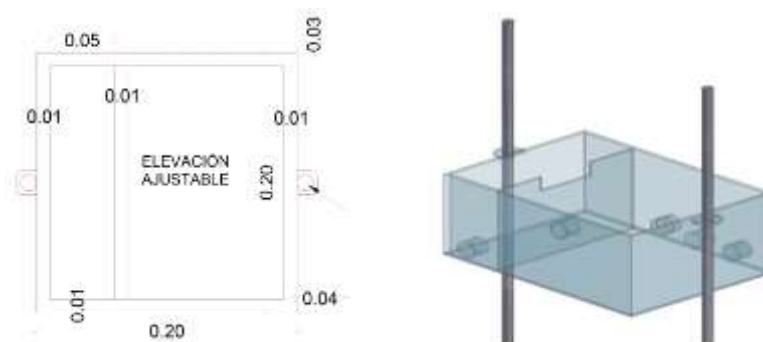


Fuente: Autoría Propia

1.5.2.4 Tanque de carga constante

Tanque en acrílico de 20 x 20 x 10, esta pieza se encuentra soportado por dos varillas en acero inoxidable escadas de ½" de h = 1.20 m, adicional a esto cuenta con un rebosadero dentro del tanque de 20 x 10 x 5 cm que permite controlar el nivel de la lámina de agua o generar una carga constante como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Diseño 2D y 3D del tanque de carga constante



Fuente: Autoría Propia

1.6 Sustancias reactivas en medios filtrantes

La filtración a través de un medio poroso es una técnica que se la emplea principalmente para el tratamiento de agua para la eliminación de partículas que en ella estén contenidas. Para su eficiente eliminación hay que elegir correctamente las sustancias que van a ser contenidas en el filtro, dichas sustancias deben tener principalmente las características de ser granulares puesto que la filtración se efectúa en medios porosos.

En base a investigaciones previas se han llegado a determinar diferentes sustancias reactivas que tienen buena capacidad de remoción de contaminantes cuando se las utiliza como un medio filtrante. A continuación, se presentan las más importantes:

1.6.1 Carbón Activado

1.6.1.1 Breve historia

En 1974 en Inglaterra fue la primera aparición del carbón activado a nivel industrial ya que se lo empleó como agente decolorante en la industria del azúcar durante 18 años hasta que lograron obtener la patente. Por otro lado, en 1854 en Londres se lo empleó para el tratamiento de gases comenzando por la utilización del carbón activado en filtros de aire hasta llegar a la fabricación de mascarillas con filtro de carbón activado para la eliminación de gases tóxicos específicamente mercurio en 1872.

1.6.1.2 Concepto y estructura

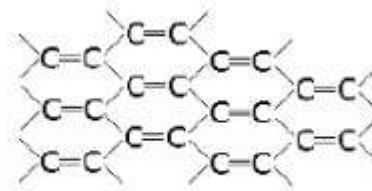
En 2012, Martínez de Yuso [39] define al carbón activado como un material carbonoso, microcristalino y no grafitico, preparado por carbonización de materiales orgánicos denominados precursores, especialmente de origen vegetal, que se han sometido a un proceso de activación con gases oxidantes, o bien a un tratamiento con adición de productos químicos, con el objeto de aumentar su porosidad y desarrollar su superficie interna (500 a 1500 metros cuadrados por gramo de carbón), lo que confiere a los carbones activados una alta capacidad adsorbente.

De acuerdo al origen del carbón activado, puede ser carbón vegetal y carbón mineral, y dependiendo si es sometido a un proceso de granulación o pulverización, el carbón activado puede presentarse como:

- Carbón activado en polvo PAC (Powdered Activated Carbon) con diámetro menor que el tamiz 200, el cual es empleado en la elaboración de medicamentos antidiarreicos y adsorbente intestinal.
- Carbón activado granular GAC (Granular Activated Carbon) con diámetro superior a 0.01mm pudiendo llegar hasta los 2mm y se lo utiliza en filtros de columna o cama para el tratamiento de agua. [40]

El carbón activado está constituido por microcristales elementales los cuales los componen estructuras bidimensionales de planos hexagonales de átomos de carbono, pero que no tienen un orden cristalográfico en dirección perpendicular a las láminas, es decir, los planos se encuentran desplazados unos respecto a otros y solapados entre sí como se lo muestra en la figura 17. A causa de esta falta de orden se los denomina carbones no grafiticos.

Figura 17. Estructura de un carbón activado



Fuente: [39]

Esta estructura del carbón activado, formada por un conjunto de capas de carbono con espacios producidos por los huecos formados por el plegamiento de las capas, es lo que constituye la porosidad lo que se muestra en la figura 18.

Figura 18. Esquema de la estructura del carbón activado



Fuente: [39]

1.6.1.3 Fabricación y activación

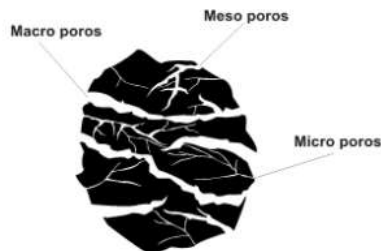
Para su fabricación se la puede realizar por procesos físicos o químicos, los dos procesos incluyen carbonización y activación. La carbonización es la transformación de la materia prima a carbón y la activación es el proceso de oxidación lenta es decir la desaparición de carbono de los espacios situados entre las formaciones cristalográficas compuesto por carbono no organizado, produciéndose así una gran cantidad de pequeños espacios entre las partículas que se denominan poros.

De acuerdo a la International Union of Pure and Applied Chemistry – Unión (IUPAC), a los poros se los puede clasificar en 3 grupos dependiendo de las dimensiones de su diámetro teniendo así:

- Microporos: diámetro de poro menor de 2 nm
- Mesoporos: diámetro de poro entre 2 nm y 50 nm
- Macroporos: diámetro de poro mayor de 50 nm

En la figura 19 se muestra el gránulo de carbón activado con sus respectivos poros.

Figura 19. Esquema de granulo de Carbón Activado



Fuente: [39]

En función del agente activante empleado en el proceso, así como en el rendimiento que se obtiene, se pueden distinguir dos tipos de activaciones: física y química

- En la activación física, la carbonización del precursor se realiza en ausencia de oxígeno a temperaturas entre 300°C y 900°C para deshidratar el material y eliminar sustancias volátiles durante un tiempo entre 10 minutos y varias horas. Posteriormente, es activado mediante un agente oxidante, los agentes más utilizados son el vapor de agua, seguido de dióxido de carbono y el aire, a una temperatura entre los 700°C y 900°C generalmente superior a la alcanzada en la etapa de carbonización, durante un tiempo entre 30 minutos y varias horas. Durante la activación se produce una reacción entre el gas y los átomos de carbono más reactivos (los más insaturados), eliminándolos como monóxido de carbono. Esta pérdida de átomos de carbono produce un ensanchamiento de la porosidad, de forma que los microporos del carbonizado se hacen accesibles a las sustancias, y aumenta el volumen de poros en cuanto más se prolongue la activación.
- La activación química combina las etapas de carbonización y activación, consiste en adicionar un agente activante al precursor antes de realizar la carbonización, con el fin de reducir la formación de materia volátil y alquitranes y por ende evitar la obstrucción de los poros. Entre los agentes activantes están el cloruro de zinc ($ZnCl_2$), en menor proporción también se utiliza el hidróxido de sodio (NaOH), el hidróxido de potasio (KOH). Las temperaturas de activación varían en función del agente activante empleado y suelen ir desde los 200°C a 900°C

1.6.1.4 Capacidad de adsorción

El carbón activado es un adsorbente muy versátil ya que, gracias a sus características como el tamaño, distribución de poro y la química superficial pueden ser controladas durante la producción del carbón.

El carbón activado tiene la capacidad de adherir o retener en su superficie varios componentes como átomos, iones y moléculas que se encuentran disueltas en el líquido que está en contacto con él, a este fenómeno se lo conoce como poder adsorbente. La misma que es responsable de purificar, deodorizar y decolorar el agua u otros líquidos o gases que entren en contacto con el elemento adsorbente.

El carbón activado tiene la capacidad de adsorber colores, olores, sabores desagradables, volátiles, insecticidas, pesticidas, plaguicidas, herbicidas, detergentes, derivados del petróleo, compuestos con trihalometanos, compuestos fenólicos y turbiedad. Su gran capacidad adsorbente es tal, que 1 gramo puede adsorber aproximadamente otro gramo de gases y líquidos. [41]

Existen dos tipos de fenómenos de adsorción: Adsorción física y adsorción química

- **Adsorción Física:** Es la más común en el carbón activado ya que se caracteriza porque entre el adsorbente y el adsorbato no existe intercambio de electrones, ni cambios en las propiedades de los materiales, por lo que se considera reversible y su uso es más frecuente.

- **Adsorción Química:** Ésta es menos frecuente ya que este tipo de adsorción suele ser irreversible debido a que ocurren modificaciones de las estructuras químicas del adsorbato y del adsorbente.

1.6.1.5 Regeneración del carbón activado

La teoría de adsorción indica que cambiando las condiciones en las que se encuentra el carbón se puede lograr la desorción que consiste en el desprendimiento de los adsorbatos retenidos, dejando libre su superficie.

La estructura gráfica del carbón activado hace que este sólido sea muy estable bajo condiciones distintas es decir es resistente a temperaturas tanto elevadas como bajas, es duro y resistente a la abrasión no es afectado por ácidos ni solventes, aunque reacciona con oxidantes fuertes. Gracias a estas propiedades existen métodos de reactivación o regeneración, con los que se eliminan los adsorbatos de diversa

naturaleza y sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran depositados en la superficie del carbón.

Para lograr la desorción de las sustancias adsorbidas existen varios métodos como: Reactivación con gases calientes, reactivación térmica, reactivación con ácido, reactivación mediante modificación del Ph en solución acuosa, reactivación biológica, oxidación, entre otros.[42]

En la tabla 8 se muestra los procesos de regeneración de carbón activado con sus respectivas ventajas y desventajas.

Tabla 8. Procesos para la regeneración del carbón activado

Térmico	Se calienta con una corriente de gas en un horno múltiple entre 850°C - 1000°C.	Para fase gas o líquida. Especies fuertemente adsorbidas. Recuperación de sustancias en alta concentración.	Elevado coste. Altas temperaturas no puede ser in situ. No es útil en ciclos rápidos. Pérdida de capacidad.
Biológico	El carbón activado contiene bacterias en sus macroporos.	Mayor tiempo de vida del carbón activado. Mayor eficiencia en la reducción de materia orgánica	La actividad biológica sin control da lugar a una superproducción de biomasa, y es necesaria una fuerte desinfección posterior.
Extracción con Disolvente	Desplazamiento de la sustancia adsorbida mediante una corriente líquida o gaseosa.	Ciclos rápidos. Sólo hay pérdida de capacidad en los primeros ciclos.	No hay destrucción del contaminante. Elección difícil del disolvente. Disolventes: son caros y suelen ser nocivos.

Fuente: [42]

1.6.2 Piedra Caliza

La piedra caliza es roca sedimentaria porosa de origen químico que contiene minerales de calcita en un 50% (CaCO₃) y dolomita (Ca, Mg (CO₃)), predominando la calcita, teniendo colores desde blancas hasta gris y negro. Debido a su importancia comercial, este mineral se deriva en cal, carbonato de calcio y cemento. Es utilizada en la

construcción de edificaciones como piedras de mampostería, material cementante, producción de vidrio y también es para la fabricación de ciertos fármacos.

Para su obtención depende de la orientación de la superficie de la cantera, hay dos formas de iniciar la extracción. Si la superficie es horizontal, se hace una primera cavidad para la inserción del serruche y consecuente corte en la horizontal, permitiendo así la extracción de bloques de piedra más grandes y cuando la superficie es vertical o un poco inclinada, la exploración se inicia cortando la roca en la vertical y después por su base. Un trozo de roca queda separado de la bancada que puede llegar hasta las 500 toneladas. La tajada es entonces tumbada y, ya en la horizontal, dividida en bloques más pequeños. Las nuevas dimensiones sirven para facilitar el transporte y manejo de la piedra.[43]

Figura 20. Extracción de la piedra caliza



Fuente: [43]

Posteriormente los bloques son sometidos a trituración para así poder ser comercialización de acuerdo a las diversas necesidades.

En nuestro país más del 78.13% de las canteras intervenidas se localizan en sector del kilómetro 10 al kilómetro 22 de la vía Guayaquil – Salinas. [44]

1.6.2.1 Remoción de metales pesados

En el tratamiento de químicos en aguas residuales industriales de carácter inorgánico, la cal proporciona ciertas ventajas tales como el control del pH, neutralización del agua residual ácida, reducción de la concentración de contaminantes orgánicos oxidables,

clarificación, precipitación de contaminantes disueltos y floculación y coagulación de partículas coloidales. Las ventajas que ofrece la aplicación de la cal en las plantas de tratamiento son numerosas, ya que precipita metales tóxicos y reduce los sólidos en suspensión, su principal mecanismo de remoción es la sorción. Los metales pesados capaces a ser removidos son: Plomo (Pb), Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Zinc (Zn), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), entre otros. Este tipo de metales por lo general son producidos por actividades industriales como la fundición de metales, fabricación de baterías, curado de cuero, pigmentación de textiles y minería. [45][46]

1.6.2.2 Tratamiento activo y pasivo

La propiedad de reaccionar con agua de niveles altos de acidez fue la clave para el desarrollo de tecnologías viables para el tratamiento de agua dando lugar a la tecnología de tratamiento activo y tecnología de tratamiento pasivo.

Las tecnologías de tratamiento activo requieren entrada de energía y productos químicos y se lo utiliza para la eliminación de efluentes ácidos de minas para la remoción de metales y acidez, pero su costo es muy elevado, por otro lado, la tecnología de tratamiento pasivo aprovecha los procesos naturales físicos, químicos y biológicos que eliminan los contaminantes del agua sin insumos físicos o químicos adicionales y por ende su costo es menor. Las técnicas más comunes son humedales artificiales, drenajes anódicos de piedra caliza, estanques de piedra caliza y canales abiertos de piedra caliza. [47]

1.6.3 Turba

1.6.3.1 Concepto y formación

La turba es un material formado por la descomposición vegetal en condiciones de excesiva humedad y deficiencia de aire, de propiedades físicas y químicas variables dependiendo de su origen. Los suelos que contengan un porcentaje mayor al 65% de materia orgánica son considerados como turba. [48]

La turba se forma en suelos donde se almacenan grandes cantidades de agua debido a las altas precipitaciones, baja evapotranspiración y malas condiciones de drenaje. Esto

impide o retarda el proceso de oxidación de la sustancia orgánica, donde con el paso del tiempo la sustancia orgánica se transforma en turba.

1.6.3.2 Propiedades de la turba

La turba es un material bioadsorbente de origen biológico rico en carbono con grandes capacidades de retención y de intercambio iónico entre metales disueltos, nutrientes, sólidos en suspensión, materia orgánica, agua contaminadas por hidrocarburos, aceites y olores de productos domésticos e industriales. Su composición y reactividad química de la superficie interna determina la capacidad de eliminación.

1.6.3.3 Tipos de turba

Existen dos tipos de turbas, rubias y negras. Las turbas rubias se encuentran menos descompuestas y contienen un mayor porcentaje de materia orgánica. Las turbas negras tienen menos contenido de materia orgánica y se encuentran mineralizadas. La mayoría posee una superficie interna $> 200 \text{ m}^2/\text{g}$ y su porosidad está comprendida en un rango entre el 50 y 75%. [48]

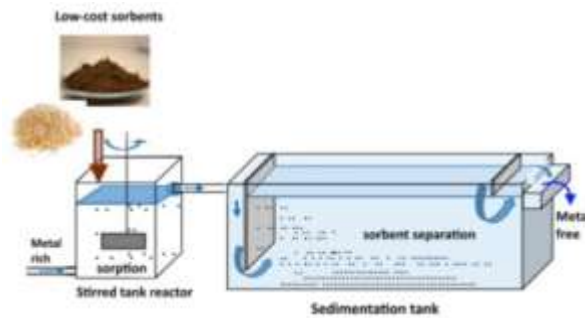
1.6.3.4 Proceso de la capacidad adsortiva de la turba

El proceso que involucra la remoción de materiales pesados consiste en tres pasos:

- Contacto de aguas residuales con turba. Este procedimiento consiste en tratar el agua a priori con un agente precipitante como sulfuro de sodio y luego en contacto con turba
- Secar la turba. Lo cual se puede realizar aplicando presión mecánica.
- Quemar la turba y recuperar los metales. El resultado de la combustión dará una pequeña cantidad de ceniza en la cual se puede recuperar fácilmente los metales. [49]
-

Es decir, este proceso incluye la precipitación-floculación seguido de la sedimentación y disposición del lodo resultante.

Figura 21. Procedimiento para el tratamiento de agua



Fuente: [50]

1.7 Hipótesis

HIPOTESIS ALTERNA

Las características físicas de sustancias reactivas: carbón activado, piedra caliza, turba de origen ecuatoriano se asemejan a los parámetros de lechos filtrantes utilizados para el tratamiento de agua

HIPOTESIS NULA

Las características físicas de sustancias reactivas: carbón activado, piedra caliza, turba de origen ecuatoriano no se asemejan a los parámetros de lechos filtrantes utilizados para el tratamiento de agua

1.8 Objetivos:

1.8.1 Objetivo General

Determinar las características físicas de sustancias reactivas: Carbón activado, Piedra Caliza, Turba de origen ecuatoriano para el tratamiento de agua.

1.8.2 Objetivos Específicos

- Analizar bibliográficamente el origen y las principales características fisicoquímicas de las sustancias reactivas: Carbón activado, Piedra Caliza, Turba.
- Diseñar e implementar un sistema de medición de permeabilidad hidráulica y porosidad para el análisis de las sustancias reactivas.
- Caracterizar físicamente las sustancias reactivas: Carbón activado, Piedra Caliza, Turba para la descontaminación del agua.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.

Para lograr los objetivos planteados primero se realizó una investigación bibliográfica la cual nos proporciona información existente de temas relacionados para al finalizar nuestro trabajo poder comparar resultados, posteriormente para el diseño del permeámetro con la ayuda del programa Autocad 2019 y las normas ASTM D 2434 - 68 y la INV E-130-07 que son de permeabilidad para suelos granulares se realizó el diseño del permeámetro en vistas 2D y 3D y finalmente para la caracterización de las sustancias reactivas se realizaron varios ensayos de laboratorio para poder obtener una tabla con todas las propiedades físicas de las sustancias analizadas.

2.1 Descripción de la Metodología

La investigación bibliográfica proporciona el conocimiento de investigaciones ya existentes, hipótesis, experimentos, resultados y técnicas empleadas acerca del tema que se propone investigar o desarrollar, además que es de suma importancia ya que garantiza la calidad de los fundamentos teóricos. Algunos autores definen a la investigación bibliográfica como el proceso de indagación de información en documentos, libros, artículos científicos entre otras fuentes para de esta manera obtener el conocimiento necesario en el área que se está estudiando. [51]

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación se ha empleado la metodología de investigación bibliográfica, utilizada principalmente en las siguientes actividades: Estudio del tratamiento de agua en fuentes como artículos científicos, páginas web de organizaciones internacionales e indagaciones realizadas; propiedades físico-químicas del carbón activado, turba y piedra caliza, en este caso adquiridos en tesis realizadas de la Universidad Técnica de Ambato y en artículos científicos publicados por los diferentes autores que han sido debidamente citados.

El presente proyecto de investigación es un trabajo experimental ya que las sustancias empleadas como medios filtrantes para el tratamiento de agua residual no son empleadas frecuentemente y lo que se busca es comprobar la eficiencia de las propiedades físico-químicas de las sustancias reactivas investigadas previamente, después de realizar las pruebas de filtración podemos saber que tan eficientes son en

el tratamiento de agua al ver si son o no capaces de eliminar metales pesados al comparar los parámetros de demanda biológica de oxígeno, sólidos suspendidos, aceites y grasas antes y después de su tratamiento.

2.2 Materiales y Equipos

En esta investigación los materiales y equipos a utilizar los hemos dividido en función de las dos secciones que estamos investigando teniendo así por una parte a las sustancias reactivas y por otra los instrumentos, equipos y materiales de laboratorio.

2.2.1 Sustancias reactivas

2.2.1.1 Carbón Activado

Fue adquirido a la empresa Sumiwater ubicada en Quito, este carbón activado es granular derivado de la cáscara de coco presenta una alta densidad, gran volumen de microporos y gran área de superficie que como ya lo mencionamos en conjunto con la naturaleza química de los átomos de carbono le dan la propiedad de atraer y retener ciertas moléculas de otros materiales.

En la figura 22 se puede apreciar el carbón activado en su empaque y fuera de él.

Figura 22. Carbón Activado



Fuente: Autoría propia

2.2.1.2 Turba

Fue adquirida a la empresa Agronpaxi ubicada en Latacunga, es una turba pura 100% fina de origen biológico con una buena capacidad de retención y de intercambio iónico entre metales disueltos que es a lo que está enfocada nuestra investigación.

En la figura 23 se puede apreciar la turba en su empaque y fuera de él.

Figura 23. Turba



Fuente: Autoría propia

2.2.1.3 Piedra Caliza

Fue adquirida a la empresa Agrocalizas ubicada en la ciudad de Riobamba en el tratamiento de agua ayuda al control del Ph, precipita metales tóxicos y reduce los sólidos en suspensión, su principal mecanismo de remoción es la sorción.

Figura 24. Piedra Caliza



Fuente: Autoría propia

2.2.2 Instrumentos, Equipos y Materiales de Laboratorio.

Se ha separado los instrumentos de acuerdo a los ensayos de laboratorio realizados para obtener las características de las sustancias a analizar. Así como se han empleado las normas respectivas para cada ensayo las cuales se indican a continuación:

2.2.2.1 Granulometría: ASTM D- 421-58 y AASHTO T-87-70

Tabla 9. Equipos y materiales utilizados para la realización del ensayo de Granulometría.

<p>Material: Brocha Marca: Tumi Modelo: 3”</p>	<p>Material: Tamices redondos: #8, #10, #16,#30,#40,#50,#60 #100, #200 y fuente: Marca: Pinzuar Modelo: PS 35</p>
	
<p>Utilización: Empleada para limpiar los recipientes y tamices.</p>	<p>Utilización: Son los tamices con la abertura de malla comprendido entre 2.36mm y 0.076mm.</p>
<p>Equipo: Tamizadora eléctrica Marca: Pinzuar Modelo: PS 35</p>	<p>Material: Palustre Marca: Brickell Modelo: #7</p>
	
<p>Utilización: Empleada para la colocación de los tamices redondos por 10 minutos para que las partículas se distribuyan adecuadamente.</p>	<p>Utilización: Empleada para la colocación del material en los recipientes.</p>
<p>Material: Recipientes metálicos Marca: Medlab Modelo: S.N</p>	<p>Material: Guante Marca: CF-Guante Modelo: Asdgf59</p>



	
<p>Utilización: Se los ocupó para la colocación de las sustancias.</p>	<p>Utilización: Se los usó para retirar la muestra del horno.</p>
<p>Equipo: Horno Marca: Humboldt Modelo: 110V</p>	<p>Equipo: Balanza digital Marca: BBG Modelo: RS232</p>
	
<p>Utilización: Se lo usó para secar la muestra a ser tamizada.</p>	<p>Utilización: Utilizada para pesar la muestra a ser tamizada con una precisión de un decimal y expresada su unidad en gramos.</p>

2.2.2.2 Coeficiente de Compacidad: NORMA NTE-INEN 858 (ASTM-C29)
 AASHTO T- 100; ASTM D 854 58

Tabla 10. Equipos y materiales utilizados para la obtención del coeficiente de compacidad.

<p>Material: Calibrador pie de rey Marca: Spurtar Modelo: 150mm</p>	<p>Material: Cilindro de metal Marca: Sin Marca Modelo: Ninguno</p>
---	---

	
<p>Utilización: Empleado para tomar el diámetro exacto del cilindro.</p>	<p>Utilización: Utilizado para la colocación del material a ser pesado</p>
<p>Equipo: Flexómetro Marca: Truper Modelo: 3 M</p>	<p>Material: Palustre Marca: Brickell Modelo: #7</p>
	
<p>Utilización: Empleada para la medición de la altura del cilindro.</p>	<p>Utilización: Empleada para la colocación del material en el cilindro.</p>
<p>Material: Recipientes metálicos Marca: Medlab Modelo: S.N</p>	<p>Equipo: Balanza digital Marca: BBG Modelo: RS232</p>
	
<p>Utilización: Se los ocupó para la colocación de las sustancias.</p>	<p>Utilización: Utilizada para pesar la muestra a ser tamizada con una precisión de un decimal y expresada su unidad en gramos.</p>

Material: Picnómetro Marca: Micromeritics Modelo: 290	Material: Pipeta Marca: Micromeritics Modelo: PPT-100
	
Utilización: Se lo utilizó para sacar los valores de peso específico de las sustancias	Utilización: Se lo empleó para llenar el picnómetro hasta la marca de aforo

2.2.2.3 Tamaño Nominal Máximo: ASTM D- 421-58 y AASHTO T-87-70


Tabla 11. Equipos y materiales utilizados para la obtención del tamaño nominal máximo de partículas

Material: Brocha Marca: Tumi Modelo: 3"	Material: Tamices redondos: #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60 #100, #200 y fuente: Marca: Pinzuar Modelo: PS 35
	
Utilización: Empleada para limpiar los recipientes y tamices.	Utilización: Son los tamices con la abertura de malla comprendido entre 2.36mm y 0.076mm.

<p>Equipo: Tamizadora eléctrica Marca: Pinzuar Modelo: PS 35</p>	<p>Material: Palustre Marca: Brickell Modelo: #7</p>
	
<p>Utilización: Empleada para la colocación de los tamices redondos por 10 minutos para que las partículas se distribuyan adecuadamente.</p>	<p>Utilización: Empleada para la colocación del material en los recipientes.</p>
<p>Material: Recipientes metálicos Marca: Medlab Modelo: S.N</p>	<p>Equipo: Balanza digital Marca: BBG Modelo: RS232</p>
	
<p>Utilización: Se los ocupó para la colocación de las sustancias.</p>	<p>Utilización: Utilizada para pesar la muestra a ser tamizada con una precisión de un decimal y expresada su unidad en gramos</p>

2.2.2.4. Porosidad:

Tabla 12. Equipos y materiales utilizados para la obtención de la porosidad.

<p>Equipo: Microscopio electrónico de barrido Marca: TESCAN Modelo: TESCAN 01</p>	<p>Equipo: Computadora Marca: Samsung Modelo: i7</p>
	
<p>Utilización: Utilizado para obtener fotografías aumentadas un zoom X veces y posteriormente con la herramienta de medición poder determinar el valor del radio de los poros de las sustancias.</p>	<p>Utilización: Utilización del programa Clemex, el cual nos facilita el porcentaje de poros respecto al total del material analizado.</p>
<p>Equipo: Probetas con cinta doble faz de carbono Marca: Tescan Modelo: Sin modelo</p>	<p>Material: Pinzas Marca: Samo Modelo: Dt26b</p>
	
<p>Utilización: Utilizadas para la colocación de las sustancias a ser introducidas en el microscopio para ser analizadas.</p>	<p>Utilización: Empleadas para la colocación de las sustancias en las probetas que contiene la cinta de carbono doble faz</p>

2.2.2.5. Esfericidad:

Tabla 13. Equipos y materiales utilizados para determinar la esfericidad de las sustancias







Equipo: Microscopio electrónico de barrido. Marca:TESCAN Modelo: TESCAN 01

Utilización: Empleado para obtener la fotografía de la sustancia a analizar aumentada un zoom x veces, para posteriormente con la herramienta de medidas trazar dos circunferencias una interior y otra exterior para posteriormente con la aplicación de fórmulas poder determinar su esfericidad.

2.2.2.6. Permeabilidad: AASHTO T 125-66 y ASTM D-2434-68

Tabla 14. Equipos y materiales utilizados para la realización del ensayo de Permeabilidad

Equipo: Permeámetro de carga constante Marca: ELE International Modelo: EI25-0623	Material: Flexómetro Marca: Truper Modelo: 3m
---	---

	
<p>Utilización: Empleado para obtener el valor de k para determinar la permeabilidad de las sustancias</p>	<p>Utilización: Empleado para medir los niveles piezométricos.</p>
<p>Material: Pisón Marca: Sin Marca Modelo: Sin Modelo</p>	<p>Material: Cronómetro Marca: Samsung Modelo: A20</p>
	
<p>Utilización: Usado para dar los 10, 14 y 18 golpes en cada capa de muestra.</p>	<p>Utilización: Usado para tomar el tiempo que tarda en llenarse la probeta de 25ml.</p>
<p>Material: Probeta graduada 25 ml Marca: Micromeritics Modelo: PPT-100</p>	<p>Material: Calibrador pie de rey Marca: Spurtar Modelo: 150mm</p>
	
<p>Utilización: Empleado para almacenar el agua que pasa a través de la muestra.</p>	<p>Utilización: Empleado para medir con precisión el diámetro del cilindro.</p>

2.3. Métodos

2.3.1. Plan de Recolección de Datos

A continuación, se presentan las características físicas de los materiales con sus respectivos pasos ejecutados para la realización de cada ensayo de acuerdo a su respectiva norma.

2.3.1.1. Granulometría

Para la correcta realización de este ensayo primero se pesa la muestra a ser tamizada dependiendo de la sustancia, posteriormente se ordenan los tamices en forma ascendente #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60 #100, #200 y fuente, luego se coloca la muestra de suelo en el tamiz #8 y se coloca la tapa del tamiz, luego se coloca en la tamizadora eléctrica durante 10 minutos y se pesa el suelo contenido en cada tamiz incluida la fuente y finalmente se controla que el error obtenido sea menor al tolerable: $\pm 1\%$ de la muestra.

2.3.1.2. Coeficiente de Compacidad:

Primero se determina la densidad aparente de la muestra (peso unitario) y para ello se toma la medida del diámetro del cilindro y su altura, luego se determina el volumen del cilindro, se pesa el cilindro sin muestra, se llena el cilindro con la muestra enraizada y se pesa, se determina el peso neto de la muestra y se vacía el cilindro, luego se repite los pasos mencionados 5 veces para obtener un promedio el cual va a ser el valor con el que se trabaje en las ecuaciones posteriores. Después se determina el peso específico de las sustancias y para ello primero se pesa la muestra, se coloca en el horno a (105-110) °C, se llena el picnómetro con agua hasta la marca de aforo, se pesa el picnómetro más el agua, sacar 1/3 de agua aproximadamente, colocar el embudo en el picnómetro, colocar la muestra de suelo en el picnómetro, llenar con agua el picnómetro hasta la marca de aforo, sacar el aire obtenido durante 5 minutos, tomar la temperatura del conjunto, pesar el picnómetro + agua + suelo, pesar el recipiente vacío e identificarlo, desalojar en el recipiente el agua + suelo, colocar ese recipiente al horno, pesar el recipiente + suelo seco, hallar el peso específico de la muestra a analizar. Finalmente se determina el índice de vacíos de la muestra dividiendo los pesos específicos obtenidos por medio del ensayo del picnómetro para el peso unitario de cada sustancia

y sacar un promedio el cual va a ser empleado en la fórmula para determinar el coeficiente de compacidad.

2.3.1.3.Tamaño nominal máximo

Sacar el 5% del total de la muestra tamizada e identificar en que abertura de los tamices cumple con ese porcentaje para así determinar su tamaño de acuerdo a su abertura.

2.3.1.4.Porosidad

Colocar las sustancias con la ayuda de las pinzas en las probetas que van a ser introducidas al microscopio electrónico de barrido, realizar zoom tantas veces sea necesario para poder observar los poros que se encuentran en la sustancia y obtener la fotografía, con la herramienta de medición trazar círculos en los poros observables para saber su radio en micras y así identificar si es un microporo, mesoporo o macroporo, abrir las fotografías obtenidas en el microscopio de barrido en el programa Clemex el cual nos ayuda a identificar el porcentaje de poros que existe en relación al total del material ya que los identifica de colores diferentes.

2.3.1.5.Esfericidad

Colocar las sustancias con la ayuda de las pinzas en las probetas que van a ser introducidas al microscopio electrónico de barrido, realizar zoom tantas veces sea necesario para poder observar la sustancia a analizar de forma clara y así poder obtener la fotografía, con la herramienta de medición trazar dos circunferencias una interna y otra externa para poder saber sus radios y poder emplear la fórmula para hallar su esfericidad, la esfericidad tiene valores comprendidos entre el 0 y el 1, con los valores obtenidos de nuestras muestras ver que tan esféricos son.

2.3.1.6.Permeabilidad

Seleccionar la muestra de suelo a ser utilizada en nuestro caso en base a investigaciones previas del tamaño de partículas utilizadas en filtros utilizamos una muestra comprendida entre el tamiz #16 al tamiz #60, medir el diámetro interior del

permeámetro con el calibrador pie de rey, colocar la piedra pómez en la parte inferior dentro del cilindro, colocar la muestra de suelo en tres capas de 2cm, apisonar cada capa con 10, 14 y 18 golpes respectivamente, colocar la otra piedra pómez sobre la sustancia, ajustar el resorte para comprimir la sustancia introducida con la tapa del permeámetro y de esta manera evitar fugas del agua, colocar el cagua en el embudo del permeámetro, abrir la válvula de purgación de aire y la primera válvula para que ingrese el agua al permeámetro y así poder saturar la muestra, medir la altura de carga hidráulica, abrir la segunda válvula para dejar fluir el agua y cronometrar el tiempo que tarda el agua en llenar la probeta de 25 ml, realizar los cálculos respectivos para poder determinar la permeabilidad de las sustancias analizadas.

2.3.2. Plan de Procesamiento y Análisis de Información.

A continuación, se va a realizar los cálculos respectivos para cada ensayo realizado con el carbón activado, piedra caliza y turba.

GRANULOMETRÍA [28]

- Determinación del error

$$\text{ERROR CALCULADO} = \frac{\text{Peso inicial de la muestra} - \text{Peso acumulado de los tamices}}{\text{Peso inicial de la muestra}}$$

➤ Carbón Activado

$$\text{error calculado} = \frac{500 - 500}{500}$$

$$\text{error calculado} = 0\%$$

➤ Piedra Caliza

$$\text{error calculado} = \frac{500 - 500}{1000}$$

$$\text{error calculado} = 0\%$$

➤ Turba

$$\text{error calculado} = \frac{190 - 188.20}{190}$$

$$\text{error calculado} = 0.95\%$$

- **Determinación del coeficiente de uniformidad (Cu).**

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

Cu = Coeficiente de uniformidad. D60 = Diámetro dimensional. D10 = Diámetro efectivo.

➤ **Carbón Activado**

$$Cu = \frac{1.23}{0.69}$$

$$Cu = 1.78$$

➤ **Piedra Caliza**

$$Cu = \frac{2}{0.69}$$

$$Cu = 2.89$$

➤ **Turba**

$$Cu = \frac{1}{0.1}$$

$$Cu = 10$$

- **Determinación del coeficiente de curvatura (Cc).**

$$Cc = \frac{D30^2}{D60 * D10}$$

Donde:

<p>Cc = Coeficiente de curvatura. D30 = Diámetro equiparable. D60 = Diámetro dimensional. D10 = Diámetro efectivo</p>

➤ **Carbón Activado**

$$Cc = \frac{0.85^2}{1.23 * 0.69}$$

$$Cc = 0.85$$

➤ **Piedra Caliza**

$$Cc = \frac{0.92^2}{2 * 0.69}$$

$$Cc = 0.61$$

➤ **Turba**

$$Cc = \frac{0.38^2}{1 * 0.1}$$

$$Cc = 1.44$$

COEFICIENTE DE COMPACIDAD [52]

Es el coeficiente, expresado en porcentaje, de la diferencia entre el coeficiente de vacío máximo y el coeficiente de vacío, a la diferencia entre el coeficiente de vacío máximo y mínimo.[52]

En la tabla 15 se muestra el tipo de compacidad de suelo de acuerdo a su porcentaje

Tabla 15. Compacidad de suelos

Compacidad	Compacidad Relativa %
Muy suelta	0-15
Suelta	15-35
Media	35-65
Densa	65-85
Muy Densa	85-100

Fuente:[53]

- **Determinación del coeficiente de compacidad**

$$Cr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} * 100$$

Donde:

Cr = Coeficiente de compacidad. e_{max} = Coeficiente de vacío máximo. e = Coeficiente de vacío. e_{min} = Coeficiente de vacío mínimo.
--

CARBÓN ACTIVADO

$$Cr = \frac{1.757 - 1.266}{1.757 - 1.006} * 100$$

$$Cr = 65.38\%$$

PIEDRA CALIZA

$$Cr = \frac{2.162 - 2.059}{2.162 - 1.931} * 100$$

$$Cr = 44.59 \%$$

TURBA

$$Cr = \frac{1.455 - 1.364}{1.455 - 1.273} * 100$$

$$Cr = 50\%$$

- Determinación del coeficiente de vacíos

Es la relación entre el peso específico y el peso unitario

$$e = \frac{\text{Peso Específico}}{\text{Peso Unitario}}$$

Donde: e = Coeficiente de vacío.

