



**FACULTAD DE OCEANOGRAFÍA, PESQUERÍA, CIENCIAS ALIMENTARIAS Y
ACUICULTURA**

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
CARBONATO DE CALCIO USANDO UN MOLINO DE BOLAS PLANETARIO
POR VÍA HÚMEDA A PARTIR DE RESIDUOS VALVARES DE LA CONCHA DE
ABANICO, ARGOPECTEN PURPURATUS (LAMARCK, 1819)

Línea de investigación:

Tecnología para residuos y pasivos ambientales, Biorremediación

Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Pesquero Acuicultor

Autora:

Cuellar Leo, Cindy

Asesor:

Llontop Vélez, Carlos

(ORCID: 0000-0002-9309-1161)

Jurado:

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Figueroa Vargas-Machuca, Manuel Eduardo

Mogollón Ávila Santos, Valentín

Lima - Perú

2024



OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE CARBONATO DE CALCIO USANDO UN MOLINO DE BOLAS PLANETARIO POR VÍA HÚMEDA A PARTIR DE RESIDUOS VALVARES DE LA CONCHA DE ABANICO,

INFORME DE ORIGINALIDAD

26%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

13%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.abq.org.br Fuente de Internet	3%
2	Kevin Omar S.A.C.. "EIA-SD para el Desarrollo de la Acuicultura de la Mediana y Gran Empresa Mediante el Cultivo del Recurso Hidrobiológico Concha de Abanico en el Sistema de Cultivo de Fondo en el Lote N° 112, con una Extensión de 63.47 ha Ubicado en la Zona Vichayo, Distrito y Provincia de Sechura, Piura-IGA0021029", R.D. N° 00080-2022-PRODUCE/DGAAMPA, 2022 Publicación	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repository.ub.ac.id Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE OCEANOGRAFÍA, PESQUERÍA, CIENCIAS ALIMENTARIAS Y ACUICULTURA

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE
CARBONATO DE CALCIO USANDO UN MOLINO DE BOLAS PLANETARIO POR VÍA
HÚMEDA A PARTIR DE RESIDUOS VALVARES DE LA CONCHA DE ABANICO,

ARGOPECTEN PURPURATUS (LAMARCK, 1819)

Línea de investigación

Tecnología para residuos y pasivos ambientales, Biorremediación

Tesis para optar al Título de Ingeniero Pesquero Acuicultor

Autora:

Cuellar Leo, Cindy

Asesor:

Llontop Vélez, Carlos

ORCID: 0000-0002-9309-1161

Jurado:

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Figueroa Vargas-Machuca, Manuel Eduardo

Mogollón Ávila Santos, Valentín

Lima – Perú

2024

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas que creyeron en mis sueños, mis padres, Felipe Cuellar y Marcosa Leo, por enseñarme que todo trabajo bien hecho trae buenos resultados y haberme brindado un gran apoyo en todo momento de mi vida, así como sus oraciones, consejos, valores y motivación constante para nunca rendirme.

A mi hermano David Cuellar, quien me ha apoyado en mis diferentes decisiones y me ha brindado sus conocimientos, siendo un guía en esta carrera y con el que he vivido experiencias inolvidables. A mis sobrinas Ivana Borja y Briana Borja, por regalarme tanto amor y muchas sonrisas en todos estos años, y por motivarme a ser para ellas, un ejemplo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por permitirme abrir este regalo que tenía reservado y sobre todo recordar siempre su palabra.

A mi padre Felipe Cuellar y madre Marcosa Leo, por haberme dado la seguridad que puedo lograr todo lo que me proponga. Gracias por todo papá y mamá, por haberme apoyado tanto y por haber creído siempre en mis sueños, gracias por todo lo invertido en mí y haber logrado un ser humo con valores y principios bíblicos en este transcurso de mi vida.

A mis hermanos el Ingeniero David Cuellar, Judith Cuellar, Cinthya Cuellar, Tracy Cuellar y a mis sobrinas Ivana Borja y Briana Borja por estar en todo momento de mi vida. A cada miembro de mi familia, abuelitos, tíos y primos por ser parte esencial en mi vida.

A mi primo mayor, el Ingeniero Juan Carlos Cuellar y un querido amigo Gian Carlo por haberme dado grandes enseñanzas y consejos.

A mi asesor, el Ingeniero Carlos Llontop Vélez, ya que, gracias a su valioso tiempo y compromiso.

A mi Asesor Externo, el Ingeniero Percy Ocaña Diestra, quien me guio con sus sólidos conocimientos, tiempo y compromiso para concluir de manera óptima la presente tesis.

A los Ingenieros, Cesar Augusto Peña Domínguez, Valentín Mogollón, así como a todos los docentes por sus grandes enseñanzas.

A la señorita Fanny Juyo Tagle, por haberme dado tantos consejos, apoyo y motivación durante todos estos años, gracias por brindarme su amistad y haber compartido tanto conmigo en las oficinas.

A mis grandes amigas Estrella Mendosa, Cristina Olivares, Julia Varas y Lía Valera, gracias por su valiosa amistad.

De igual manera agradezco a mis mejores amigas Estefany, Kathia y Belén, por apoyarme en las diferentes etapas de mi vida.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
LISTA DE TABLA.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Descripción y formulación del problema.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Objetivos.....	5
<i>1.3.1 Objetivo general.....</i>	5
<i>1.3.2. Objetivos específicos.....</i>	5
1.4 Justificación.....	6
1.5 Hipótesis.....	6
II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	7
<i>2.1.1 Concha de Abanico (Argopecten purpuratus).....</i>	7
<i>2.1.2 Molino de bolas planetario.....</i>	9

2.1.3 Nanopartículas de carbonato de calcio (CaCO_3).....	11
2.1.4 Método de síntesis para obtener micropartículas y nanopartículas de CaCO_3 ..	12
III MÉTODO	15
3.1 Tipo de investigación	15
3.2 Ámbito temporal y espacial	15
3.3 Variables	15
3.3.1 Variables dependien.....	15
3.3.2 Variables independientes	15
3.4 Población y muestra.....	16
3.5 Instrumentos	16
3.5.1 Equipos	16
3.5.2 Material orgánico	16
3.5.3 Materiales complementarios	17
3.5.4 Solventes	18
3.5.5 Software	18
3.6 Procedimientos	18
3.6.1 Lavado y secado de valvas de conchas de abanico (<i>Argopectenpurpuratus</i>)....	19
3.6.2 Molienda en el molino de martillo y tamizado	20
3.6.3 Sonicado	20
3.6.4. Centrifugado	20

3.6.5 Molienda húmeda en el molino de bolas planetario	21
3.7 Análisis de datos	21
IV RESULTADOS	22
4.1 Preliminar de las nanopartículas de conchas de abanico	22
4.1.1 Análisis de la molienda con solvente de agua (H_2O)	22
4.2 Diseño experimental para la obtención de las nanopartículas de $CaCO_3$	23
4.2.1 Software taguchi y minitab para el diseño experimental	23
4.2.2 Microscopía óptica	25
4.3 Caracterización morfológica	27
4.3.1 Análisis de la microscopía electrónica de barrido de la muestra I para obtener las nanopartículas de ($CaCO_3$).....	28
4.3.2 Análisis SEM de la muestra IV para obtener las nanopartículas de $CaCO_3$..	29
4.3.3 Análisis SEM de la muestra VI para obtener las nanopartículas de $CaCO_3$.	30
4.4 Caracterización del grupo funcional	34
4.4.1 Espectroscopía infrarroja de transmisión de fourier (FT-IR)	34
4.5 Caracterización estructural	35
4.5.1 Espectroscopía de difracción de rayos X (XRD)	35
4.6 Caracterización química las nanopartículas del $CaCO_3$ (EDS)	36
4.6.1 Cantidad de carbono encontrado las valvas de concha de abanico	37
4.6.2 Cantidad de oxígeno encontrado las valvas de concha de abanico	38

4.6.3 Cantidad de calcio encontrado de las valvas de concha de abanico	39
4.4.4 Cantidad de hierro encontrado de las valvas de concha de abanico	40
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
VI. CONCLUSIONES	44
VII. RECOMENDACIONES	46
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
IX. ANEXOS	51

LISTA DE TABLA

Tabla 1. Equipos a utilizar para la investigación	16
Tabla 2. Materiales fundamentales a utilizar para la investigación	17
Tabla 3. Materiales complementarios a utilizar para la investigación	17
Tabla 4. Solventes a utilizar para la investigación.....	18
Tabla 5. Diseño experimental para la obtención de nanopartículas de CaCO_3	23
Tabla 6. Diseño experimental en el software Taguchi y minitab para la obtención de nanopartículas de CaCO_3	25
Tabla 7. Datos de los ensayos en el molino de bolas planetario para la observación de micropartículas de CaCO_3	26
Tabla 8. Promedio de las 200 micropartículas contadas en cada corrida en lamicroscopia óptica .	26
Tabla 9. Valores de los resultados encontrados del SEM para la obtención de nanopartículas.....	32

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Concha de Abanico <i>Argopecten purpuratus</i>	8
Figura 2. Estructura del Molino de Bolas Planetario	9
Figura 3. Diagrama de procesos de la obtención de las nanoparticulas de CaCO ₃	18
Figura 4. Morfología y diámetro de las nanopartículas encontradas	22
Figura 5. Resultado de las 9 corridas en el software Taguchi y Minitab	23
Figura 6. El diagrama de cajas y bigotes para las nueve muestras	27
Figura 7. Morfología y diámetro de las nanopartículas encontradas en la muestra I.....	28
Figura 8. Morfología y diámetro de las nanopartículas encontradas en la muestra I.....	29
Figura 9. Morfología y diámetro de las nanopartículas encontradas en la muestra IV	30
Figura 10. Morfología y diámetro de las nanopartículas encontradas en la muestra IV.....	31
Figura 11. Morfología y diámetro de las nanopartículas encontradas en la muestra VI.....	31
Figura 12. El diagrama de cajas y bigotes para las 3 muestras.....	33
Figura 13. La Espectroscopia infrarroja.....	34
Figura 14. La difracción de rayos X.....	36
Figura 15. Grafica de resultados de la pureza, carbono, oxigeno, calcio y hierro	37
Figura 16. Carbono encontrado en las Valvas de Concha de Abanico	37
Figura 17. Oxigeno encontrado en las valvas de concha de abanico	38

Figura 18. Calcio encontrado en las Valvas de Concha de Abanico.....	40
Figura 19. Hierro encontrado en las valvas de concha de abanico	41

RESUMEN

Las valvas de conchas de abanico recolectadas de los botaderos municipales de Sechura de la provincia de Piura, han generado un impacto negativo en el medio ambiente llegando a afectar a la población rural que se encuentra viviendo en los alrededores de estos botaderos. Con el fin de darles un aprovechamiento a este residuo valvar y reducir esta problemática se ha pensado en incorporarlos a la industria a través de nanopartículas. El objetivo de esta investigación es de optimizar el proceso de molienda por vía húmeda en un molino de bolas planetario para obtener nanopartículas de carbonato de calcio. Las valvas se degradaron por medio de una metodología de investigación fácil y respetuosa con el medio ambiente del cual consiste en moler y triturar las valvas de las conchas de abanico. En la molienda con un molino de martillo se obtuvo micropartículas < 45 μm que fueron sometidas a un proceso de sonicado y molienda con un molino de bolas planetario. Los resultados mostraron que la producción de nanopartículas puras de CaCO_3 , fueron > 60nm, obtenida a partir de la molienda mecánica. Los espectros de la microscopía de barrido (SEM) confirmaron picos de 208.0 nm a 59.2 nm. El análisis de la espectroscopía infrarroja de transmisión de Fourier (FTIR) arrojaron picos de absorción de 1467 cm^{-1} y 862 cm^{-1} para el compuesto de carbonato de calcio, 2530 cm^{-1} para el grupo carboxilo, 1771 cm^{-1} para el grupo carbonilo y 718.08 cm^{-1} para el óxido de calcio. Además, se determinó una pureza de 99.74 % del CaCO_3 , 26.10 % de carbono, 47.59 % de oxígeno, 26.05 % de calcio y 0.26 de hierro. Con los resultados obtenidos para la optimización del proceso de molienda a partir de los residuos valvares de conchas de abanico a través de un molino de bolas planetario por vía húmeda tiene una alta efectividad para producir nanopartículas de carbonato de calcio.

Palabras clave: Concha de abanico, nanopartículas, carbonato de calcio, molino de bolas, sonicado.

ABSTRACT

Fan shell shells collected from the municipal dumps in Sechura in the province of Piura have had a negative impact on the environment, affecting the rural population living in the vicinity of these dumps. In order to take advantage of this waste and reduce this problem, we have thought of incorporating them into the industry through nanoparticles. The aim of this research is to optimise the wet milling process in a planetary ball mill to obtain calcium carbonate nanoparticles. The shells were degraded by means of an easy and environmentally friendly research methodology consisting of grinding and crushing the shells of the fan shells. Microparticles $< 45 \mu\text{m}$ were obtained by grinding with a hammer mill and subjected to a sonication and grinding process with a planetary ball mill. The results showed that the production of pure CaCO_3 nanoparticles, were $> 60\text{nm}$, obtained from mechanical milling. Scanning electron microscopy (SEM) spectra confirmed peaks from 208.0 nm to 59.2 nm. Transmission fourie infrared spectroscopy (FTIR) analysis yielded absorption peaks of 1467cm^{-1} and 862cm^{-1} for the calcium carbonate compound, 2530cm^{-1} for the carboxyl group, 1771cm^{-1} for the carbonyl group and 718.08cm^{-1} for the calcium oxide. In addition, a purity of 99.74 % CaCO_3 , 26.10 % carbon, 47.59 % oxygen, 26.05 % calcium and 0.26 iron was determined. With the results obtained for the optimisation of the milling process from the valvar waste of fan shells through a wet planetary ball mill has a high effectiveness to produce calcium carbonate nanoparticles.

Keywords: Fan shell, nanoparticles, calcium carbonate, ball mill,
sonicated.

I. INTRODUCCION

1.1 Descripción y formulación del problema

En la actualidad el departamento de Piura, ciudad de Sechura, cuenta con 151 centros de cultivo habilitados sanitariamente, mencionado por la Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES, 2021) y existe un promedio de 15 plantas procesadoras de Conchas de Abanico *Argopecten purpuratus* (Carrillo, 2017).