CARBÓN ACTIVADO

$$e_1 = \frac{0.854}{0.486}$$

$$e_2 = \frac{0.503}{0.486}$$

$$e_3 = \frac{0.489}{0.486}$$

$$e_1 = 1.757$$

$$e_2 = 1.035$$

$$e_1 = 1.006$$

$$e = \frac{1.757 + 1.035 + 1.006}{3}$$

$$e = 1.266$$

PIEDRA CALIZA

$$e_1 = \frac{2.8}{1.295}$$

$$e_2 = \frac{2.7}{1.295}$$

$$e_3 = \frac{2.5}{1.295}$$

$$e_1 = 2.162$$

$$e_2 = 2.085$$

$$e_3 = 1.931$$

$$e = \frac{2.162 + 2.085 + 1.931}{3}$$

$$e = 2.059$$

TURBA

$$e_1 = \frac{0.15}{0.110}$$

$$e_2 = \frac{0.14}{0.110}$$

$$e_3 = \frac{0.16}{0.110}$$

$$e_1 = 1.364$$

$$e_2 = 1.273$$

$$e_3 = 1.455$$

$$e = \frac{1.364 + 1.273 + 1.455}{3}$$

$$e = 1.364$$

TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO [28]

$$\text{TNM} = 5\% * \text{TOTAL DE LA MUESTRA TAMIZADA}$$

➤ Carbón Activado

$$\text{TNM} = 5\% * 500\text{gr}$$

$$\text{TNM} = 25 \text{ gr}$$

➤ Piedra Caliza

$$\text{TNM} = 5\% * 500\text{gr}$$

$$\text{TNM} = 25 \text{ gr}$$

➤ Turba

$$\text{TNM} = 5\% * 190\text{gr}$$

$$\text{TNM} = 9.5 \text{ gr}$$

POROSIDAD [33]

Se identificó mediante el microscopio de barrido el tamaño de los poros y posteriormente con las fotografías obtenidas se las llevó al programa Clemex que nos dio el porcentaje de poros que hay en cada sustancia de acuerdo al total del material base y nos genera otra fotografía con su respectivo cuadro de porcentajes.

➤ Carbón Activado

$$n = \frac{36.7 - 42.4}{2}$$

$$n = 39.55 \%$$

➤ Piedra Caliza

$$n = \frac{24.3\% + 29.3\%}{2}$$

$$n = 26.8 \%$$

➤ Turba

$$n = \frac{66.3+41.3}{2}$$

$$n = 53.8 \%$$

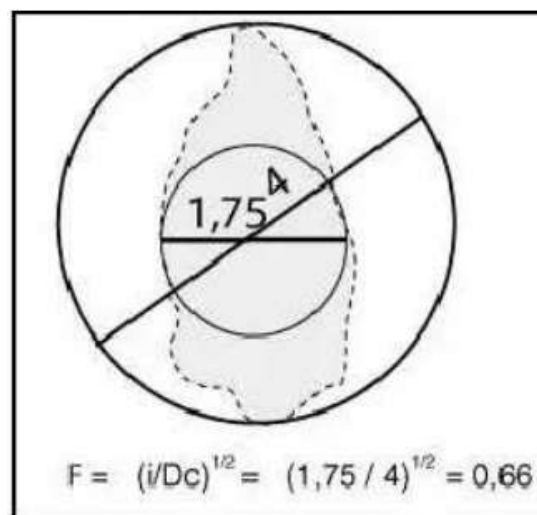
ESFERICIDAD [54]

La esfericidad expresa el grado de aproximación de la partícula a una esfera de igual volumen.

La esfericidad incide en el comportamiento hidrodinámico. En condiciones de transporte por suspensión las partículas de mayor esfericidad tienden a separarse de las otras menos esféricas y a sedimentarse por decantación (en partículas de igual volumen la forma esférica siempre tiene menor superficie y por ende menor fricción con el medio). Por el contrario, cuando el transporte es por tracción la forma menos esférica tiende a quedar rezagada con respecto a las partículas esféricas. [54]

En La figura 25 se muestra gráficamente la fórmula para determinar la esfericidad.

Figura 25. Esfericidad de una partícula



Fuente:[54]

$$F = \left(\frac{i}{Dc}\right)^{1/2}$$

Donde:

F = Esfericidad
i = Diámetro interior de la partícula
Dc = Diámetro exterior de la partícula

➤ Carbón Activado

$$F = \left(\frac{932.3}{1702.58}\right)^{1/2} = 0.73$$

$$F = \left(\frac{738.28}{1275.16}\right)^{1/2} = 0.76$$

$$F = \left(\frac{991.66}{2171.24}\right)^{1/2} = 0.67$$

$$F = \left(\frac{1008.74}{1380.02}\right)^{1/2} = 0.85$$

$$F = \left(\frac{715.3}{1431.96}\right)^{1/2} = 0.7$$

$$F = \frac{0.73 + 0.76 + 0.67 + 0.85 + 0.7}{5} = 0.74$$

➤ Piedra Caliza

$$F = \left(\frac{1042.32}{1847.68}\right)^{1/2} = 0.75$$

$$F = \left(\frac{1180.08}{1903.02}\right)^{1/2} = 0.78$$

$$F = \left(\frac{850.22}{1508.54}\right)^{1/2} = 0.75$$

$$F = \left(\frac{2388.7}{3218.02}\right)^{1/2} = 0.85$$

$$F = \frac{0.75 + 0.78 + 0.75 + 0.85}{4} = 0.78$$

➤ Turba

$$F = \left(\frac{811}{1632.72}\right)^{1/2} = 0.7$$

$$F = \left(\frac{1051.28}{2484.64}\right)^{1/2} = 0.65$$

$$F = \left(\frac{350.4}{1967.12}\right)^{1/2} = 0.42$$

$$F = \left(\frac{560}{1326.92}\right)^{1/2} = 0.64$$

$$F = \left(\frac{389.18}{3315.84}\right)^{1/2} = 0.34$$

$$F = \frac{0.7 + 0.65 + 0.42 + 0.64 + 0.34}{5} = 0.55$$

PERMEABILIDAD [34]

- **Determinación del área transversal**

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A = Área del cilindro.

D = Diámetro del cilindro.

➤ Carbón Activado

$$A = \frac{\pi * 6.38^2}{4}$$

$$A = 31.97 \text{ cm}^2$$

➤ Piedra Caliza

$$A = \frac{\pi * 6.38^2}{4}$$

$$A = 31.97 \text{ cm}^2$$

➤ Turba

$$A = \frac{\pi * 6.38^2}{4}$$

$$A = 31.97 \text{ cm}^2$$

Determinación del tiempo promedio de la prueba

$$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$$

Donde:

t = Tiempo (s)

➤ Carbón Activado

$$t = \frac{5.06 + 5.24 + 5.33}{3}$$

$$t = 5.21 \text{ seg}$$

➤ Piedra Caliza

$$t = \frac{4.26+4.36+4.39}{3}$$

$$t = 4.34 \text{ seg}$$

➤ Turba

$$t = \frac{8.54+8.96+9}{3}$$

$$t = 8.83 \text{ seg}$$

- **Determinación del coeficiente de permeabilidad.**

$$k = \frac{V * L}{A * t * h}$$

Donde:

K = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)
V = Volumen (cm ³)
L = Longitud de la muestra (cm)
A = Área transversal de la muestra (cm ²)
t = Tiempo (s)
h = Altura de carga hidráulica (cm)

➤ Carbón Activado

$$k = \frac{25 * 6}{31.97 * 5.21 * 68.5}$$

$$k = 1.31E - 02$$

➤ Piedra Caliza

$$k = \frac{25 * 6}{31.97 * 4.34 * 68.5}$$

$$k = 1.58E - 2$$

➤ Turba

$$k = \frac{25 * 6}{31.97 * 8.83 * 68.5}$$

$$k = 7.75E - 03$$

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados para determinar las características de las sustancias reactivas de origen ecuatoriano.

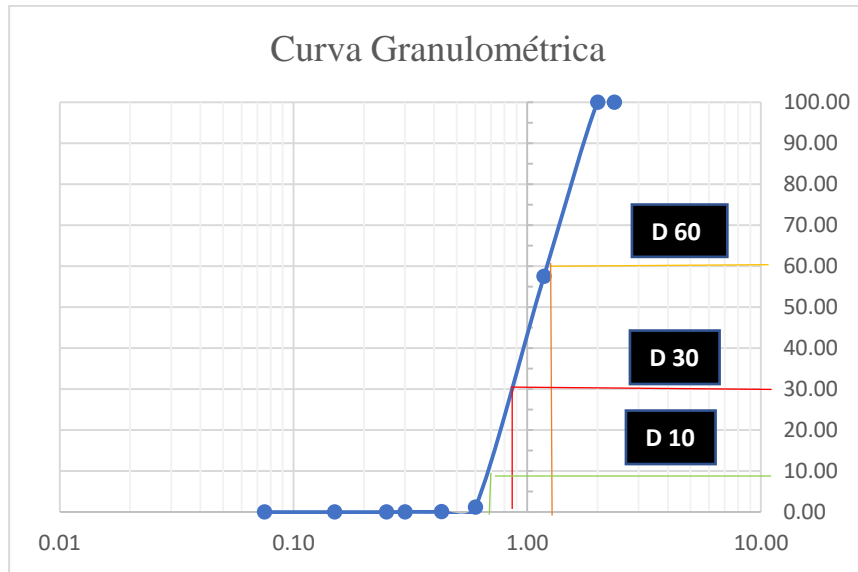
3.1.1. Granulometría

➤ Carbón activado

En la tabla 16 se presentan los resultados de la granulometría del carbón activado teniendo como características principales un tamaño nominal máximo de partículas correspondiente a una abertura de 1.18mm, un coeficiente de uniformidad de 1.78 y un coeficiente de curvatura de 0.85.

Tabla 16. Granulometría del carbón activado

ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS					
TAMIZ #	mm	PESO RETENIDO (gr)	PESO RET/ACUM. (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
#8	2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
#10	2,00	0,00	0,00	0,00	100,00
#16	1,18	212,50	212,50	42,50	57,50
#30	0,60	281,60	494,10	98,82	1,18
#40	0,43	5,20	499,30	99,86	0,14
#50	0,30	0,40	499,70	99,94	0,06
#60	0,25	0,30	500,00	100,00	0,00
#100	0,15	0,00	500,00	100,00	0,00
#200	0,075	0,00	500,00	100,00	0,00
PASA #200		0,00	0	0,00	
TOTAL		500	500		



TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (TNM)	Abertura	1,18mm
DIÁMETRO EFECTIVO (D10)		0,69 mm
DIÁMETRO EQUIPARABLE (D30)		0,85 mm
DIÁMETRO DIMENSIONAL (D60)		1,23 mm
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD		COEFICIENTE DE CURVATURA
$Cu = \frac{D60}{D10}$ $Cu = \frac{1.23}{0.69}$ $Cu = 1.78$		$Cc = \frac{D30^2}{D60 * D10}$ $Cc = \frac{0.85^2}{1.23 * 0.69}$ $Cc = 0.85$

Generalmente los filtros de carbón activado se utilizan para purificar agua, cumpliendo una función de potabilizador casero, y tienen partículas comprendidas entre 0.59 y 2.38 mm [55].

En un estudio de un filtro biológico para el control de efluentes generados en una quesera con la implementación de piedra caliza, canutillos de cerámica, zeolita y carbón activado granular de cáscara de coco se elaboró una estructura vertical de 2m con cinco cavidades donde se ha colocado recipientes rectangulares de 25x35 cm con una altura de 25cm, cuatro de los cinco tenían 13 perforaciones con un diámetro de 0.85mm, generando así un flujo por goteo cada recipiente contenía las sustancias

descritas con un espesor de 5cm, 2.17cm, 20cm y 17cm respectivamente y el tamaño de partículas del carbón activado estaba entre 0.83 a 2.36 mm[5].

En una experimentación práctica de una planta de tratamiento de aguas residuales para la lavadora de autos Octopus en la ciudad de Ambato el agua residual pasa por el sistema de cribado (paso de materiales menores a 2.5cm) hacia el tratamiento primario que es el sedimentador que consiste en el asentamiento de lodos y materiales sólidos por medio de gravedad, posteriormente el agua pasa a la trampa de grasas que consiste en separar el agua de aceites y grasas por diferencia de densidades en donde en la parte superior se acumulan estos últimos que luego son transportados al deposito de grasas donde se acumulan para posteriormente ser desechados, el agua residual que pasa a la fase final del tratamiento de la planta se distribuye en 3 canastillas de acero inoxidable por medio de una pantalla difusora que se encarga de repartir el caudal por toda el área de los filtros, cada canastilla contiene carbón activado, cama turba y piroclasto volcánico como materiales filtrantes el tamaño de partículas de carbón activado empleadas fue de 0.42 a 1.68 mm [20].

El tamaño de partículas de carbón activado analizado está dentro del rango de los hallados en investigaciones previas encontrándose 42.5% en 1.18 mm y 56.32% en 0.60 mm y el 1.18% restante comprendido entre 0.25 a 0.43 mm.

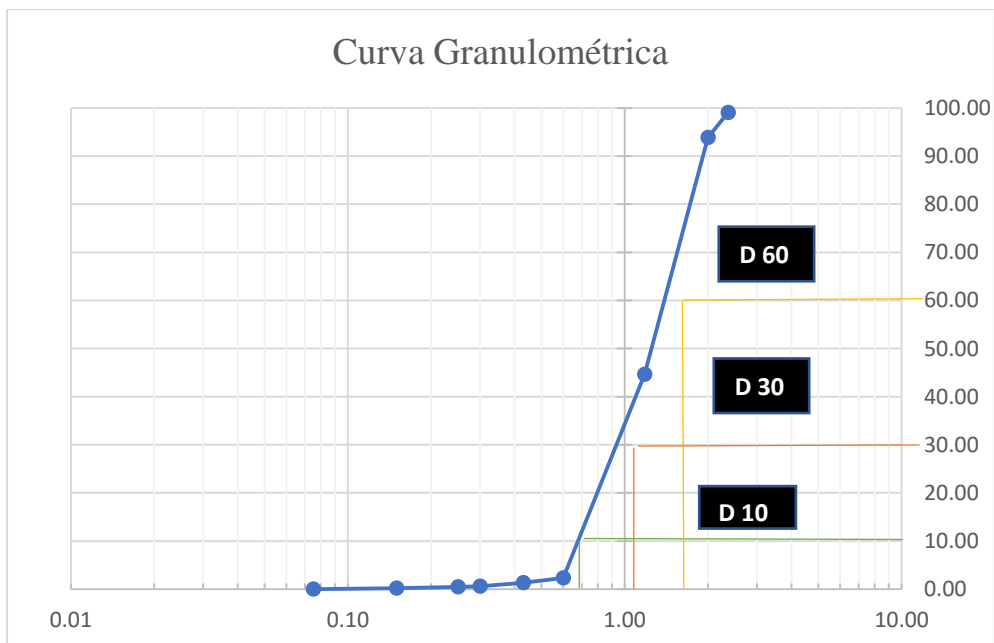
➤ Piedra caliza

En la tabla 17 se presentan los resultados de la granulometría de la piedra caliza teniendo como características principales un tamaño nominal máximo de partículas correspondiente a una abertura de 2mm, un coeficiente de uniformidad de 2.89 y un coeficiente de curvatura de 0.61.

Tabla 17. Granulometría de la Piedra Caliza

ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS					
TAMIZ #	mm	PESO RETENIDO (gr)	PESO RET/ACUM. (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
#8	2,36	4,65	4,65	0,93	99,07
#10	2,00	25,95	30,60	6,12	93,88

#16	1,18	246,35	276,95	55,39	44,61
#30	0,60	211,25	488,20	97,64	2,36
#40	0,43	5,05	493,25	98,65	1,35
#50	0,30	3,6	496,85	99,37	0,63
#60	0,25	0,9	497,75	99,55	0,45
#100	0,15	1,35	499,10	99,82	0,18
#200	0,075	0,9	500,00	100,00	0,00
PASA #200		0	0	0,00	
TOTAL		500	500		



TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (TNM)	Abertura	2mm
DIÁMETRO EFECTIVO (D10)		0,69 mm
DIÁMETRO EQUIPARABLE (D30)		0,92 mm
DIÁMETRO DIMENSIONAL (D60)		2 mm
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD		COEFICIENTE DE CURVATURA
$Cu = \frac{D60}{D10}$ $Cu = \frac{2}{0.69}$ $Cu = 2.89$		$Cc = \frac{D30^2}{D60 * D10}$ $Cc = \frac{0.92^2}{2 * 0.69}$ $Cc = 0.61$

La piedra caliza ha demostrado ser una alternativa rentable para aguas ácidas de mina con tamaño de sus partículas entre 0.42 y 0.59 mm con concentraciones altas de sulfatos [9].

En una evaluación de la eficiencia de un filtro de arena y piedra caliza para la remoción de parámetros físicos de agua de una quebrada se empleó arena con dimensiones comprendidas entre 0.20 a 0.3 mm y de piedra caliza con tamaño de 1mm, se elaboró dos filtros de 1.15m de largo, 0.90m de ancho y 2.55m de alto para ambos filtros se colocó una primera capa de grava con diámetro de 3/4” a una altura de 15 cm, segunda capa de grava con diámetro de 1/2” a una altura de 5 cm, tercera capa de grava con diámetro de 1/4” a una altura de 5 cm, estos materiales son para los dos filtros, y como última capa fue colocada la arena y la piedra caliza a una altura de 80 cm respectivamente para cada filtro al culminar la filtración se determinó que el filtro de arena fue superior al de piedra caliza puesto que en solidos totales obtuvieron 58.25% y 36.25% en turbiedad 58.25% y 51.50% y para el parámetro de color 57.50% y 50.25%. [56]

El tamaño de partículas de la piedra caliza analizada está dentro del rango de los hallados en investigaciones previas encontrándose 55.39% en 1.18 mm y 42.25% en 0.60 mm y el 2.36% restante comprendido entre 0.075 a 0.43 mm.

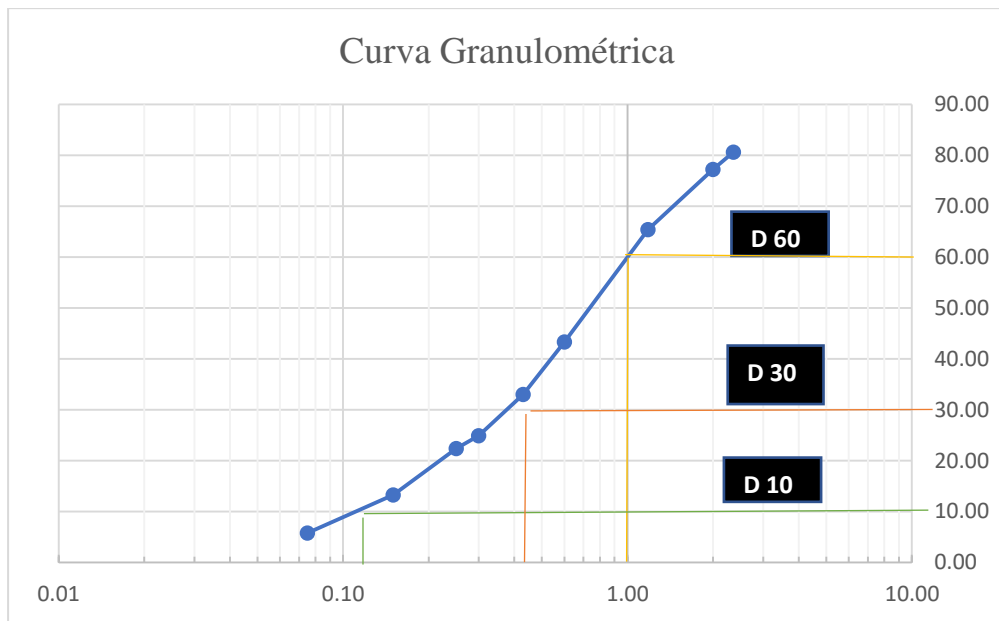
➤ Turba

En la tabla 18 se presentan los resultados de la granulometría de la turba teniendo como características principales un tamaño nominal máximo de partículas correspondiente a una abertura de 0.3mm, un coeficiente de uniformidad de 10 y un coeficiente de curvatura de 1.44.

Tabla 18. Granulometría de la Turba

ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS					
TAMIZ #	mm	PESO RETENIDO (gr)	PESO RET/ACUM. (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
#8	2,36	36,50	36,50	19,21	80,79
#10	2,00	6,40	42,90	22,58	77,42
#16	1,18	22,20	65,10	34,26	65,74

#30	0,60	41,50	106,60	56,11	43,89
#40	0,43	19,50	126,10	66,37	33,63
#50	0,30	15,20	141,30	74,37	25,63
#60	0,25	4,80	146,10	76,89	23,11
#100	0,15	17,10	163,20	85,89	14,11
#200	0,075	14,10	177,30	93,32	6,68
PASA #200		10,90	188,20	99,05	0,95
TOTAL		188,20	188,20		



TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (TNM)	Abertura	0.3mm
DIÁMETRO EFECTIVO (D10)		0,1 mm
DIÁMETRO EQUIPARABLE (D30)		0,38 mm
DIÁMETRO DIMENSIONAL (D60)		1 mm
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD		COEFICIENTE DE CURVATURA
$Cu = \frac{D60}{D10}$ $Cu = \frac{1}{0.1}$ $Cu = 10$		$Cc = \frac{D30^2}{D60 * D10}$ $Cc = \frac{0.38^2}{1 * 0.1}$ $Cc = 1.44$

La turba fina posee una granulometría comprendida entre 0 y 10 mm, la turba estándar una granulometría comprendida entre 0 y 20 mm, la gruesa una granulometría comprendida entre 0 y 40 mm y la extra gruesa una granulometría comprendida entre 15 a 45mm [58]

Para la aplicación en filtros para tratamiento de agua se emplea la turba fina, en nuestro caso hemos obtenido una granulometría comprendida entre 0.075 a 2.36 mm.


3.1.2. Coeficiente de compacidad:

➤ Carbón activado

A continuación, se presentan las tablas pertenecientes al peso unitario y al peso específico de cada sustancia, valores los cuales se emplearon en fórmulas para la determinación del coeficiente de compacidad.



En la tabla 19 se muestra el resultado del peso unitario obtenido para el carbón activado teniendo como valor obtenido 0.486 gr/cm³.

Tabla 19. Peso Unitario del Carbón Activado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
		DENSIDAD APARENTE		
		NORMA NTE-ENEN 858 (ASTM-C29)		
MASA RECIPIENTE (gr):		3541		
VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³):		2850,10		
SUSTANCIA	Agregado + Recipiente (gr)	Agregado (gr)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Peso Unitario Promedio (gr/cm ³)
CARBÓN ACTIVADO	4922	1381	0,485	0,486
	4915	1374	0,482	
	4930	1389	0,487	
	4927	1386	0,486	
	4935	1394	0,489	



En la tabla 20 se muestra el resultado del peso unitario obtenido para la piedra caliza teniendo como valor obtenido 1,295 gr/cm³.

Tabla 20. Peso Unitario de la Piedra Caliza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DENSIDAD APARENTE NORMA NTE-INEN 858 (ASTM-C29) 				
MASA RECIPIENTE (gr):	3541			
VOLUMEN RECIPIENTE (cm³):	2850,10			
<i>SUSTANCIA</i>	<i>Agregado + Recipiente (gr)</i>	<i>Agregado (gr)</i>	<i>Peso Unitario (gr/cm³)</i>	<i>Peso Unitario Promedio (gr/cm³)</i>
PIEDRA CALIZA	7259	3718	1,305	1,295
	7235	3694	1,296	
	7217	3676	1,290	
	7221	3680	1,291	
	7229	3688	1,294	



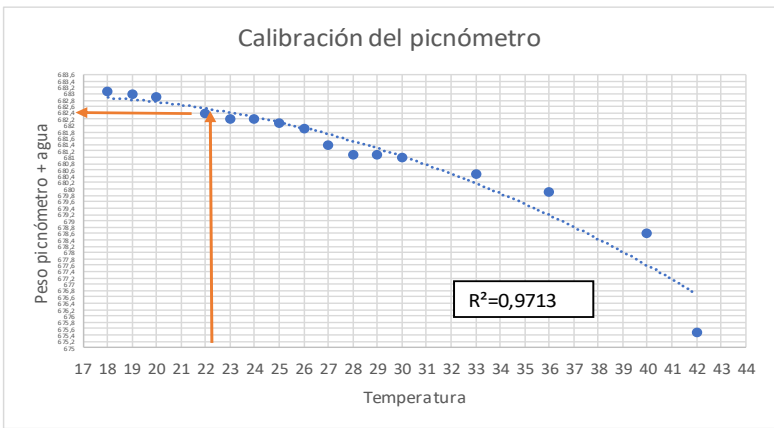
En la tabla 21 se muestra el resultado del peso unitario obtenido para la turba teniendo como valor obtenido 0.110 gr/cm³.

Tabla 21. Peso Unitario de la Turba

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DENSIDAD APARENTE NORMA NTE-INEN 858 (ASTM-C29) 				
MASA RECIPIENTE (gr):	3541			
VOLUMEN RECIPIENTE (cm³):	2850,10			
<i>SUSTANCIA</i>	<i>Agregado + Recipiente (gr)</i>	<i>Agregado (gr)</i>	<i>Peso Unitario (gr/cm³)</i>	<i>Peso Unitario Promedio (gr/cm³)</i>
TURBA	3861	320	0,112	0,110
	3856	315	0,111	
	3854	313	0,110	
	3849	308	0,108	
	3853	312	0,109	

En las tablas 22 se muestra el peso específico 1 obtenido mediante el ensayo de densidad aparente para el carbón activado teniendo como resultado un valor igual a 0.854.

Tabla 22. Peso específico 1 del Carbón Activado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
GRAVEDAD ESPECÍFICA			
MUESTRA	CARBÓN ACTIVADO		
NORMA	AASHTO T- 100; ASTM D 854 58		
MASA DEL PICNÓMETRO	152,1 gr		
TEMPERATURA DEL AGUA	22 C		
			
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	682,60 gr		
MASA MUESTRA DE SUELO	75 gr		
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	668 gr		
MASA RECIPIENTE	225,2 gr		
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	299,8 gr		
MASA MUESTRA SECA	74,6 gr		
Gravedad Específica	0,854		

En las tablas 23 se muestra el peso específico 2 obtenido mediante el ensayo de densidad aparente para el carbón activado teniendo como resultado un valor igual a 0.503.

Tabla 23. Peso específico 2 del Carbón Activado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Gravedad Específica NORMA: AASHTO T- 100; ASTM D 854 58			
ELABORADO POR:	Daniel Cabezas		
SUSTANCIA:	Carbón Activado		
MASA DEL PICNÓMETRO	152,1	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	22	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	669,85	gr	
MASA DEL AGUA	442,00	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	75	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	595,6	gr	
MASA RECIPIENTE	226	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	300	gr	
MASA MUESTRA SECA	74,4	gr	
Gravedad Específica (Gs)	0,503		


En la tabla 24 se muestra el peso específico 3 obtenido mediante el ensayo de densidad aparente para el carbón activado teniendo como resultado un valor igual a 0.489.

Tabla 24. Peso específico 3 del Carbón Activado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Gravedad Específica NORMA: AASHTO T- 100; ASTM D 854 58			
ELABORADO POR:	Daniel Cabezas		
SUSTANCIA:	Carbón Activado		
MASA DEL PICNÓMETRO	152,1	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	22	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	664,00	gr	
MASA DEL AGUA	442,00	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	75	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	585,9	gr	
MASA RECIPIENTE	225,2	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	300,2	gr	
MASA MUESTRA SECA	74,5	gr	
Gravedad Específica (Gs)	0,489		

En las tablas 25 se muestra el peso específico 1 obtenido mediante el ensayo de densidad aparente para la piedra caliza teniendo como resultado un valor igual a 2.8.

Tabla 25. Peso específico 1 de la Piedra Caliza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Gravedad Específica NORMA: AASHTO T- 100; ASTM D 854 58			
ELABORADO POR:	Daniel Cabezas		
SUSTANCIA:	Piedra Caliza		
MASA DEL PICNÓMETRO	152,1	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	22	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	552,00	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	75	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	600	gr	
MASA RECIPIENTE	263,8	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	338,4	gr	
MASA MUESTRA SECA	74,5	gr	
Gravedad Específica (Gs)	2,8		


En las tablas 26 se muestra el peso específico 2 obtenido mediante el ensayo de densidad aparente para la piedra caliza teniendo como resultado un valor igual a 2.7.

Tabla 26. Peso específico 2 de la Piedra Caliza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Gravedad Específica NORMA: AASHTO T- 100; ASTM D 854 58			
ELABORADO POR:	Daniel Cabezas		
SUSTANCIA:	Piedra Caliza		
MASA DEL PICNÓMETRO	152,1	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	22	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	553,00	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	75	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	600	gr	
MASA RECIPIENTE	263,8	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	338,4	gr	
MASA MUESTRA SECA	74,6	gr	
Gravedad Específica (Gs)	2,7		

En las tablas 27 se muestra el peso específico 3 obtenido mediante el ensayo de densidad aparente para la piedra caliza teniendo como resultado un valor igual a 2.5.

Tabla 27. Peso específico 3 de la Piedra Caliza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Gravedad Específica NORMA: AASHTO T- 100; ASTM D 854 58			
ELABORADO POR:	Daniel Cabezas		
SUSTANCIA:	Piedra Caliza		
MASA DEL PICNÓMETRO	152,1	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	22	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	555,00	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	75	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	600	gr	
MASA RECIPIENTE	263,8	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	338,4	gr	
MASA MUESTRA SECA	74,2	gr	
Gravedad Específica (Gs)	2,5		

En las tablas 28 se muestra el peso específico 1 obtenido mediante el ensayo de densidad aparente para la turba teniendo como resultado un valor igual a 0.15.

Tabla 28. Peso específico 1 de la Turba

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Gravedad Específica NORMA: AASHTO T- 100; ASTM D 854 58			
ELABORADO POR:	Daniel Cabezas		
SUSTANCIA:	Turba		
MASA DEL PICNÓMETRO	152,1	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	22	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	795,00	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	25	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	640	gr	
MASA RECIPIENTE	300	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	321,8	gr	
MASA MUESTRA SECA	21,8	gr	
Gravedad Específica (Gs)	0,15		


En las tablas 29 se muestra el peso específico 2 obtenido mediante el ensayo de densidad aparente para la turba teniendo como resultado un valor igual a 0.14.

Tabla 29. Peso específico 2 de la Turba

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Gravedad Específica NORMA: AASHTO T- 100; ASTM D 854 58			
ELABORADO POR:	Daniel Cabezas		
SUSTANCIA:	Turba		
MASA DEL PICNÓMETRO	152,1	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	22	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	792,00	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	25	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	640	gr	
MASA RECIPIENTE	300	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	321,8	gr	
MASA MUESTRA SECA	21,8	gr	
Gravedad Específica (Gs)	0,14		

En las tablas 30 se muestra el peso específico 3 obtenido mediante el ensayo de densidad aparente para la turba teniendo como resultado un valor igual a 0.16.

Tabla 30. Peso específico 3 de la Turba

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Gravedad Específica NORMA: AASHTO T- 100; ASTM D 854 58			
ELABORADO POR:	Daniel Cabezas		
SUSTANCIA:	Turba		
MASA DEL PICNÓMETRO	152,1	gr	
TEMPERATURA DEL AGUA	22	C	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA	800,00	gr	
MASA MUESTRA DE SUELO	25	gr	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA+SUELO	640	gr	
MASA RECIPIENTE	300	gr	
MASA RECIPIENTE +MUESTRA SECA	321	gr	
MASA MUESTRA SECA	21	gr	
Gravedad Específica (Gs)	0,16		

3.1.3. Porosidad:

➤ Carbón activado

En la figura 26 y 27 se muestran las fotografías obtenidas por medio del microscopio de barrido del carbón activado con el tamaño de sus poros de dos granos de carbón activado diferentes.

Figura 26. Fotografía del carbón activado obtenido por medio del microscopio de barrido

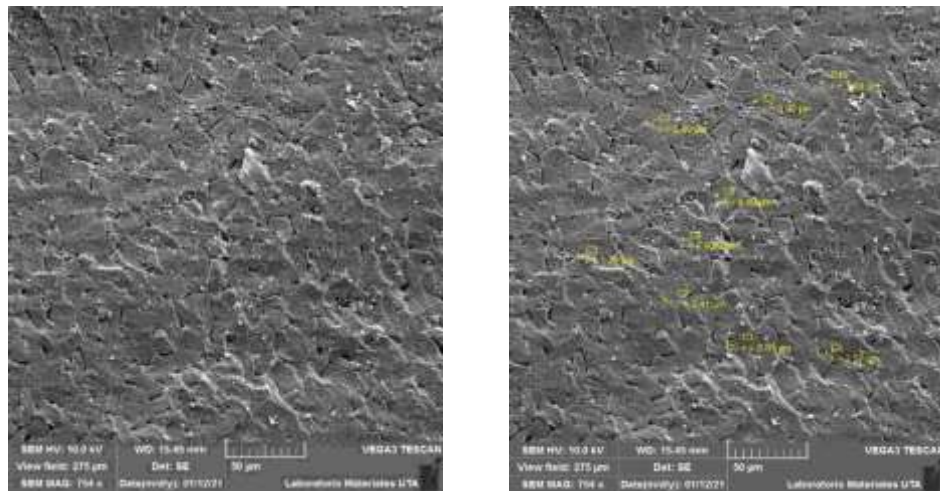
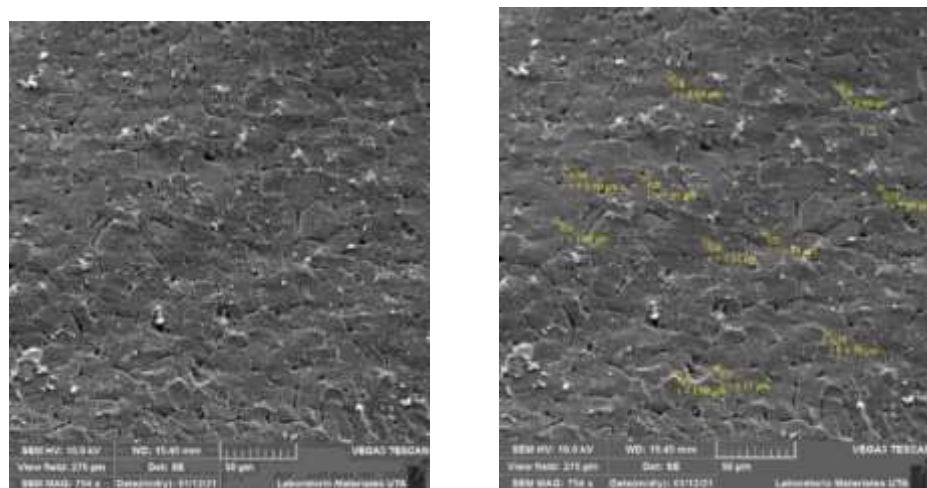


Figura 27. Fotografía del carbón activado obtenido por medio del microscopio de barrido



En las tablas 31 y 32 se muestra el radio y el diámetro de los poros del carbón activado correspondientes a las figuras 26 y 27.