“En el 2013, la gran producción de Concha de Abanico en la región Sechura representó el 80% del total de la producción peruana y el 50% del total de la producción de conchas en América Latina” (Mendo et al., 2016, Kluger et al., 2018, como se citó en Mendo y Quevedo, 2020, p. 44). En consecuencia, esto ha generado un impacto negativo al incrementarse estos residuos, los cuales representan el 85% del total (19% de vísceras y 66% de valvas) siendo solo el 15% la materia aprovechable (Diario el tiempo, 2014, como se citó en Carrillo, 2017). Estos residuos son distribuidos en los dos botaderos municipales de Sechura con diferentes capacidades, uno de 35 000 m² que se hoy en día se encuentra saturado y el otro con un área de 90 000 m² (Saavedra, 2016) que está a punto de saturarse. La continua acumulación de estos residuos hidrobiológicos y la incorrecta disposición final está generando una grave contaminación ambiental.

El crecimiento de esta industria y el ineficiente manejo de estos residuos valvares han generado un impacto medio ambiental negativo a la ciudad de Sechura, con normalidad a estos botaderos llegan “50 camiones diarios de 4 a 8 toneladas de residuos valvares de concha de abanico, lo cual deja como resultado un promedio de 70 000 toneladas métricas de residuos de este molusco, por año” (Chu, 2019).

Durante los últimos años con el fin darles un aprovechamiento a las valvas y de reducir esta problemática ambiental se han estado buscando diversas formas de mitigar este ineficiente manejo de estos residuos y generar subproductos e incorporarlos a diferentes industrias como es el caso de la utilización en la materia prima de fertilizantes, elaboración de concreto y también como recurso para la estabilización de terrenos de Sub Rasantes de pavimentación (Jacinto, 2021).

Por otro lado, recientes investigaciones como el de (Gbadeyan et al., 2020) que “realizó un estudio de la “Optimización del proceso de molienda para sintetizar nano-CaCO₃ de *Achatina fulica Shell* a través de Técnicas Mecanoquímicas” como resultado de esa investigación se obtuvo nanopartículas de CaCO₃ de las conchas del caracol (*achatina fulica*). Debido a que hasta el momento existen escasas investigaciones sobre la obtención de nanopartículas derivadas de los residuos de las valvas de concha de abanico surgió la idea de realizar el presente trabajo planeando evaluar el siguiente problema:

¿Cuál será la influencia de la molienda por vía húmeda para sintetizar nano-CaCO₃ de los residuos valvares de la Concha de Abanico *Argopecten purpuratus* a través del molinote de bolas planetario?

1.2 Antecedentes

En los últimos años, se han desarrollado diferentes métodos para producir todo tipo de nanopartículas a partir de residuos hidrobiológicos. Gracias a estos métodos para producir nanopartículas se ha logrado la “síntesis de nanopartículas de carbonato de calcio a partir de conchas de berberecho, en dicho trabajo se involucró una agitación mecánica simple de polvo de cáscara de berberecho en presencia de BS-12 como catalizador de biomineralización, dodecil dimetil betaina”, como resultado de este estudio se produjo nanopartículas de aragonito (ANP) en

forma de cristales de varilla alcanzando un tamaño muy pequeño de un diámetro promedio de 30 ± 5 nm, sin impurezas adicionales (Islam et al., 2012 p. 2). Asimismo, Zakaria et al. (2021) sintetizaron nanopartículas de CaCO_3 a partir de los desechos de concha de berberechos mediante procesos físicos y químicos en el cual molieron y tamizaron, utilizando un tamaño de apertura de $63 \mu\text{m}$ y los polvos tamizados con tamaños de $10 \mu\text{m}$ a $63 \mu\text{m}$ sometiendo a un proceso de sonicado por 15 minutos y un proceso de molienda de 8 horas, las nanopartículas medidas que se obtuvieron fueron de 78.8 ± 10.8 nm.

Por otra parte, Elkhatib et al. (2015) evaluaron el tratamiento de nanopartículas residuales utilizando un monomolino planetario. Con el método de fresado de presión que depende de las fuerzas de impacto mecánico generado por las perlas de acero inoxidable en una cámara de rotación de alta velocidad, del cual obtuvieron nanopartículas inferiores a los 100 nm después de 75 min de molienda.

Además, estudios realizados por Chen et al. (2015) señalan que para lograr una molienda ultrafina de carbonato de calcio ellos utilizaron un molino de bolas planetario, que al variar la velocidad de rotación de 600 rpm a 1200 rpm se dieron cuenta que el límite de molienda aumenta y esto no es propicio para obtener productos más finos, pero a una velocidad de rotación de 600 rpm el límite de molienda disminuye por tanto es beneficioso para obtener nanopartículas de tamaño promedio de 94 nm.

En otro sentido, la ultrasonicación ha sido considerada una técnica eficiente y atractiva para la formación de miniemulsiones o nanoemulsiones ya que sintetiza nanopartículas, llegando a obtener gotas de un rango de 20 nm a 200 nm. El ultrasonido también ha sido utilizado en la destrucción de contaminantes en el agua, incorporando la ruptura de enlaces químicos de material

polimérico, maximizando el área de superficie de reacción y los rendimientos de reacción. En la cavitación acústica existen cambios repentinos de temperatura y presión por la dinámica de la cavidad y resultan en puntos calientes transitorios localizados, las condiciones generadas son las responsables de que exista un rompimiento del precursor como son las soluciones endométricas para la formación de las nanopartículas. En la síntesis de CaCO_3 a nanopartículas por precipitación controlada de soluciones acuosas lograron conseguir que el carbonato de calcio se sintetizara por cavitación acústica con diferentes amplitudes vibratorias de energía sónica y también por método convencional. El método de ultrasonicación no solo brinda un rendimiento máximo 100 % y acorta el tiempo de reacción requerido para la síntesis de nanopartículas, sino también ahorra más del 80 % de energía en comparación con el método convencional. La distribución del tamaño de partícula y el tamaño medio de partícula de las muestras fue mucho más uniforme (SD 5 de 24 nm) en el método de sonicación que en el método convencional de síntesis de CaCO_3 . La técnica ultrasónica mantiene la naturaleza cristalina de las partículas mientras que la técnica convencional genera partículas amorfas (Badnore y Pandit, 2015).

Ahora, la aglomeración es un fenómeno frecuente en la molienda superficial y en la mayoría de los experimentos de molienda, por la aglomeración, se alcanza un límite de tamaño de las partículas. En la mayoría de casos la mayor molienda no conduce a tamaños de partículas más pequeñas (Chen et al., 2015).

Del mismo modo, Vega et al. (2020) sintetizaron compuestos de TiFe por aleación mecánica, siguieron una estrategia para evitar el problema de adherencia en las bolas y la superficie del vial del material molido, agregando ácido esteárico después de la primera molienda de Ti y Fe de esa manera lograron un buen rendimiento después de 6 h de molienda y producir un compuesto de TiFe monocristalino limpio. La investigación realizada por Özcan-Taşkin et al. (2009) sostiene

que en estado seco las nanopartículas se aglomeran en las esquinas y bordes y/o agregados con enlaces mucho más fuertes que es difícil desintegrarlos con esfuerzo hidrodinámico. Cuando se agrega un líquido estos enlaces a menudo se vuelven aún más fuertes. Para que estas partículas sean altamente funcionales, debe dispersarse lo más cerca posible de su tamaño de partícula principal o aún agregado. La ruptura puede ocurrir si las tensiones presentes en un dispositivo de proceso exceden la resistencia a la tracción de los aglomerados.

El objetivo de este trabajo es optimizar el proceso de molienda por vía húmeda en el molino de bolas planetario para la obtención de nanopartículas de carbonato de calcio a partir de los residuos valvares de las conchas de abanico *Argopecten purpuratus* (Lamarck 1819).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Optimizar el proceso de molienda por vía húmeda en un molino de bolas planetario para obtener nanopartículas de carbonato de calcio a partir de los residuos (valvas) de las conchas de abanico *Argopecten purpuratus* (Lamarck 1819).

1.3.2 Objetivos específicos

- Hallar el tiempo de agitación para la obtención de las nanopartículas en el molino de bolas planetario
- Determinar la velocidad de agitación para la obtención de las nanopartículas en el molino de bolas planetario
- Analizar el tamaño granulométrico de la molienda en el molino de bolas planetario.
- Determinar las características morfológica, estructural y química de las nanopartículas obtenidas de la molienda de valvas de conchas de abanico por vía húmeda.

1.4 Justificación

En la búsqueda de diversas formas de reducir la contaminación ambiental por la acumulación de valvas de conchas de abanico generada por las plantas procesadoras, se ha estado realizando diferentes estudios para incorporar los residuos valvares a diferentes industrias. Saavedra, (2016) en su estudio de la integración de la concha de abanico triturada y agregadas en mezclas de concreto lograron obtener tamaños de 4.76 mm y 1.19 mm. En el mundo se han estado encontrado cada vez más aplicaciones con el uso de nanopartículas de carbonato de calcio, debido a sus propiedades únicas que incluye una mayor reactividad, fuerza y conductividad. Los protectores solares, las tintas, pinturas y los productos de caucho reforzado, como los neumáticos para automóviles son algunos ejemplos de uso actual. Los productos de consumo basados en nanotecnología llegan a un ritmo de 3 o 4 por semana. (Özcan-Taşkin et al., 2009).

En la actualidad los precios de nanopartículas de origen mineral son demasiados altos y la oferta se encuentra en el extranjero, por lo cual se tiene que realizar compras por internet en tiendas como Amazon, Ebay, Aliexpress, Alibaba, etc. y poder importarlos como es el caso de Nano Calcita al 99% de pureza perteneciente a la empresa multinacional Nanoshel, lo cual se vende a 1.13 USD/g. Por ello surge la idea de obtener nanopartículas a partir de residuos valvares, las cuales se espera que sean más rentables y de igual rendimiento que las nanopartículas de origen mineral, además de contribuir con la reducción de la contaminación ambiental generada por la industria acuícola y permitir el desarrollo de la nanotecnología en el Perú bajo el enfoque de una economía circular.

1.5 Hipótesis

La obtención de nanopartículas a partir de residuos valvares de conchas de abanico es efectiva al optimizar el proceso de molienda húmeda en un molino de bolas planetario.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1 Concha de Abanico (*Argopecten purpuratus*)

Es una especie hermafrodita, es decir que presenta una gónada con parte femenina (ovocitos) y masculina (espermatozoides), teniendo como característica el color naranja la parte femenina y de color blanco el parte masculino; las que contiene ambos sexos se le conoce con el nombre de coral, funcionalmente la producción de gametos es alternada y su ciclo reproductivo es continuo. Esta especie tiene como característica externa dos valvas en forma orbicular, siendo una de ellas más convexa que la otra, las valvas presentan expansiones laterales denominadas orejas que poseen además de 23 a 25 estrías y presentan anillos de crecimiento representado por líneas concéntricas, la parte interna se encuentra el músculo aductor conocido como “callo” o “talo”, empleado para abrir y cerrar las valvas. Un par de branquias de color marrón claro utilizadas para la respiración, con las que también atrapan el alimento que con la ayuda del mucus es llevada a la boca, en donde selecciona el alimento que luego pasa al estómago. Las partículas no utilizadas (pseudoheces) son eliminadas. Se alimenta de fitoplancton, zooplancton y detritus (Ministerio de la Producción, PRODUCE, 2022)

Figura 1

Concha de Abanico Argopecten purpuratus



Fuente: Tomada de Li et al. (2018)

La clasificación taxonómica de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) es:

Reino: Animalia

Phylum: Mollusca

Clase: Bivalvia

Subclase: Autobranchia

Infraclase: Pteriomorpha

Orden: Pectinida

Superfamilia: Pectinoidea

Familia: Pectinidae

Subfamilia: Pectininae

Tribu: Aequipectinini

Género: Argopecten

Especie: *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819)

(WORMS, 18 de agosto del 2023)

2.1.2 Molino de bolas planetario

El Mono Molino Planetario PULVERISETTE 6 classic line es un Molino de alto rendimiento como se muestra en la figura 2 que contiene un solo plato de molienda y compensación de desequilibrio fácilmente ajustable. Una de las mayores ventajas que contiene es su fácil manipulación y efecto de alta energía que puede llegar sin problemas hasta 650 rpm. Esto garantiza un rendimiento de molienda constantemente y alto, con requisitos de espacio extremadamente bajos para resultados de molienda sin pérdidas en la trituración de materiales duros, semiduros, quebradizos y húmedos. Además, es ideal para la aleación mecánica o para la mezcla y homogeneización perfecta de emulsiones y pastas (Fritsch, 2020).

Figura 2

Estructura del molino de bolas planetario



Nota. (1) empuñadura de la tapa V2, (2) cierre de encaje a presión, (3) cubierta (4) teclado de membrana, (5) safe-Lock, (6) contrapeso, (7) bloqueo, (8) Soporte de tarros, (9) selector de tensión giratorio, (10) interruptor principal, (11) conexión a la red eléctrica, (12) fusible automático 2x 10 A T, (13) RS232 – interfaz, (14) disco portador. monomolino planetario pulverisette 6 classic line (p.7), (2020). Fuente: Instructivo de servicio.

a. Modo de funcionamiento.

El material de molienda se tritura o muele en un tarro de molienda por medio de bolas de molienda. Las fuerzas centrífugas de la rotación de los tarros de molienda sobre su propio eje y del disco portador giratorio actúan sobre el relleno del tarro de molienda de material a moler y bolas de molienda. Los sentidos de giro del tarro de molienda y del disco portador son opuestos, de modo que las fuerzas centrífugas actúan de manera alterna en el mismo sentido y en sentido contrario. Esto hace que las bolas de molienda rueden por de la pared interior del tarro de molienda con un efecto de fricción y que las bolas de molienda choquen con la pared opuesta del tarro de molienda, con un efecto de impacto. Del mismo modo para Elkhatib et al., (2015) afirma que la fuerza de impacto mecánico que se genera por las perlas de acero inoxidable en la cámara rotatoria de alta velocidad el cual descompone a partículas con tamaño inferior a 100 nm debido a la fuerza de impacto. El efecto del impacto se intensifica por el choque de las bolas de molienda entre sí. La trituración sin pérdidas (incluso en la molienda de suspensiones) se garantiza gracias a una junta hermética entre el tarro de molienda y la tapa. La trituración del material a moler tiene lugar principalmente mediante el impacto de alta energía de las bolas de molienda. Para lograr esto, el recipiente de molienda, que contiene el material a moler y las bolas de molienda, gira alrededor de

su propio eje en un disco principal mientras gira rápidamente en la dirección opuesta. A cierta velocidad, la fuerza centrífuga hace que el material de muestra molido y las bolas de molienda se separen de la pared interna del recipiente de molienda. Luego, las bolas de molienda cruzan el recipiente a alta velocidad y muelen aún más el material de muestra por impacto contra la pared opuesta del recipiente. Además, el impacto entre las propias bolas en el material de muestra se suma al proceso de reducción de tamaño. Debido a la enorme velocidad de rotación del disco principal -hasta 650 rpm. (Fritsch, 2020).

2.1.3 Nanopartículas de carbonato de calcio (CaCO_3)

Las nanopartículas de carbonatos de calcio con un tamaño que no excedan las 100 nm pueden encontrar su uso en un amplio espectro de aplicaciones como es en la industria de materiales de construcción, que se utilizan como aditivos de relleno en la industria plástica para los cuales los estudios sobre energía de escisión de polímeros demostraron que la adición de relleno nanométrico como nanopartícula de carbonato de calcio favorece el aumento de características plásticas y la rigidez de los homopolímeros y copolímeros. Además, las nanopartículas de carbonato de calcio son adecuadas para la aplicación en la que se requiere un excelente control de la resistencia al impacto o la elongación. Se sabe que las diferentes formas poliméricas de las partículas y el tamaño pueden afectar significativamente su aplicación final. Por lo general hay tres formas polimórficas de carbonato de calcio, clasificados en orden de estabilidad termodinámica decreciente, calcita, aragonito, vaterita. El aragonito en forma de agujas ha llamado mucho la atención de investigación entre los científicos de materiales, debido a sus propiedades únicas y aplicaciones potenciales (Babou-Kammoe et al., 2012).

2.1.4 Método de síntesis para obtener micropartículas y nanopartículas de CaCO_3

a. Método de precipitación. El método de precipitación se considera uno de los métodos más utilizados para sintetizar CaCO_3 micro y nanopartículas que incluye reacción de carbonatación lenta y precipitación espontánea.

Este método no involucra ningún aditivo y permite una mezcla simple de las soluciones sobresaturadas de carbonato de sodio (Na_2CO_3) y cloruro de calcio (CaCl_2). En una síntesis típica, se realiza una mezcla rápida de la concentración equimolar (0.33 M) de los reactivos durante 30 s, lo que da como resultado la formación de micropartículas de calcita esféricas y altamente porosas de 4 – 6 μm . El tamaño podría aumentarse de 15–20 μm cuando aumenta el tiempo de reacción. La síntesis de nanopartículas de CaCO_3 (~ 54 nm) utilizando el método de precipitación controlada. Las soluciones saturadas de Na_2CO_3 (0,1 M) y nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) (0.1 M) se mezclaron a velocidad variable (300–30 000 rpm) y temperatura (25–100 °C) (Fadia et al., 2021).

b. Método de emulsión. El método de emulsión es un tipo de reacción de precipitación controlada que se usa con frecuencia para sintetizar partículas de tamaño micro y nanométrico.

Este método consiste en una mezcla que comprende aceite, agua o tensioactivos, la interacción de la fase oleosa y la fase acuosa muestra un efecto repulsivo; sin embargo, la presencia de moléculas de surfactante imparte un efecto atractivo. Todo el sistema está estabilizado por el surfactante, que produce diferentes tipos de microestructuras similares a micelas con fuerte interacción electrostática.

Las micro y nanopartículas de CaCO_3 se sintetizan principalmente mediante emulsión inversa (O/W), es decir, un enfoque de emulsión de aceite en agua, donde la emulsión se estabiliza por la presencia de tensioactivos y co-tensioactivos. Los micro/nanorreactores, funciona como una plantilla para la síntesis de nanopartículas y micropartículas (Fadia et al., 2021).

c. Método mecano químicos. Es un proceso que involucra rotura mecánica y reacción química para la producción micro y nanopartículas de CaCO_3 . Los métodos mecánicos que se practican ampliamente para la síntesis de partículas incluyen la molienda, la filtración por membrana, la síntesis asistida por microondas, etc. La molienda en el molino de bolas es uno de los métodos comunes que implica la molienda de partículas grandes utilizando un reactor de alta presión y energía. La configuración del equipo para el método mecano químico es rentable y permite la producción sin aglomeraciones de nanopartículas con una distribución estrecha del tamaño de las partículas. Aparte de estas ventajas mencionadas anteriormente, este método también ofrece nano-polvos que ayudan en la preparación de películas gruesas mediante tecnología de serigrafía. Se cree que todas estas ventajas se deben a la alta tasa de transferencia de masa, es decir, el movimiento neto de masa a través de la membrana (Fadia et al., 2021).

d. Método de síntesis biológica. El método síntesis biológica es un enfoque verde de CaCO_3 de micro y nanopartículas sin el uso de productos químicos nocivos y condiciones físicas adversas. En la ruta de biosíntesis, las nanopartículas se sintetizan mediante el uso de extractos de plantas y biomoléculas naturales, como proteínas, péptidos, enzimas y microbios, incluidas bacterias y hongos. Se informa que varias nanopartículas son

sintetizadas utilizando un enfoque de biosíntesis, como plata, oro, cobre y óxidos metálicos de zinc, hierro, tungsteno, etc. (Fadia et al., 2021).

e. Método polimérico. La polimerización es un proceso que consiste en conectar monómeros que dan como resultado grandes macromoléculas de diferentes formas y tamaños. Debido a la capacidad de los polímeros para actuar como agentes protectores de superficies, pueden ayudar a evitar que las nanopartículas se agreguen. Los polímeros también forman andamios que facilitan aún más la síntesis de nanopartículas. La síntesis de nanopartículas mediada por polímeros se puede dividir en dos tipos: polimerización in situ y crecimiento mediado por polímeros.

El término in-situ es una palabra latina que significa “en posición”. Se lleva a cabo dentro de la mezcla de polimerización y se utiliza para el desarrollo de "nanocompuestos poliméricos". En esta técnica, el paso inicial de agregar nanorrellenos a una solución de monómero es seguido por una serie de pasos de polimerización, lo que da como resultado la síntesis de “nanocompuestos poliméricos” híbridos después de que el solvente presente en la mezcla se haya evaporado.

El crecimiento mediado por polímeros es otro enfoque para sintetizar nanopartículas. En este método, uno de los iones constituyentes se une a la matriz polimérica, mientras que otro ion procedente de una solución externa se une posteriormente al primer ion para formar el compuesto deseado. (Fadia et al., 2021).

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptivo y experimental, debido a que se evaluó la optimización del proceso de molienda para la obtención de nanopartículas de carbonato de calcio a partir de los residuos de concha de abanico *Argopecten purpuratus* para lo cual se usó diferentes factores como (Tiempo de molienda, Velocidad de rotación y Diámetro de bolas) en el molino de bolas planetario con el solvente agua.

3.2 Ámbito temporal y espacial

La presente investigación se realizó en el laboratorio del centro de investigación tribológico la cantuta de la Empresa Gestión y Estrategia de Ingeniería y Ambiente SAC ubicada en Urb. Los Licenciados, Mz. V3, lote 29, distrito de Ventanilla. En los meses de junio a febrero del 2022.

3.3 Variables

Las Variables que se tomaron en la investigación para la evaluación, son de tipo cuantitativo.

3.3.1 Variables dependientes:

- Tamaño de gránulo (Promedio)
- Estructura Cristalina (Promedio)

3.3.2 Variables independientes:

- Tiempo de molienda
- Velocidad de molienda
- Tamaño de bolas de molienda

3.4 Población y muestra

La investigación se desarrolló con 1 487.40g de valvas de conchas de abanicorecolectadas de la provincia de Piura-Sechura de los dos botaderos municipales uno de 35 000m² y el otro de 90 000 m² áreas de las cuales se utilizó 586 g para la investigación, estas población fueron traído vía terrestre y recepcionadas en las instalaciones de la empresa Gestión y Estrategia en Ingeniería y Ambiente SAC.

3.5 Instrumentos

Se utilizarán diferentes tipos de equipos, materiales, en la presente investigación.

3.5.1 Equipos

Los equipos, a utilizar en la presente investigación se indican en la siguiente tabla 1.

Tabla 1

Equipos a utilizar para la investigación

Materiales	Marca	Modelo
Molino de 32 Martillo en acero inoxidable 304	-	YF7-1
Horno	Memmert	UN30
Molino de Bolas Planetario	PULVERISETTE	Fritsch GmbH
Sonicador	Sonicator	Q125
Centrifuga	ISOLAB Laborgerate GmbH	-
Microscopio óptico	Nikon Eclipse	Nikon Óptica
Balanza Digital	Kalery	Graner
Tamizadora	Riceli Equipos	-

Nota. Elaboración propia

3.5.2 Material orgánico

El material orgánico a utilizar en la presente investigación se indica en la siguiente tabla 2.

Tabla 2*Materiales fundamentales a utilizar para la investigación*

Materiales	Canti dad (gr)	Precio (S/.)
Valvas de conchas de abanico	1487.40	0.00

Nota. Elaboración propia.**3.5.3 Materiales complementarios**

Los materiales a utilizar en la presente investigación se indica en la siguiente tabla 3.

Tabla 3*Materiales complementarios a utilizar para la investigación*

Materiales	Cantidades
Escobilla	2
Colador	1
Recipiente metálico	1
Vaso de 100ml	2
Piseta	1
Frascos	8
Papel aluminio	1
Embudo	1
SopORTE Universal	1
Papel filtro cuantitativo	1

Nota. Elaboración propia.

3.5.4 Solventes

El siguiente solvente a utilizar en la presente investigación se indica en la siguiente tabla 4.

Tabla 4

Solvente a utilizar para la investigación

Reactivos	Formula
Agua	H ₂ O

Nota. Elaboración propia.

3.5.5 Software

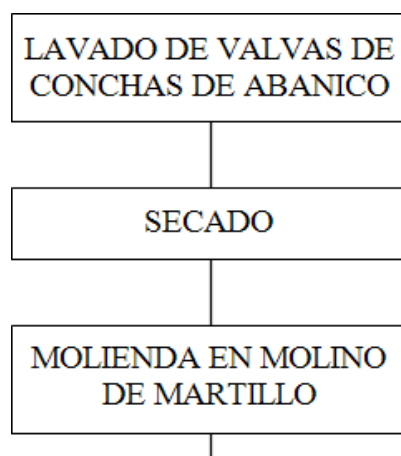
- Minitab
- Taguchi

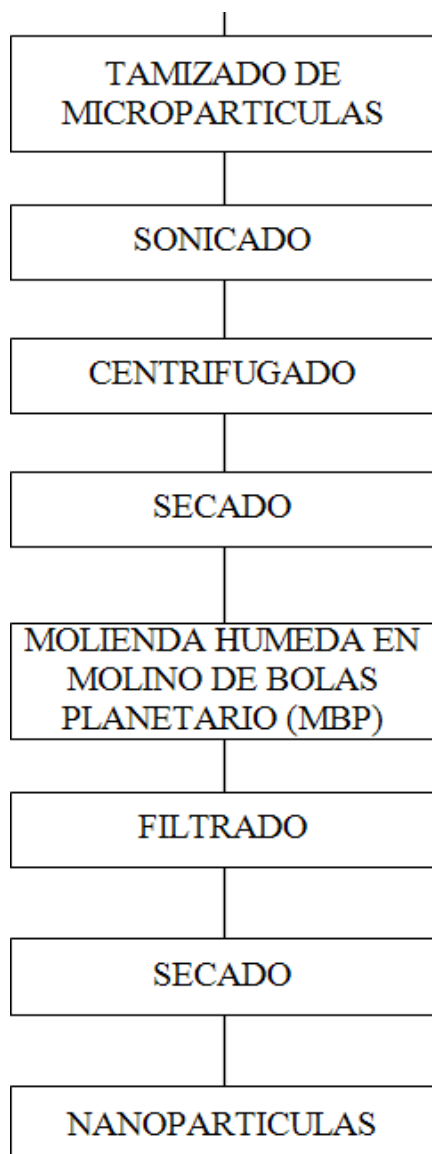
3.6 Procedimientos

El proceso de la obtención de nanopartículas se desarrolló como indica en la figura 3.

Figura 3

Diagrama de procesos de la obtención de las nanopartículas de CaCO₃





Nota. Elaboración propia.

3.6.1 Lavado y secado de valvas de conchas de abanico (*Argopecten purpuratus*)

Se lavó con agua potable las valvas de conchas de abanico, con la ayuda de una escobilla, se restregó continuamente para remover restos de impurezas. Se colocó las valvas lavadas sobre un recipiente metálico con agua hirviendo durante 10 minutos. Se coló y dejó enfriar las valvas a temperatura ambiente, se volvió a lavar y colar con agua destilada luego trasladarlas a un horno de marca Memmert a temperatura de 50°C durante 5 días.

3.6.2 Molienda en el molino de martillo y tamizado

3.6.2.1 Primera molienda de las valvas de concha de abanico. Se equipó el molino de martillo con una rejilla de 0,8 cm de diámetro de abertura de maya, se fue agregando las valvas de conchas de abanico limpias y secas a la tolva de alimentación del molino de martillo, se molió durante 6 minutos todas las valvas enteras y recibió en un recipiente el polvillo de valvas de conchas de abanico obteniendo un peso de 1 453.0 g de polvo.

3.6.2.2 Segunda molienda de las valvas de concha de abanico. Se realizó un cambio de rejilla de 0.18 cm de diámetro de abertura de malla almolino de martillo y se agregó el polvillo a la tolva de alimentación, moliéndose por 3,5 minutos, obteniéndose un peso de 1 404.0 g de polvo de concha de abanico.