Tabla 31. Tamaño de poros del carbón activado correspondiente a la figura 26

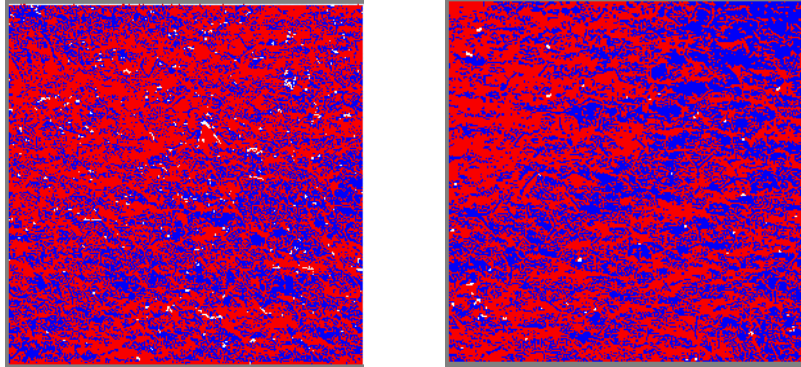
TAMAÑO DE POROS		
Circunferencia	Radio (μm)	Diámetro (μm)
C1	2,81	5,62
C2	2,41	4,82
C3	1,29	2,58
C4	0,8	1,6
C5	2,57	5,14
C6	0,8	1,6
C7	2	4
C9	0,9	1,8
C10	1,29	2,58

Tabla 32. Tamaño de poros del carbón activado correspondiente a la figura 27

TAMAÑO DE POROS		
Circunferencia	Radio (μm)	Diámetro (μm)
C2	1,91	3,82
C3	1,91	3,82
C4	1,91	3,82
C5	1,91	3,82
C6	1,69	3,38
C7	1,77	3,54
C8	2,69	5,38
C9	2,04	4,08
C11	1,79	3,58
C12	1,65	3,3

En la figura 28 Se muestran las fotografías correspondientes a las figuras 26 y 27 del microscopio de barrido abiertas en el programa CLEMEX, donde se puede identificar con color azul la porosidad y con color rojo el material como tal de la sustancia analizada.

Figura 28. Fotografías obtenidas por el microscopio de barrido del carbón activado, abiertas en el programa CLEMEX



En las figuras 29 y 30 se muestra tanto el porcentaje de porosidad ilustrada con color azul como el de su material base ilustrada con color rojo.

Figura 29. Porcentaje de porosidad correspondiente a la figura 26

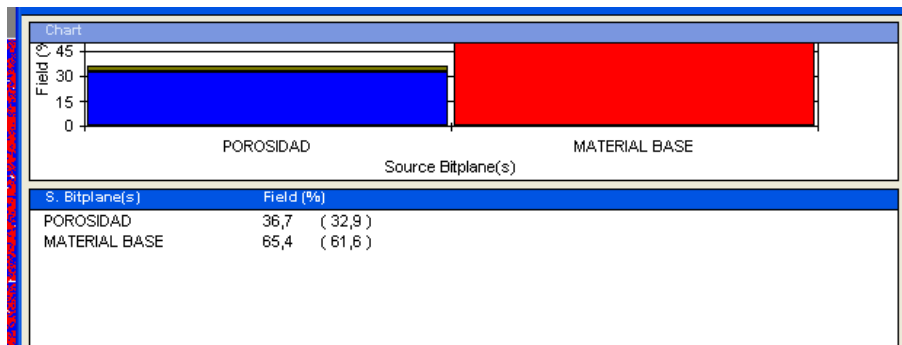
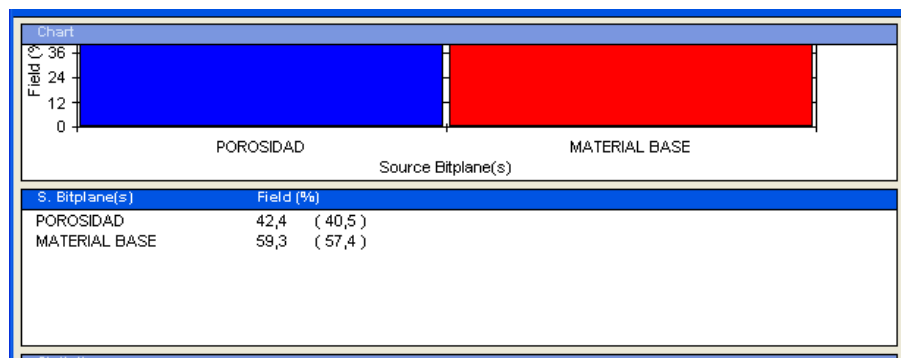


Figura 30. Porcentaje de porosidad correspondiente a la figura 27



El carbón activado se caracteriza por poseer una cantidad muy grande de microporos, con poros menores a 2 nanómetros de radio [4].

En un artículo sobre propiedades de materiales granulares se ha encontrado que la porosidad del carbón activado es del 40% [39].

Según investigaciones realizadas previamente se ha encontrado que el carbón activado tiene una porosidad del 45% [59].

El carbón activado analizado posee una gran cantidad de microporos y mesoporos ya que el radio de los mismos se encuentra en un rango de 0.8 a 2.81 nanómetros y el porcentaje de poros es del 39.55% lo que evidencia los datos obtenidos en investigaciones previas.

➤ Piedra caliza

En la figura 31 y 32 se muestran las fotografías obtenidas por medio del microscopio de barrido de la piedra caliza con el tamaño de sus poros de dos granos de piedra caliza diferentes.

Figura 31. Fotografía de la piedra caliza obtenido por medio del microscopio de barrido

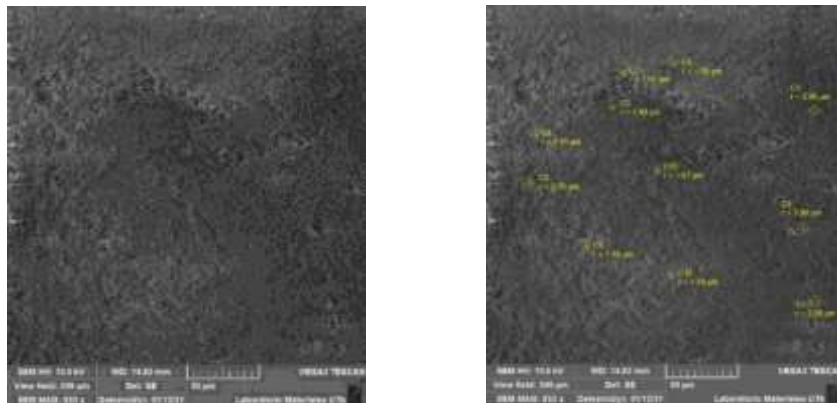
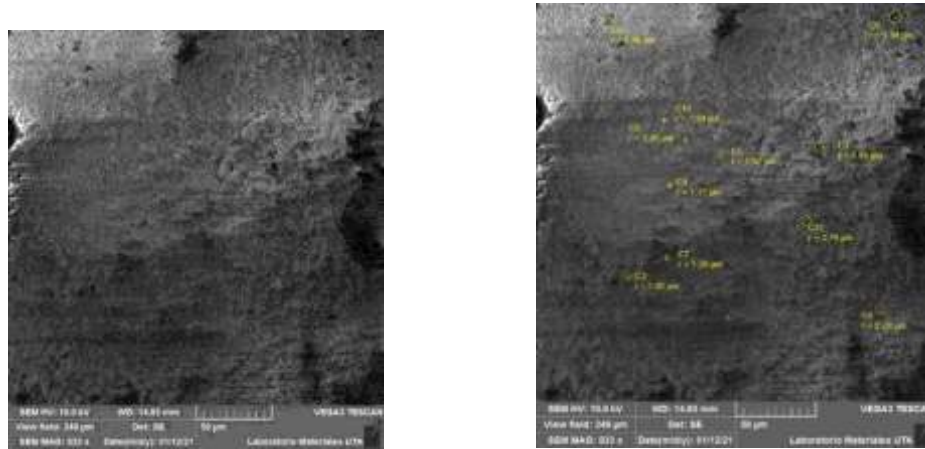


Figura 32. Fotografía de la piedra caliza obtenido por medio del microscopio de barrido



En las tablas 33 y 34 se muestra el radio y el diámetro de los poros de la piedra caliza correspondientes a las figuras 31 y 32.

Tabla 33. Tamaño de poros de la piedra caliza correspondiente a la figura 31

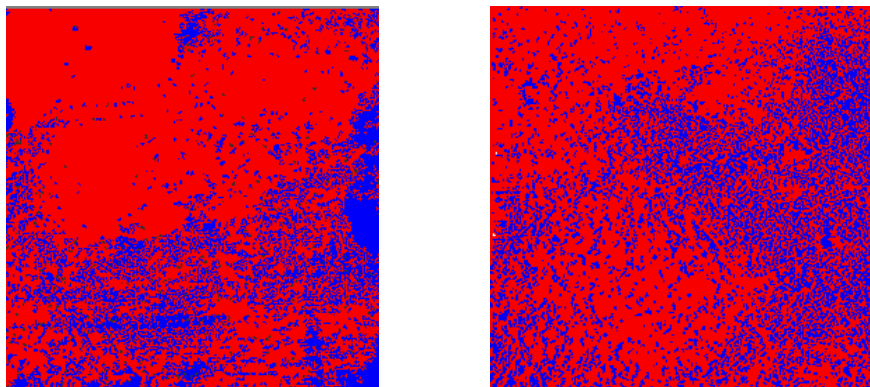
TAMAÑO DE POROS		
Circunferencia	Radio (μm)	Diámetro (μm)
C1	2,89	5,78
C2	2,9	5,8
C3	1,85	3,7
C4	1,17	2,34
C5	1,82	3,64
C6	3,44	6,88
C7	1,38	2,76
C8	2,7	5,4
C9	1,4	2,8
C10	1,04	2,08
C11	2,76	5,52

Tabla 34. Tamaño de poros de la piedra caliza correspondiente a la figura 32

TAMAÑO DE POROS		
Circunferencia	Radio (μm)	Diámetro (μm)
C1	2,98	5,96
C2	2,79	5,58
C3	2,66	5,32
C4	3,8	7,6
C5	1,89	3,78
C6	1,84	3,68
C7	2,07	4,14
C8	1,95	3,9
C9	1,95	3,9
C10	1,67	3,34
C11	1,6	3,2

En la figura 33 Se muestran las fotografías correspondientes a las figuras 31 y 32 del microscopio de barrido abiertas en el programa CLEMEX, donde se puede identificar con color azul la porosidad y con color rojo el material como tal de la sustancia analizada

Figura 33. Fotografías obtenidas por el microscopio de barrido de la piedra caliza, abiertas en el programa CLEMEX



En las figuras 34 y 35 se muestra tanto el porcentaje de porosidad ilustrada con color azul como el de su material base ilustrada con color rojo.

Figura 34. Porcentaje de porosidad correspondiente a la figura 31

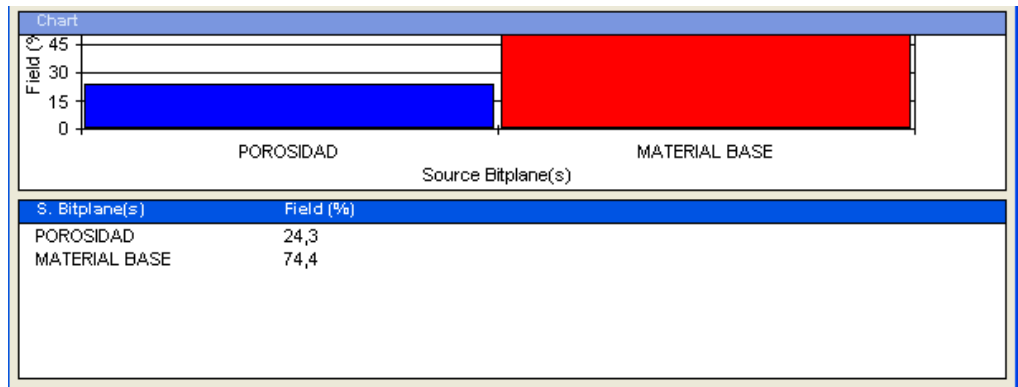
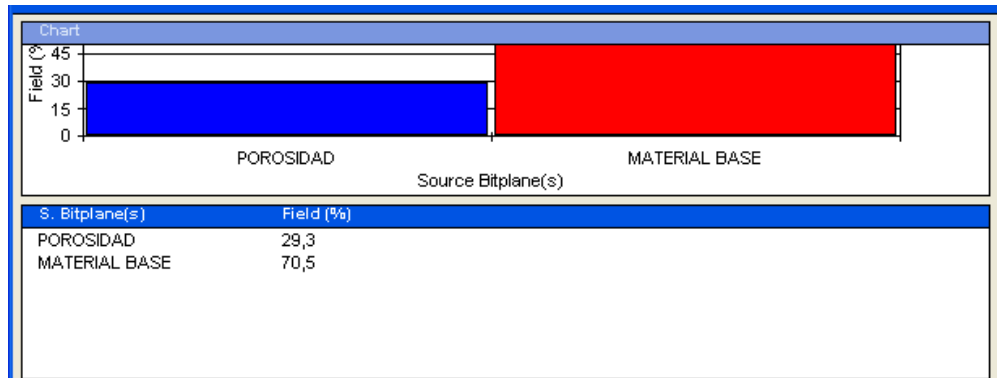


Figura 35. Porcentaje de porosidad correspondiente a la figura 32



La piedra caliza utilizada en filtros para tratamiento de aguas residuales tiene una porosidad del 29% [5].

Según Sanders el valor estimado de la piedra caliza está comprendido entre 5 a 30% [60].

El porcentaje de porosidad obtenido de la piedra caliza analizada es de 26.8% el cual está dentro de los rangos investigados.

➤ Turba

En la figura 36 y 37 se muestran las fotografías obtenidas por medio del microscopio de barrido de la turba con el tamaño de sus poros.

Figura 36. Fotografía de la turba obtenido por medio del microscopio de barrido

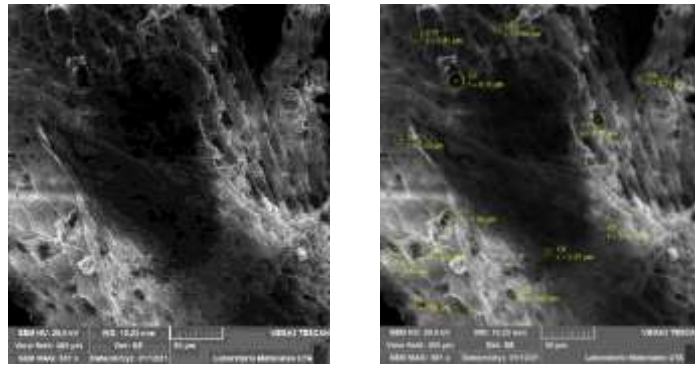
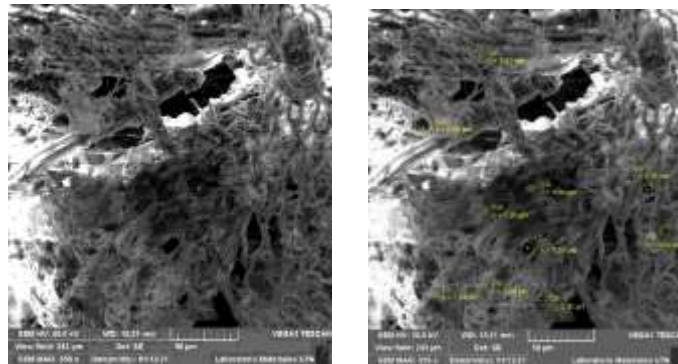


Figura 37. Fotografía de la turba obtenido por medio del microscopio de barrido



En las tablas 35 y 36 se muestra el radio y el diámetro de los poros de la turba correspondientes a las figuras 36 y 37.

Tabla 35. Tamaño de poros de la piedra turba correspondiente a la figura 36

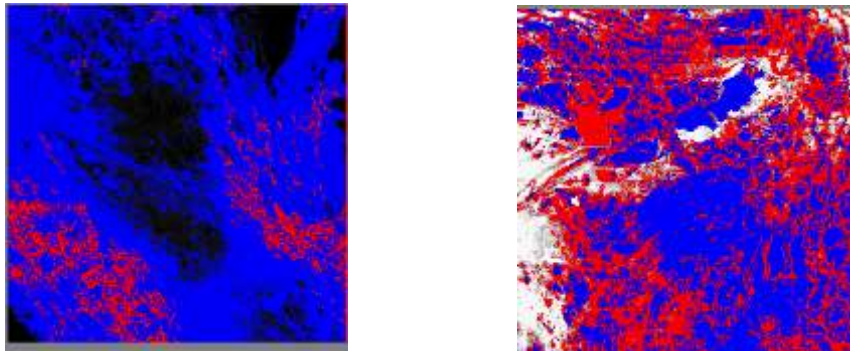
TAMAÑO DE POROS		
Circunferencia	Radio (μm)	Diámetro (μm)
C1	5,89	11,78
C2	5,52	11,04
C3	6,28	12,56
C4	5,77	11,54
C5	8,11	16,22
C6	3,53	7,06
C7	2,53	5,06
C8	3,37	6,74
C9	2,25	4,5
C10	5,62	11,24
C11	5,62	11,24

Tabla 36. Tamaño de poros de la piedra turba correspondiente a la figura 37

TAMAÑO DE POROS		
Circunferencia	Radio (μm)	Diámetro (μm)
C1	5,3	10,6
C2	3,36	6,72
C3	1,84	3,68
C4	1,9	3,8
C5	4,03	8,06
C6	2,57	5,14
C7	3,42	6,84
C8	1,9	3,8
C9	1,9	3,8
C10	6,66	13,32

En la figura 38 Se muestran las fotografías correspondientes a las figuras 36 y 37 del microscopio de barrido abiertas en el programa CLEMEX, donde se puede identificar con color azul la porosidad y con color rojo el material como tal de la sustancia analizada

Figura 38. Fotografías obtenidas por el microscopio de barrido de la turba, abiertas en el programa CLEMEX



En la figura 39 y 40 se muestra tanto el porcentaje de porosidad ilustrada con color azul como el de su material base ilustrada con color rojo.

Figura 39. Porcentaje de porosidad correspondiente a la figura 36

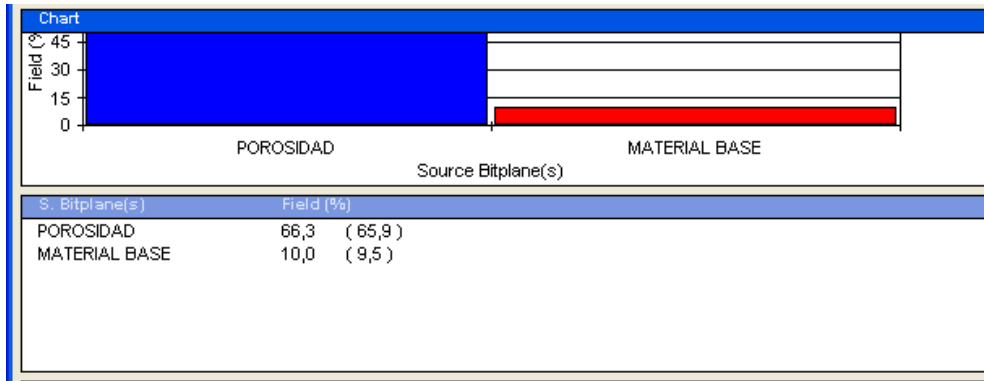
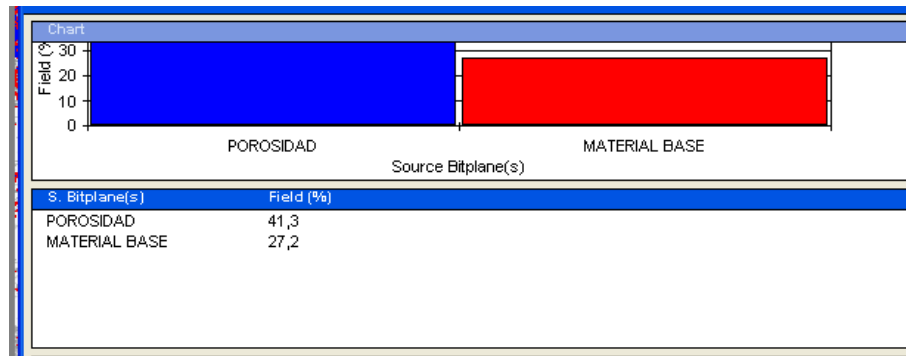


Figura 40. Porcentaje de porosidad correspondiente a la figura 37



Una propiedad física que contribuye con la descontaminación del agua es la porosidad y en investigaciones previas se ha encontrado que la porosidad de la turba oscila entre el 50 y 80% [61].

La porosidad de la turba varía de acuerdo al origen y tamaño de partículas pero por lo general esta comprendida en un rango en tre 60 y 80% [60].

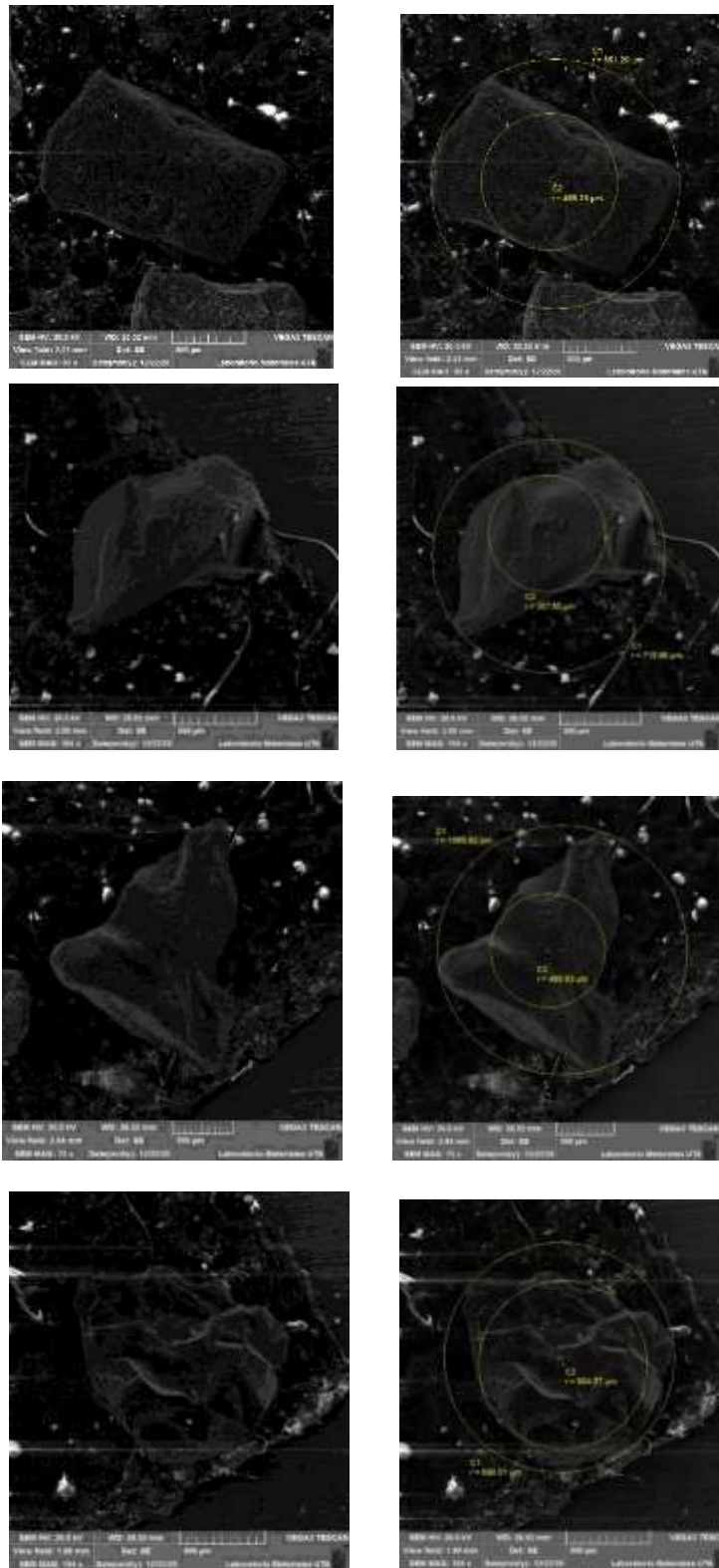
La porosidad de las muestras analizadas nos dan valores de 66.9% y 41.3% por lo que se asume que los valores varían de acuerdo al tamaño partículas analizadas en el microscopio de barrido.

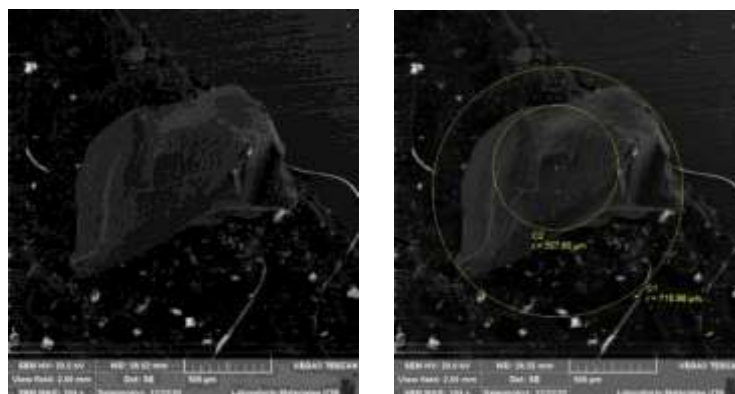
3.1.4. Esfericidad

➤ Carbón activado

En la figura 41 se mueran las fotografías obtenidas por medio del microscopio de barrido de 5 partículas de carbón activado con el radio interior y exterior de la muestra.

Figura 41. Fotografía del carbón activado obtenido por medio del microscopio de barrido





En la tabla 37 se muestran los valores de esfericidad obtenidos por medio de ecuaciones con el uso del diámetro interno y externo de cada partícula de carbón activado.

Tabla 37. Esfericidad del Carbón Activado.

MUES TRA	Circunfe rencia	INTERNA		Circunf erencia	EXTERNA		ESFERICIDAD (F)	ESFERICIDAD PROMEDIO
		Radio (µm)	Diámetro (µm)		Radio (µm)	Diámetro (µm)		
1	C2	466,15	932,3	C1	851,29	1702,58	0,73	0,74
2	C2	369,14	738,28	C1	637,58	1275,16	0,76	
3	C2	495,83	991,66	C1	1085,62	2171,24	0,67	
4	C2	504,37	1008,74	C1	690,01	1380,02	0,85	
5	C2	357,65	715,3	C1	715,98	1431,96	0,7	

Fuente: Autoría propia

Dentro de las propiedades de medios filtrantes comunes para filtros de lecho granulares se encuentra el carbón activado el cual posee una esfericidad de 0.75[62].

En una investigación de propiedades de ciertos materiales granulares se indica que el valor correspondiente a la esfericidad del carbón activado es de 0.75 muy cercano al de la grava puesto que su valor es de 0.78 [7].

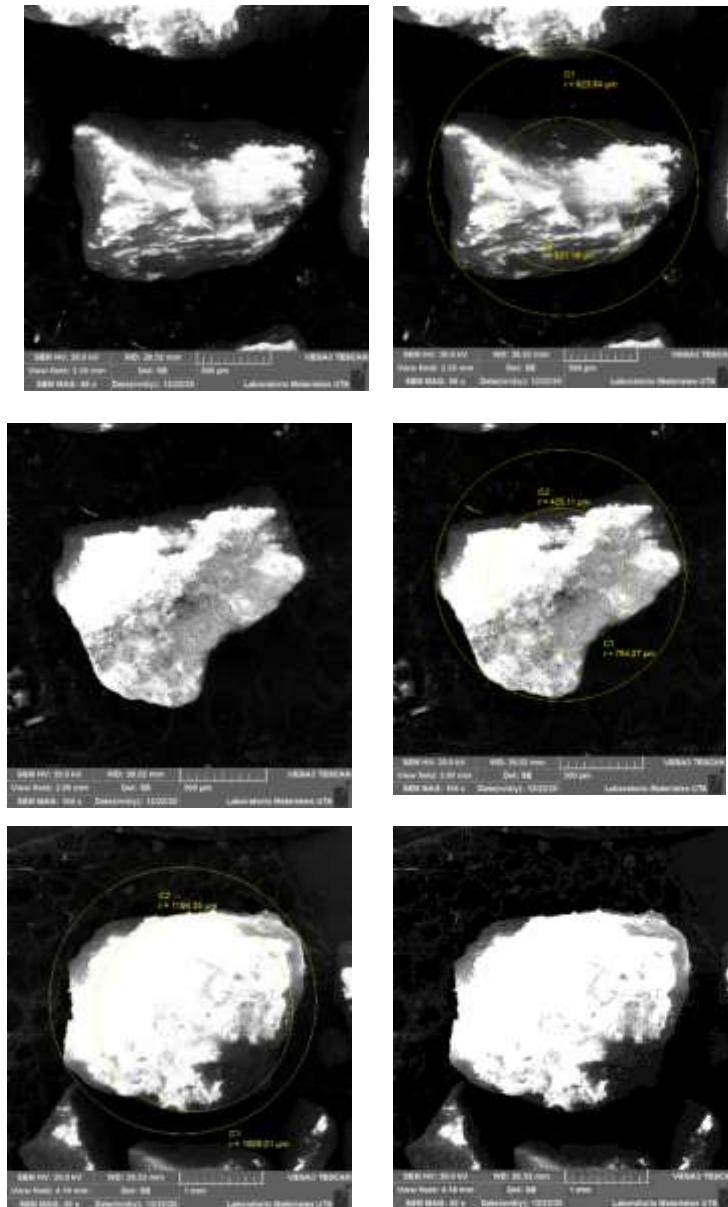
En un artículo sobre materiales filtrantes se estandarizan valores de algunos materiales entre ellos el carbón activado con un valor de 0.70 [4].

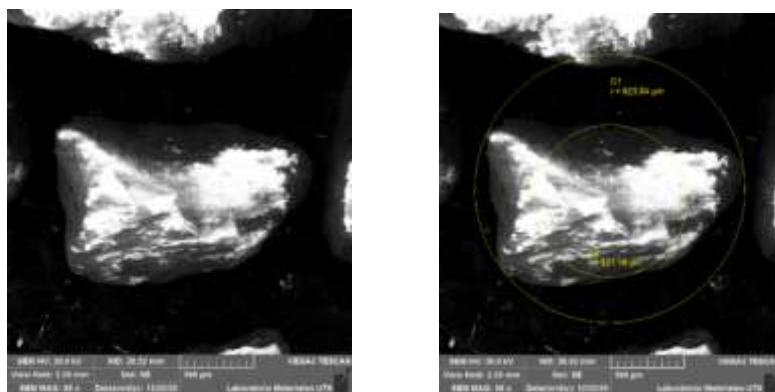
Al realizar un promedio de la esfericidad del carbón activado con 5 partículas analizadas se determinó su esfericidad con un valor de 0.75, el mismo que ha sido consultado en investigaciones previas.

➤ Piedra caliza

En la figura 42 se muestran las fotografías obtenidas por medio del microscopio de barrido de 4 partículas de piedra caliza con el radio interior y exterior de la muestra.

Figura 42. Fotografía del carbón activado obtenido por medio del microscopio de barrido





En la tabla 38 se muestran los valores de esfericidad obtenidos por medio de ecuaciones con el uso del diámetro interno y externo de cada partícula de piedra caliza.

Tabla 38. Esfericidad de la Piedra Caliza

MUES TRA	Circunfe rencia	INTERNA		Circunf erencia	EXTERNA		ESFERICIDAD (F)	ESFERICIDAD PROMEDIO
		Radio (μm)	Diámetro (μm)		Radio (μm)	Diámetro (μm)		
1	C2	521,16	1042,32	C1	923,84	1847,68	0,75	0,78
2	C2	590,04	1180,08	C1	951,51	1903,02	0,78	
3	C2	425,11	850,22	C1	754,27	1508,54	0,75	
4	C2	1194,35	2388,7	C1	1609,01	3218,02	0,85	

Fuente: Autoría propia

Dentro de las propiedades de medios filtrantes comunes para filtros granulares se encuentra la piedra caliza la cual presenta una esfericidad de 0.80 [54]

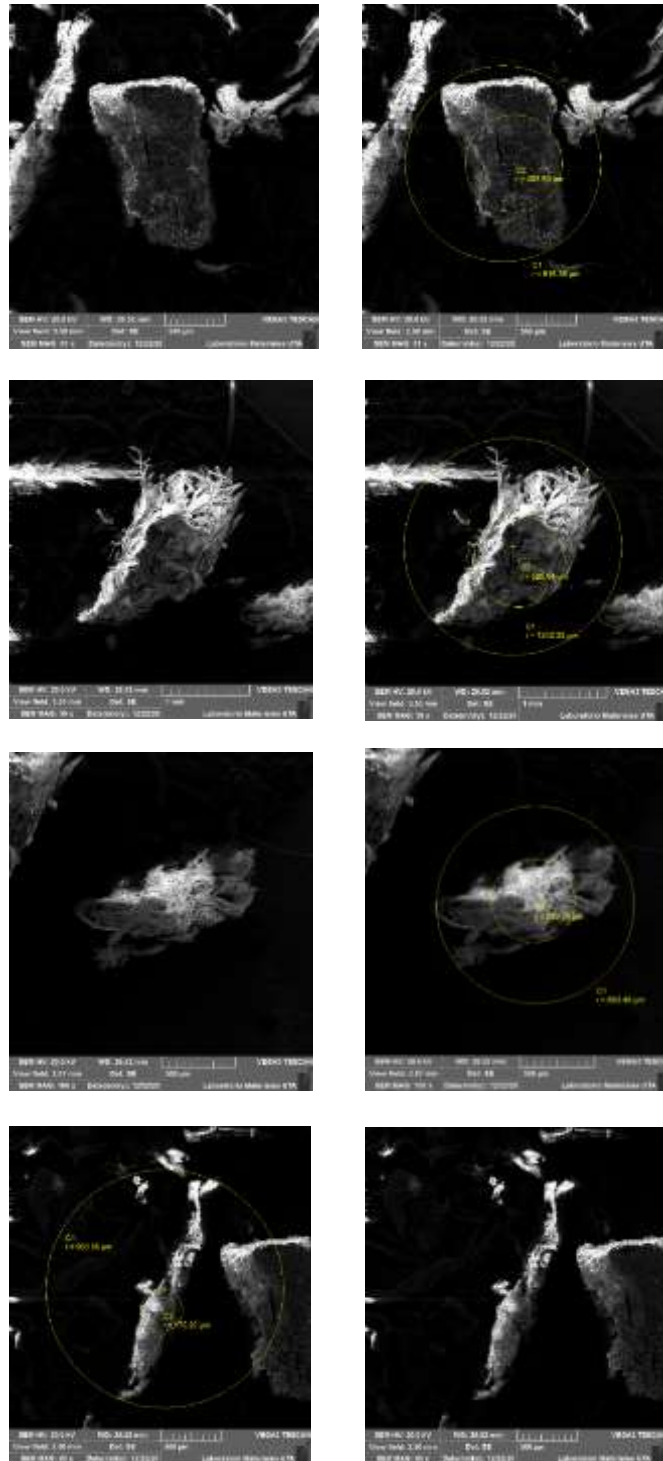
Dentro de las características de piedras de construcción se encontró la esfericidad de la piedra caliza misma que presenta un valor de 0.8 [63]

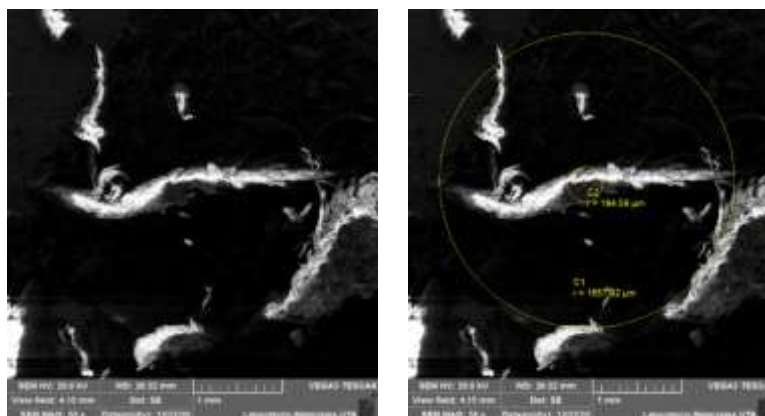
Al realizar un promedio de la esfericidad de la piedra caliza con 4 partículas analizadas se determinó su esfericidad con un valor de 0.78 el cual está dentro de los rangos consultados previamente.

➤ Turba

En la figura 43 se mueran las fotografías obtenidas por medio del microscopio de barrido de 5 partículas de turba con el radio interior y exterior de la muestra.

Figura 43. Fotografía de la turba obtenido por medio del microscopio de barrido





En la tabla 39 se muestran los valores de esfericidad obtenidos por medio de ecuaciones con el uso del diámetro interno y externo de cada partícula de turba.

Tabla 39. Esfericidad de la Turba.

MUES TRA	Circunfe rencia	INTERNA		Circunf erencia	EXTERNA		ESFERICIDAD (F)	ESFERICIDAD PROMEDIO
		Radio (μm)	Diámetro (μm)		Radio (μm)	Diámetro (μm)		
1	C2	405,5	811	C1	816,36	1632,72	0,7	0,55
2	C2	525,64	1051,28	C1	1242,32	2484,64	0,65	
3	C2	175,2	350,4	C1	983,56	1967,12	0,42	
4	C2	280,55	561,1	C1	663,46	1326,92	0,64	
5	C2	194,59	389,18	C1	1657,92	3315,84	0,34	

Fuente: Autoría propia

3.1.5. Permeabilidad

➤ Carbón activado

En la tabla 40 se muestra el valor del coeficiente de permeabilidad obtenido para el carbón activado el cual tiene un valor de $1,31\text{E}-02$ (cm/s), por lo que de acuerdo a la tabla 4 y a la tabla 5 se lo considera como una sustancia de permeabilidad media – alta y se lo puede considerar como arena.



Tabla 40. Permeabilidad del carbón activado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PERMEABILIDAD DE SUELOS 			
Realizado por:	Daniel Cabezas	FECHA:	9-Nov-20
MUESTRA:	CARBÓN ACTIVADO	NORMA:	AASHTO: T -125-66 ASTM: D-2434-68
ENSAYO PARA DETERMINAR LA PERMEABILIDAD DE SUELOS			
V = VOLUMEN (cm ³)		25	
L= LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)		6	
D= Diámetro del permeámetro (cm)		6,38	
A= Área transversal de la muestra (cm ²)		31,97	
t= TIEMPO DE LA PRUEBA (s)		5,21	
h1= ALTURA DE CARGA HIDRÁULICA (cm)		68,5	
K= COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/s)		1,31E-02	
Tipo de permeabilidad		media - alta	
Tipo de suelo		arena	

➤ Piedra caliza

En la tabla 41 se muestra el valor del coeficiente de permeabilidad obtenido para la piedra caliza el cual tiene un valor de 1,58E-02 (cm/s), por lo que de acuerdo a la tabla 4 y a la tabla 5 se lo considera como una sustancia de permeabilidad media – alta y se lo puede considerar como arena.

Tabla 41. Permeabilidad de la piedra caliza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PERMEABILIDAD DE SUELOS 			
Realizado por:	Daniel Cabezas	FECHA:	9-Nov-20
MUESTRA:	PIEDRA CALIZA	NORMA:	AASHTO: T -125-66 ASTM: D-2434-68

ENSAYO PARA DETERMINAR LA PERMEABILIDAD DE SUELOS	
V = VOLUMEN (cm ³)	25
L= LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	6
D= Diámetro del permeámetro (cm)	6,38
A= Área transversal de la muestra (cm ²)	31,97
t= TIEMPO DE LA PRUEBA (s)	4,34
h1= ALTURA DE CARGA HIDRÁULICA (cm)	68,5
K= COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/s)	1,58E-02
Tipo de permeabilidad	media - alta
Tipo de suelo	arena

➤ Turba

En la tabla 42 se muestra el valor del coeficiente de permeabilidad obtenido para la turba el cual tiene un valor de 7,75E-03 (cm/s), por lo que de acuerdo a la tabla 4 y a la tabla 5 se lo considera como una sustancia de permeabilidad baja y se lo puede considerar como arena limosa.

Tabla 42. Permeabilidad de la turba

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PERMEABILIDAD DE SUELOS 			
Realizado por:	Daniel Cabezas	FECHA:	9-Nov-20
MUESTRA:	TURBA	NORMA:	AASHTO: T -125-66 ASTM: D-2434-68
ENSAYO PARA DETERMINAR LA PERMEABILIDAD DE SUELOS			
V = VOLUMEN (cm ³)	25		
L= LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	6		
D= Diámetro del permeámetro (cm)	6,38		
A= Área transversal de la muestra (cm ²)	31,97		
t= TIEMPO DE LA PRUEBA (s)	8,833		
h1= ALTURA DE CARGA HIDRÁULICA (cm)	68,5		
K= COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/s)	7,75E-03		
Tipo de permeabilidad	baja		
Tipo de suelo	Arena limosa		

3.1.6. Tabla de resultados de los ensayos realizados para cada sustancia reactiva.

En la tabla 43 se muestran las propiedades obtenidas por medio de los diferentes ensayos para cada sustancia analizada.

Tabla 43. Tabla de resultados para cada sustancia analizada

CARBÓN ACTIVADO	
GRANULOMETRÍA	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (mm)	1,18
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	1,78
COEFICIENTE DE CURVATURA	0,85
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (%)	65,38
POROSIDAD (%)	39,55
ESFERICIDAD	0,74
PERMEABILIDAD	1,31E-02
PIEDRA CALIZA	
GRANULOMETRÍA	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (mm)	2
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	2,89
COEFICIENTE DE CURVATURA	0,61
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (%)	44,59
POROSIDAD (%)	26,8
ESFERICIDAD	0,78
PERMEABILIDAD	1,58E-02
TURBA	
GRANULOMETRÍA	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (mm)	0,3
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	10
COEFICIENTE DE CURVATURA	1,44
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (%)	50
POROSIDAD (%)	53,8
ESFERICIDAD	0,55
PERMEABILIDAD	7,75E-03

3.2. Verificación de hipótesis

En el inicio del presente trabajo experimental se planteó como hipótesis alterna:

“Las características físicas de sustancias reactivas: carbón activado, piedra caliza, turba de origen ecuatoriano se asemejan a los parámetros de lechos filtrantes utilizados para el tratamiento de agua”

Una vez de haber realizado el procesamiento y análisis de resultados se llegó a demostrar que las sustancias reactivas ecuatorianas tienen las siguientes características físicas:

CARBÓN ACTIVADO	
GRANULOMETRÍA	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (mm)	1,18
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	1,78
COEFICIENTE DE CURVATURA	0,85
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (%)	65,38
POROSIDAD (%)	39,55
ESFERICIDAD	0,74
PERMEABILIDAD	1,31E-02
PIEDRA CALIZA	
GRANULOMETRÍA	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (mm)	2
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	2,89
COEFICIENTE DE CURVATURA	0,61
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (%)	44,59
POROSIDAD (%)	26,8
ESFERICIDAD	0,78
PERMEABILIDAD	1,58E-02
TURBA	
GRANULOMETRÍA	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (mm)	0,3
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	10
COEFICIENTE DE CURVATURA	1,44
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (%)	50
POROSIDAD (%)	53,8
ESFERICIDAD	0,55
PERMEABILIDAD	7,75E-03

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- De acuerdo a las normas AASHTO T87 – 70 y la ASTM D421-58 al carbón activado y a la piedra caliza se los puede considerar como arena gruesa puesto que la mayor parte de sus partículas pasa el tamiz N°10 y queda retenido en el tamiz N°40 mientras que a la turba se lo puede considerar como una arena gruesa con poco de finos ya que retiene pequeñas cantidades de material en los tamices del #40 al #200.
- En la granulometría del carbón activado se obtuvo que el tamaño máximo de sus partículas pertenece a una abertura de 1.18mm, para la piedra caliza fue de 2mm y para la turba fue de 0.3mm.
- El carbón activado de acuerdo a la SUCS al poseer un coeficiente de uniformidad de 1.78 (menor de 3) se lo considera como homogéneo y un coeficiente de curvatura igual a 0.85 (fuera del rango 1 – 3) se puede decir que es un suelo mal graduado, entonces se lo puede calificar como arena mal graduada.
- La piedra caliza de acuerdo a la SUCS al poseer un coeficiente de uniformidad de 2.89 (menor de 3) se lo considera como homogéneo y un coeficiente de curvatura igual a 0.61 (fuera del rango 1 – 3) se puede decir que es un suelo mal graduado, entonces se lo puede calificar como arena mal graduada.
- La turba de acuerdo a la SUCS al poseer un coeficiente de uniformidad de 10 (mayor de 3) se lo considera como heterogéneo y un coeficiente de curvatura igual a 1.44 (dentro del rango 1 – 3) se puede decir que es un suelo bien graduado, entonces se lo puede calificar como arena bien graduada.

- El carbón activado posee una porosidad del 39.55% y posee poros comprendidos entre 1.6 μm y 5.62 μm es decir microporos y mesoporos, la piedra caliza posee una porosidad del 26.8% y posee poros entre 2.8 μm y 7.6 μm (mesoporos) y la turba posee una porosidad del 53.8% y sus poros están en un rango de 3.8 μm a 16.22 μm (mesoporos).
- El carbón activado posee un coeficiente de compacidad igual a 65.38%, la piedra caliza una compacidad de 44.59% y la turba de 50% teniendo las 3 una compacidad media pero el carbón activado un poco más densa permitiéndole unirse más fácilmente a sus partículas entre sí.
- El carbón activado posee una esfericidad de 0.74, la piedra caliza una esfericidad de 0.78 y la turba de 0.55 lo cual nos indica que la piedra caliza y el carbón activado son más esféricos que la turba.
- El carbón activado posee una permeabilidad 1,31E-02, la piedra caliza tiene una permeabilidad de 1.58E-02 y se las puede considerada como media – alta y de acuerdo a las tablas 4 y 5 se lo puede clasificar como arena, la turba posee una permeabilidad más baja con un valor de 7.75E-03 y de acuerdo a las tablas 4 y 5 puede ser clasificada como arena limosa.
- En base a las características de cada material obtenidas por los diferentes ensayos y a investigaciones previas se concluye que las tres sustancias son aptas para la aplicación en filtros para tratamiento de agua, siendo la más costosa el carbón activado seguido por la turba y terminando con la piedra caliza.
- Para la elaboración de los planos del permeámetro de carga constante se tomó las normas AASHTO T 215 – 70 (2003) y la INV E-130-07 (Permeabilidad de suelos granulares) para el esquema y dimensiones como se muestra en los planos de los Anexos.

- Partiendo del esquema básico de permeámetro de carga constante tomado de la norma INV E-130-07 se respetó las dimensiones establecidas para los cilindros de acrílico y se añadió un soporte por medio de varillas de acero inoxidable para regular la altura del tanque con un rebosadero para poder establecer un flujo laminar para la realización del ensayo de permeabilidad.
- Partiendo del esquema básico de permeámetro de carga constante tomado de la norma INV E-130-07 se lo optimizó incorporando 6 conexiones a cada cilindro que miden de una forma más precisa el nivel del agua filtrada por medio de los tubos piezométricos.

4.1. Recomendaciones

- Se recomienda usar el carbón activado en la filtración puesto que es capaz de adsorber colores, olores, sabores, insecticidas, pesticidas, plaguicidas, herbicidas, detergentes, derivados del petróleo, siendo su capacidad adsorbente tal que 1 gramo de carbón activado puede adsorber aproximadamente otro de líquidos.
- Recomendaciones de la selección del material: fuentes seguras y que garanticen la calidad en el origen, análisis calidad/precio.
- Los materiales utilizados en la presente investigación y revisando con las referencias bibliográficas cumplen con parámetros de medios filtrantes experimentados anteriormente por lo que se recomienda realizar pruebas de absorción y remoción de contaminantes con aguas residuales por medio de pruebas en columnas, plantas piloto o escala real.

4.2.MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- [1] M. A. Garzón-Zúñiga, G. Buelna, and G. E. Moeller-Chávez, “La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias,” *Tecnol. y ciencias del agua*, vol. 3, no. 3, pp. 153–161, 2012.
- [2] D. B. S. Hernández, J. M. V. Cortés, and E. J. H. Calderón, “La Biofiltración: una alternativa sustentable para el tratamiento de aguas residuales,” *Índice*, p. 56, 2014.
- [3] F. R. M. Fiallos, W. S. M. Robalino, and B. E. P. Beltrán, “Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes del Lavado de Jeans,” *Rev. Publicando*, vol. 4, no. 10 (2), pp. 579–590, 2017.
- [4] K. D. Avalos Rodríguez, “Análisis de carbón activado como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y lubricadora de autos ‘Heredia’ de la ciudad de Riobamba,” Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2018.
- [5] D. X. Villamarín Naranjo, “Estudio de un filtro biológico para el control de efluentes generados en una quesera en la parroquia Mulaló-cantón Latacunga, a base de piedra caliza, canutillos de cerámica, zeolita y carbón activado granular de cáscara de coco,” Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2017.
- [6] T. Jaya and J. Carlo, “Análisis del piroclasto volcánico como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la Lavadora y Lubricadora de Autos Ambato ubicada en la ciudad de Ambato provincia de Tungurahua,” Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2018.
- [7] E. P. Tangerino, L. M. R. Araujo, R. M. Borges, and I. A. S. Ortiz, “Evaluación del desempeño de filtración en múltiples etapas usando carbón activado granular y mantas sintéticas no tejidas,” *Interciencia*, vol. 38, no. 10, pp. 726–732, 2013.

- [8] “Las funciones que realiza la cal en el tratamiento de aguas.”
<https://www.calcinor.com/es/actualidad/2017-03-16/cal-tratamiento-de-aguas/>
 (accessed Mar. 27, 2020).
- [9] R. M. F. L. And, V. A. Leão and A. M. Silva, ““Mine water treatment with limestone for sulfate removal,.”” *J. Hazard. Mater.*, vol. 221–222, pp. 45–55, 2012.
- [10] M. J. Shim et al., ““Water quality changes in acid mine drainage streams in Gangneung, Korea, 10years after treatment with limestone,.”” *J. Geochemical Explor. vol. 159, no. Sept. pp. 234–242, 2015.*
- [11] L. M. Moreno, “2 Los Métodos Naturales De Depuración De Aguas Residuales Urbanas,.” *La Depuración Aguas Residuales Urbanas Pequeñas Poblaciones Median. Infiltración Directa En El Terreno Fundam. Y Casos Prácticos*, pp. 13–27, 2003.
- [12] “Contaminación del agua | InspirAction.”
https://www.inspiration.org/Cambio-climatico/contaminacion/contaminacion-del-agua?gclid=EAIaIQobChMIqpSykLK-6AIViYVaBR1FzQHGEAAYASAAEgLD9PD_BwE (accessed Mar. 28, 2020).
- [13] “Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones – Agua.org.mx.” <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-soluciones/> (accessed Mar. 28, 2020).
- [14] and L. M. F. O. J. H. Ramírez Franco, Ó. M. Martínez Ávila, ““Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula,.’ *Rev. Av. Investig. en Ing.*, vol. 10, no. 1, pp. 42–49, 2013.”
- [15] M, “Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua,.” *TULAS Texto unificado Legis. Secund. del Minist. del Ambient.*, pp. 8–9, 2011.
- [16] “El Medio Ambiente en México 2013-2014.”
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_1.html (accessed Jul. 20, 2020).

- [17] “pH EN EL AGUA DE RIEGO – EL LABORATORIO DE TODOGROWLED.” <http://laboratorio.todogrowled.com/ph-en-el-agua-de-riego> (accessed Aug. 12, 2020).
- [18] “La contaminación hídrica y sus causas | PSA - Mejoramos tu calidad de vida.” https://www.psa.com.ar/psa-es-salud/notas-de-interes/contaminacion-hidrica#.Xn_uV4gzaUl (accessed Mar. 28, 2020).
- [19] N. C. C. Camacho, “Tratamiento de agua para consumo humano,” *Ing. Ind.*, vol. 29, pp. 153–224, 2011, [Online]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/MANUALI/TOMOI/seis.pdf%5Cnhttp://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/5/CDA M0000012-5.pdf>.
- [20] E. B. Villacis Villacis and C. D. Pinto Almeida, “Experimentación práctica de una planta de tratamiento de aguas residuales para la lavadora de autos Octopus ubicada en la av Manuelita Sáenz del cantón Ambato,” Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2019.
- [21] F. M. Fiallos, R. S. Proaño, and R. A. Lozada, “Tratamiento de efluentes de lubricadoras y lavadoras de autos mediante un sistema de lodos activados de lechos suspendido a escala de laboratorio.,” *Cienc. Digit.*, vol. 3, no. 1, pp. 170–179, 2019.
- [22] “Filtración Micro, Ultra, Nano y Ósmosis Inversa.Cuál es la diferencia - Pureza libre.” <https://www.freepurity.com/pages/micro-ultra-nano-and-reverse-osmosis-filtration-whats-the-difference> (accessed Jan. 07, 2021).
- [23] T. Iwasaki, “*Some Notes on Sand Filtration.*” *J. AWWA*, 29, 10, 1937.
- [24] G. Critten, John C. Trussell, Rhodes. Hand, David. Howe, Kerry. Tchobanoglous, *MWH Water Treatment Principles and Design*. 2014.
- [25] C. R. Yao, K.-M., Habibian, M. T., and O’Melia, “*Water and Waste Water Filtration: Concepts and Applications.*” *Environ. Sci. Technol.*, 5, 11, 1971.
- [26] A. J. Galarza Pérez, “Diseño y construcción de un filtro separador de grasas y eliminador de impurezas para la lavadora comercial de Autos Lubricar con una capacidad máxima de 15 metros cúbicos mensuales en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato en el periodo 2018-2019,” Universidad

- Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2019.
- [27] “Manual de suelos Ing. Francisco Mantilla.”
- [28] T. A. M. Iz, “Aashto t87-70 aashto t88-70,” pp. 8–11.
- [29] ASTM D 2487. (2000), “Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). ASTM Standards International, 04.”
- [30] B. M. Das, “*Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*,” Cuarta. 2001.
- [31] J. E. Bowles, *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. McGraw-Hill, 1981.
- [32] L. I. González De Vallejo, *Ingeniería Geológica*. 2002.
- [33] J. T. Fiallos Condo, “Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso),” Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2016.
- [34] S. Angelone, M. T. Garibay, and M. Cauhapé C., “Geología y Geotecnia - Permeabilidad de suelos,” *Univ. Nac. Rosario*, p. 39, 2006, [Online]. Available:
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Geolog?a+y+Geotecnia#4>.
- [35] Usace., *Laboratory soils testing. USACE Engineer Manual*. 1986.
- [36] A. B. Powers, J. P., & Corwin, *Construction Dewatering and Groundwater Control - New Methods and Applications*, 3rd ed. New Jersey, 2007.
- [37] F. HOYOS PATIÑO, *Repensar a Darcy, Primer Congreso Colombiano de Hidrogeología, Memorias, edición digital, Medellín*. 2003.
- [38] R. T. Sataloff, M. M. Johns, and K. M. Kost, “Norma INV E - 130 - 07,” pp. 1–10.
- [39] A. Martínez and Y. Ariza, “TESIS DOCTORAL DESARROLLO DE CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA LA ADSORCIÓN Y RECUPERACIÓN DE TOLUENO Y N-HEXANO DEVELOPMENT OF ACTIVATED CARBONS FROM LIGNOCELLULOSIC WASTES FOR TOLUENE AND N-HEXANE

ADSORPTION AND RECOVERY.”

- [40] “CAPÍTULO 4 ADSORCIÓN 4.1 Definiciones generales.”
- [41] U. Sevilla, “Manual del carbón activo.”
- [42] and H. P. G. V. J. Inglezakis, M. D. Loizidou, “*Ion exchange of Pb²⁺, Cu²⁺, Fe³⁺, and Cr³⁺ on natural clinoptilolite: selectivity determination and influence of acidity on metal uptake,*” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 261, no. 1, pp. 49–54, 2003. .
- [43] “Piedra Caliza - PROCESOS MINEROS.”
<https://procesosmineros.weebly.com/piedra-caliza.html> (accessed Mar. 30, 2020).
- [44] J. Jhomayra, C. Montiel, and G. -Ecuador, “UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES ESCUELA DE GEOLOGÍA Y AMBIENTAL Título de tesina: SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE LAS CANTERAS DEL CANTÓN GUAYAQUIL. TITULO A OBTENER INGENIERA AMBIENTAL Nombre de autora,” 2012.
- [45] “Las funciones que realiza la cal en el tratamiento de aguas.”
<https://www.calcinor.com/es/actualidad/2017-03-16/cal-tratamiento-de-aguas/> (accessed Mar. 30, 2020).
- [46] M. Eloussaief and M. Benzina, “‘Efficiency of natural and acid-activated clays in the removal of Pb (II) from aqueous solutions,’ *J. Hazard. Mater.*, vol. 178, no. 1–3, pp. 753–757, 2010.”
- [47] J. Schoon et al., “*Waste fibrecement: An interesting alternative raw material for a sustainable Portland clinker production,*” *Constr. Build. Mater.*, vol. 36, pp. 391–403, 2012. .
- [48] J. A. Sánchez Ruales, “Análisis de la cama de turba como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y lubricadora de autos ◆Lavauto◆ ubicada en la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi,” Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingenier{\`i}a Civil y Mecánica~◆, 2018.

- [49] L. Clemenson, P. Brooklyn, and Minn, “‘Method of processing peat for use in contaminated water treatment,’ *Geothermics*,” vol. 14, no.4, pp. 595–599, 1985.
- [50] H. P. and T. Leiviskä, E. Heiderscheidt, “Removal of metals from wastewaters by mineral and biomass-based sorbents applied in continuous-flow continuous stirred tank reactors followed by sedimentation.”
- [51] A. Vigo and H. Segundo, “Metodología de la investigación bibliográfica para los profesionales y estudiantes de las ciencias de la salud,” in *Metodología de la investigación bibliográfica para los profesionales y estudiantes de las ciencias de la salud*, 1984, p. 171.
- [52] R. Unified, “Método de Prueba Estándar for para Densidad Mínima , Peso Unitario de Suelos y Cálculo de Densidad Classification of Soils for Engineering Purposes,” no. C, 2010, doi: 10.1520/D4254-.
- [53] “Compacidad relativa | Densidad | Suelo,” [Online]. Available: <https://es.scribd.com/doc/54245682/Compacidad-relativa>.
- [54] D. D. E. Redondez and E. Y. Ecuaticidad, “Trabajo Práctico N° 3 Determinación De Redondez, Esfericidad Y Ecuaticidad,” pp. 24–31, 1970.
- [55] “(No Title).”
<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/606/1/TMA124.pdf> (accessed Mar. 01, 2021).
- [56] “UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO FACULTAD DE ECOLOGÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA.”
- [57] J. Diego, O. Maldonado, W. Efrén Pesantez Márquez, and C. I. 0105257489 Director, “Autores,” 2017.
- [58] “Granulometría – Sustratos del Sureste.”
<https://www.sustratosdelsureste.es/granulometria/> (accessed Mar. 01, 2021).
- [59] “(No Title).” <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4652/1/UPS-KT00083.pdf> (accessed Mar. 02, 2021).
- [60] R. T. Sataloff, M. M. Johns, and K. M. Kost, *No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. .*

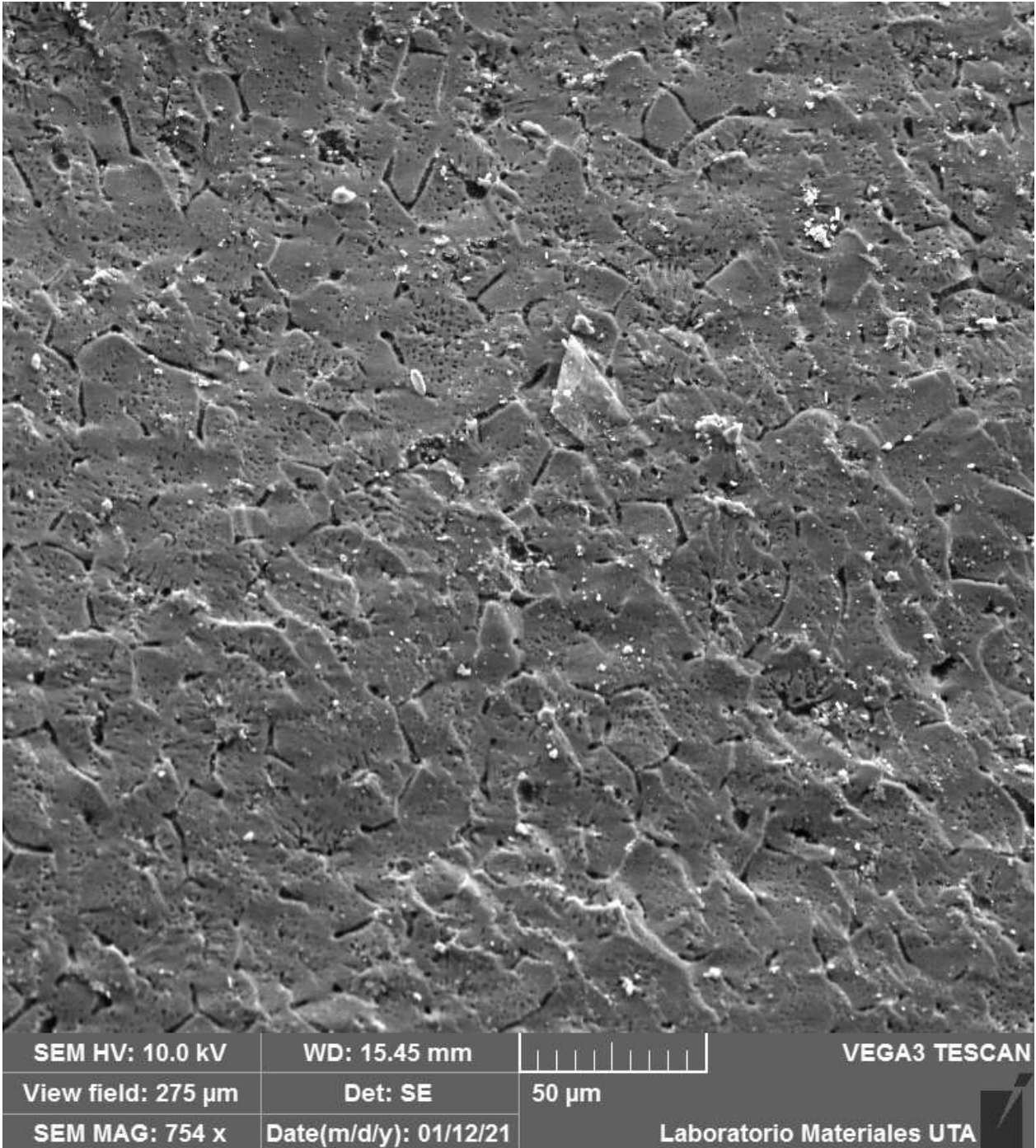
- [61] “Sistemas de aplicación subsuperficial.”
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/B0FA0B5C3347B10805257DC6007FAC52/\\$FILE/92_pdfsam_MONOGRAFICO3.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/B0FA0B5C3347B10805257DC6007FAC52/$FILE/92_pdfsam_MONOGRAFICO3.pdf)
(accessed Mar. 01, 2021).
- [62] “DISEÑO DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE UNA PARROQUIA URBANA, PROVINCIA DE LOJA”
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6075/1/T-UCE-0017-0158.pdf>
(accessed Mar. 02, 2021).
- [63] F. J. Mateos, L. Valdeón, and A. Rojo, “Piedras de construcción de la fuente prerrománica de Foncalada: tipos y origen.”

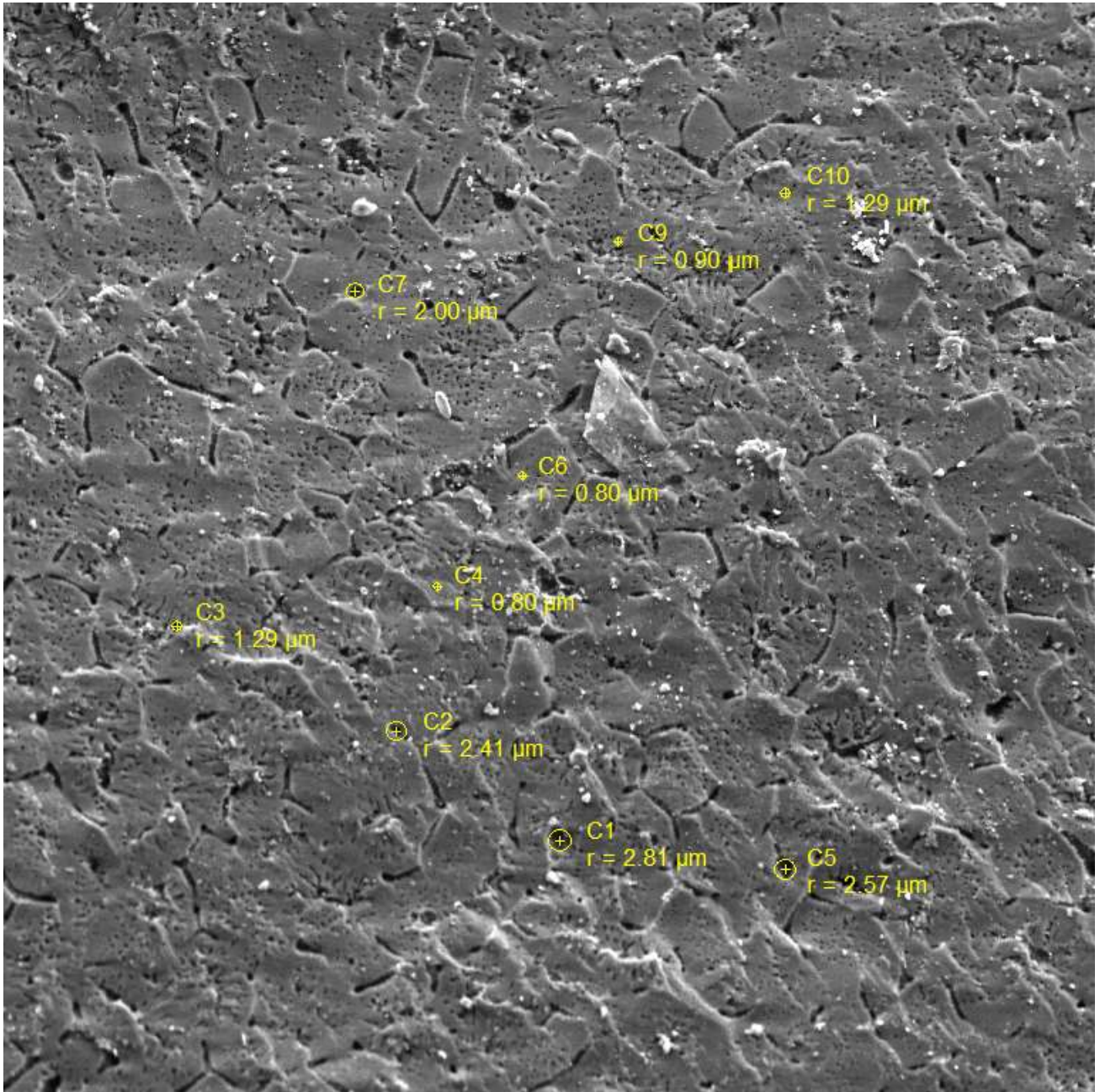
5. Anexos

**FOTOGRAFÍAS OBTENIDAS
POR EL MICROSCOPIO DE
BARRIDO DE LAS
SUSTANCIAS REACTIVAS
PARA LOS DISTINTOS
ENSAYOS**

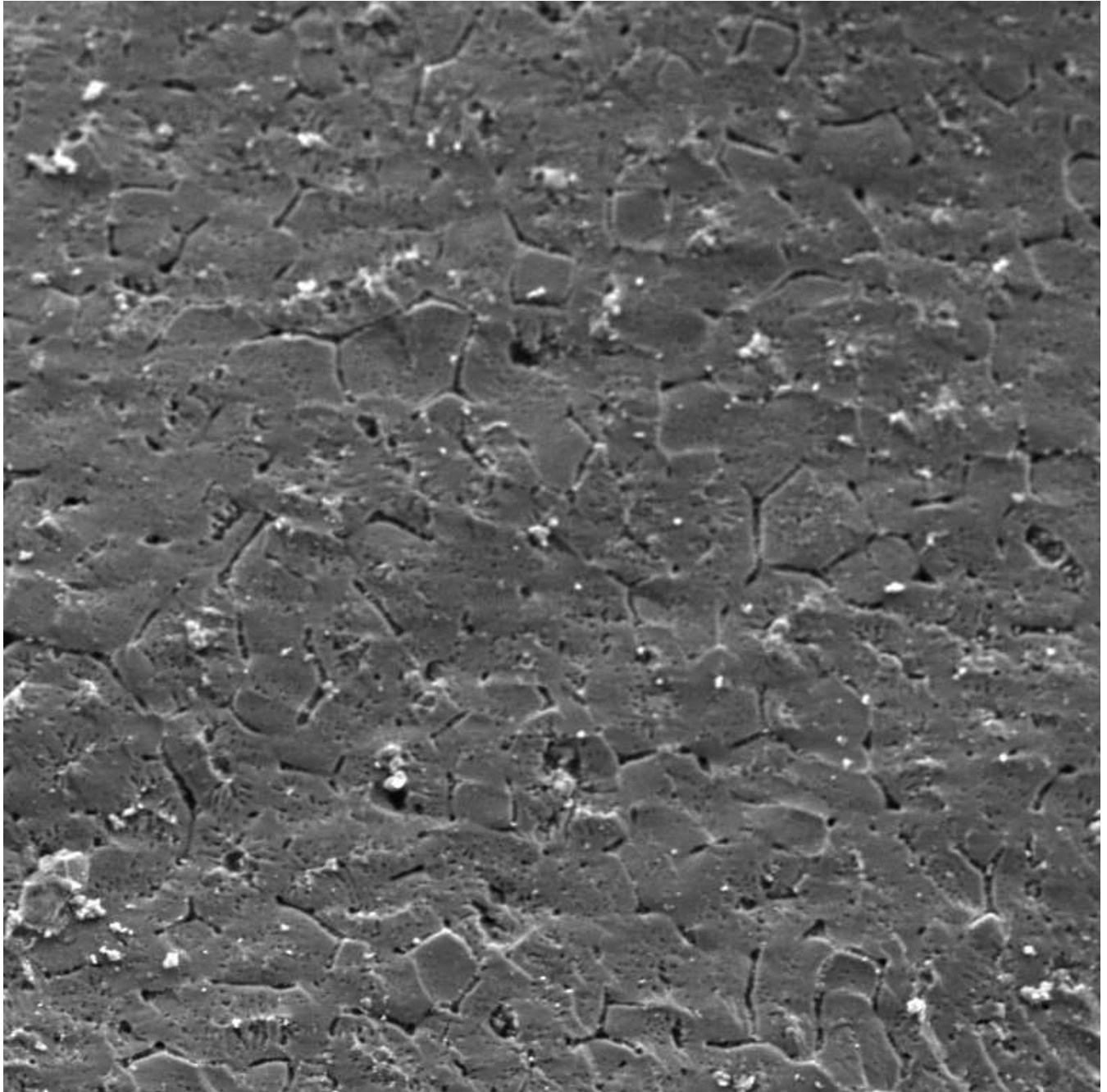
5.1. Porosidad

5.1.1. Carbón activado

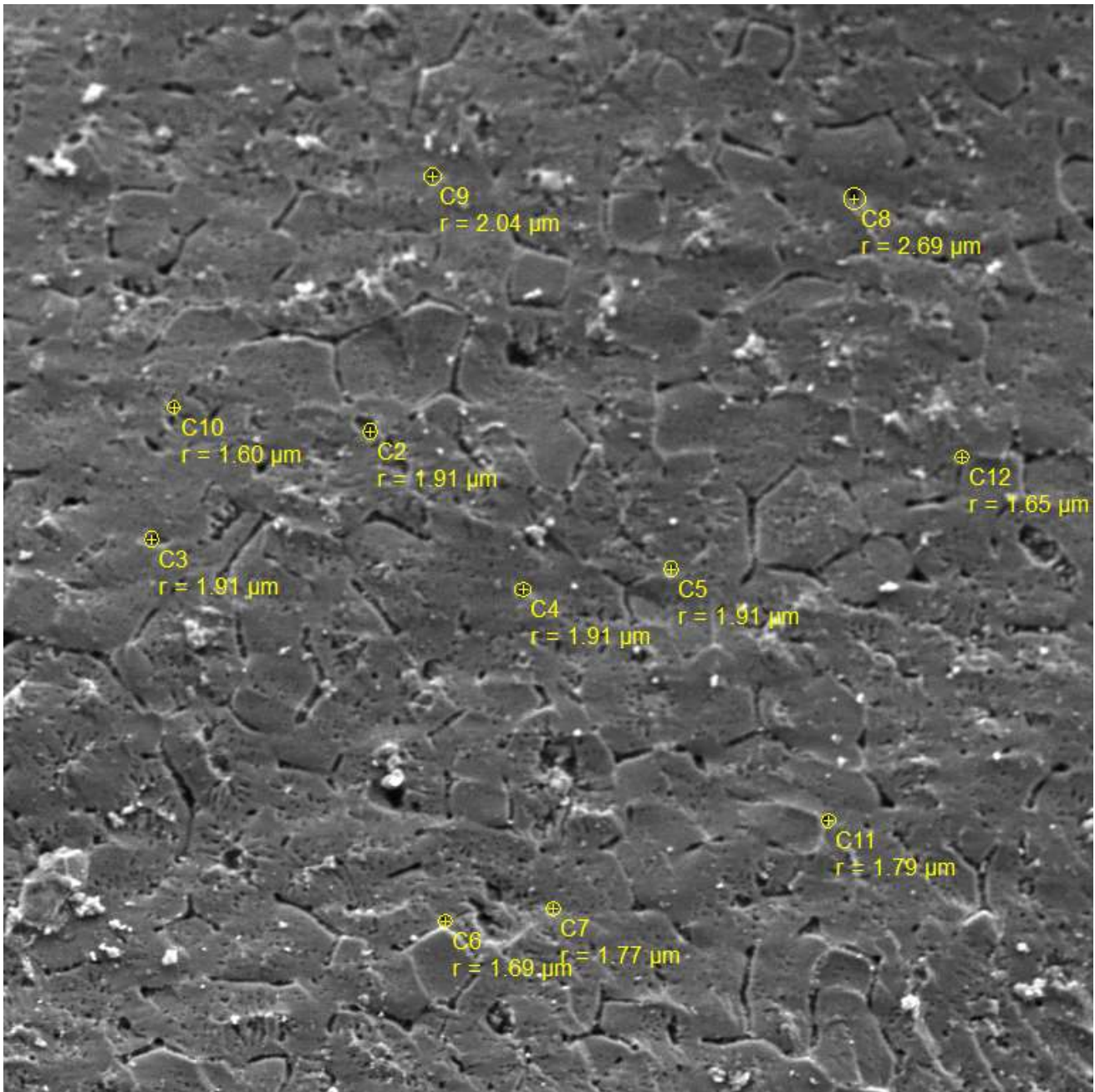




SEM HV: 10.0 kV	WD: 15.45 mm		VEGA3 TESCAN
View field: 275 μm	Det: SE	50 μm	
SEM MAG: 754 x	Date(m/d/y): 01/12/21	Laboratorio Materiales UTA	