3.6.2.3 Tamizado del polvillo de conchas de abanico. A la tamizadora de marca Riceli Equipos, se agregó en dos partes el polvillo obtenido del molino de martillo por un tiempo de 20 minutos a un tamiz <90 μm , obteniéndose 586.0 g de polvillo < 90 micrómetros de medida de granulo y 821.0 g de polvillo > 90 micrómetros de medida de granulo, se colocaron las muestras en una estufa a 50°C.

3.6.3 Sonicado

Se colocó 10 g de CaCO_3 sobre un vaso de 500 ml y agregó 300ml de agua destilada y se sonicó con una amplitud de 40% por un tiempo de 20 minutos.

3.6.4. Centrifugado

Se colocó 12 ml de solvente en los tubos de la centrífuga y se centrifugó a 450 rpm por 15 minutos toda la muestra.

3.6.5 Molienda húmeda en el molino de bolas planetario

La molienda húmeda se llevará a cabo el solvente agua (H_2O) a diferentes tiempos y velocidades.

3.6.5.1 Molienda con solvente de agua (H_2O). Se colocó dentro del vaso de molienda de acero inoxidable 100 g de bolas de 10 mm acero inoxidable las cuales se limpiaron con agua destilada.

Se agregó 10 g de partículas de $CaCO_3$ al vaso y seguidamente se agregó 20 ml de agua destilada y se procedió a colocar el tarro en su posición respectiva para ejecutar el cerrado del molino de bolas planetario. Se programó el equipo a un tiempo de molienda de 450 rpm por 480 minutos, después de haber terminado la molienda se retiró la pasta formada con ayuda de una espátula a una placa Petri para proceder a secarlo en el calentador a temperatura de $100\text{ }^\circ\text{C}$ y ser llevadas las muestras a analizar.

3.7 Análisis de datos

El número de ensayos y el análisis estadístico se realizó por medio del arreglo ortogonal (Taguchi). Este diseño de experimento se ajustó de acuerdo con los resultados y recomendaciones de los ensayos preliminares. Los resultados oficiales han sido modelados por el software estadístico Minitab, el cual brindará los parámetros para la optimización del proceso de molienda.

IV. RESULTADOS

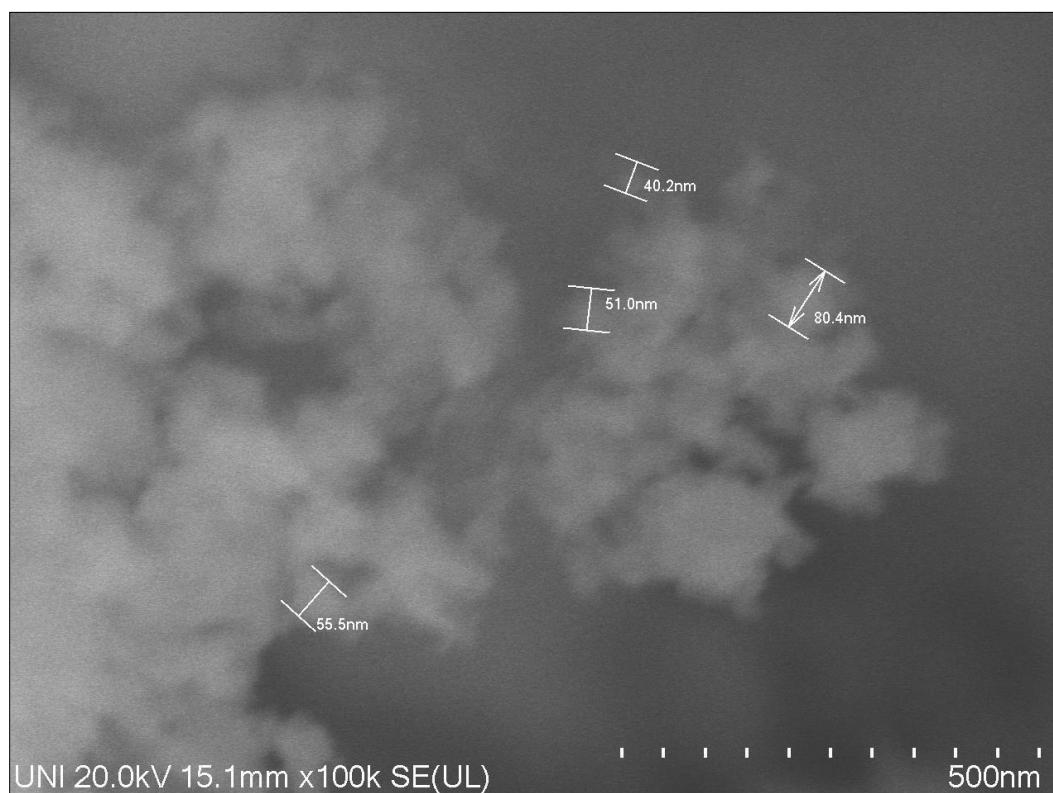
4.1 Preliminar de las nanopartículas de conchas de abanico

4.1.1 Análisis de la molienda con solvente de agua (H_2O)

En la figura 4 se muestra los resultados del SEM realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) los cuales muestran nanopartículas de 80.4 nm hasta 40.2 nm.

Figura 4

Morfología y diámetro de las nanopartículas encontradas



Nota. El SEM muestra los resultados de las nanopartículas obtenidas utilizando el solvente agua (H_2O).

De acuerdo con el resultado obtenido del solvente Agua (H_2O), se encontraron nanopartículas > 70 nm en promedio por ello se utilizó este solvente para el diseño.

4.2 Diseño experimental para la obtención de las nanopartículas de CaCO_3

El diseño experimental para obtener nanopartículas de CaCO_3 se realizó con el arreglo ortogonal Taguchi el cual se detalla en la siguiente tabla 5.

Tabla 5

Diseño experimental para la obtención de nanopartículas de CaCO_3

Factores	Niveles		
	I	II	III
Tiempo	4	8	12
Velocidad de rotación	450	550	600
Diámetro de bolas	1mm	10mm	20mm

Nota. Elaboración propia

4.2.1 Software Taguchi y Minitab para el diseño experimental

Los factores y sus niveles fueron ingresados en el software Taguchi como se observa en la figura 5 dándonos como resultado nueve corridas las cuales se muestra en la tabla 7.

Figura 5

Resultado de las 9 corridas en el software taguchi y minitab

Archivo Editar Datos Calc Estadísticas Gráfica Vista Ayuda Asistente

Navegador

Diseño de Taguchi

Diseño de Taguchi

Diseño de Taguchi

DISEÑO TAGUCHI - MINITAP

Diseño de Taguchi

Resumen del diseño

Arreglo de Taguchi L9(3³)

Factores: 3

Corridas: 9

Columnas del arreglo de L9(3⁴): 1 2 3

+	C1	C2	C3
	TIEMPO (h)	VELOCIDAD DE ROTACION (rpm)	DIAMETRO DE BOLAS (mm)
1	4	450	1
2	4	550	10
3	4	600	20
4	8	450	10
5	8	550	20
6	8	600	1
7	12	450	20
8	12	550	1
9	12	600	10

Nota. El software Minitab con Taguchi nos muestra las corridas con las variables tiempo, velocidad de rotación y diámetro de bola que se llevó a cabo para la continuación de la parte experimental. Elaboración propia.

Tabla 6

Diseño experimental en el software Taguchi y Minitap para la obtención de nanopartículas de CaCO₃.

Corridas	Niveles		
	Tiempo (horas)	Velocidad de molienda (RPM)	Diámetro de bola (mm)
1er	4	450	1
2do	4	550	10
3ro	4	600	20
4to	8	450	10
5to	8	550	20
6to	8	600	1
7mo	12	450	20
8vo	12	550	1
9no	12	600	10

Nota. Elaboración propia

4.2.2 Microscopia óptica

Se utilizó el microscopio óptico de hasta 2 000 de aumento, para poder determinar las micro particular más pequeñas obtenidas luego del molino de bolas.

Tabla 7

Datos de los ensayos en el molino de bolas planetario para la obtención demicropartículas de (CaCO₃).

Factor de condición	Corridas								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Muestra	10 g	30 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g
Solvente	20 g	20 g	20 g	20 g	20 g	20 g	20 g	20 g	20 g
Bolas	10 mm	1 mm	10 mm	1 mm	10 mm	1 mm	20 mm	20 mm	20 mm
Velocidad de molienda	450 rpm	450 rpm	550 rpm	600 rpm	600 rpm	550 rpm	600 rpm	550 rpm	450 rpm
Tiempo de molienda	8 h	4 h	4 h	8 h	12 h	12 h	4 h	8 h	12 h
Pausas	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m
Molienda	40 m	40 m	40 m	40 m	40 m	40 m	40 m	40 m	40 m
Vaso de acero inoxidable	80 ml	80 ml	80 ml	80 ml	80 ml	80 ml	80 ml	80 ml	80 ml

Nota. Elaboración propia

Tabla 8

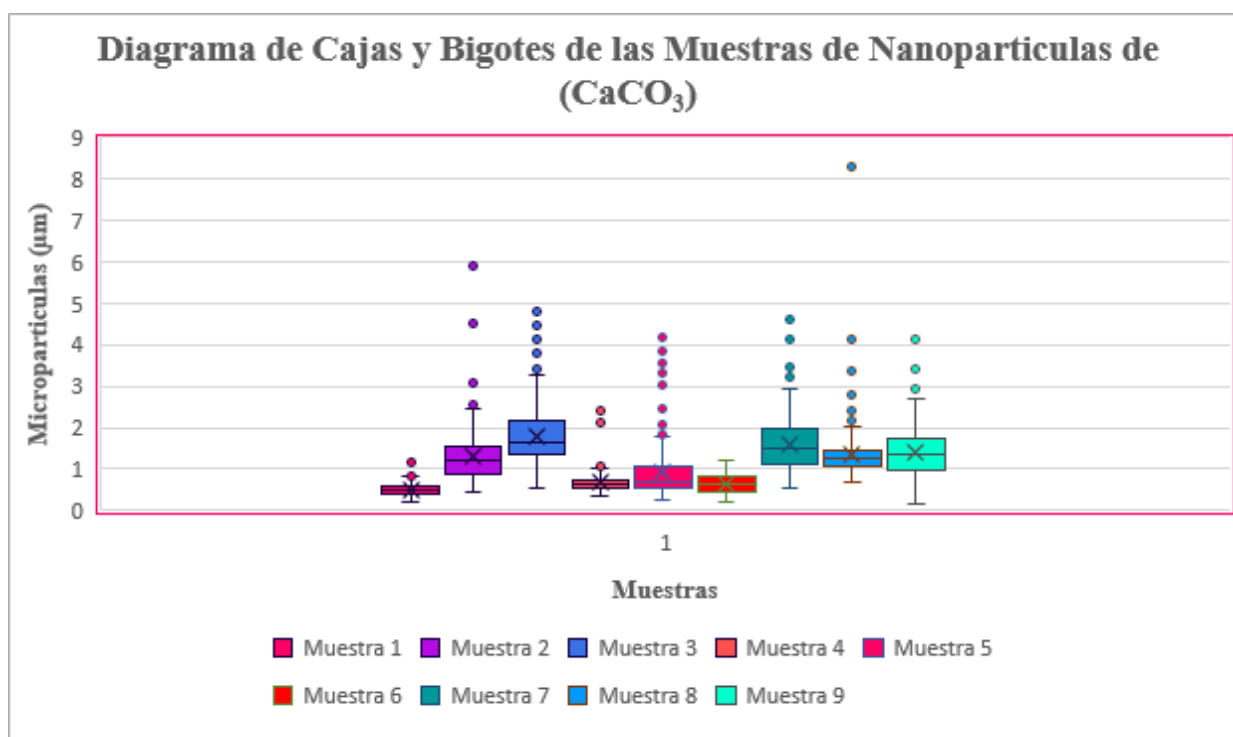
Resultados del promedio de las 200 micropartículas contadas en cada corrida en lamicroscopia óptica, para la elección de las 3 posibles muestras que contengan mayor cantidad de nanopartículas.

Corridas	Niveles			
	Tiempo (horas)	Velocidad (rpm)	Diámetro de bolas (mm)	Microscopia (µm)
I	4	450	1	0.506
II	4	550	10	1.295
III	4	600	20	1.802
IV	8	450	10	0.666
V	8	550	20	0.916
VI	8	600	1	0.628
VII	12	450	20	1.601
VIII	12	550	1	1.377

Nota. Elaboración propia

Figura 6

Gráfica de las 200 partículas medidas por muestra, encontradas en la microscopía, para determinar las muestras óptimas que contengan mayor cantidad de nanopartículas de $(CaCO_3)$.



Nota. El diagrama de cajas y bigotes muestra los gráficos de las nueve corridas realizadas que fueron determinadas por el software Minitab. Elaboración propia.