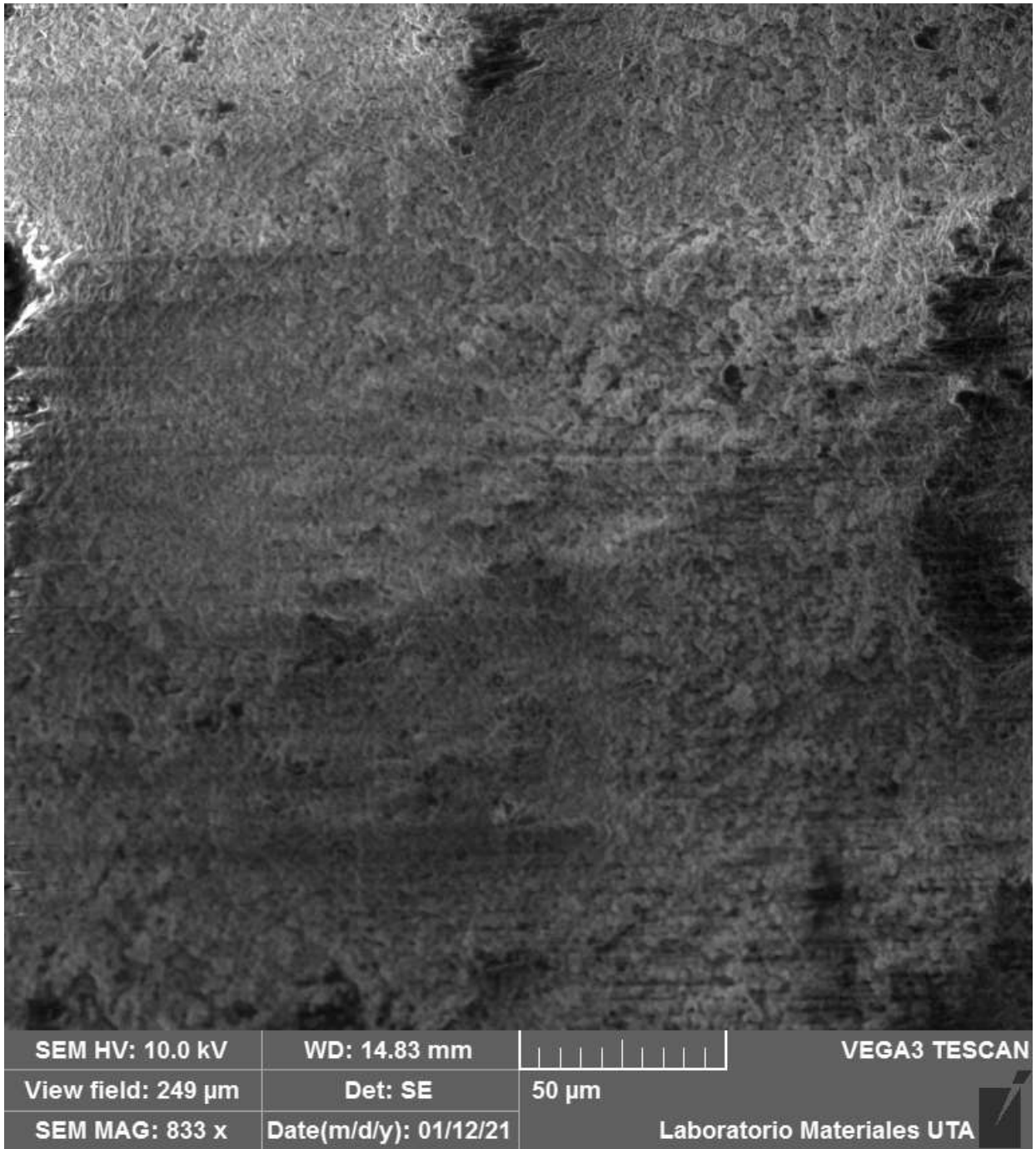


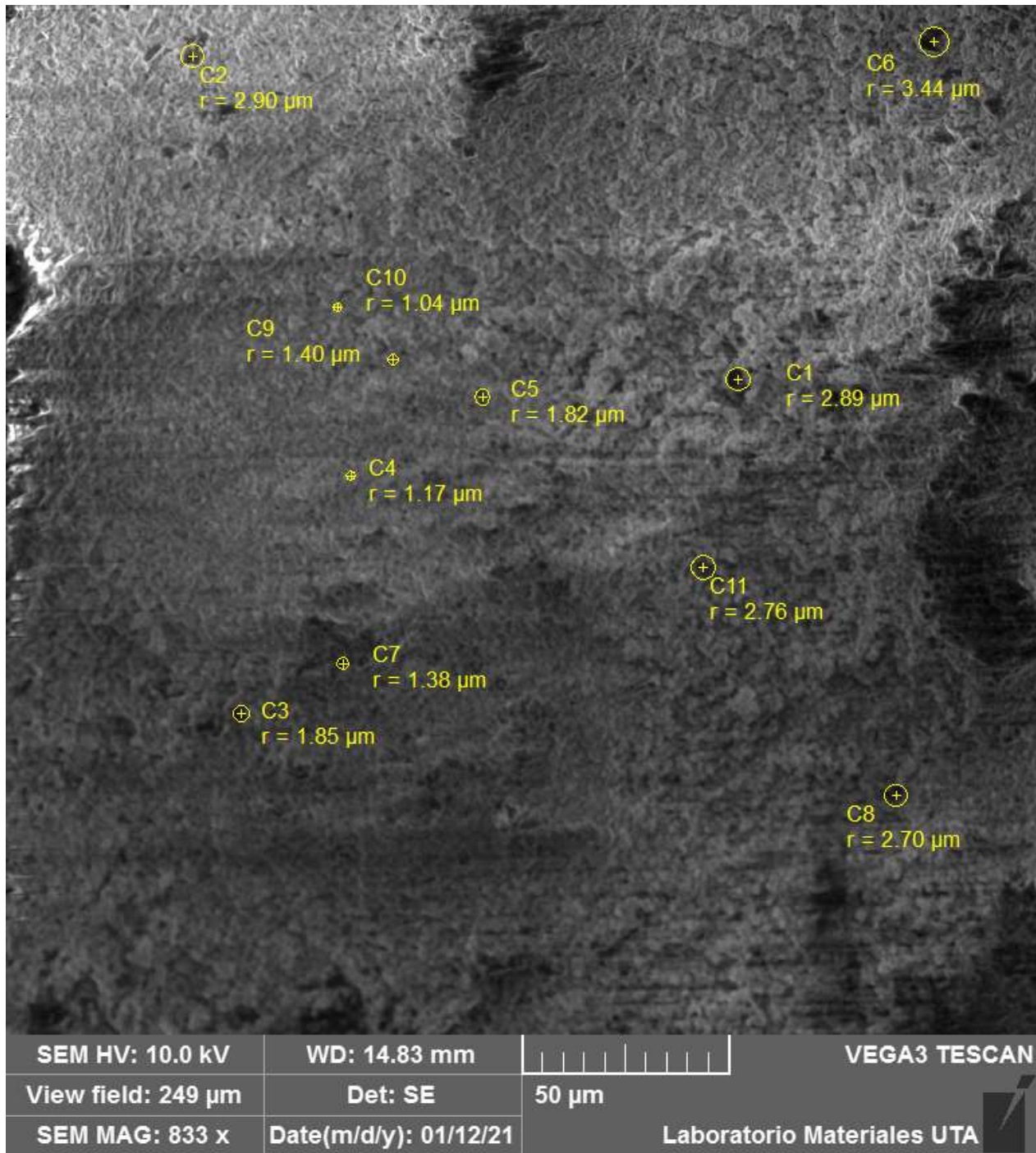
SEM HV: 10.0 kV	WD: 15.45 mm		VEGA3 TESCAN
View field: 275 µm	Det: SE	50 µm	Laboratorio Materiales UTA
SEM MAG: 754 x	Date(m/d/y): 01/12/21		



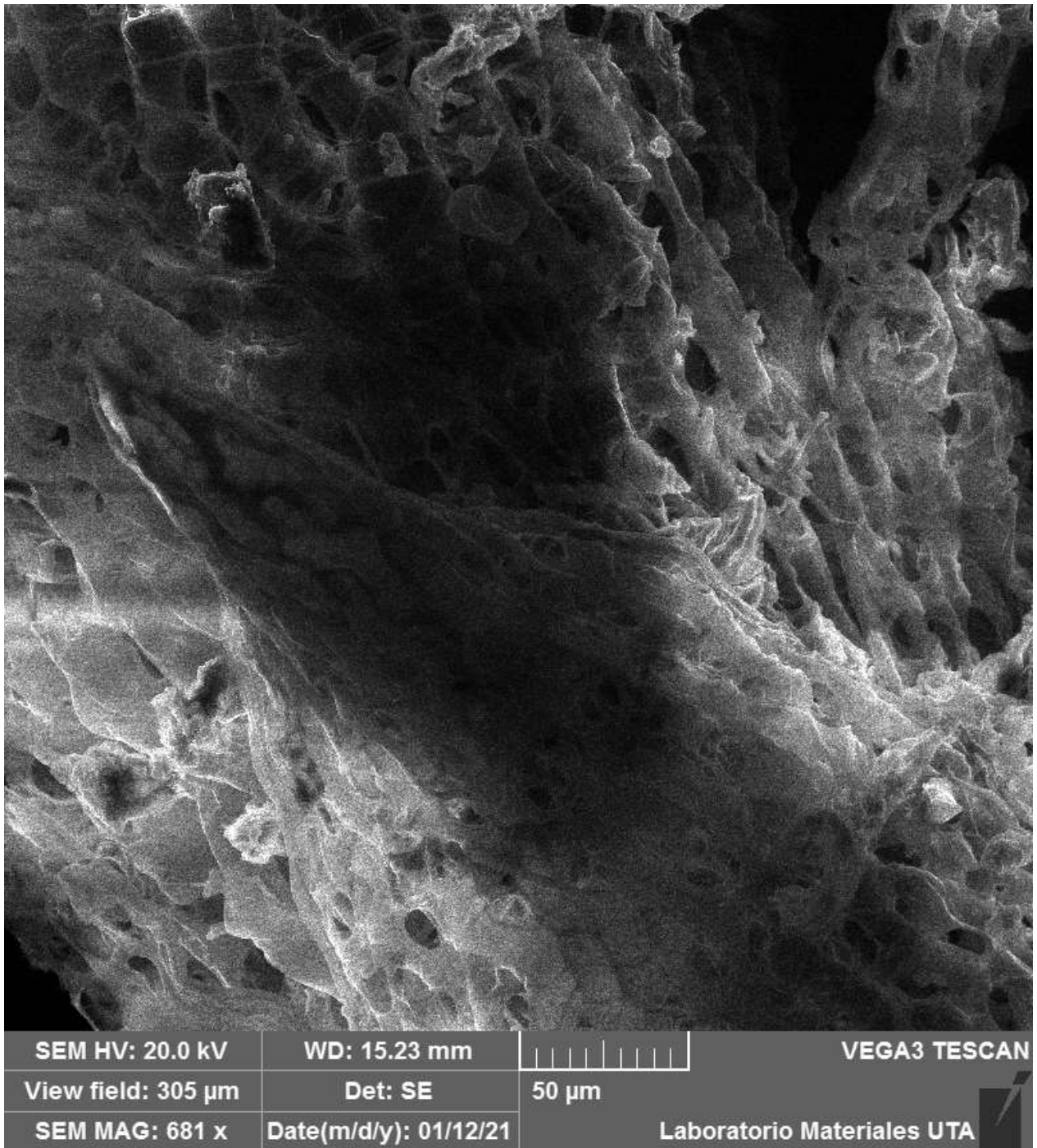
SEM HV: 10.0 kV	WD: 15.45 mm		VEGA3 TESCAN
View field: 275 μm	Det: SE	50 μm	Laboratorio Materiales UTA
SEM MAG: 754 x	Date(m/d/y): 01/12/21		

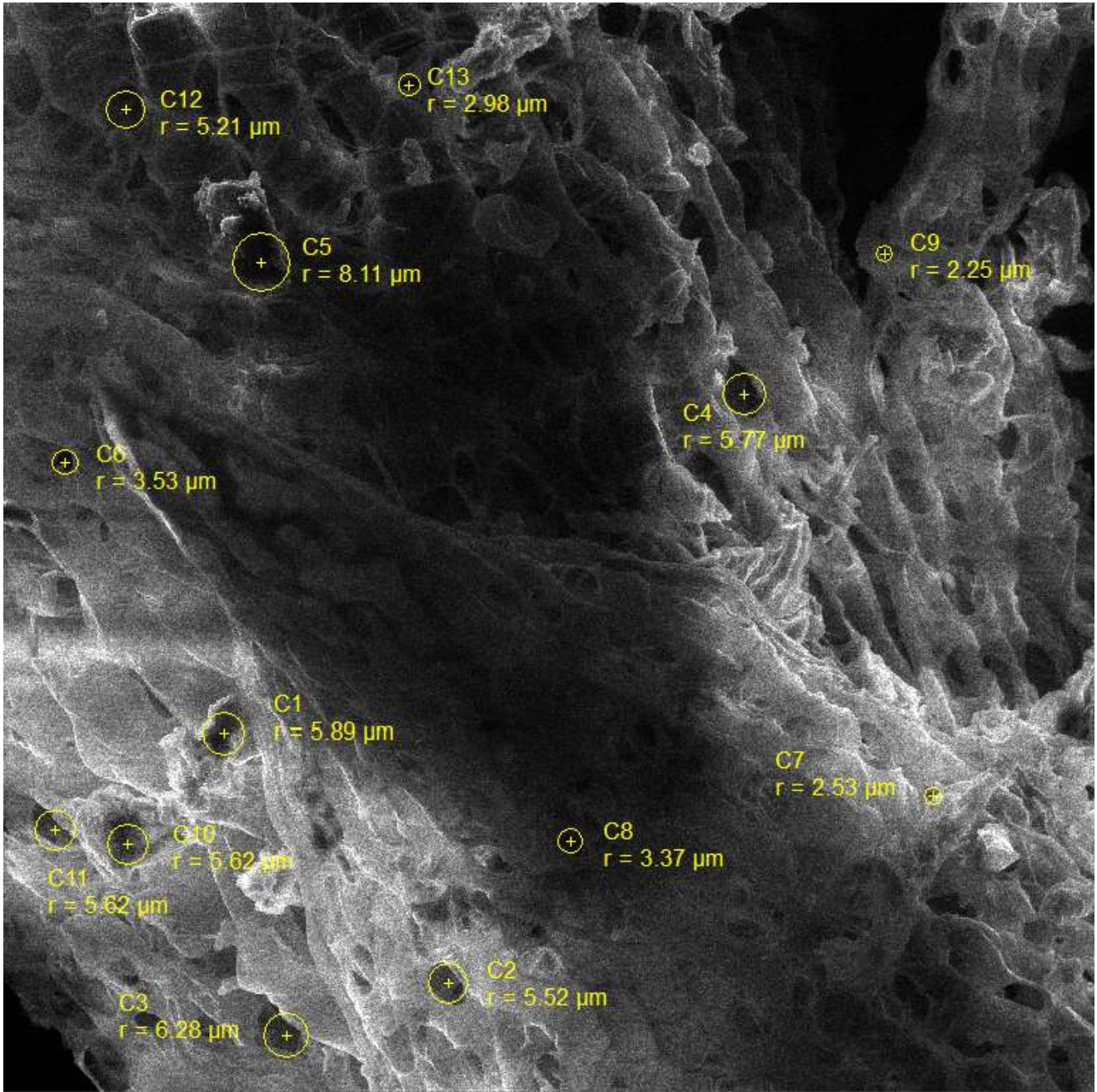
5.1.2. Piedra caliza





5.1.3. Turba

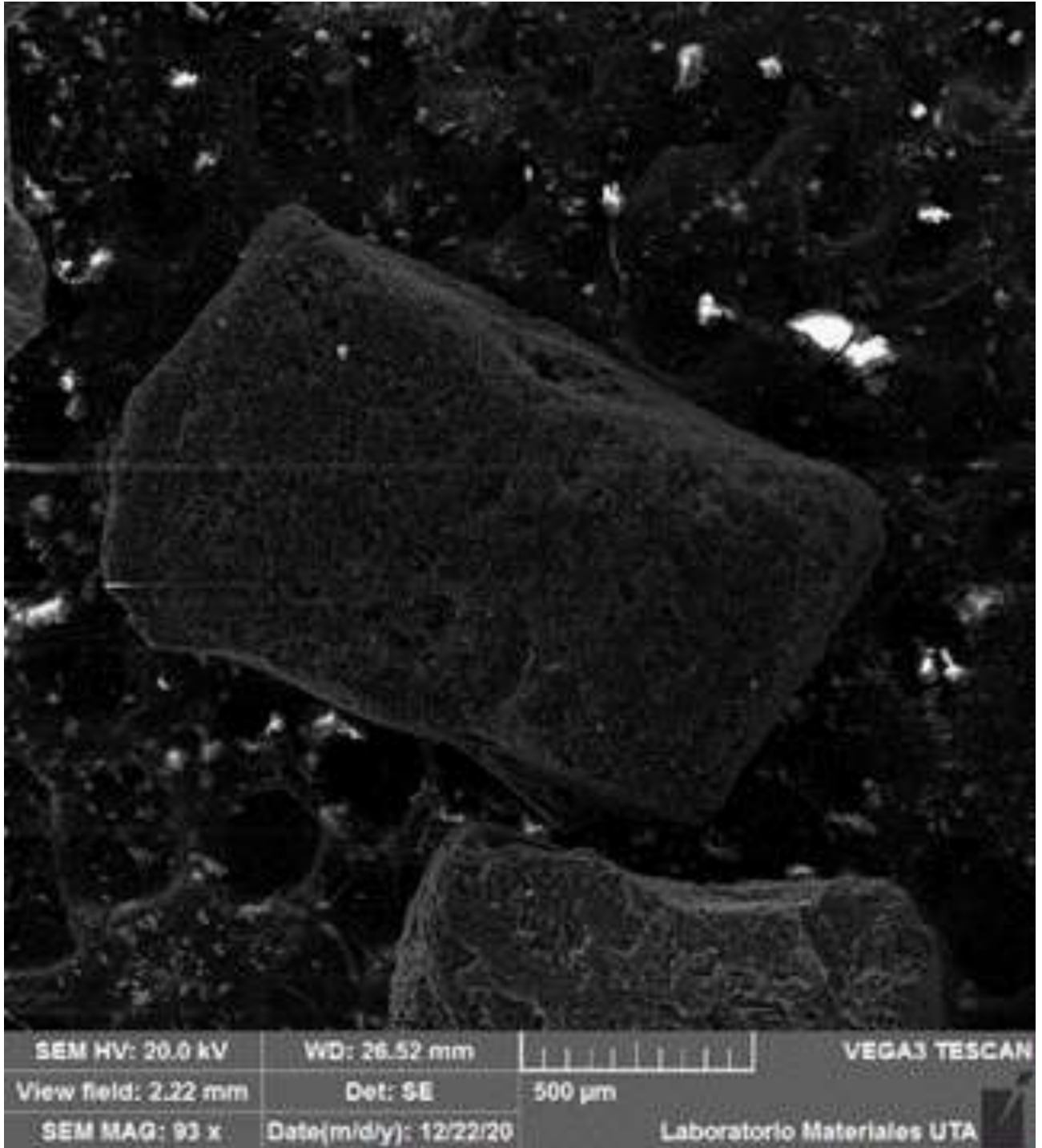


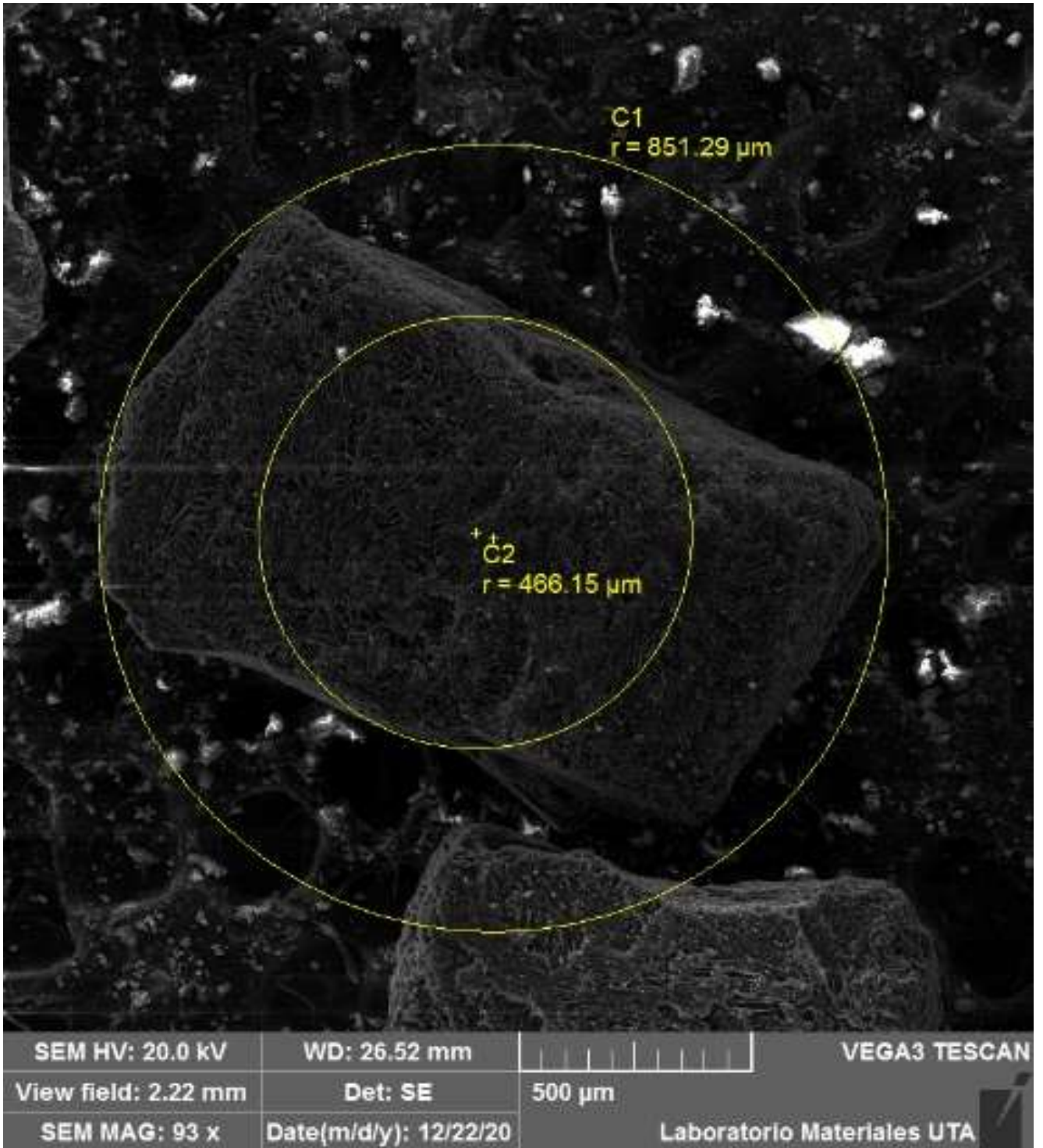


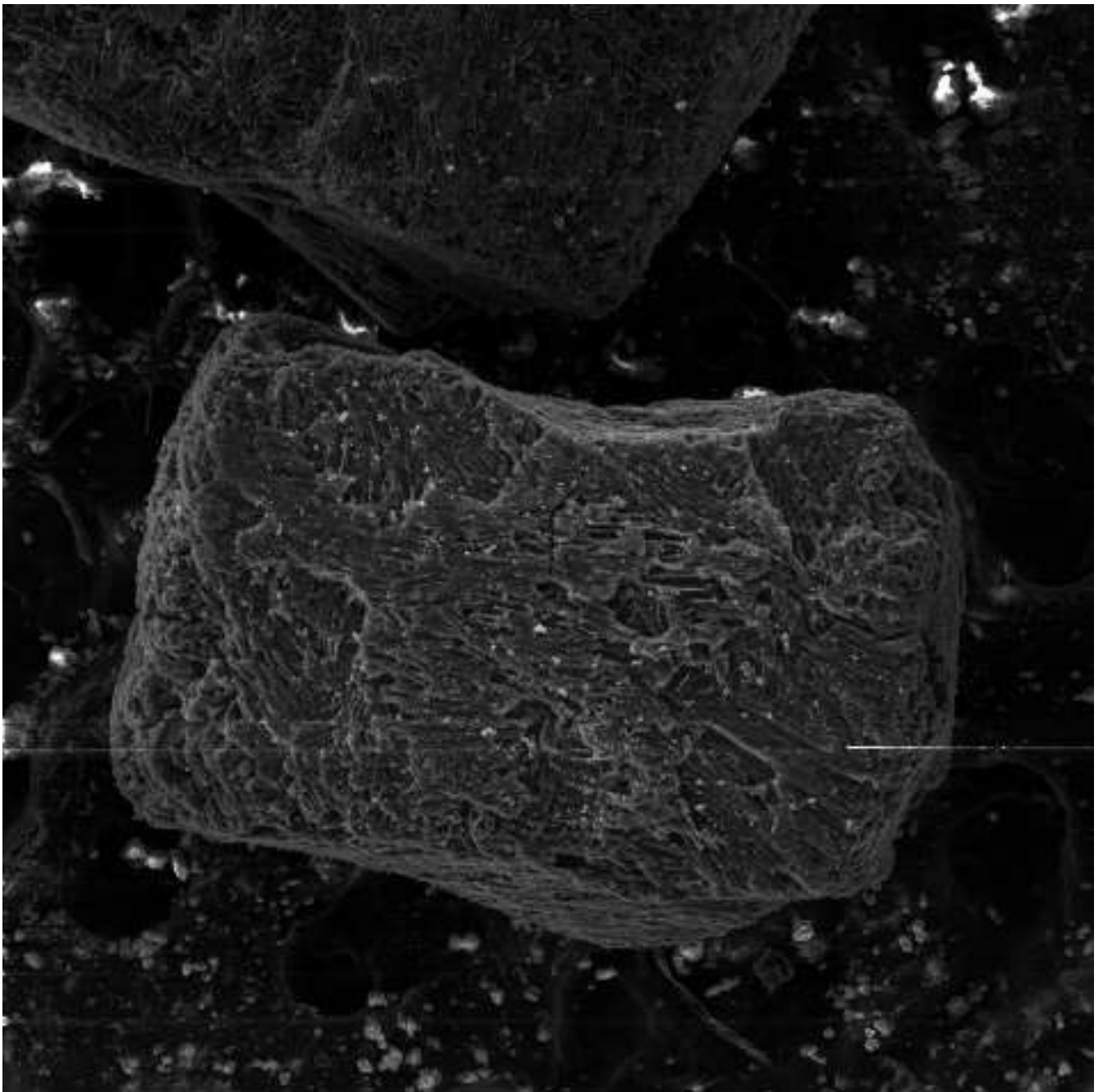
SEM HV: 20.0 kV	WD: 15.23 mm	VEGA3 TESCAN
View field: 305 μm	Det: SE	50 μm
SEM MAG: 681 x	Date(m/d/y): 01/12/21	Laboratorio Materiales UTA