4.3 Caracterización morfológica

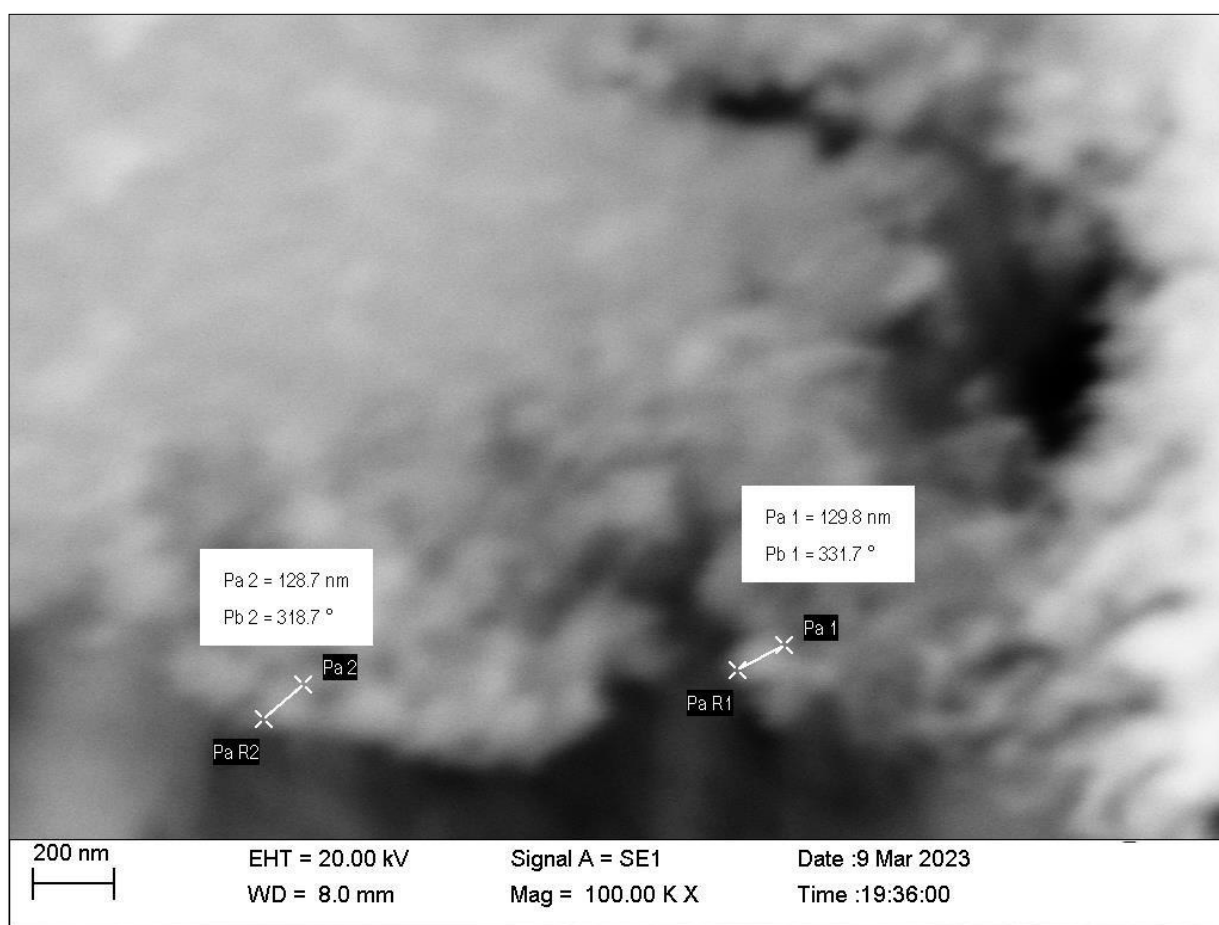
La microscopía electrónica de barrido (SEM) se realizó en la Universidad Nacional de Ingeniería, en la cual con la fotografía se confirmará las dimensiones de las nanopartículas sintetizadas.

4.3.1 Análisis de la microscopía electrónica de barrido de la muestra I para obtener las nanopartículas de (CaCO_3)

En la figura 7 y 8 se muestra los resultados del SEM realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de la muestra I cuyos factores son 4 h, 450 rpm, 1 mm, los cuales se obtuvieron nanopartículas de 134.7 nm, 134.4 nm, 129.8 nm, 128.7 nm.

Figura 7

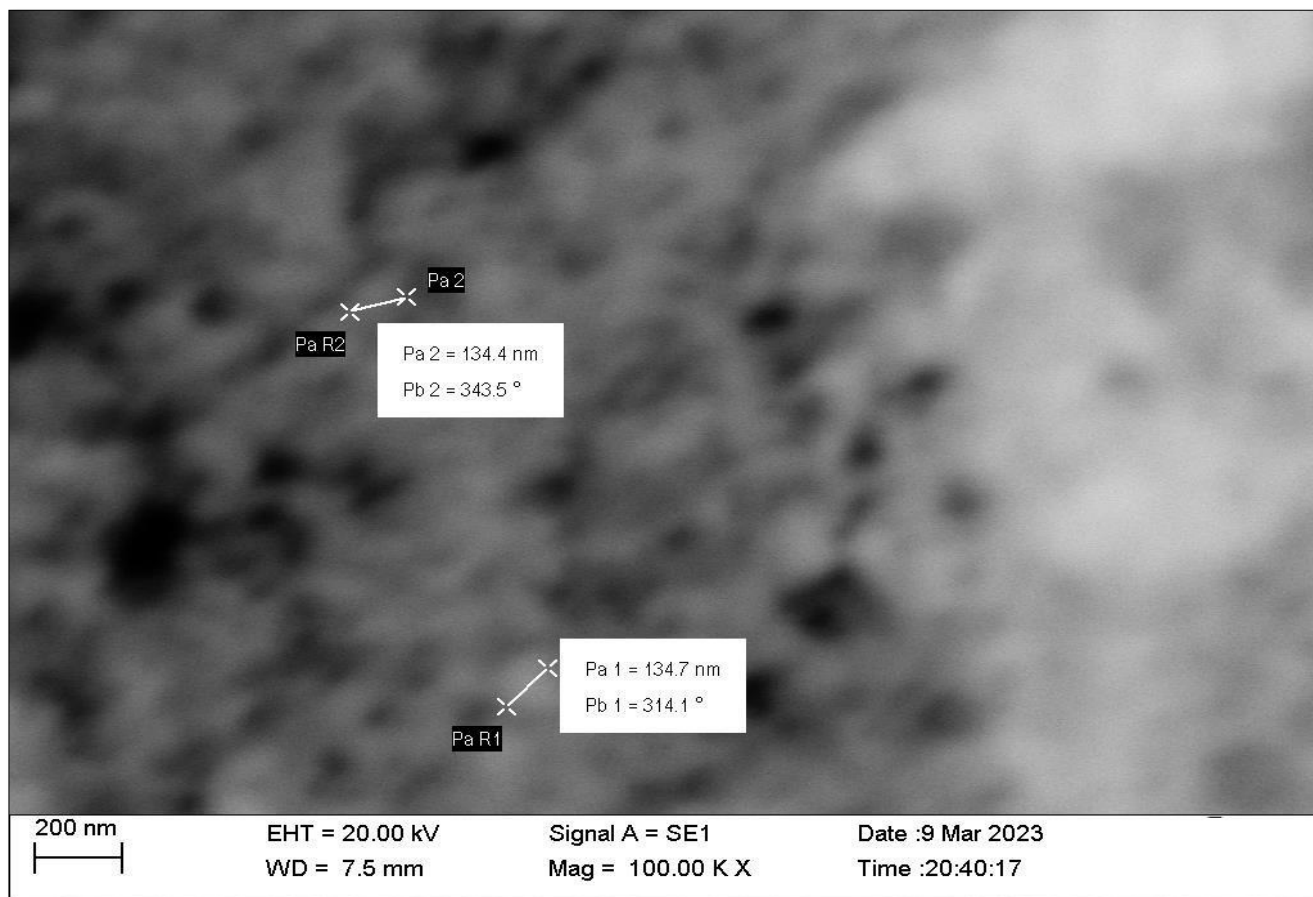
Morfología y diámetro de las nanopartículas encontradas en la muestra I.



Nota. Resultados obtenidos del Microscopio de Barrido Electrónico (SEM), donde revelan las nanopartículas encontradas en la muestra I.

Figura 8

Morfología y diámetro de las nanopartículas encontradas en la muestra I.



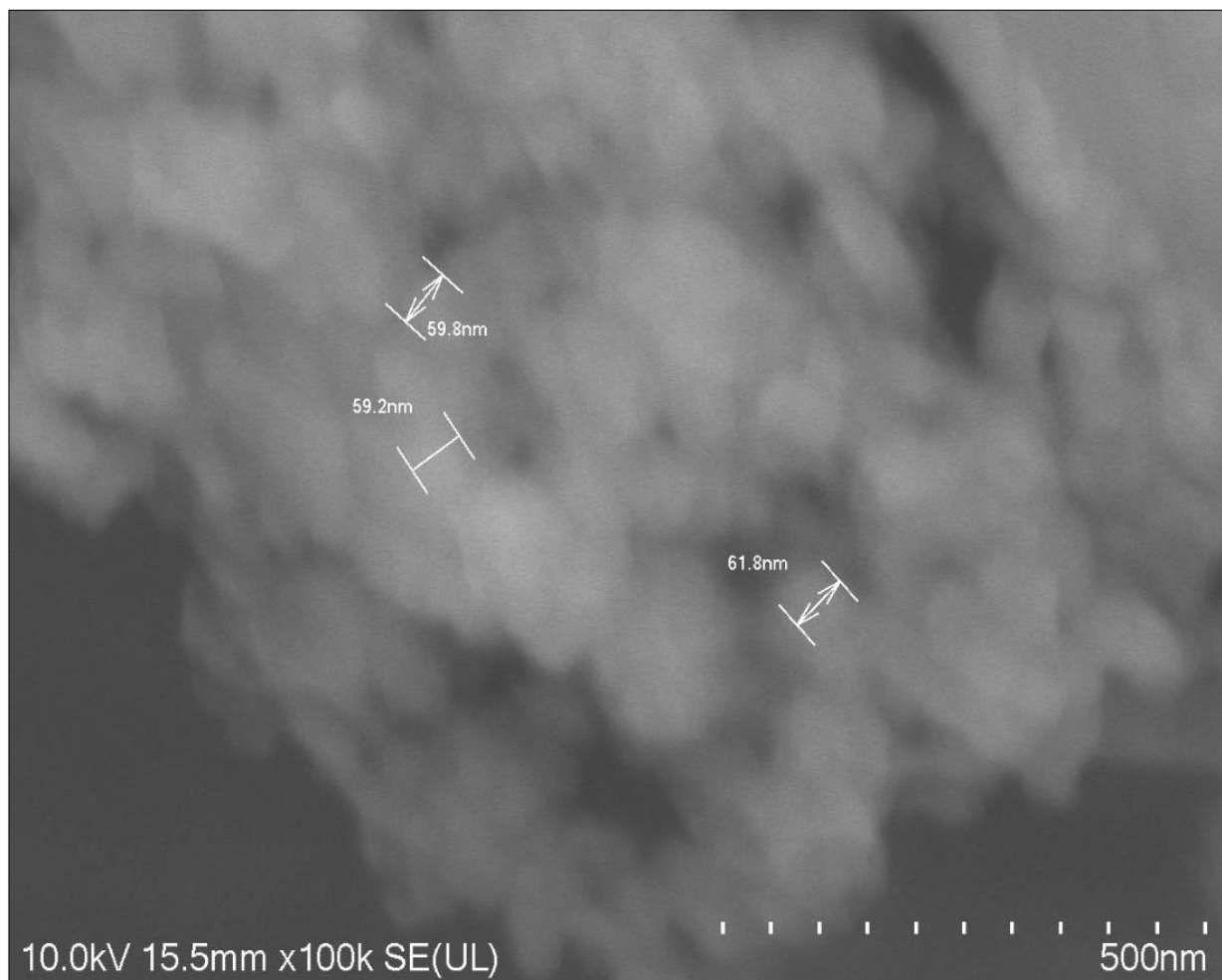
Nota. Resultados obtenidos del Microscopio de Barrido Electrónico (SEM) donde revela las nanopartículas encontradas en la muestra I.

4.3.2 Análisis SEM de la muestra IV para obtener las nanopartículas de CaCO_3

En la figura 9 se muestra los resultados del SEM realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de la muestra IV cuyos factores son 8 h, 450 rpm y 10 mm los cuales se obtuvieron nanopartículas de 61.8 nm, 59.8 nm y 59.2 nm.

Figura 9

Morfología y diámetro de las nanopartículas encontradas en la muestra IV.



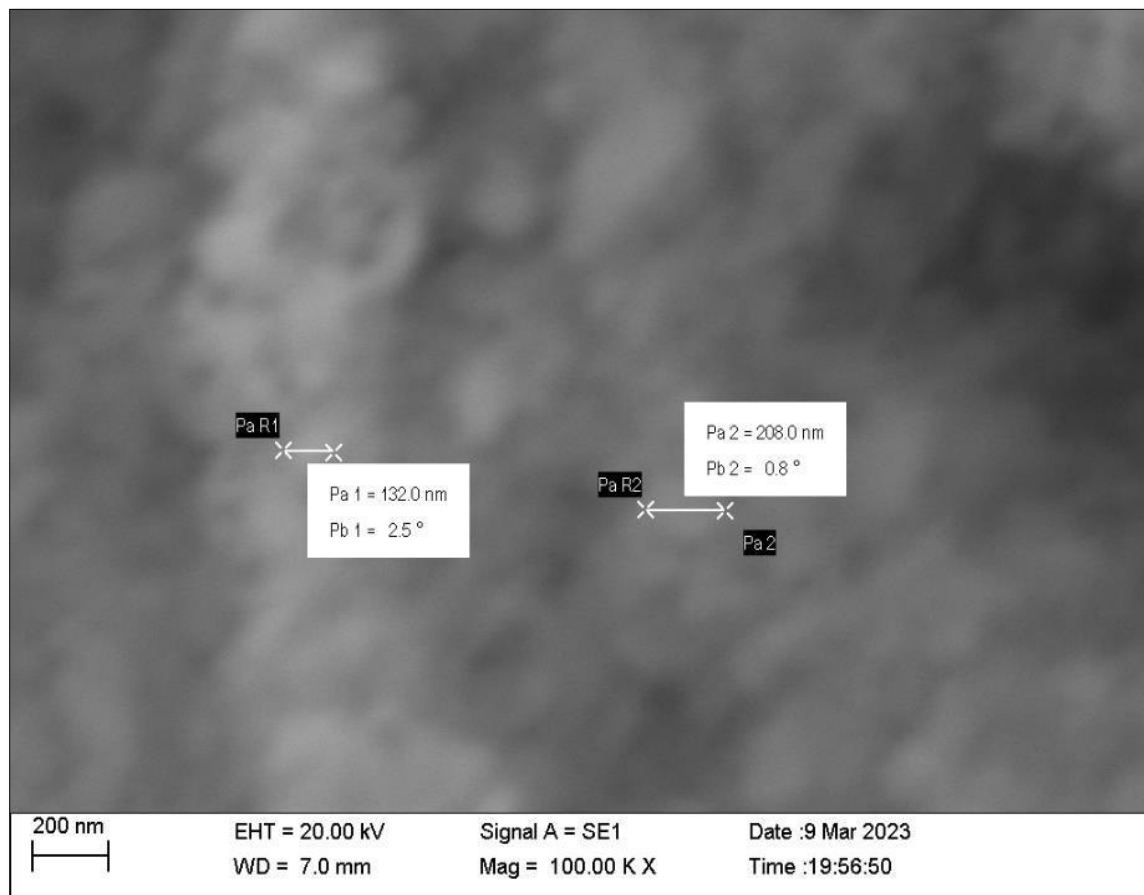
Nota. Resultados obtenidos del Microscopio de Barrido Electrónico (SEM) donde revela las nanopartículas encontradas en la muestra IV.

4.3.3 Análisis SEM de la muestra VI para obtener las nanopartículas de CaCO_3

En la figura 10 y 11 se muestra los resultados del SEM realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de la muestra VI cuyos factores son 12 h, 450 rpm y 20 mm los cuales se obtuvieron nanopartículas de 208.0 nm, 166.1 nm, 132.0 nm, 114.5 nm.

Figura 10

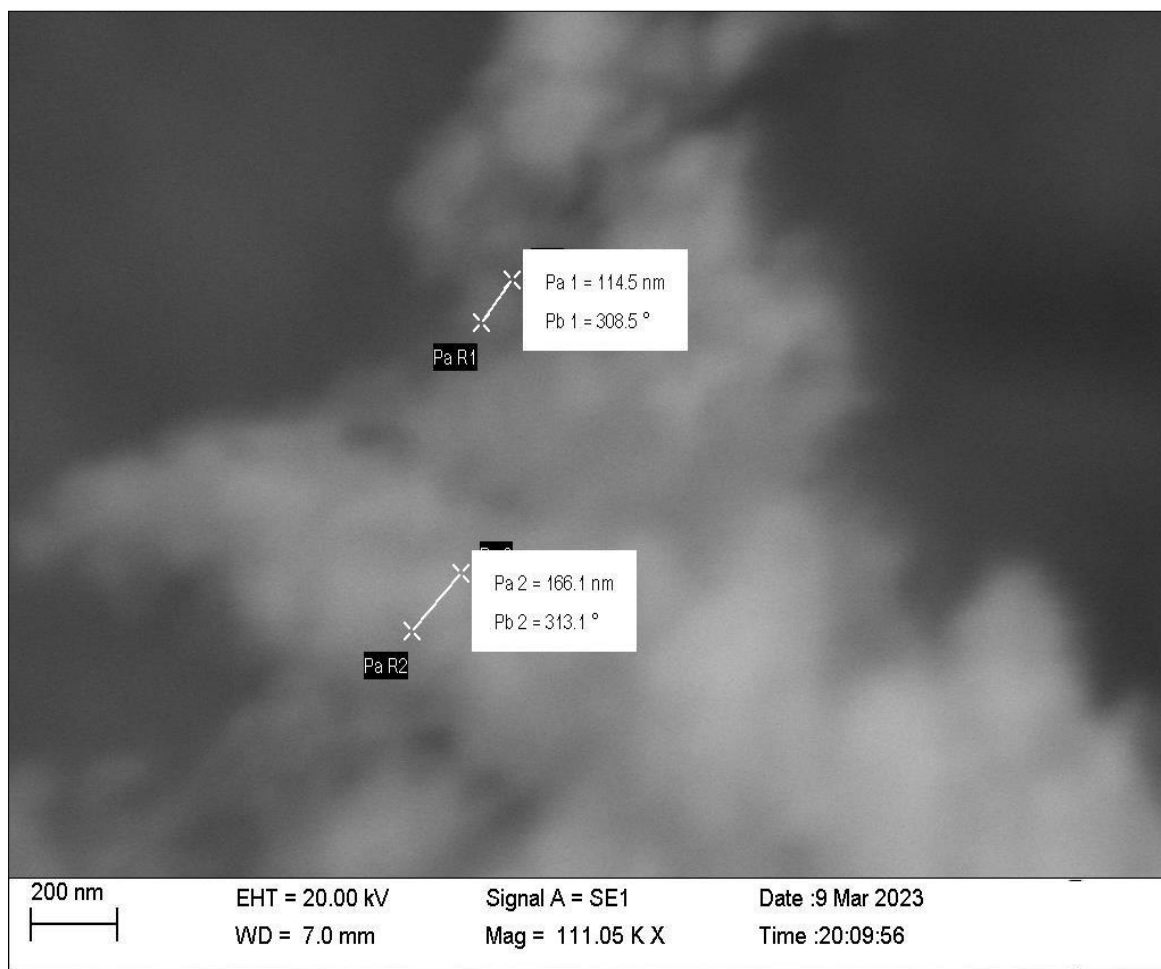
Morfología y diámetro de las nanopartículas encontradas en la muestra VI.



Nota. Resultados obtenidos del Microscopio de Barrido Electrónico (SEM) donde revela las nanopartículas encontradas en la muestra VI.

Figura 11

Morfología y diámetro de las nanopartículas encontradas en la muestra VI.



Nota. Resultados obtenidos del Microscopio de Barrido Electrónico (SEM) donde revela las nanopartículas encontradas en la muestra VI.

Tabla 9

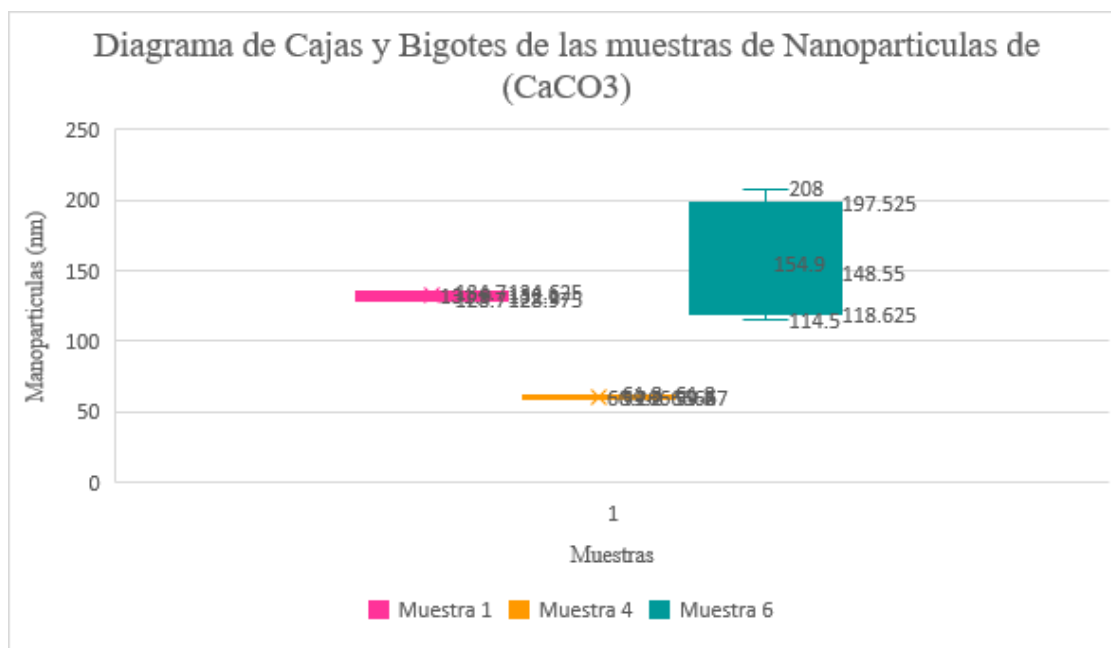
Valores de los resultados encontrados del SEM para determinas el tamaño granulométrico y la obtención de nanopartículas de CaCO₃.

Muestra	Niveles			
	Tiempo (horas)	Velocidad de molienda (rpm)	Diámetro de bolas (mm)	SEM (nm)
M1	4	450	1	128.7
M2	8	450	10	59.2
M3	8	600	1	114.5

Nota. Elaboración propia.

Figura 12

Gráfica de las nanopartículas encontradas en las muestras enviadas al SEM para determinar la muestra con nanopartículas más pequeñas



Nota. El diagrama de cajas y bigotes revela las gráficas de las muestras enviadas al SEM. Elaboración propia.

La dimensión de la nanopartícula más pequeñas encontrada en la muestra IV fue de 59.2 nm lo cual nos indica es la muestra IV tiene las nanopartículas más pequeñas encontradas.

4.4 Caracterización del grupo funcional

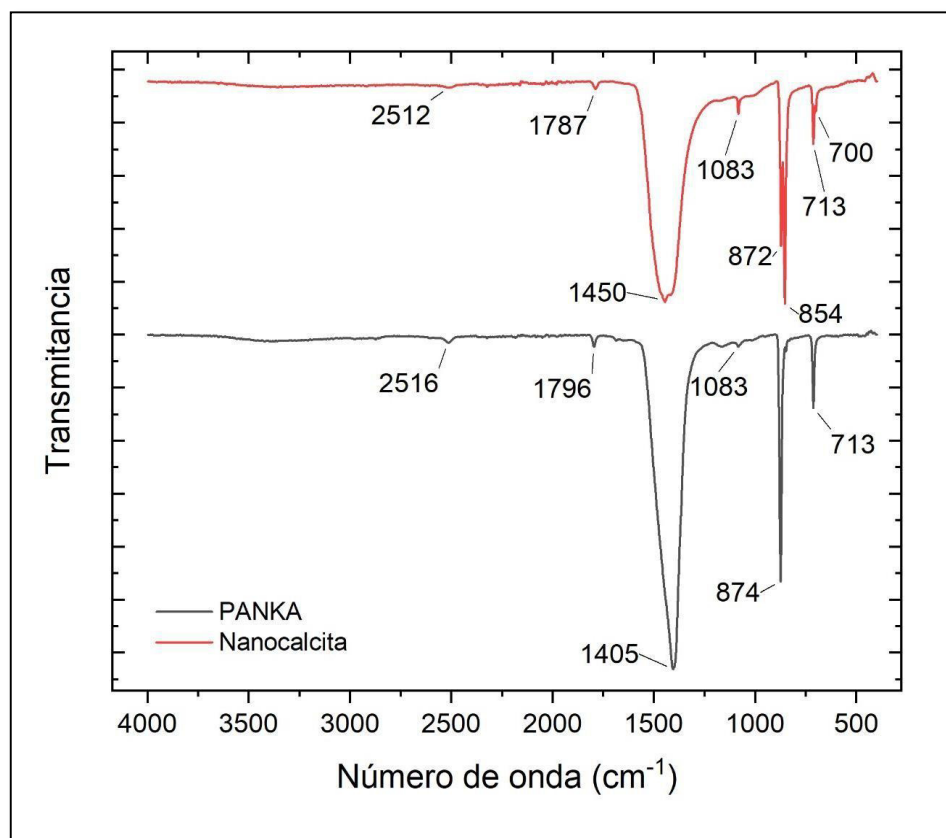
La identificación de grupos funcionales o verificación de restos orgánicos se determinó mediante la espectroscopia infrarroja FTIR en los laboratorios de GEIA SAC.

4.4.1 Espectroscopía infrarroja de transmisión de fourier (FT-IR)

La espectroscopia infrarroja de transmisión de fourier han sido utilizado en diversas investigaciones para determinar los picos de absorción de las nanopartículas de CaCO_3 . Soni et al. (2014) en su estudio de mejoramiento de la tenacidad de polipropileno con nanopartículas de carbonato de calcio utilizo un número de onda de $4\,000\text{ cm}^{-1}$ a 600 cm^{-1} en la región de infrarrojo medio para hacer los espectros. Asimismo, Ruiz & Torres (2015) en su investigación síntesis de nanopartículas de carbonato de calcio utilizaron la espectroscopia infrarroja para determinar las bandas de absorción de cada polimorfo encontrado. Estas investigaciones guardan similitud con el estudio de Gómez Santiago et al. (2022) quien en su estudio de la caracterización de un mineral carbonáceo también utilizo la espectroscopia infrarroja para determinar las vibraciones de estiramiento del enlace C-O en el compuesto carbonatado de calcio.

Figura 13

Identificación del grupo funcional mediante la espectroscopia infrarroja de la nanopartícula de CaCO_3 y la nano calcita adquirida.



Nota. La Espectroscopia infrarroja muestra la región del grupo funcional de CaCO_3 .

4.5 Caracterización estructural

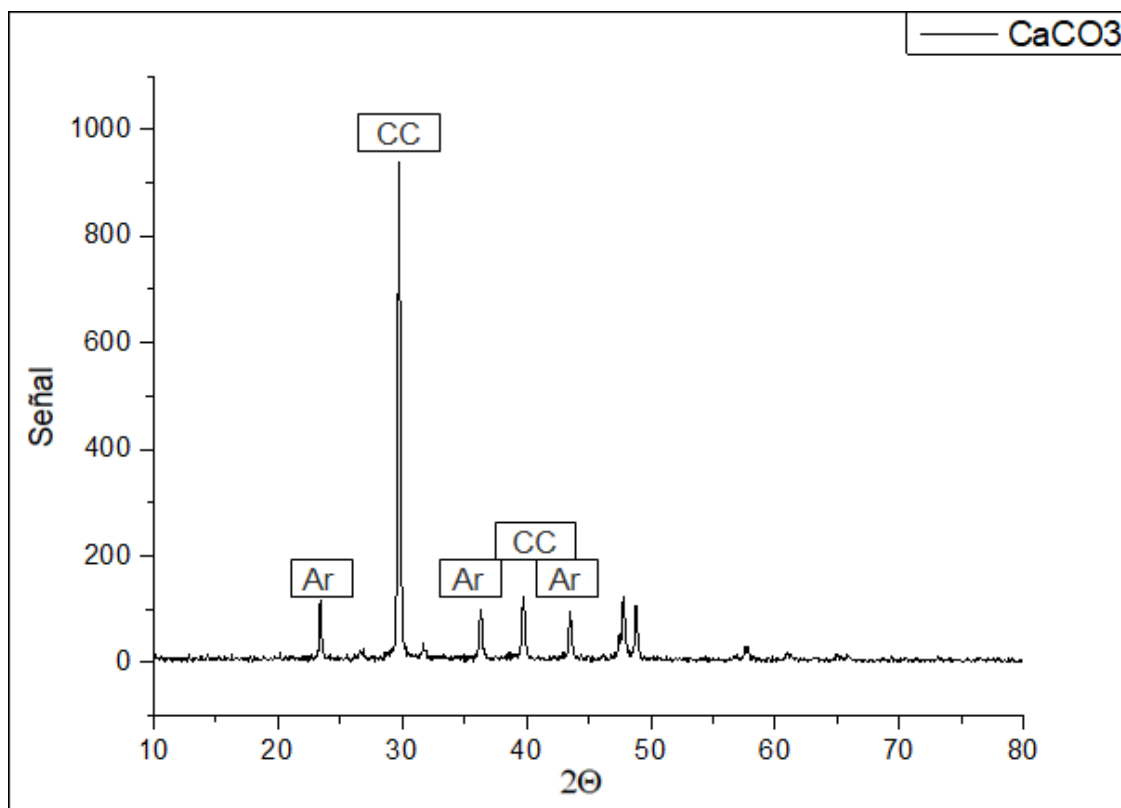
Las NP CaCO_3 requieren de una caracterización estructural. Para ello se usó la difracción de rayos X (XRD) la cual se realizó en la Universidad Nacional de Ingeniería para conocer la estructura cristalina de las nanopartículas obtenidas y el tipo de estructura cristalina predomina en las muestras de valvas de conchas de abanico.