5.2. Esfericidad

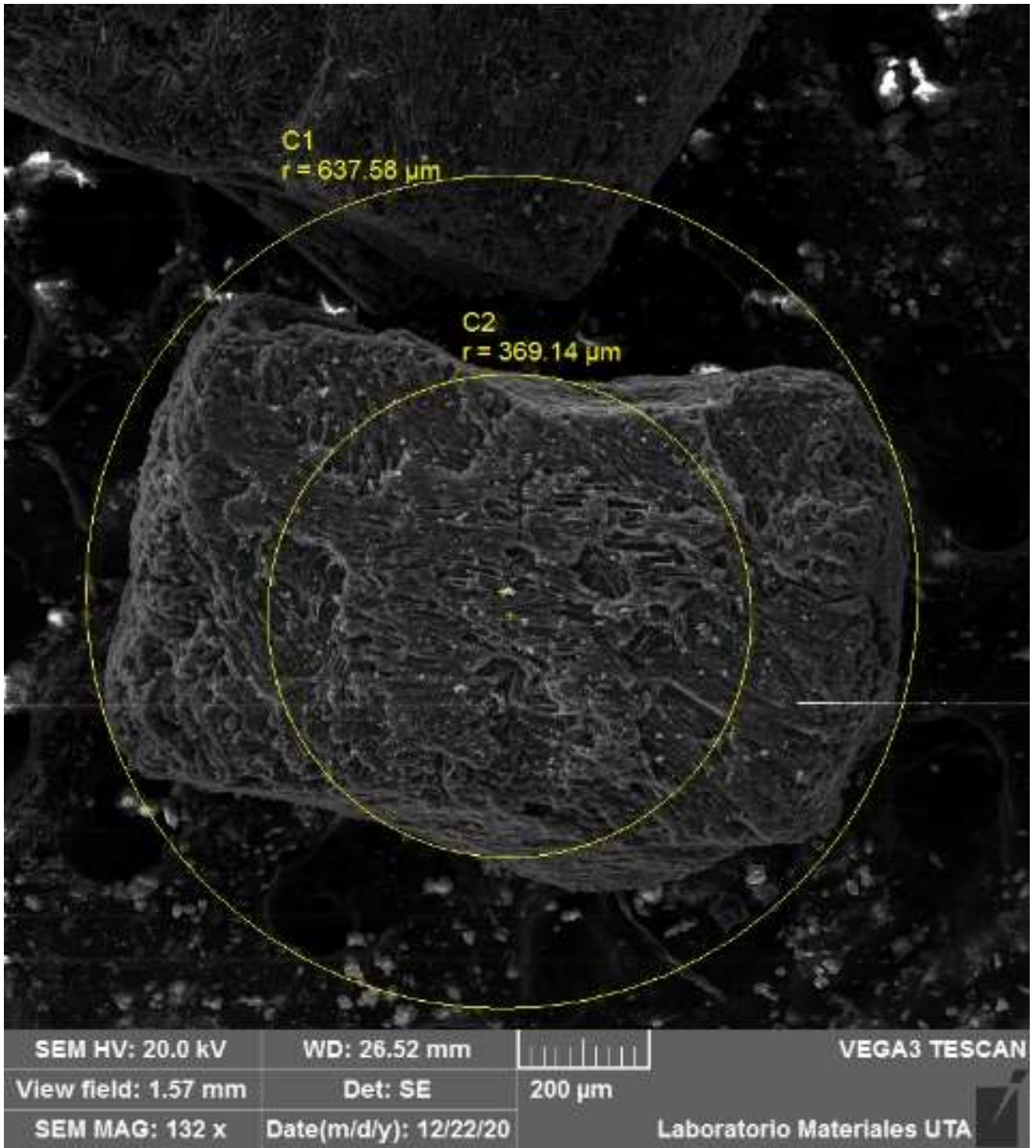
5.2.1. Carbón activado

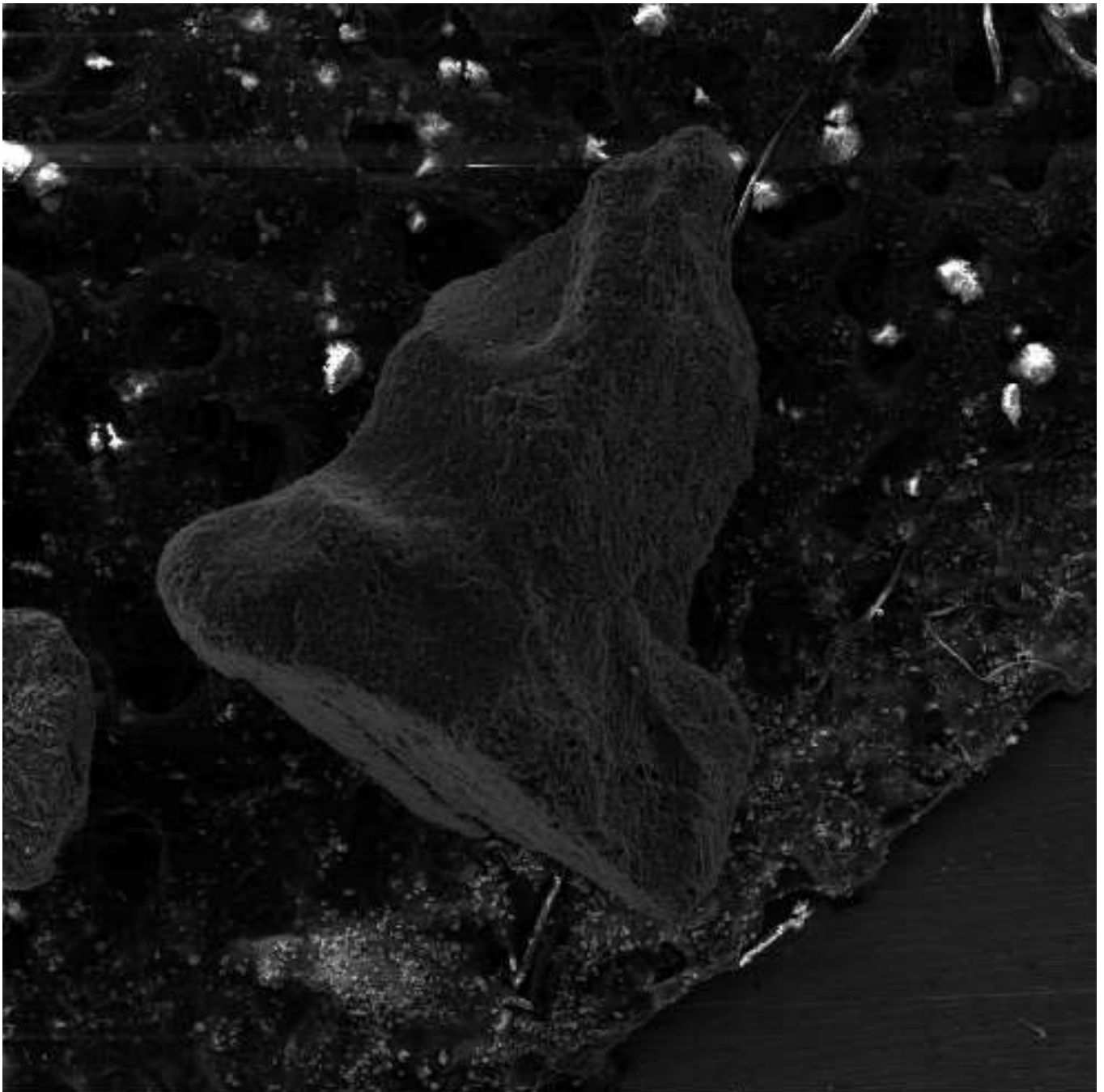




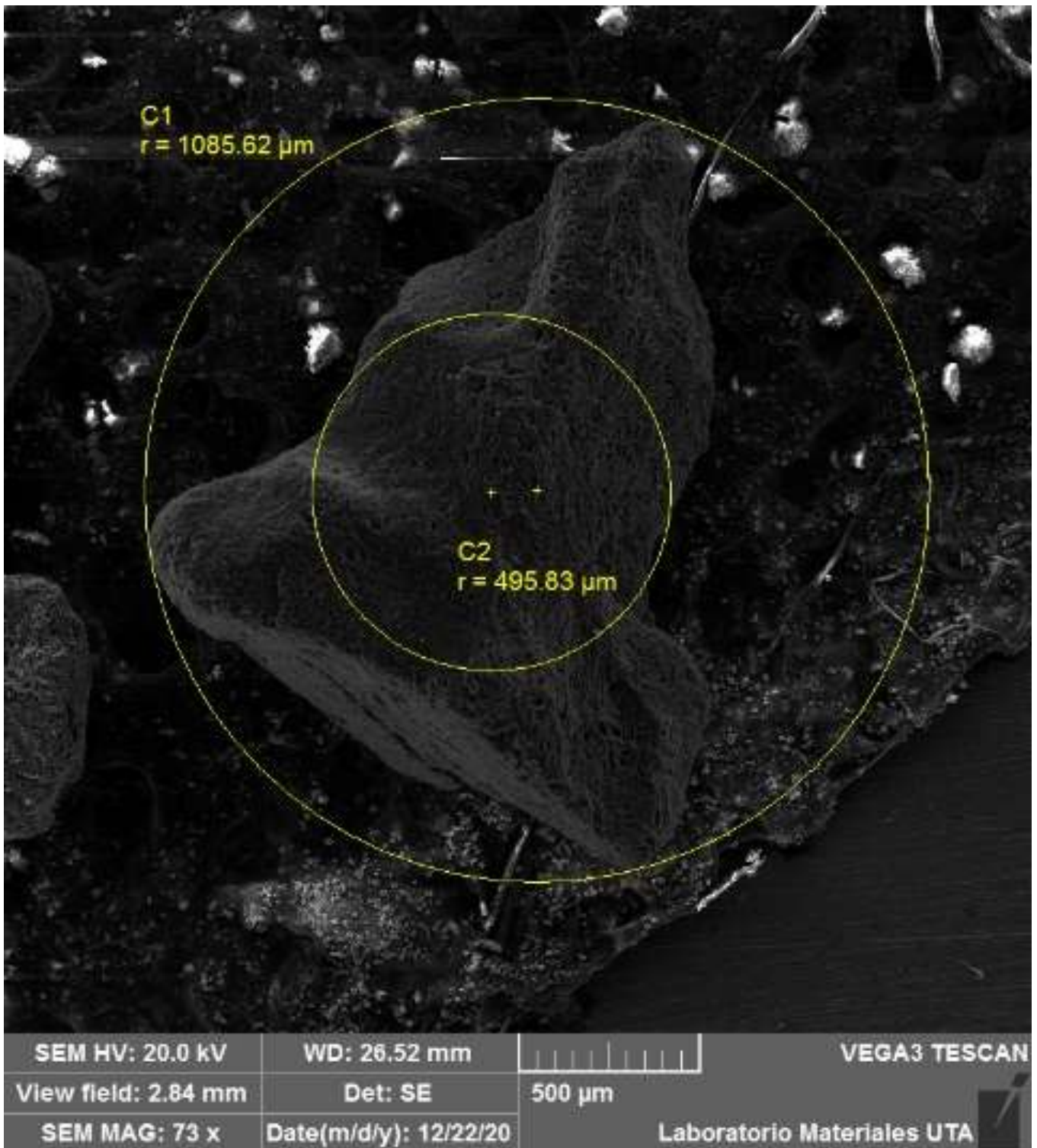


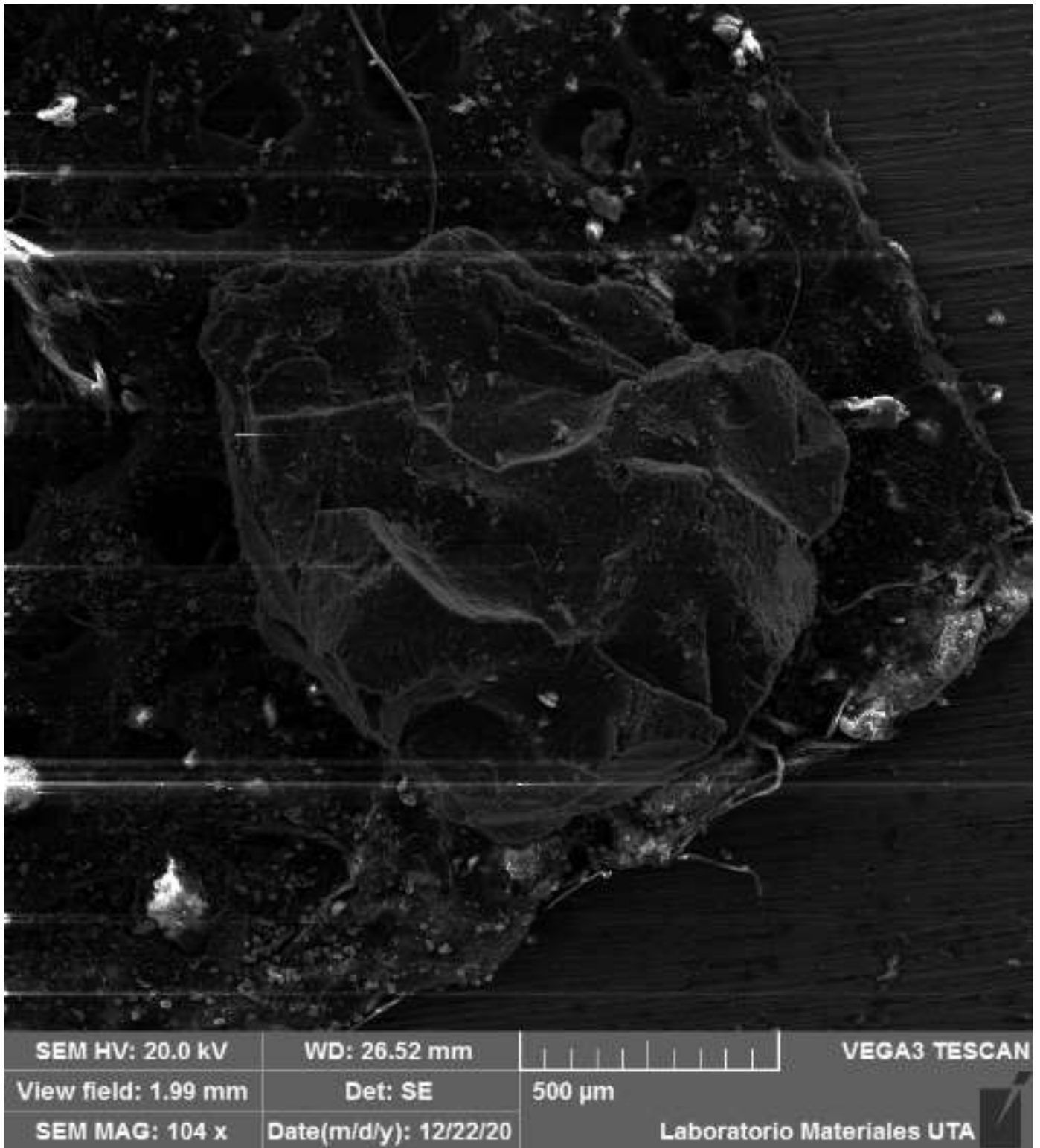
SEM HV: 20.0 kV	WD: 26.52 mm		VEGA3 TESCAN
View field: 1.57 mm	Det: SE	200 μ m	
SEM MAG: 132 x	Date(m/d/y): 12/22/20	Laboratorio Materiales UTA	

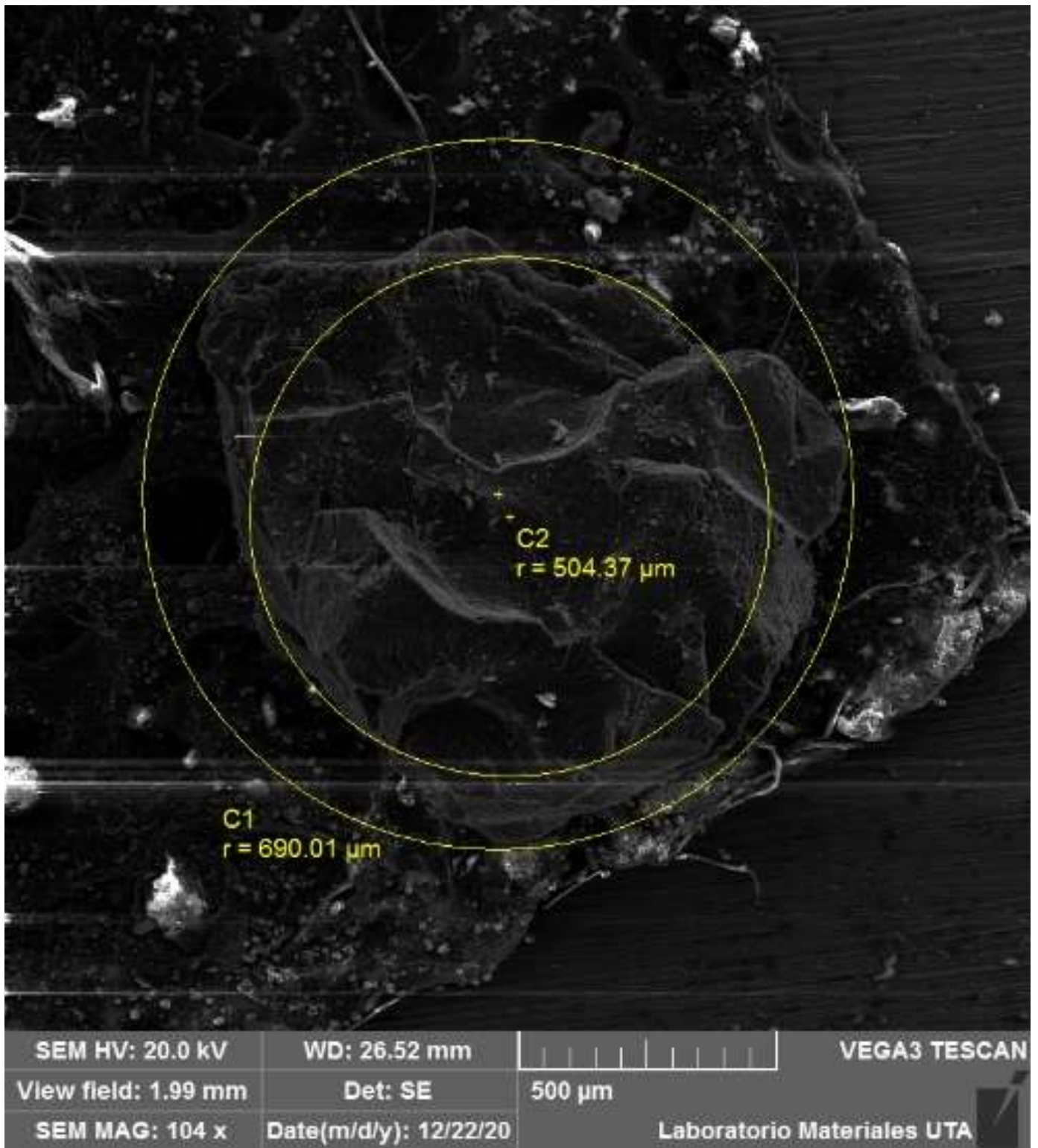


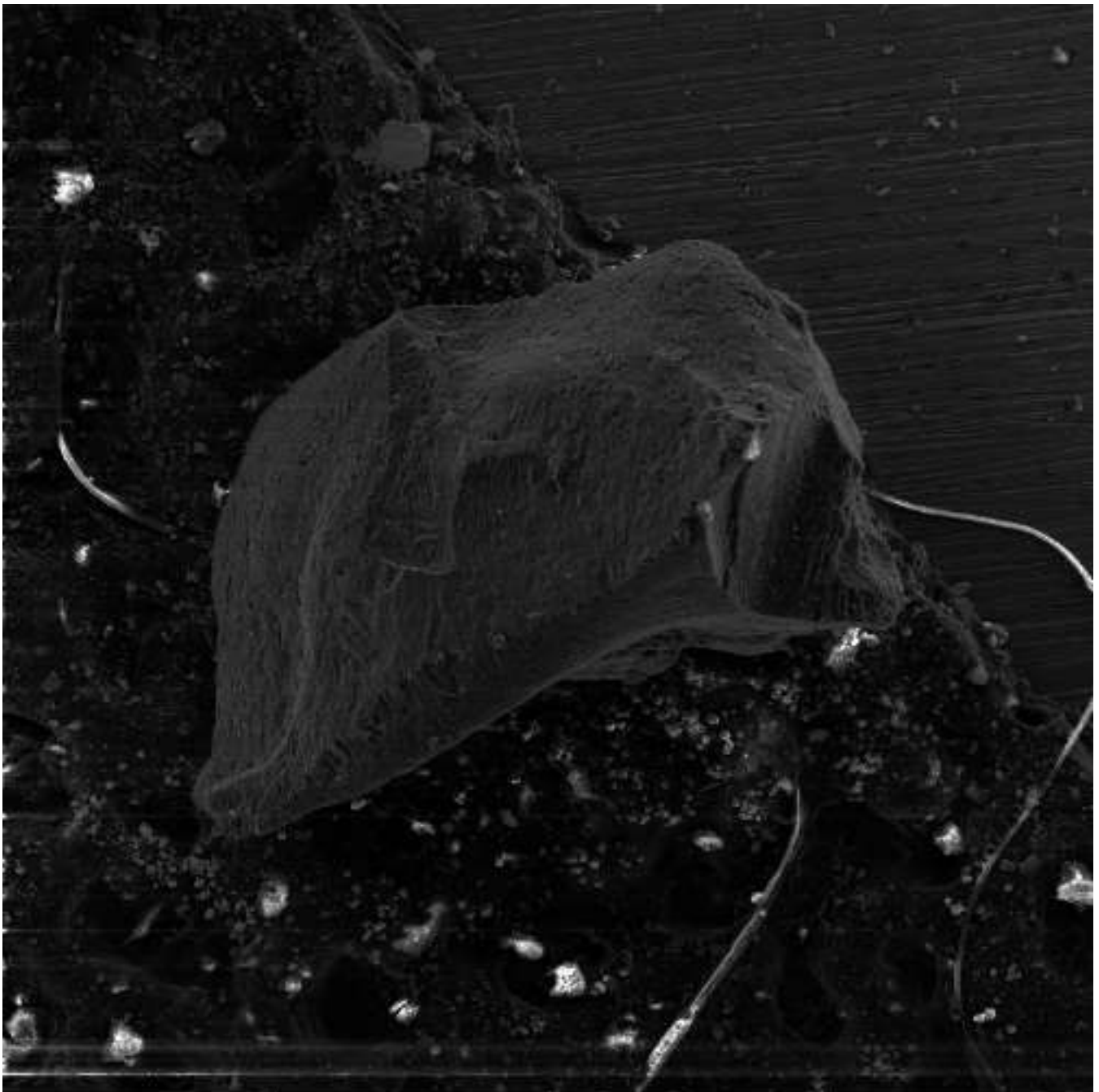


SEM HV: 20.0 kV	WD: 26.52 mm		VEGA3 TESCAN
View field: 2.84 mm	Det: SE	500 μ m	
SEM MAG: 73 x	Date(m/d/y): 12/22/20	Laboratorio Materiales UTA	

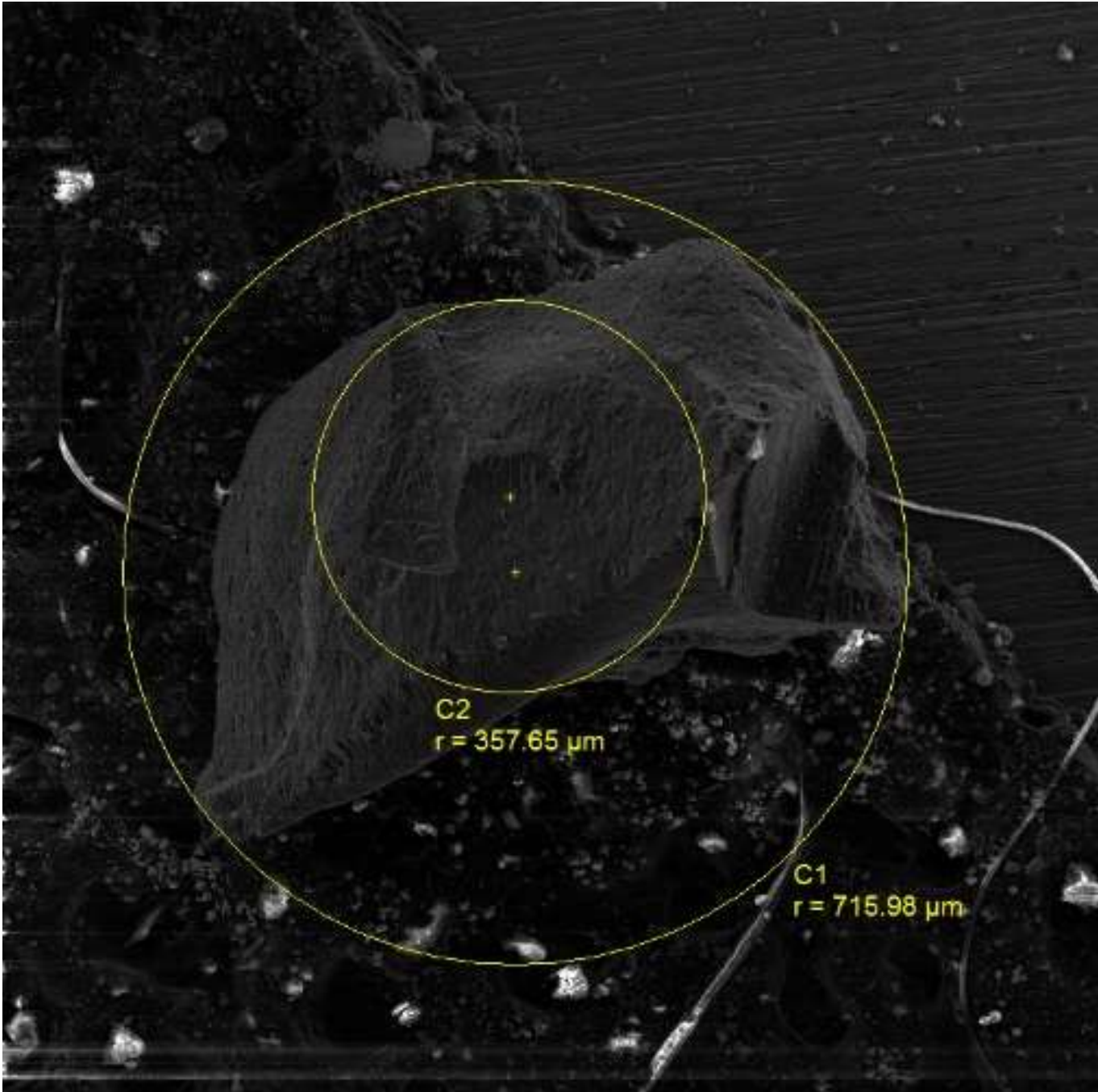








SEM HV: 20.0 kV	WD: 26.52 mm	VEGA3 TESCAN
View field: 2.00 mm	Det: SE	500 μ m
SEM MAG: 104 x	Date(m/d/y): 12/22/20	Laboratorio Materiales UTA



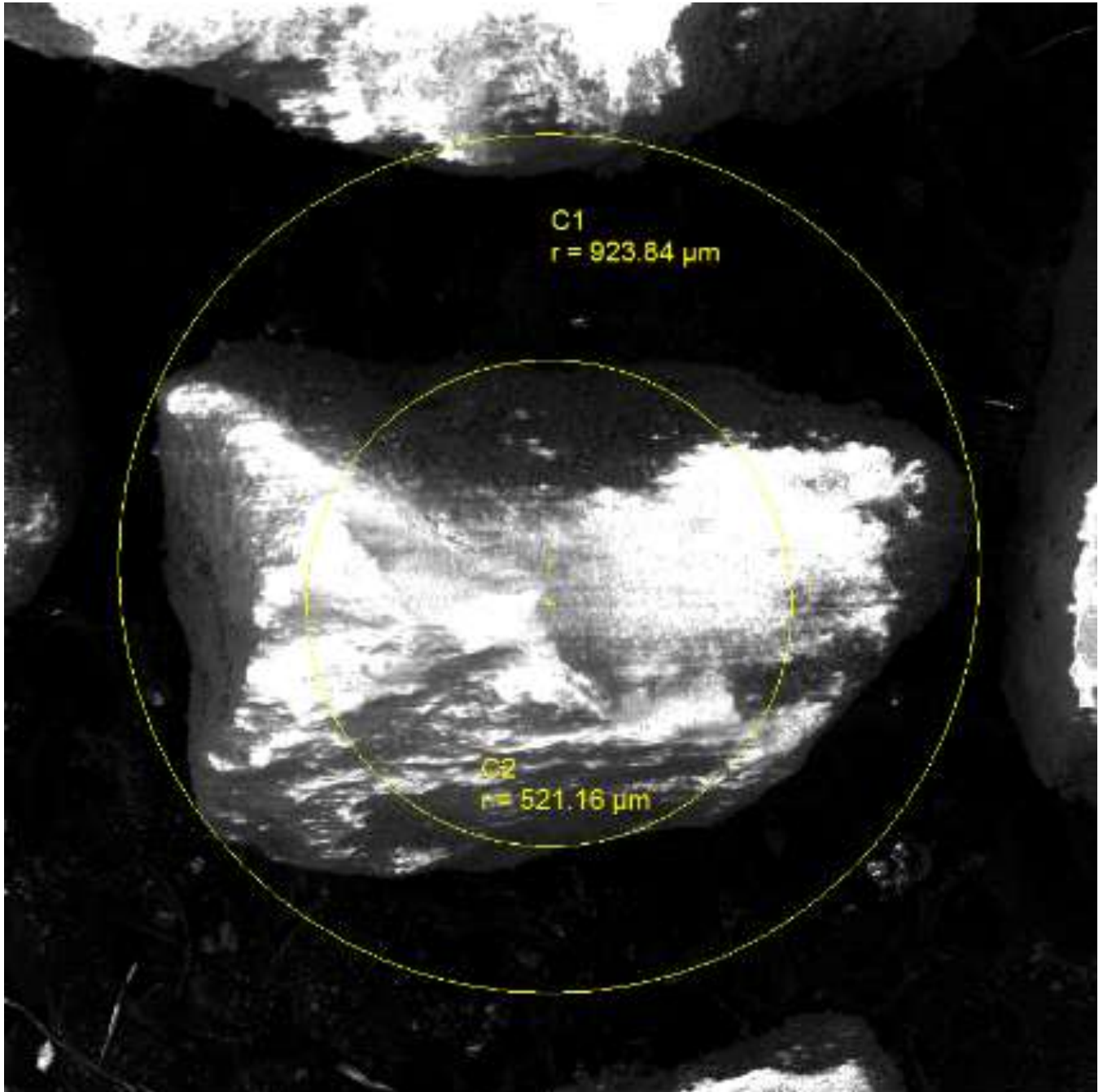
C2
r = 357.65 μm

C1
r = 715.98 μm

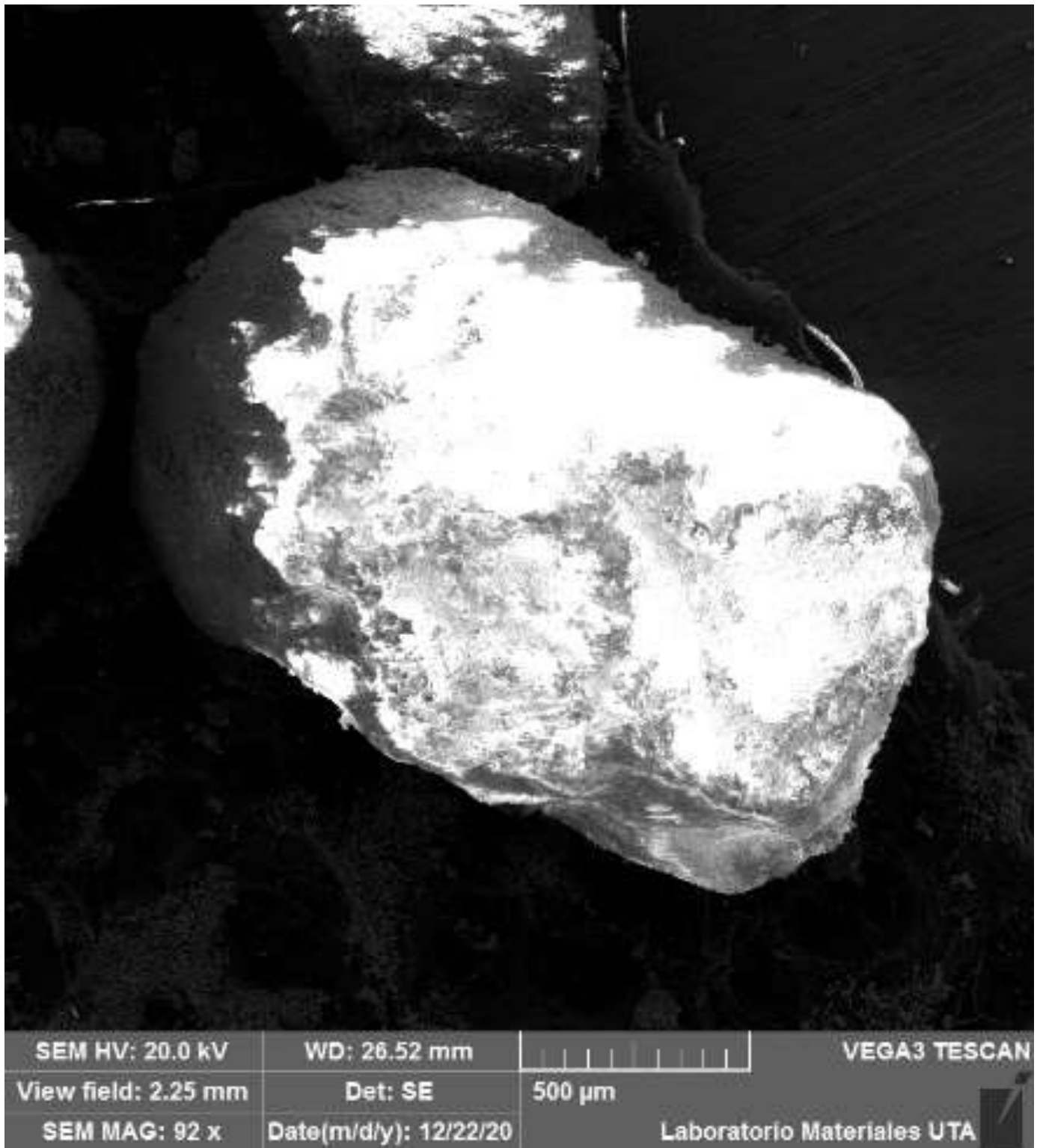
SEM HV: 20.0 kV	WD: 26.52 mm	VEGA3 TESCAN
View field: 2.00 mm	Det: SE	500 μm
SEM MAG: 104 x	Date(m/d/y): 12/22/20	Laboratorio Materiales UTA

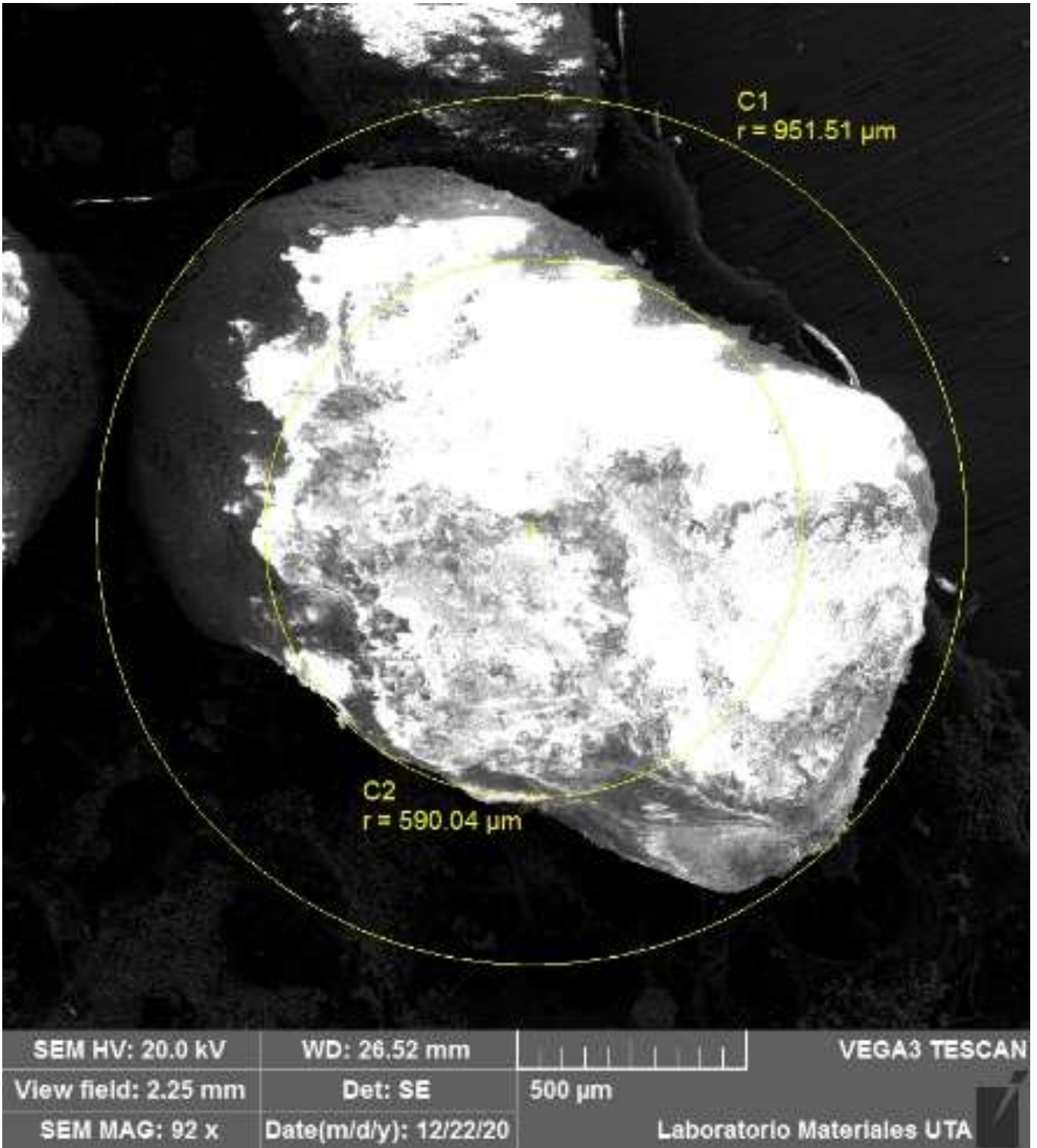
5.2.2. Piedra caliza

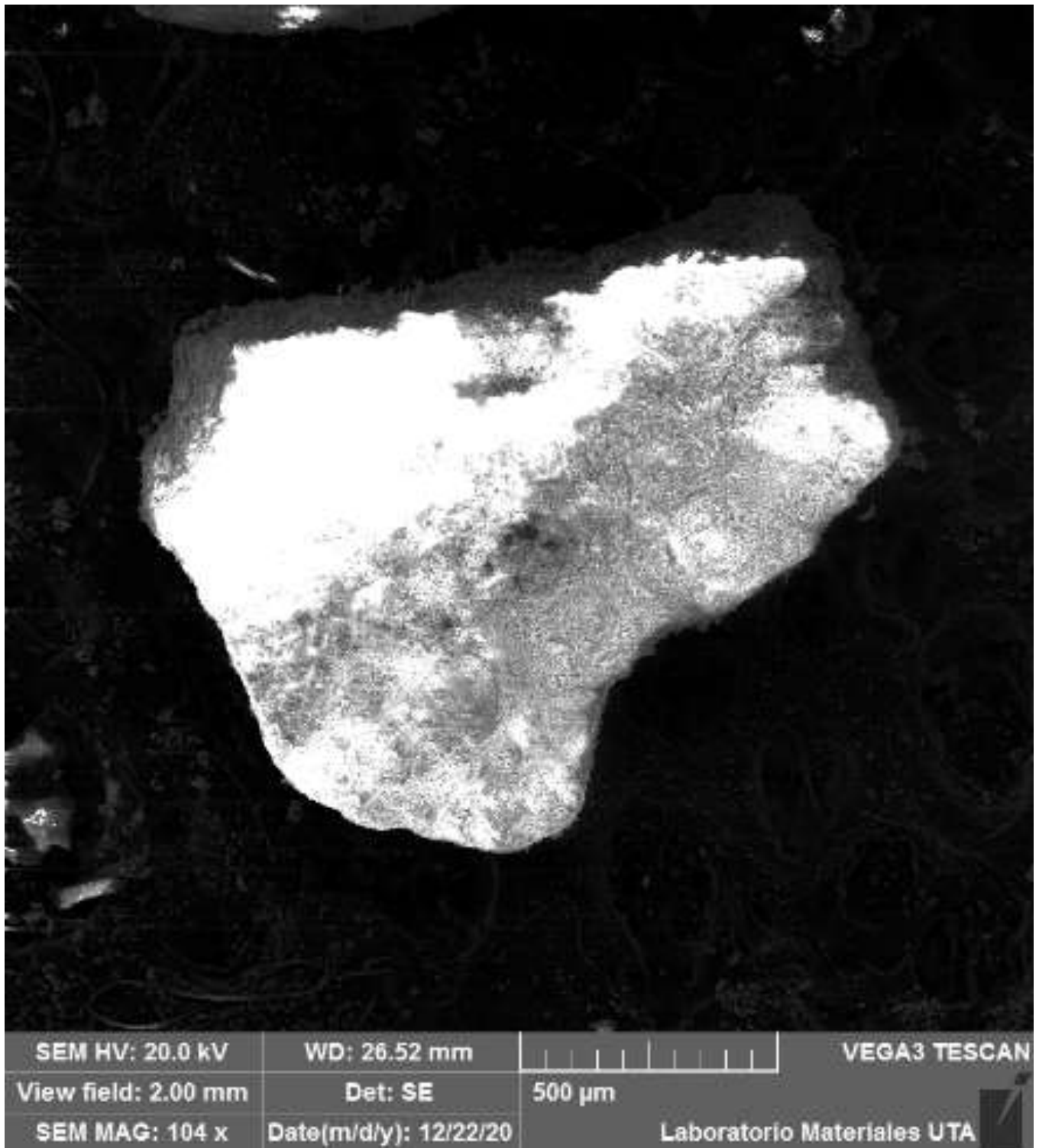


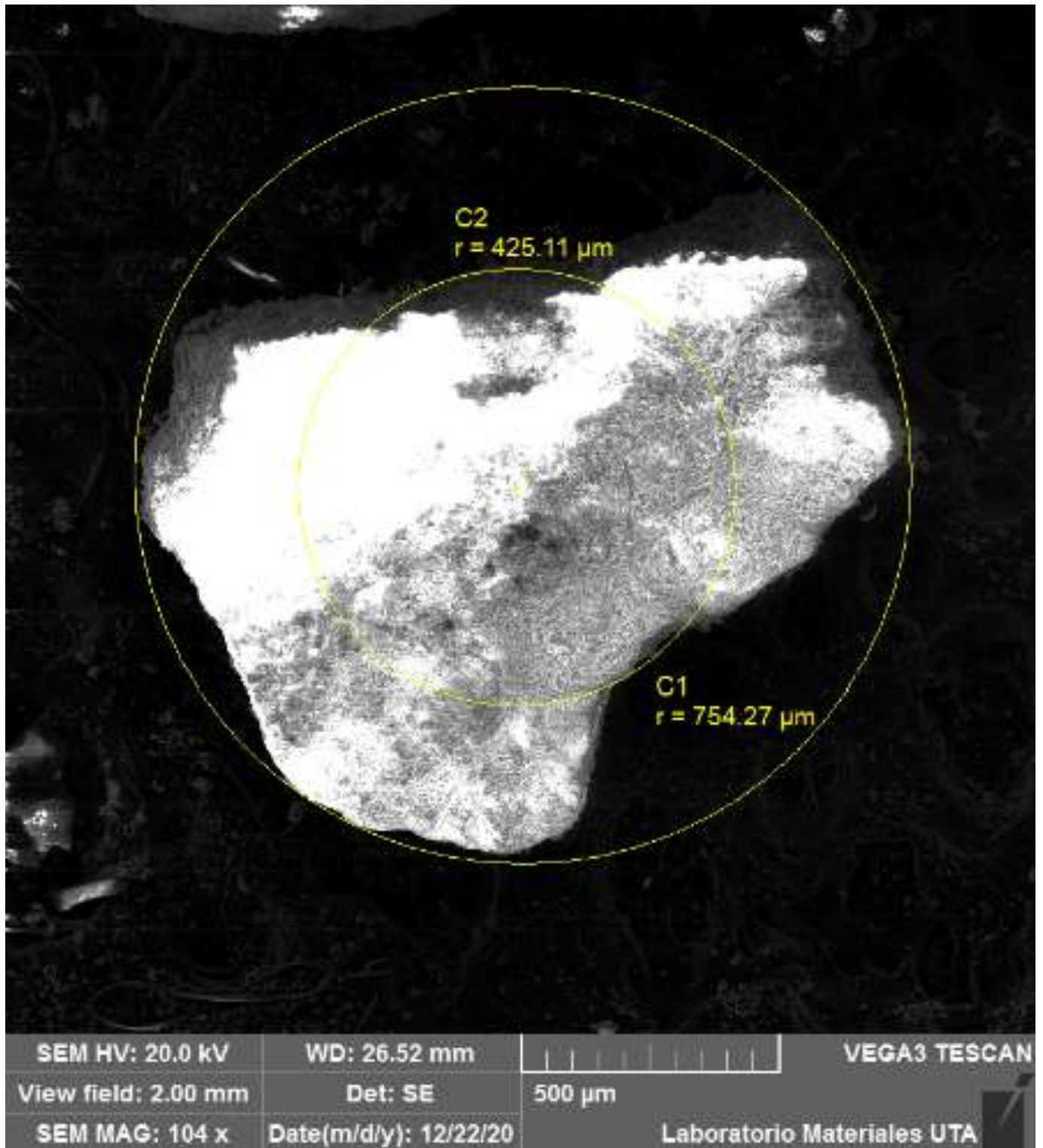


SEM HV: 20.0 kV	WD: 26.52 mm	VEGA3 TESCAN
View field: 2.35 mm	Det: SE	500 μm
SEM MAG: 88 x	Date(m/d/y): 12/22/20	Laboratorio Materiales UTA