4.5.1 Espectroscopía de difracción de rayos X (XRD)

Para la caracterización estructural de las NP CaCO_3 se utilizó la difracción de rayos X (XRD) para conocer la estructura cristalina predominante de las nanopartículas obtenidas en los polvos de valvas de conchas de abanico.

Figura 14

Difractograma del CaCO_3 mostrando el dominio de calcita y aragonito en las muestras estudiadas.



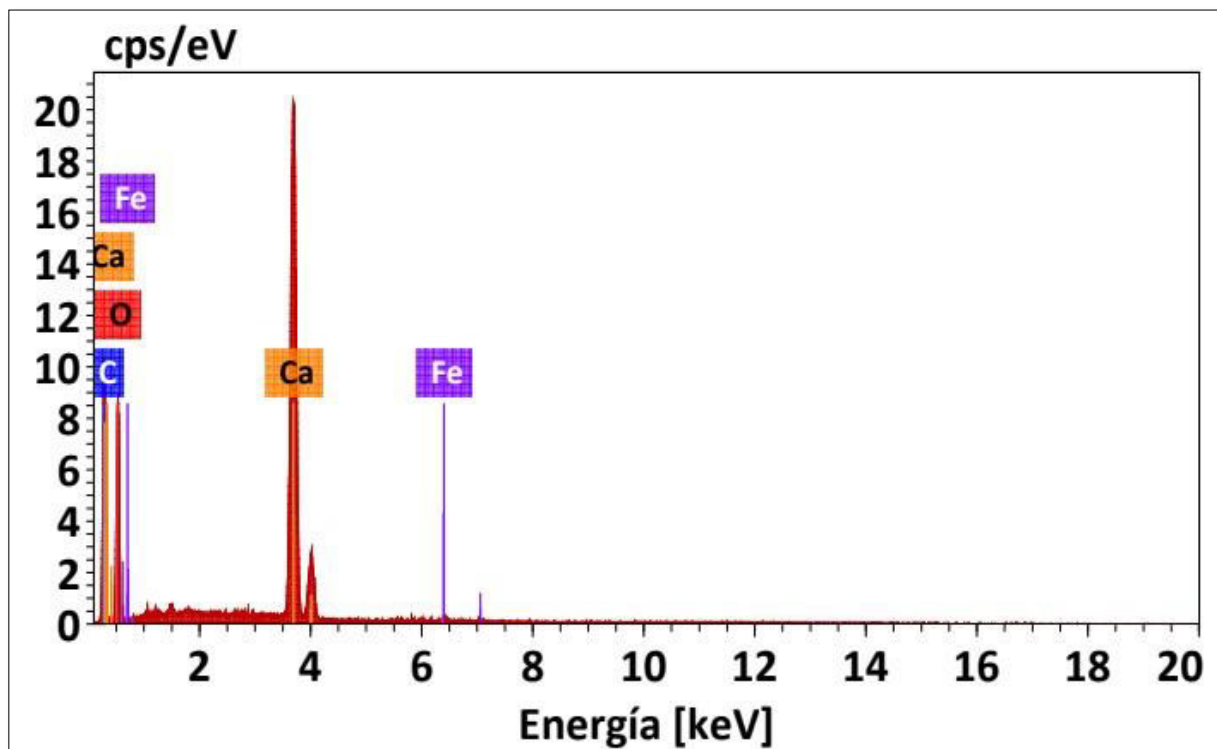
Nota. La difracción de rayos X obtenida del difractograma muestra los picos cristalinos y áreas amorfas encontradas.

4.6 Caracterización química las nanopartículas del CaCO_3 (EDS)

La figura 15 muestra la pureza de CaCO_3 que fue de 99.74 % encontrado en las nanopartículas de carbonato de calcio obtenidas de las valvas de concha de abanico.

Figura 15

Grado de pureza al 99.74 % del CaCO_3 encontrado en las nanopartículas obtenidas de las valvas de concha de abanico.



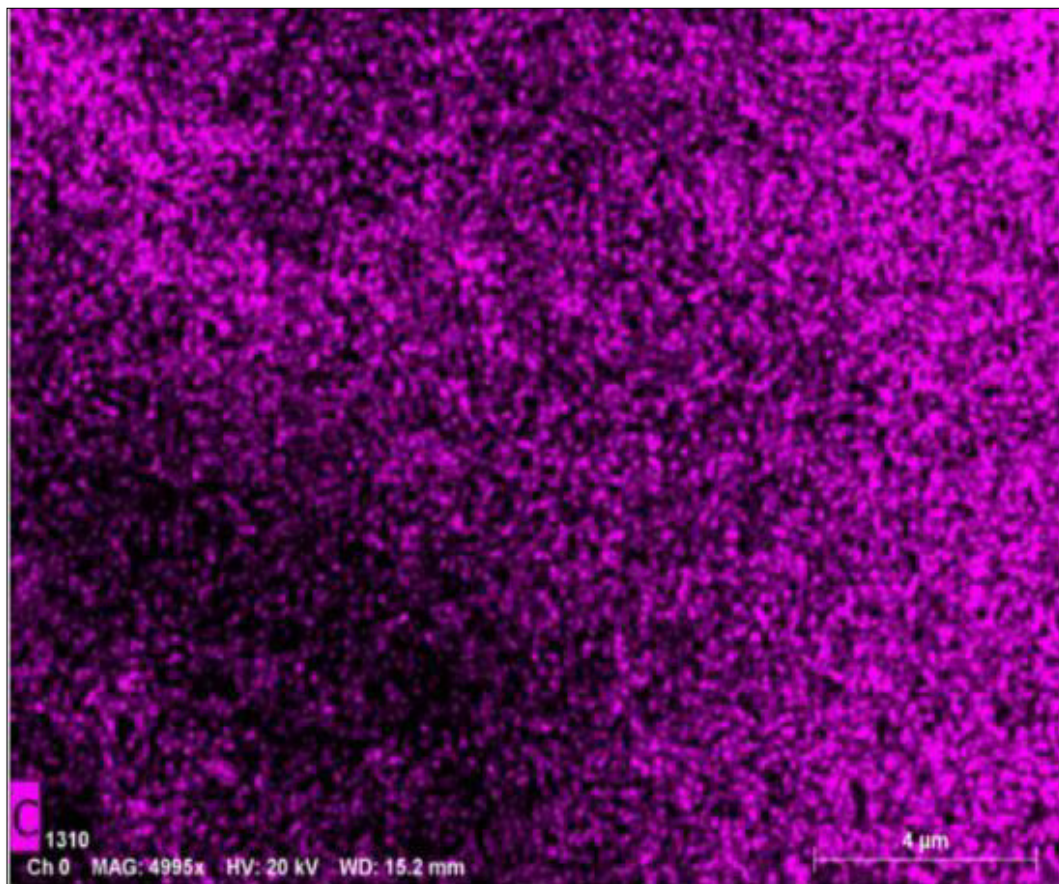
Nota. Resultados obtenidos del Microscopio de Barrido electrónico (SEM) donde revelan la pureza del CaCO_3 realizada en la Universidad Nacional de Ingeniería.

4.6.1 Cantidad de carbono encontrado las valvas de concha de abanico

La figura 16 muestra la una cantidad de 26.10 % de carbono encontrado en las nanopartículas de carbonato de calcio obtenidas de las valvas de concha de abanico.

Figura 16

Carbono encontrado en las Valvas de Concha de Abanico



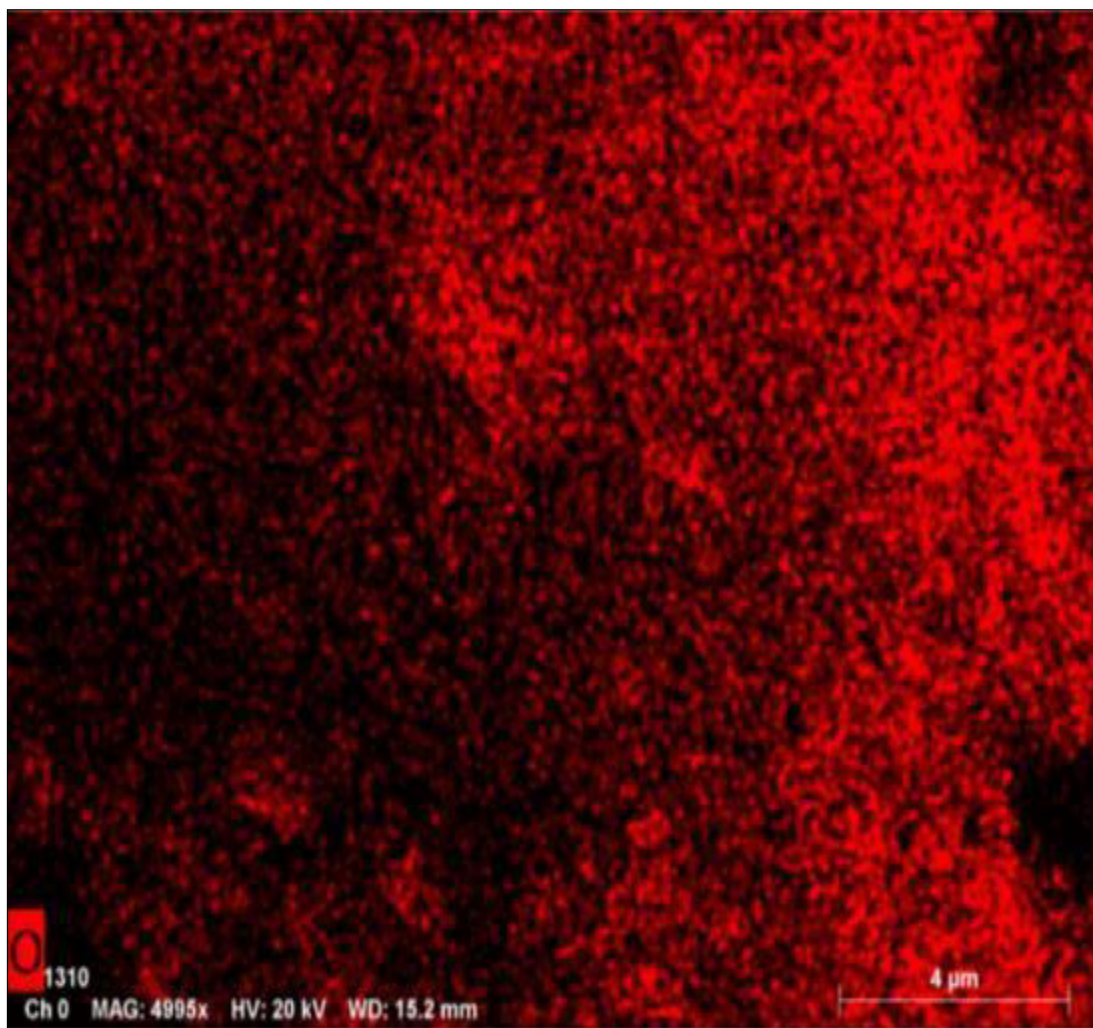
Nota. Resultados obtenidos del Microscopio de Barrido Electrónico (SEM) donde revela la cantidad de CaCO_3 en las nanopartículas que fueron realizadas en la Universidad Nacional de Ingeniería. Elaboración propia.

4.6.2 Cantidad de oxígeno encontrado las valvas de concha de abanico

La figura 17 muestra la una cantidad de 47.59 % de oxígeno encontrado en las nanopartículas de carbonato de calcio obtenidas de las valvas de concha de abanico.

Figura 17

Oxígeno encontrado en las valvas de concha de abanico.