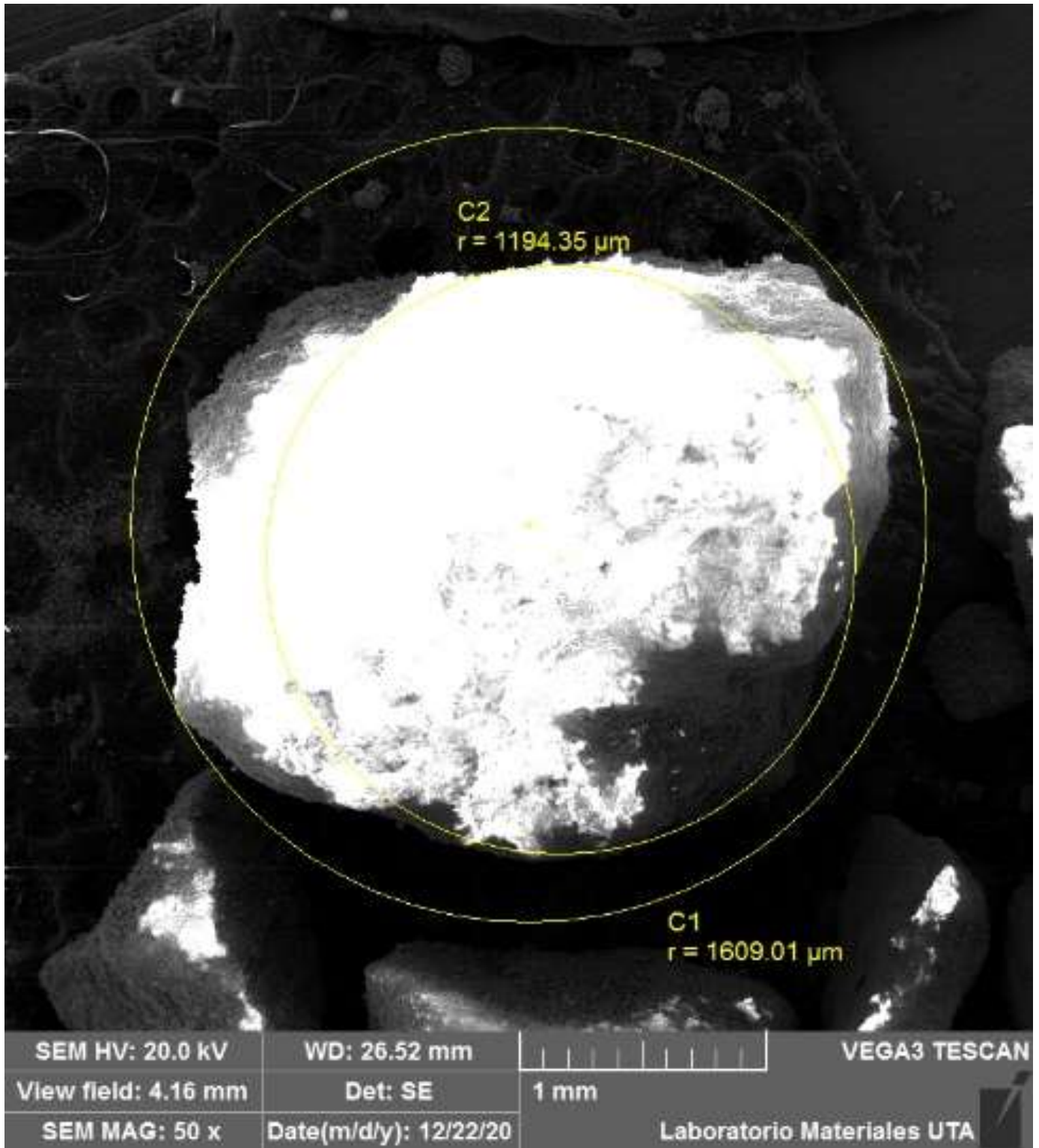




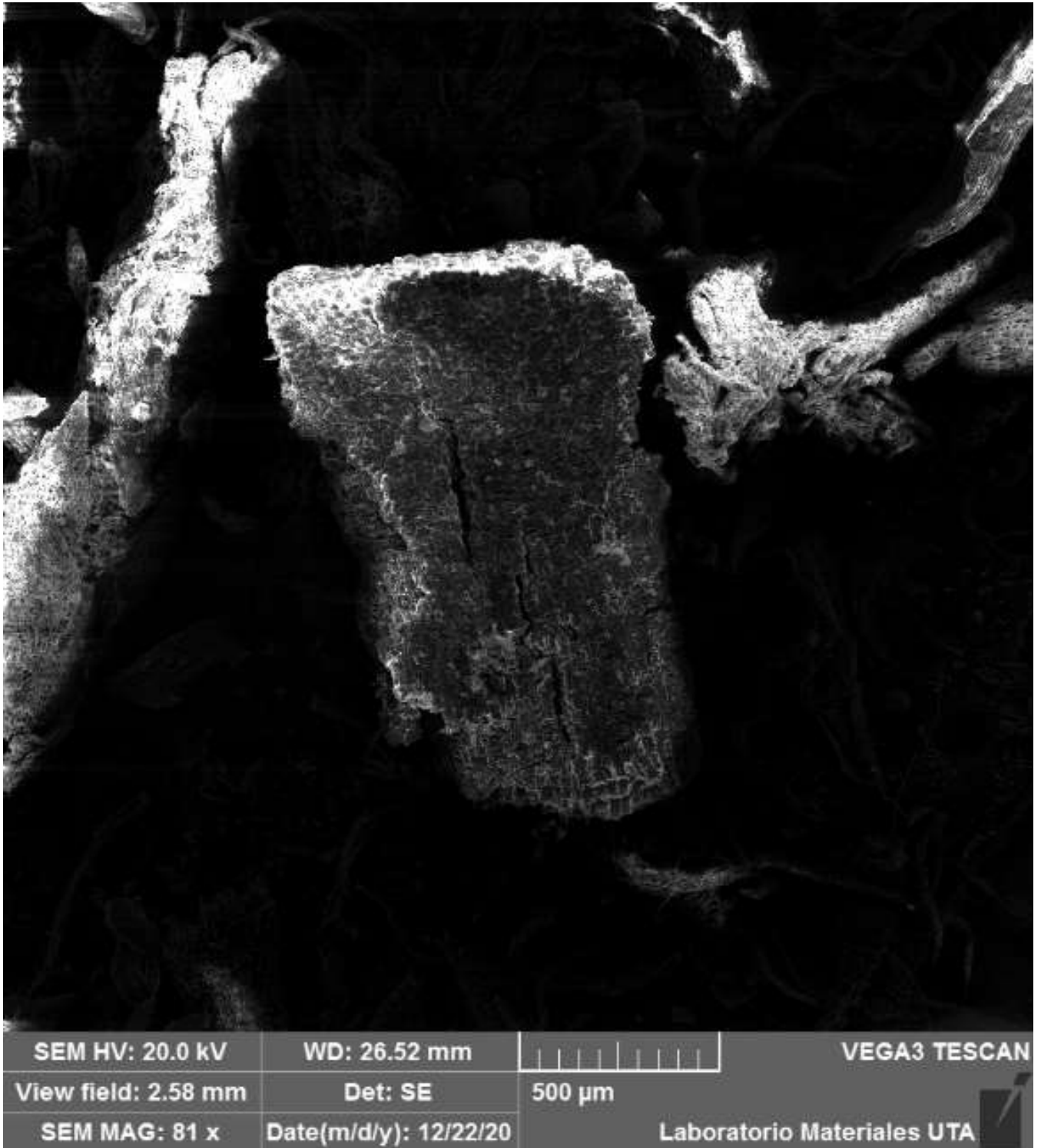


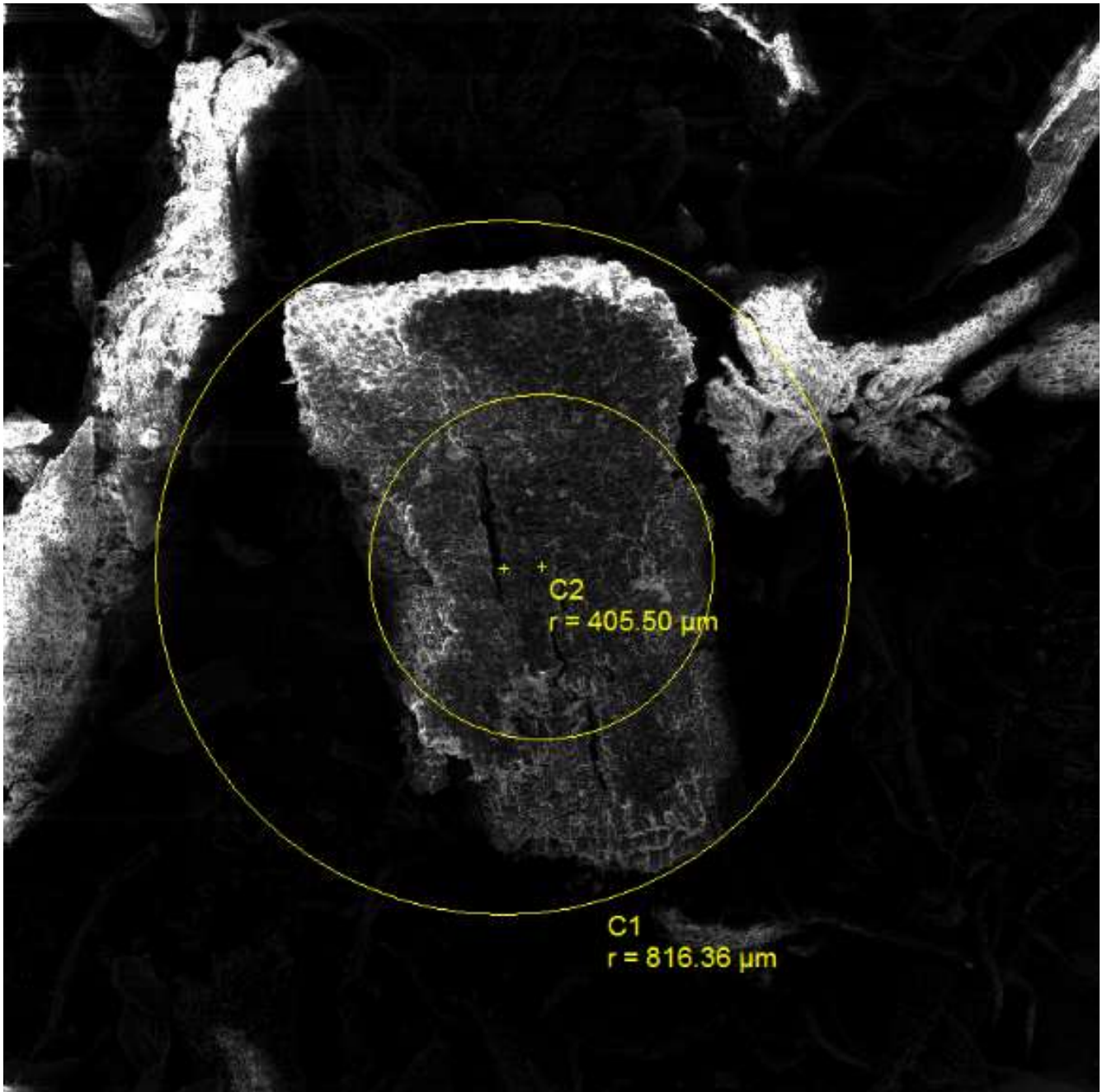


SEM HV: 20.0 kV	WD: 26.52 mm	VEGA3 TESCAN
View field: 4.16 mm	Det: SE	1 mm
SEM MAG: 50 x	Date(m/d/y): 12/22/20	Laboratorio Materiales UTA

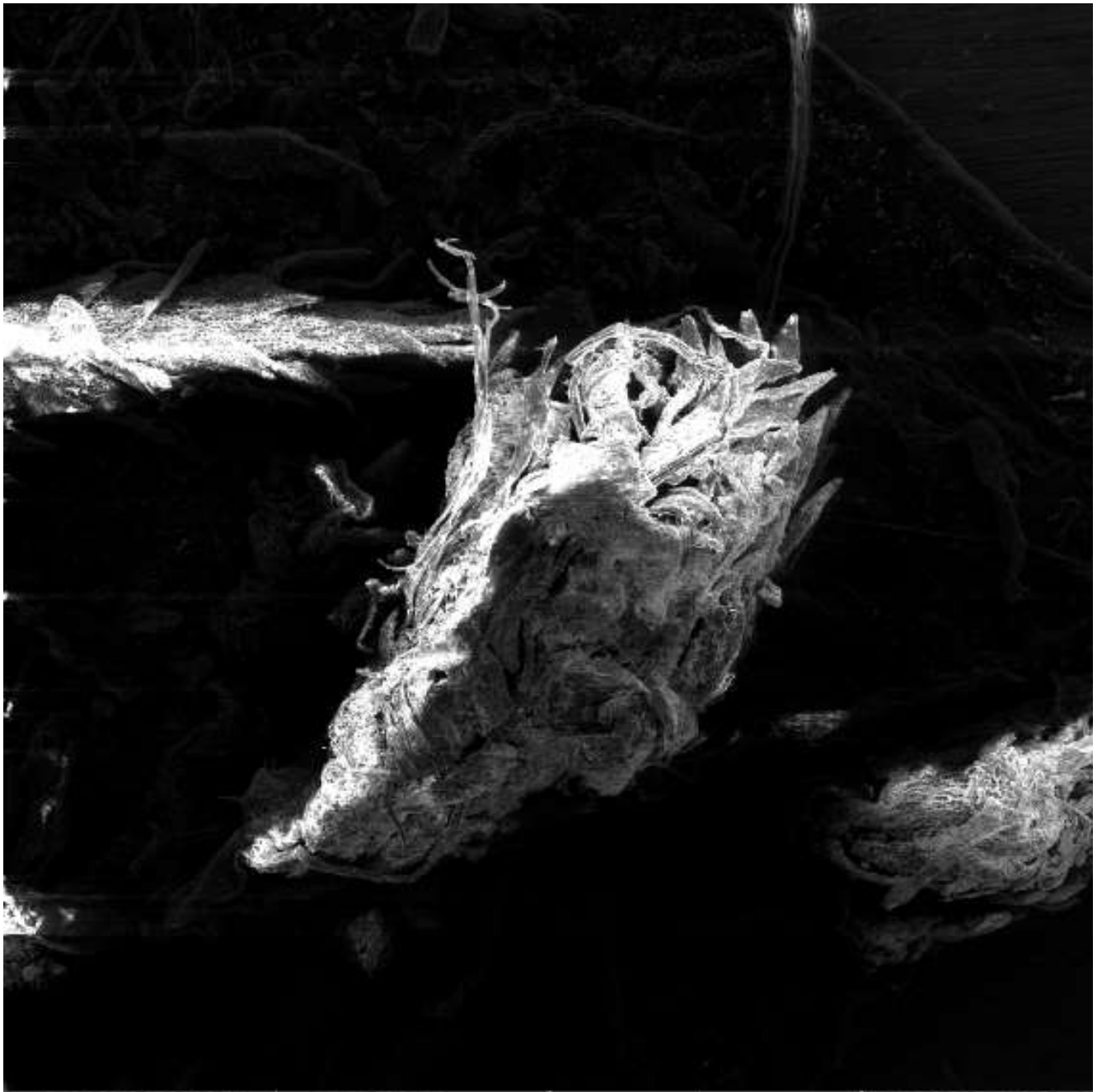


5.2.3. Turba

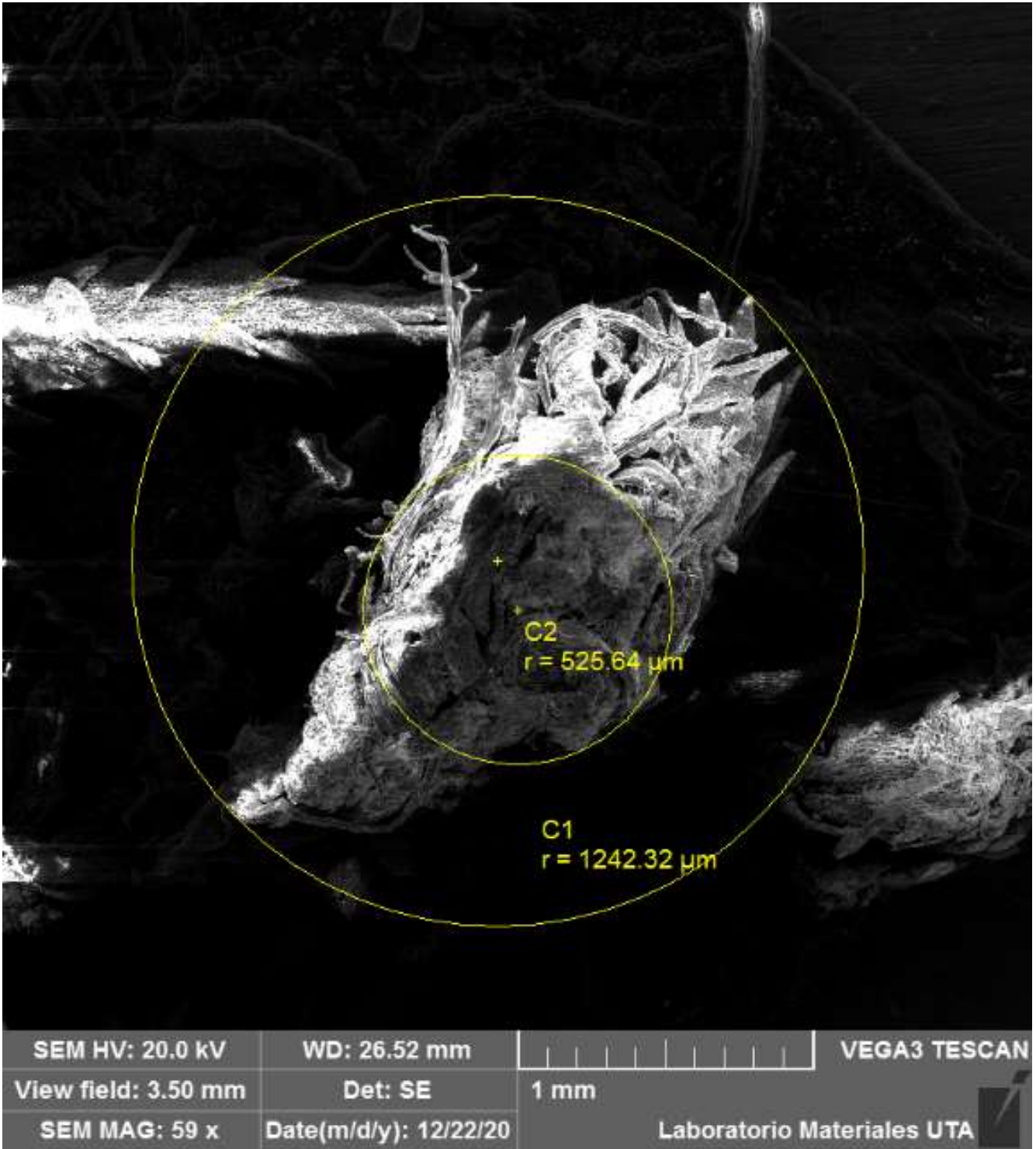


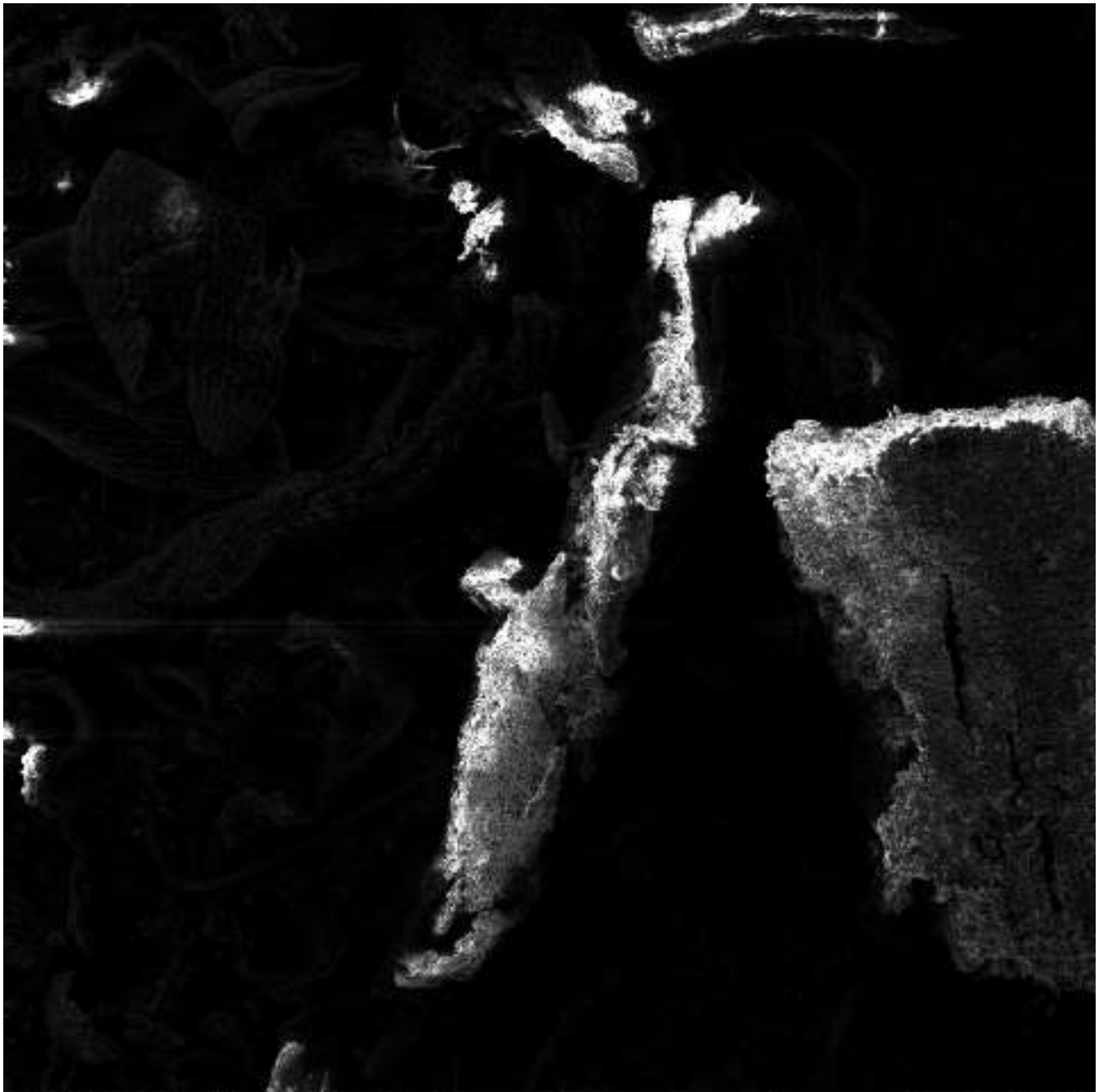


SEM HV: 20.0 kV	WD: 26.52 mm		VEGA3 TESCAN
View field: 2.58 mm	Det: SE	500 μm	
SEM MAG: 81 x	Date(m/d/y): 12/22/20	Laboratorio Materiales UTA	

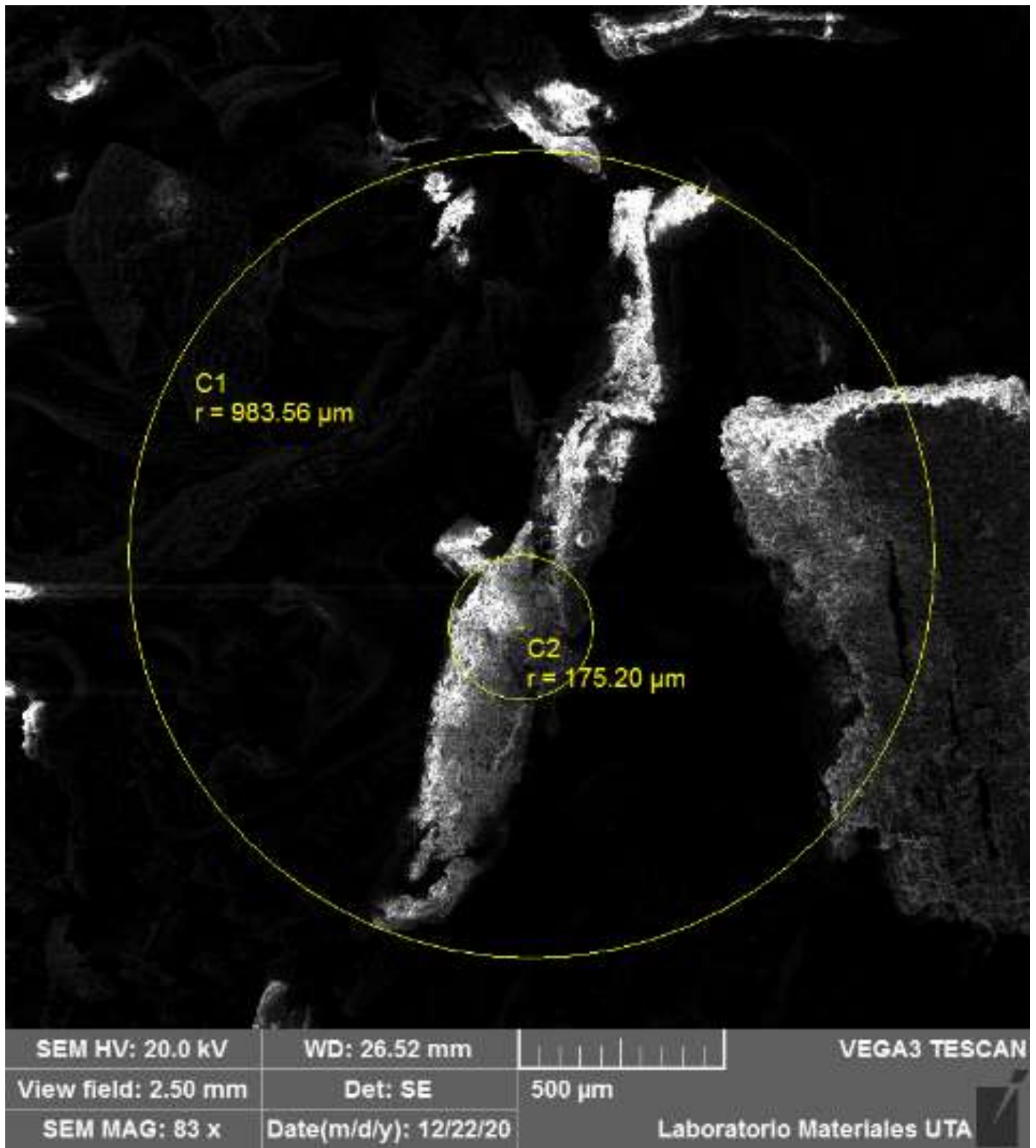


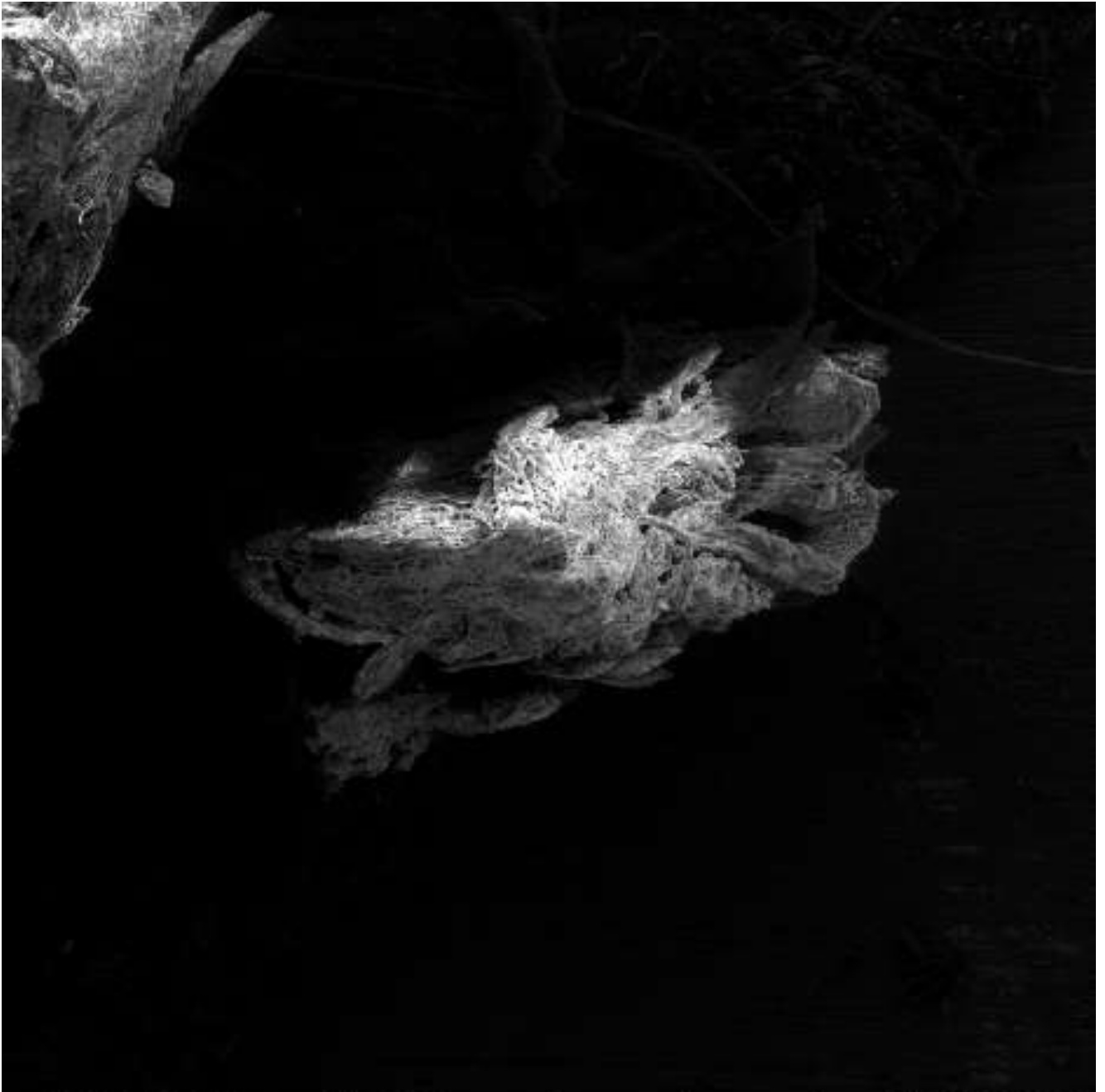
SEM HV: 20.0 kV	WD: 26.52 mm	VEGA3 TESCAN
View field: 3.50 mm	Det: SE	1 mm
SEM MAG: 59 x	Date(m/d/y): 12/22/20	Laboratorio Materiales UTA



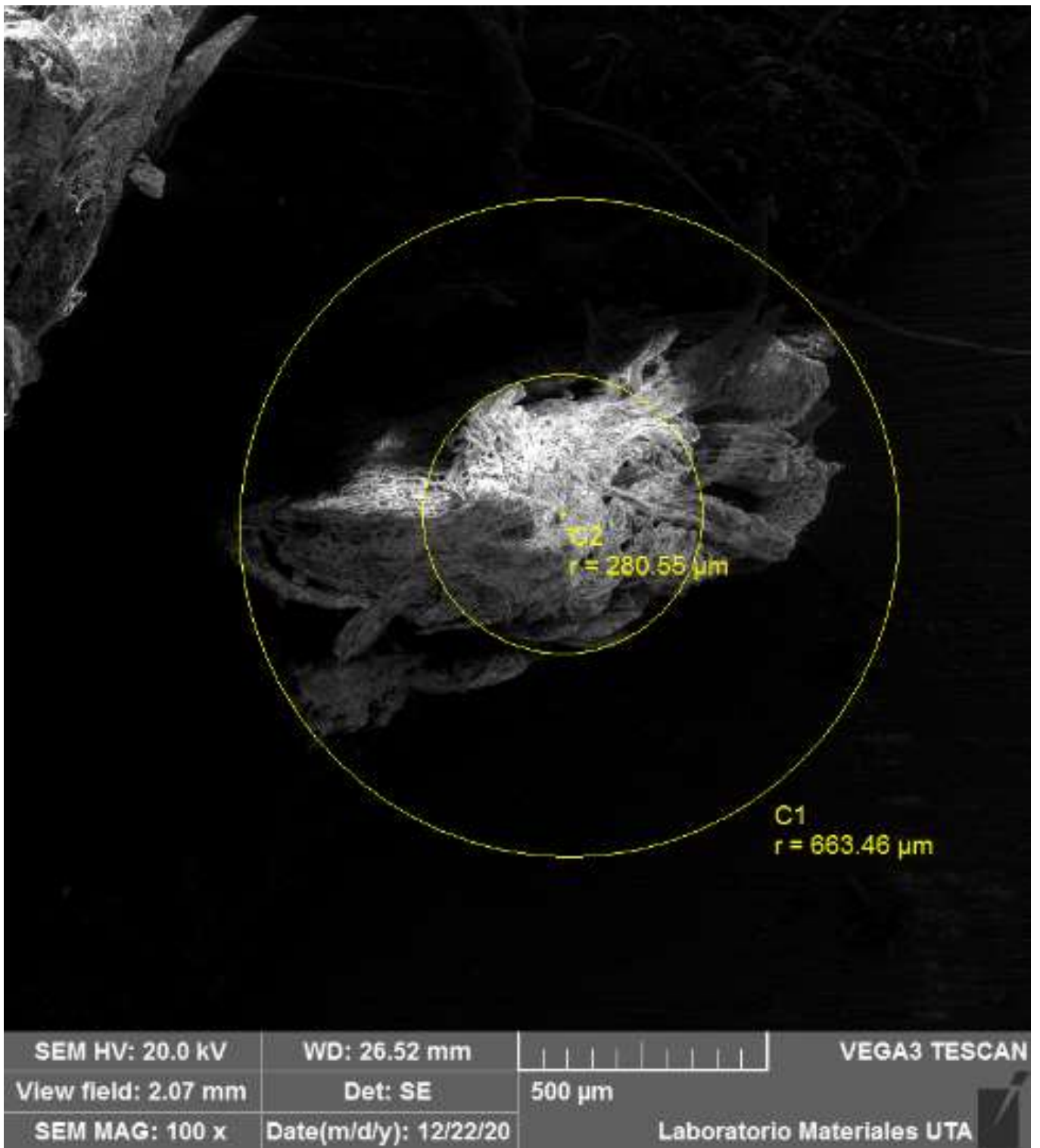


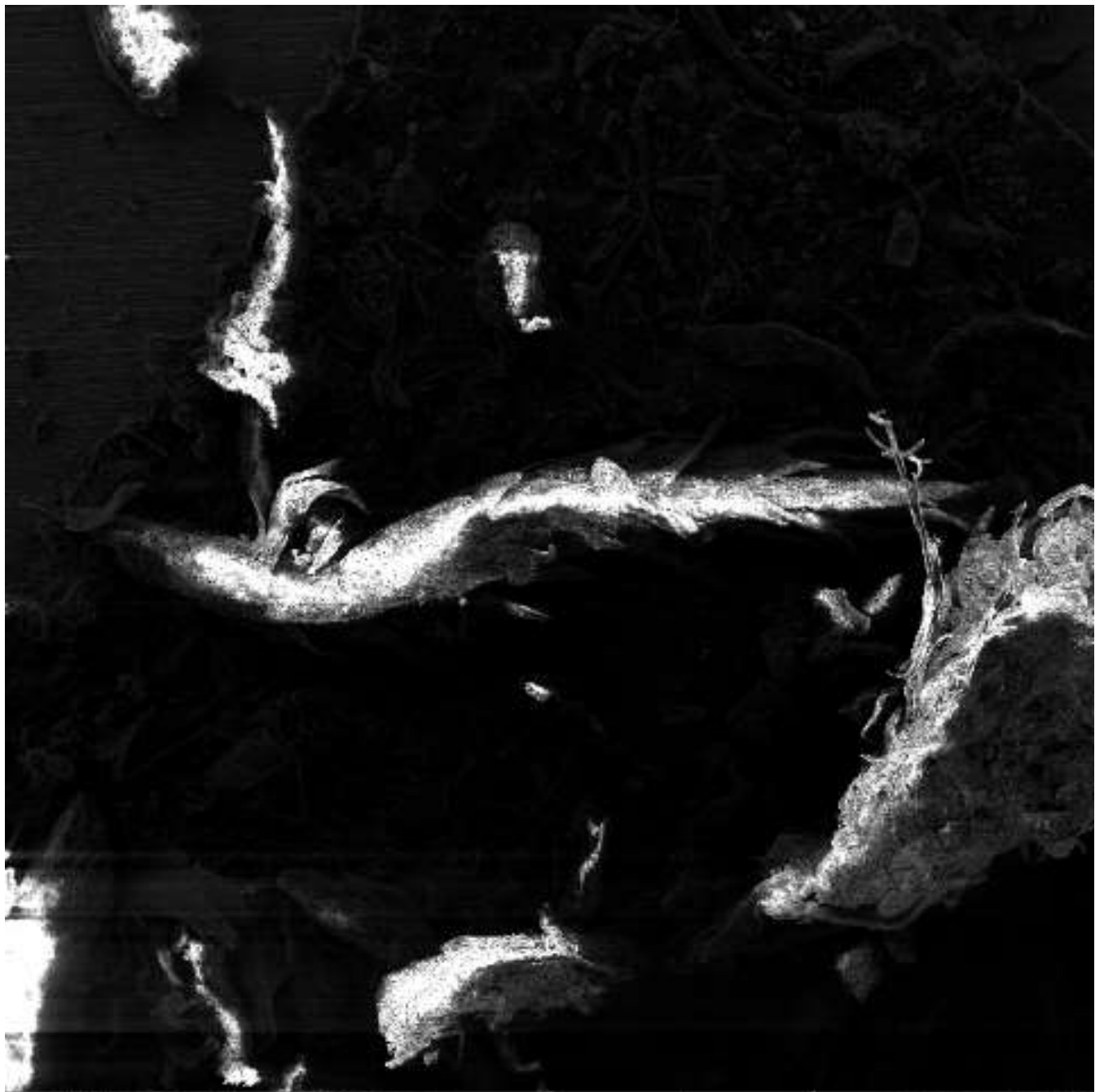
SEM HV: 20.0 kV	WD: 26.52 mm		VEGA3 TESCAN
View field: 2.50 mm	Det: SE	500 μ m	
SEM MAG: 83 x	Date(m/d/y): 12/22/20	Laboratorio Materiales UTA	



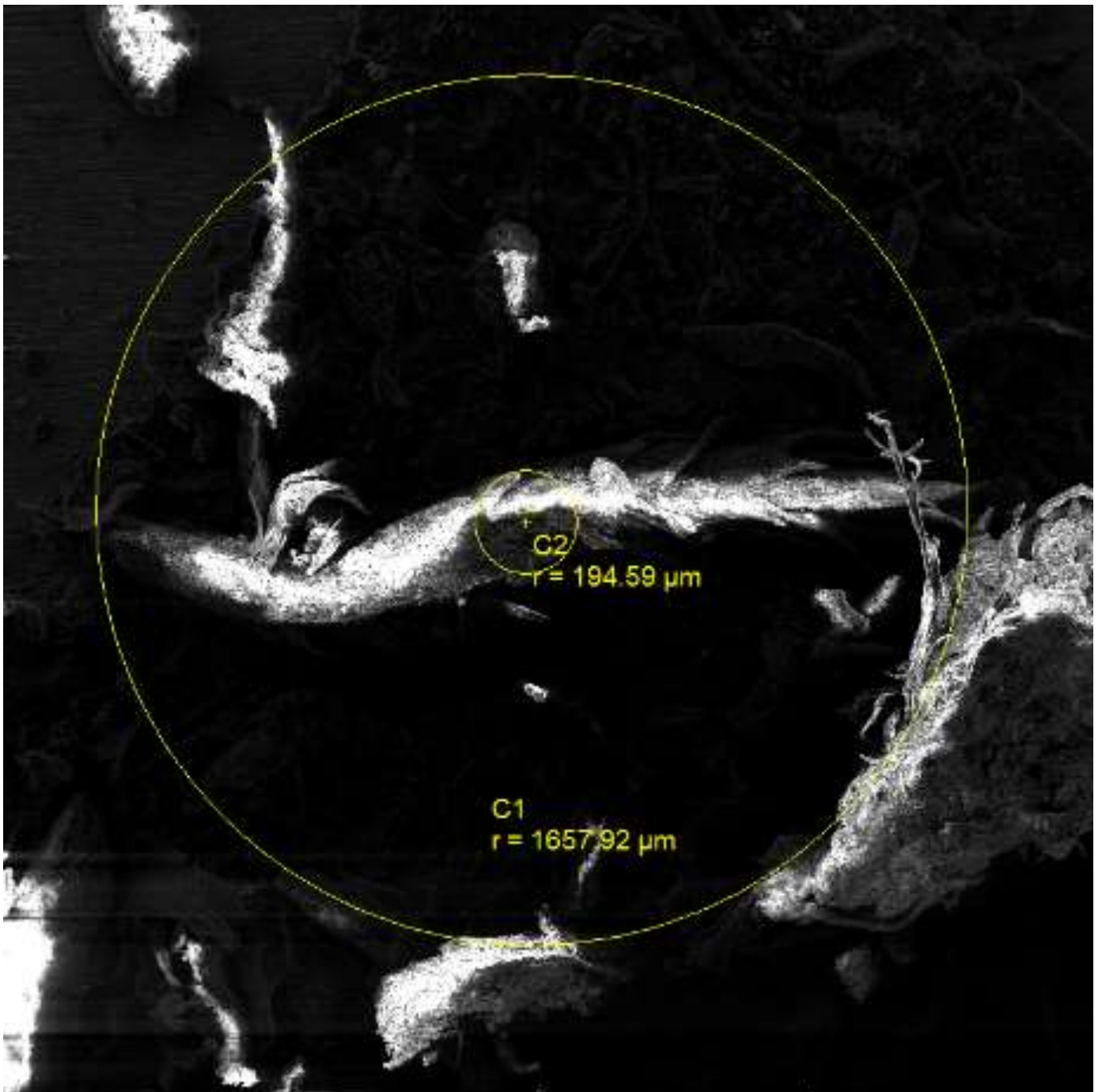


SEM HV: 20.0 kV	WD: 26.52 mm		VEGA3 TESCAN
View field: 2.07 mm	Det: SE		500 μ m
SEM MAG: 100 x	Date(m/d/y): 12/22/20	Laboratorio Materiales UTA	



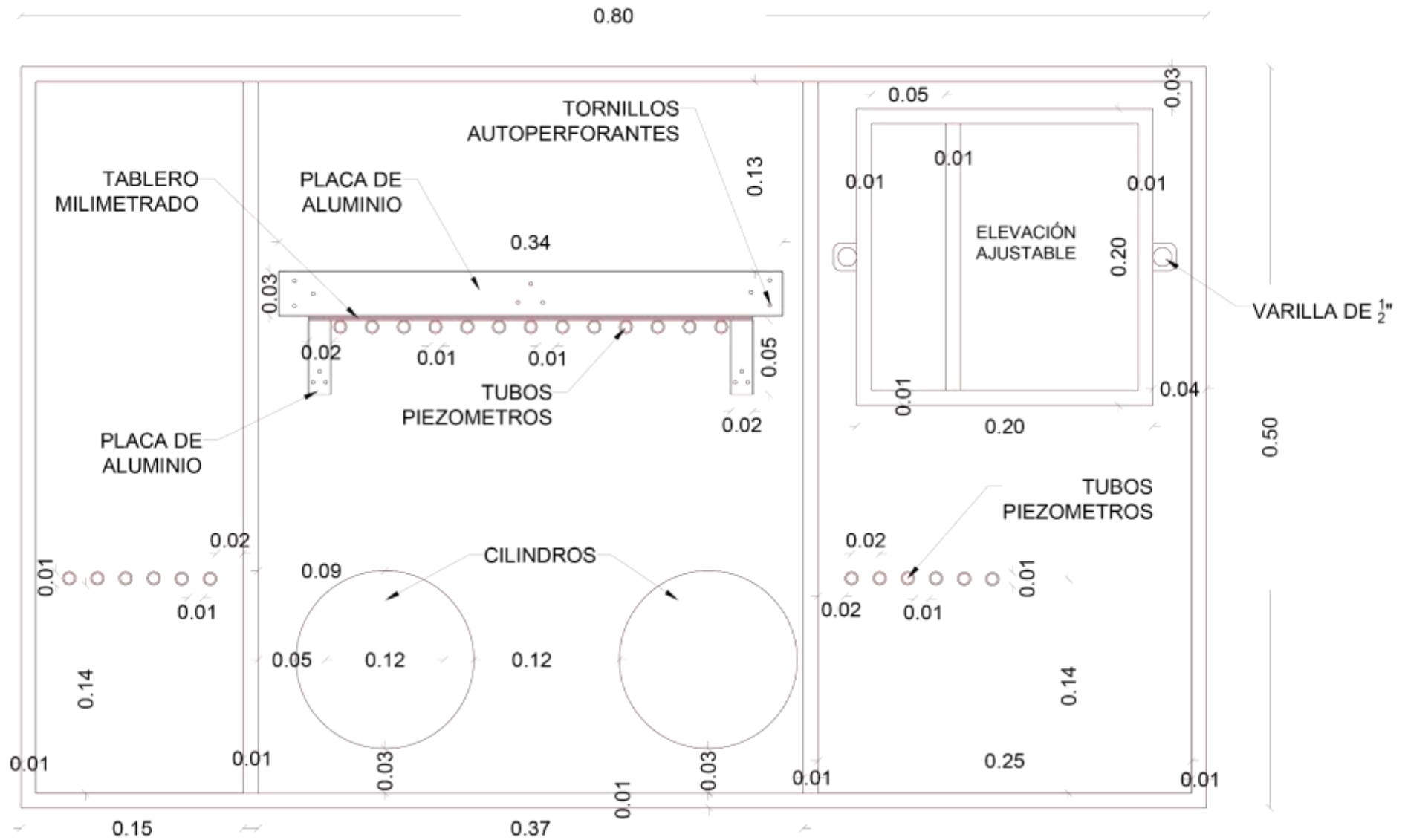


SEM HV: 20.0 kV	WD: 26.52 mm		VEGA3 TESCAN
View field: 4.15 mm	Det: SE	1 mm	
SEM MAG: 50 x	Date(m/d/y): 12/22/20	Laboratorio Materiales UTA	



SEM HV: 20.0 kV	WD: 26.52 mm	VEGA3 TESCAN
View field: 4.15 mm	Det: SE	1 mm
SEM MAG: 50 x	Date(m/d/y): 12/22/20	Laboratorio Materiales UTA

PLANOS DEL PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

154

PROYECTO:

**DISEÑO DE PERMEÁMETRO CARGA
CONSTANTE**

CONTIENE:

**PLANTA DE PERMEÁMETRO
COMPONENTES EN BASE**

REALIZADO POR:

**DANIEL CABEZAS.
EGRESADO**

**ANA MARIA AMAYA.
EGRESADA**

REVISADO POR:

ING. LENIN MALDONADO

ESCALA:

1:250

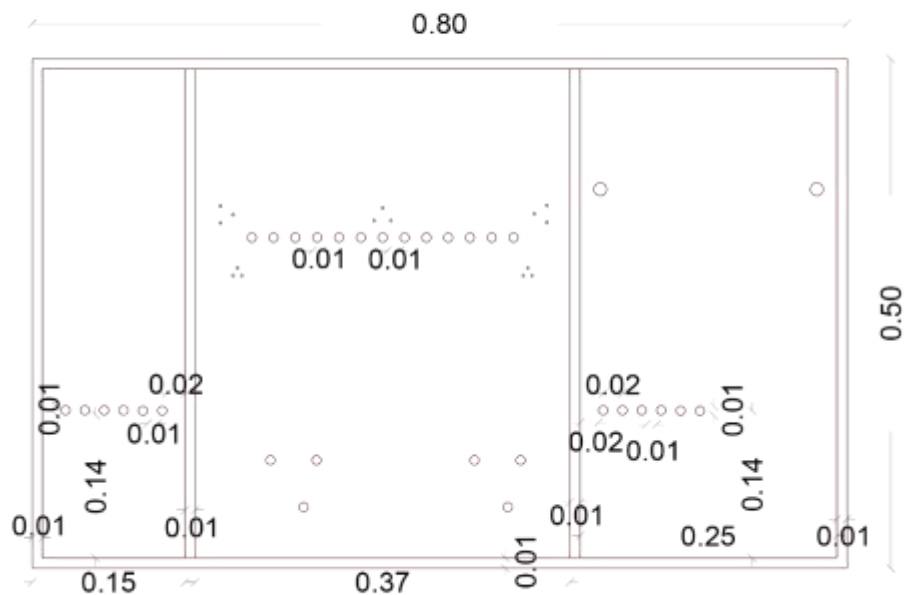
FECHA:

**OCTUBRE
2020**

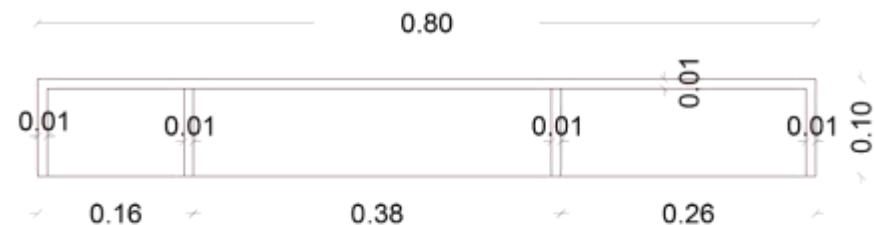
LAMINA:

1/5





VISTA EN PLANTA BASE SOPORTE



VISTA FRONTAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

155

PROYECTO:
**DISEÑO DE PERMEÁMETRO CARGA
 CONSTANTE**

CONTIENE:
**VISTA EN PLANTA BASE SOPORTE
 VISTA FRONTAL**

REALIZADO POR:
**DANIEL CABEZAS. ANA MARIA AMAYA.
 EGRESADO EGRESADA**

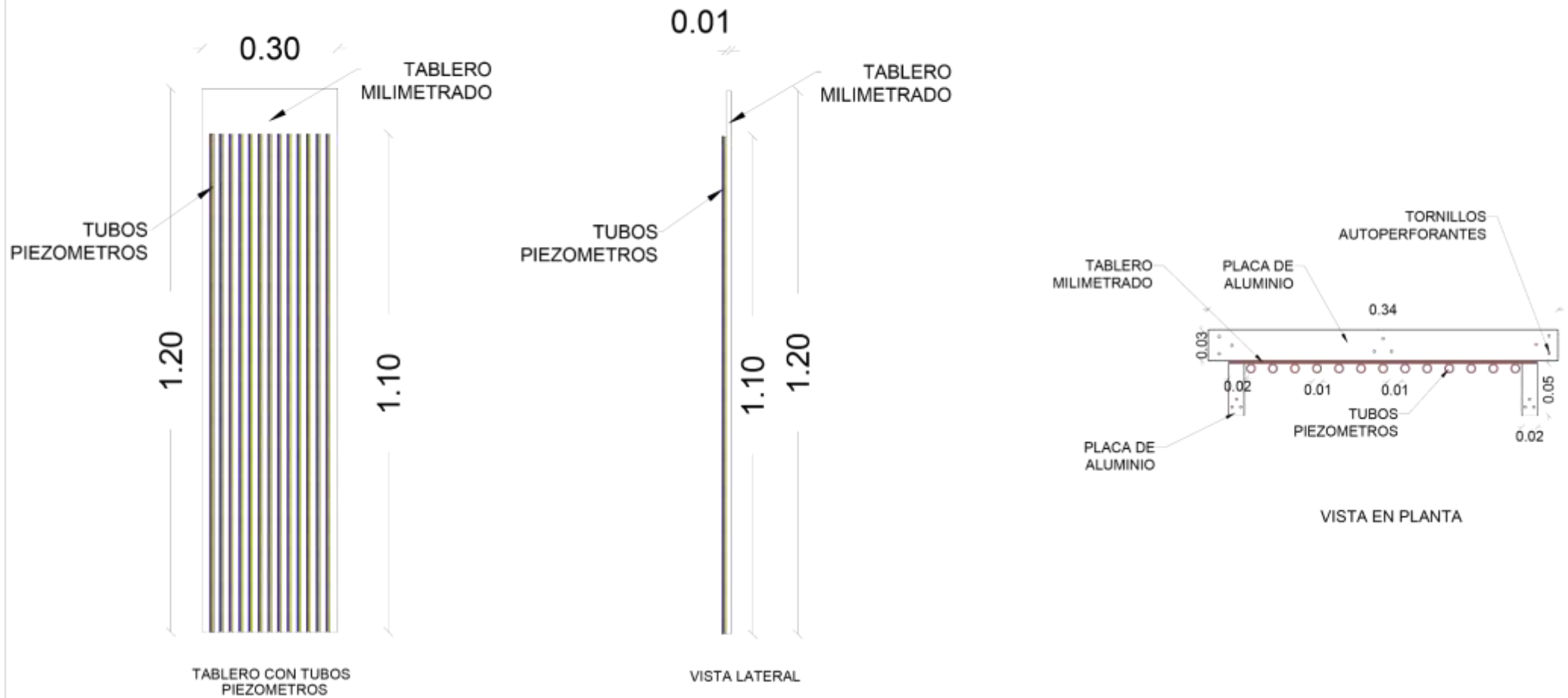
REVISADO POR:
ING. LENIN MALDONADO

ESCALA:
1:250

FECHA:
**OCTUBRE
 2020**

LÁMINA:
2/5





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

PROYECTO:
**DISEÑO DE PERMEÁMETRO CARGA
 CONSTANTE**

CONTIENE:
**TABLERO CON TUBOS PIEZOMÉTRICOS
 VISTA LATERAL Y PLANTA**

REALIZADO POR:
DANIEL CABEZAS. ANA MARIA AMAYA.
 EGRESADO EGRESADA

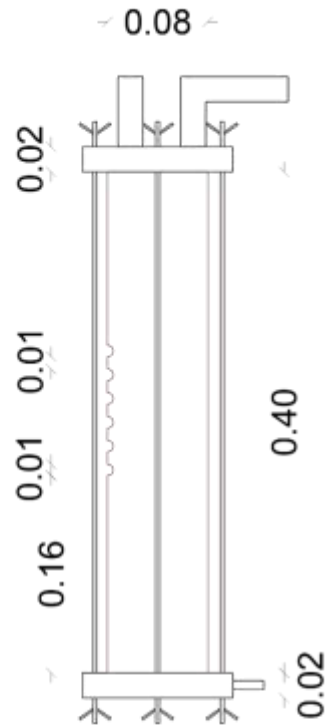
REVISADO POR:
ING LENIN MALDONADO

ESCALA:
1:250

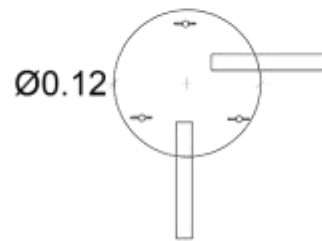
FECHA:
**OCTUBRE
 2020**

LÁMINA:
3/5

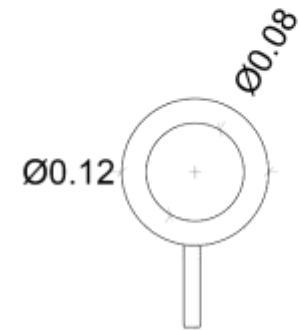




CILINDRO



TAPA
SUPERIOR



TAPA
INFERIOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

PROYECTO:
**DISEÑO DE PERMEÁMETRO CARGA
 CONSTANTE**

CONTIENE:
**CILINDRO
 VISTA LATERAL Y PLANTA**

REALIZADO POR:
**DANIEL CABEZAS. ANA MARIA AMAYA.
 EGRESADO EGRESADA**

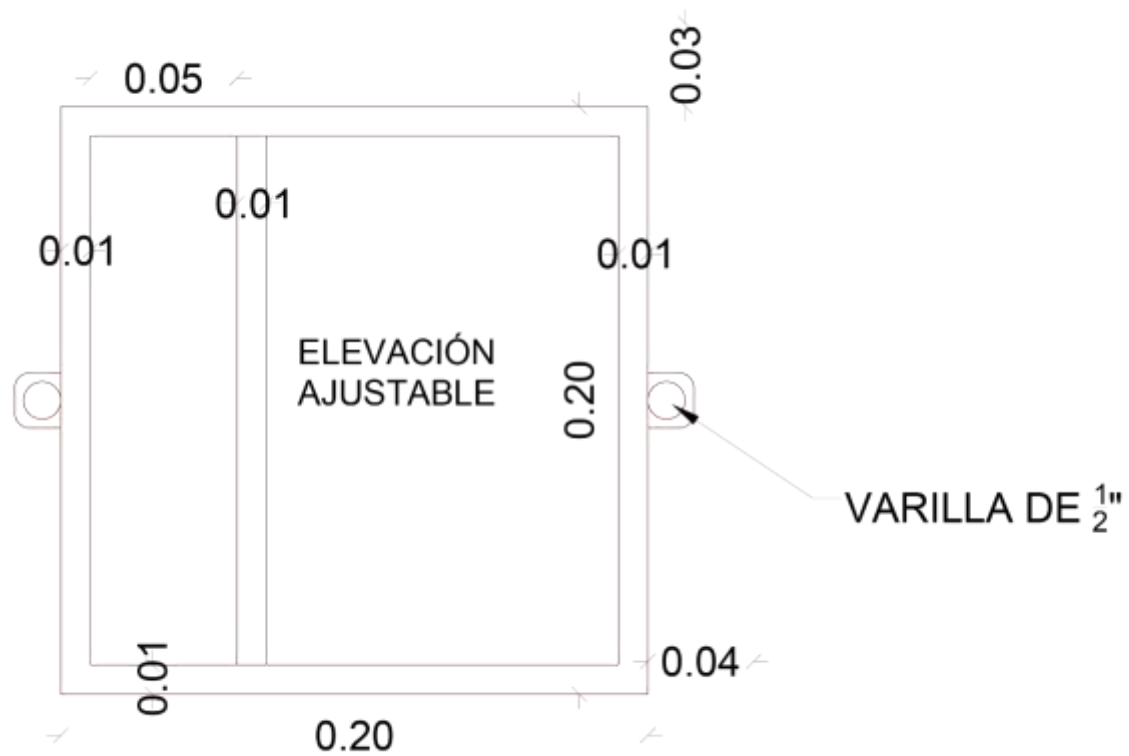
REVISADO POR:
ING. LENIN MALDONADO

ESCALA:
1:250

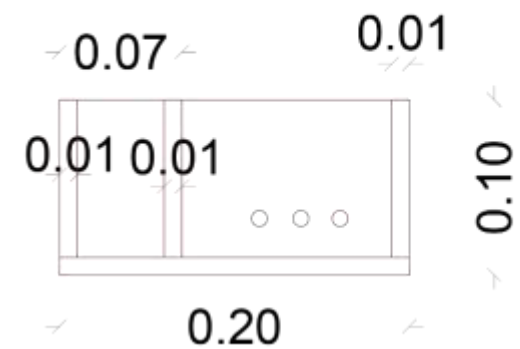
FECHA:
**OCTUBRE
 2020**

LAMINA:
4/5

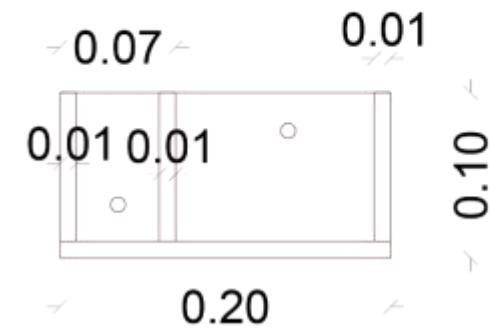




VISTA EN PLANTA TANQUE



VISTA FRONTAL



VISTA POSTERIOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

PROYECTO:
DISEÑO DE PERMEÁMETRO CARGA CONSTANTE

CONTIENE:
TANQUE VISTA EN PLANTA Y PERFIL

REALIZADO POR:
DANIEL CABEZAS. EGRESADO **ANA MARIA AMAYA. EGRESADA**

REVISÓ POR:
ING. LENIN MALDONADO

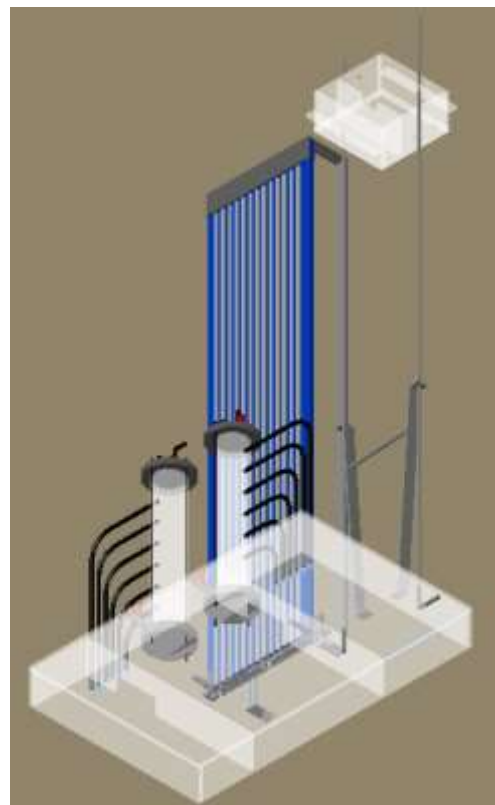
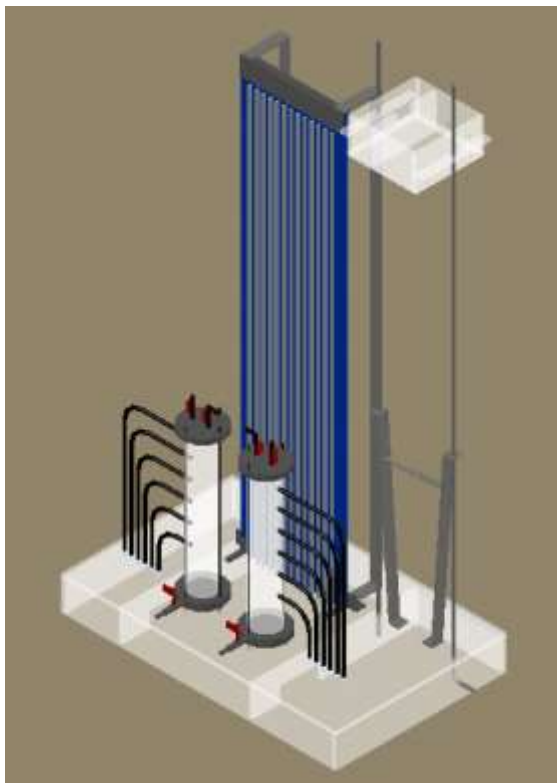
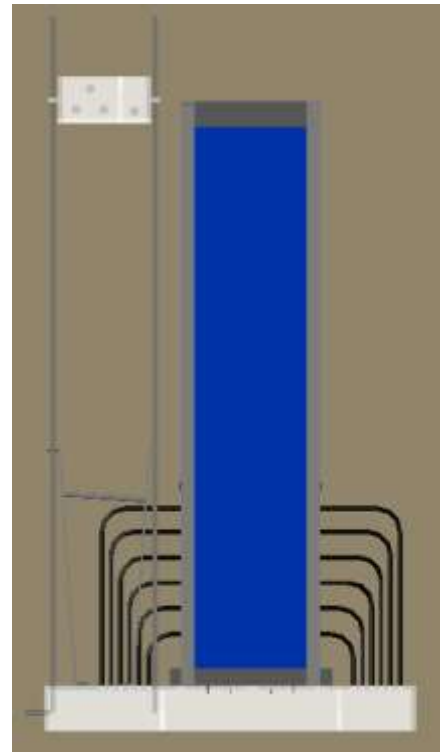
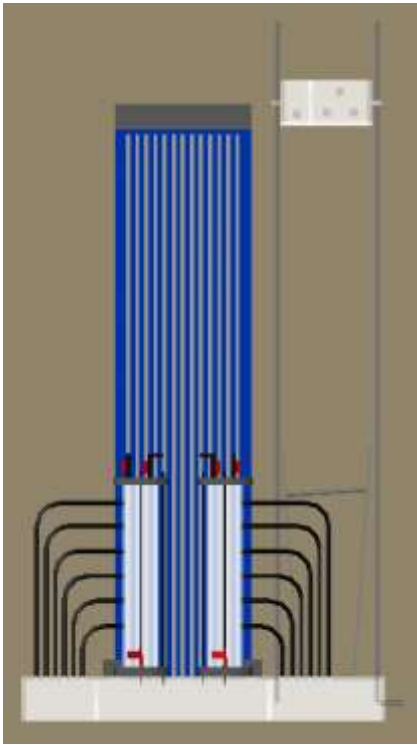
ESCALA:
1:250

FECHA:
OCTUBRE 2020

LÁMINA:
5/5



5.3.1. Vista 3d del permeámetro



**FICHA TÉCNICA DE
LAS SUSTANCIAS
REACTIVAS
UTILIZADAS**

CARBÓN DE CÁSCARA DE COCO PARA LA PURIFICACIÓN DEL AGUA

El Carbón Activado Granular (CAG) se fabrica a partir de grados selectos de cáscara de coco y presenta un de alta densidad, gran volumen de microporos y gran superficie. Se utiliza comúnmente para la purificación de agua potable, fabricación de bebidas, diálisis, agua de acuario y una variedad de alimentos aplicaciones. En sistemas diseñados adecuadamente, eliminará eficazmente el cloro, las cloraminas, el plomo, El radón, el MtBE, el TCE, el PCE, los THM, los fenoles, los pesticidas, los detergentes, el sabor y el olor, etc. cumplen con la AWWA.

Norma B-600-74, Norma 61 de ANSI/NSF para aplicaciones de agua potable.



PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS / ESPECIFICACIONES

<i>NÚMERO DE YODO. MIN</i>	<i>1100</i>
<i>DENSIDAD APARENTE (ASTM 2854). G/CC</i>	<i>0.48 - 0.50 LB/FT3 29-31</i>
<i>ABRASIÓN NO.. MIN.</i>	<i>29-31</i>
<i>TAMAÑO DE LA MALLA:</i>	<i>12X40</i>
<i>CTC %, MIN</i>	<i>55</i>
<i>SUPERFICIE TOTAL (BET). M2/G</i>	<i>1100 - 1200</i>
<i>CENIZA (ASTM D-2866) -% EN PESO</i>	<i>3.0</i>
<i>HUMEDAD. MÁX. EN EMBALADO - % P/PT</i>	<i>3%</i>



BP PRO

LOS EXPERTOS EN ENRAIZAMIENTO

Formulación:	TURBA PURA	
Composición Química:	TURBA FINA	100%
	PH 3.9	
	E.C. 0.1	



GENERALIDADES DEL PRODUCTO

LOS PRODUCTOS BP Y ESPECIALMENTE BP-PRO SON SUSTRATOS PARA GERMINACION A BASE DE TURBA ESFAGNACEA CANADIENSE.
CONSISTE EN UNA TURBA PURA DE TODO USO, QUE CONVIENE TANTO AL ACONDICIONAMIENTO DE SUELOS COMO PARA LA PREPARACION DE SUSTRATOS DE CULTIVO BIEN EQUILIBRADOS.
ES LA TURBA MÁS POPULAR EN EL MERCADO.

USO DEL PRODUCTO

DESCOMPACTAR LA FUNDA CON 20 LITROS DE AGUA,
MEZCLAR BIEN HASTA TENER UNA TURBA HÚMEDA PERO NO MOJADA.

CULTIVOS RECOMENDADOS

CUALQUIER CULTIVO QUE SE DESEE GERMINAR

RECOMENDACIÓN

PARA MAS INFORMACIÓN CONSULTE CON EL REPRESENTANTE TÉCNICO COMERCIAL DE AGRONPAXI CIA. LTDA.
Info@agronpaxi.com / www.agronpaxi.com

PRESENTACIONES DISPONIBLES

3.8 PIES CÚBICOS (107 LITROS) COMPRIMIDOS 2:1

RENDIMIENTO

7.8 PIES CÚBICOS (214 LITROS)

IMPORTADOR Y DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO PARA ECUADOR: AGRONPAXI CIA. LTDA.

REGISTRO MAGAP: 03128419

OTROS REGISTROS: L'ORGANISME DE CERTIFICATION "QUÉBEC VRAI"



ISO 9001



FABRICANTE: BERGER PEAT MOSS