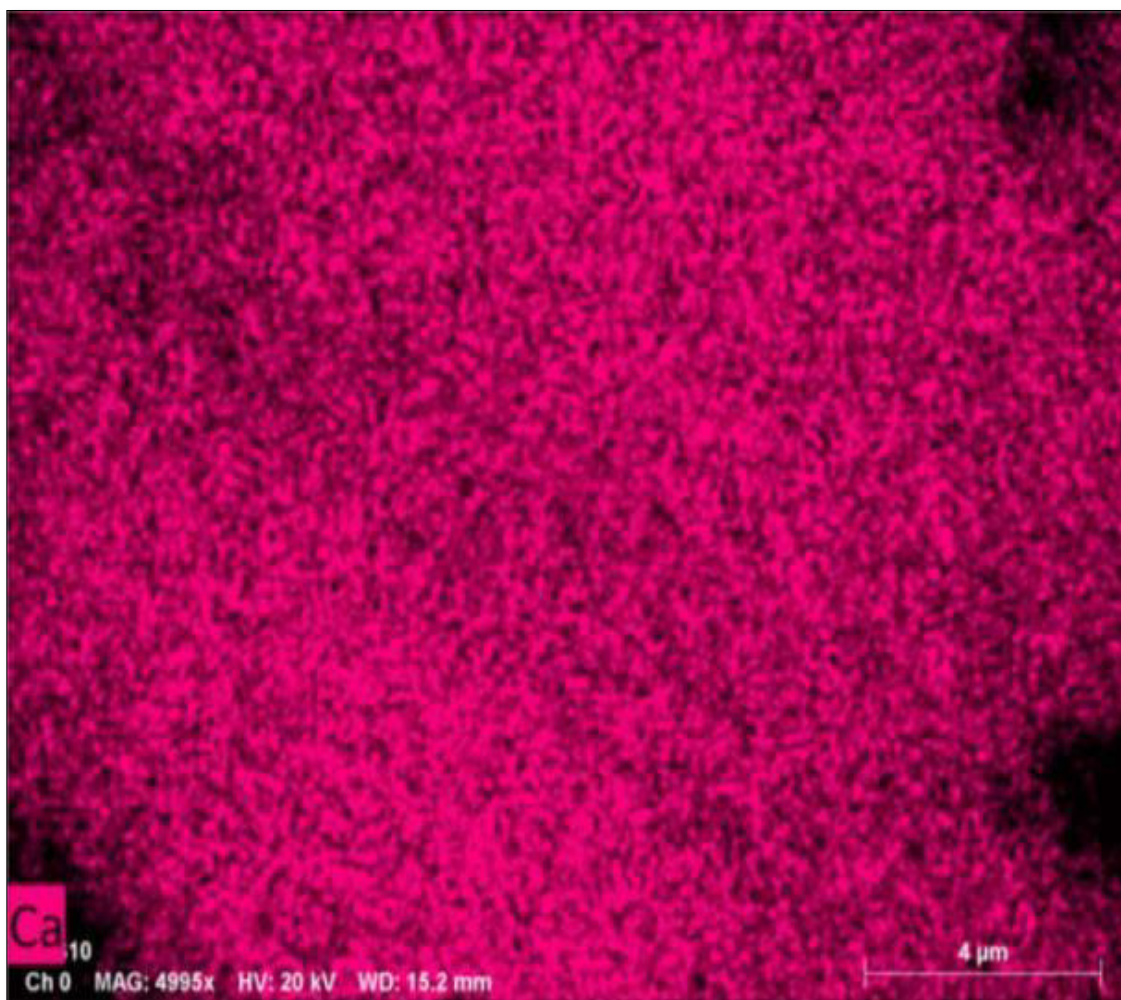
Nota. Resultados obtenidos del Microscopia de Barrido Electrónico (SEM) donde revelan la cantidad de oxígeno en la nanopartícula que fueron realizadas en la Universidad Nacional de Ingeniería. Elaboración propia.

4.6.3 Cantidad de calcio encontrado de las valvas de concha de abanico

La figura 18 muestra la una cantidad de 26.05 % de calcio encontrado en las nanopartículas de carbonato de calcio obtenidas de las valvas de concha de abanico.

Figura 18

Calcio encontrado en las Valvas de Concha de Abanico



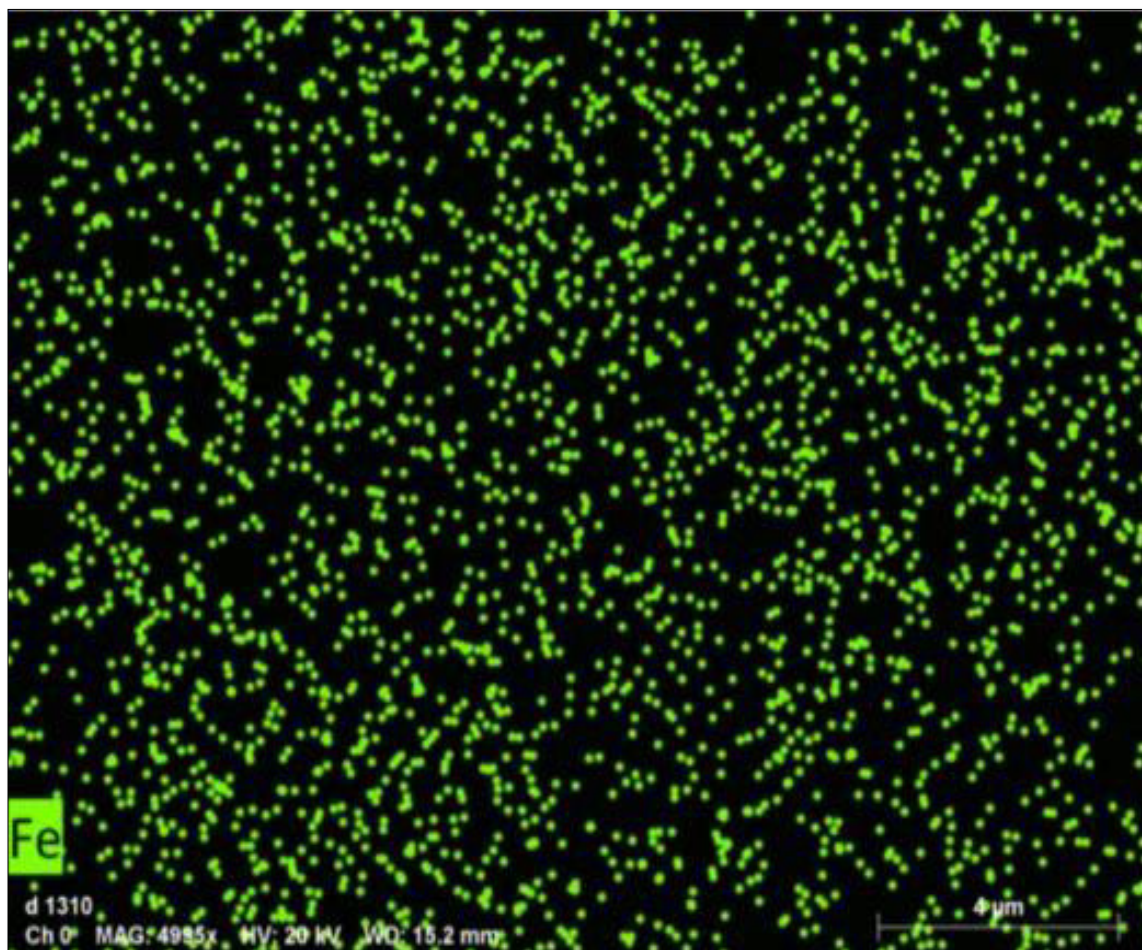
Nota. Resultados obtenidos del Microscopia de Barrido Electrónico (SEM) donde revelan la cantidad de calcio en la nanopartícula que fueron realizadas en la Universidad Nacional de Ingeniería. Elaboración propia.

4.4.4 Cantidad de hierro encontrado de las valvas de concha de abanico

La figura 19 muestra la una cantidad de 0.26 % de hierro encontrado en las nanopartículas de carbonato de calcio obtenidas de las valvas de concha de abanico.

Figura 19

Hierro encontrado en las valvas de concha de abanico.



Nota. Resultados obtenidos del Microscopia de Barrido Electrónico (SEM) donde revelan la cantidad de hierro en la nanopartícula que fueron realizadas en la Universidad Nacional de Ingeniería. Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El Carbonato de Calcio (CaCO_3) es uno de los minerales que se encuentra en la naturaleza en forma de tres polimorfos que son la Calcita, Aragonito y Valerita, en la investigación gracias a la microscopía electrónica de barrido electrónica (SEM) la morfología de las nanopartículas obtenidas de las valvas de conchas de abanico fue en forma de varilla, las mismas que aparecieron en lo investigado por Islam et al. (2012). Con respecto al tamaño de las nanopartículas recolectadas oscila entre 59.2 nm y 208.0 nm de carbonato de calcio después del proceso de molienda en seco y húmedo, guardando relación con medidas de 11.56 nm y 180.06 nm que fueron obtenidas en la investigación de Gbadeyan et al. (2020).

Respecto a la espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), los espectros FTIR de las valvas de concha de abanico que fueron molidas y se obtuvo las nanopartículas de CaCO_3 tiene bandas dentro del rango de $500 \text{ cm}^{-1} - 4000 \text{ cm}^{-1}$ donde se muestran picos de absorción más representativos, que se encuentran ubicadas en 1405 cm^{-1} y 874 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones de estiramiento del enlace C-O en el compuesto carbonatado de calcio. El pico de absorción más prominente encontrado es de 1405 cm^{-1} que es asociado a la presencia del ion carbonato guardando relación con lo encontrado por Soniet al. (2014) en su investigación sobre mejoramiento de la tenacidad de polipropileno con nanopartículas de Carbonato de Calcio, en el que encontró picos de absorción de 1400 cm^{-1} y 810 cm^{-1} para el ion carbonato. El otro pico de absorción prominente encontrado fue de 874 cm^{-1} en el aragonito lo cual es similar a lo reportado por Ruiz & Torres (2015) quienes trabajaron con síntesis de nanopartículas de carbonato de calcio, obteniendo una curva de absorción de 869.93 cm^{-1} para el aragonito. Así mismo se encontró la banda en 713 cm^{-1} asignada al enlace Ca-O este resultado guarda similitud con lo encontrado por Gómez.

Santiago et al. (2022) quien es su investigación caracterización de un mineral carbonáceo e identificación del efecto Preg-Robbing, encontró enlaces Ca-O con un valor de 797.49 cm^{-1} . Además, la flexión del grupo carbonilo tuvo una curva de absorción de 1796 cm^{-1} y en el grupo carboxilo se obtuvo una curva de 2516 cm^{-1} está asignación concuerda con lo hallado por Gbadeyan et al. (2020) quien obtuvo para el grupo carboxilo una banda de 2533 cm^{-1} y 1788 cm^{-1} para el grupo carbonilo.

Según el nivel de volumen de carbonato de calcio encontrado en las nanopartículas de valvas de conchas de abanico fueron aproximadamente 99.74% en peso lo cual guarda relación con Bastakoti et al. (2011) y Babou-Kammoe et al. (2012) obtuvieron resultados con una alta pureza.

Los valores obtenidos de la composición elemental de las valvas de conchas de abanico contenían 26.10% de carbono, 47.59% de Oxígeno 26.05% de Calcio y 0.26% de hierro estos datos difieren de lo reportado por Gbadeyan et al. (2020) quien en su investigación de síntesis fácil de nanopartículas de carbonato de calcio a partir de conchas de abanico encontró 50.63% de carbono y 38.42% de calcio, estos reportes no concuerdan con lo brindado por Islam et al. (2012) quien obtuvo valores similares a nuestra investigación como son 20.99% para el carbono, 28.88% de oxígeno, 45.08% de calcio y 5.02% de otros óxidos metálicos.

VI. CONCLUSIONES

Las nanopartículas de CaCO_3 de los residuos de valvas de conchas de abanico fueron sintetizadas con éxito. Durante el proceso de esta investigación del presente trabajo tubo la finalidad de encontrar nanopartículas a partir de los residuos valvares de conchas de abanico mediante la optimización del proceso de molienda por vía húmeda así cómo lo mostrado por Gbadeyan et al. (2020) y la investigación de Islam et al. (2012) en la cual logra la obtención de las nanopartículas a partir de las valvas de diferentes especies hidrobiológicas, es por ello que se aplicó partes de su metodología con las conchas de abanico, en la cual se realizaron las primeras moliendas de las valvas, registrando micropartículas con valores $< 45 \mu\text{m}$ después de haber pasado por el molino de martillo y haberse tamizado, siguiendo del proceso de sonicado tomando 10.0 g de muestra y 500 ml de agua con una amplitud de 40 % por 20 minutos y luego pasándolo por el molino de bolas planetario a diferentes velocidades como 450 rpm, 550 rpm y 600 rpm y en diferentes tiempos de agitación como es de 4, 8 y 12 h en la cual se obtuvo nanopartículas con valores que oscilan en el rango de 59.2 nm y 208.0 nm logrando con éxito el presente trabajo.

Con la caracterización del grupo funcional, que se utilizó el espectrofotómetro infrarrojo de transformada de Fourier donde se identificaron bandas asociadas a los enlaces C-O con picos de absorción de 1405 cm^{-1} y 874 cm^{-1} en la región del grupo funcional, así mismo se revela la existencia del grupo carbonilo encontrado con una curva de absorción de 1796 cm^{-1} que es atribuida al agua que se utilizó en el proceso de molienda con el molino de bolas planetario, seguidamente se determinó el grupo carboxilo con una curva de absorción de 2516 cm^{-1} que está asociada con las trazas de moléculas de agua utilizada en el molino de bolas planetario, demostrando así que se puede obtener las nanopartículas de CaCO_3 a partir de las valvas de concha de abanico utilizando un molino de bolas planetario por vía húmeda.

En cuanto a la alta pureza obtenida de un 99.74 % en peso se debe al procedimiento que se utilizó por vía húmeda ya que al incorporar el solvente agua ayuda a la purificación de la nanopartícula lo que da como resultado un carbonato de calcio limpio.

Respecto a la composición elemental de las valvas de concha de abanico que fueron de 26.10 % de carbono, 47.59 % de Oxígeno, 26.05 % de calcio y 0.26 % de hierro no se encontraron cambios significativos al ser pasadas por el molino de bolas planetario y el solvente utilizado.

Con todos los resultados que obtuvimos queda totalmente demostrado que los procesos que hemos utilizado para obtener nanopartículas de carbonato de calcio a partir de las valvas de conchas de abanico con el molino de bolas planetario por vía húmeda tienen una alta efectividad para producir nanopartículas.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar más pruebas con diferentes tipos de residuos de valvas de conchas y realizar contrastaciones con las valvas de conchas de abanico y evaluar el grado de pureza y que tipo de polimorfo contiene cada una de ellas.
- Se recomienda realizar el mismo método, pero con mayores cantidades de valvas de conchas de abanico y determinar el rendimiento de las nanopartículas.
- Elaborar más investigaciones para encontrar en qué momento se produce la desintegración de los aglomerados en fragmentos más pequeños
- Desarrollar más trabajos utilizando la misma metodología en las valvas de concha de abanico, pero modificando el tipo de solvente para evaluar si se pueden sintetizar aún más y encontrar nanopartículas más pequeñas que las halladas en esta investigación.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Babou-Kammoe, R., Hamoudi, S., Larachi, F., y Belkacemi, K. (2012). Synthesis of CaCO_3 nanoparticles by controlled precipitation of saturated carbonate and calcium nitrate aqueous solutions. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 90(1), 26–33. <https://doi.org/10.1002/cjce.20673>
- Badnore, A. U., y Pandit, A. B. (2015). Synthesis of nanosized calcium carbonate using reverse miniemulsion technique: Comparison between sonochemical and conventional method. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 98, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2015.10.003>
- Bastakoti, B. P., Guragain, S., Yokoyama, Y., Yusa, S. I., y Nakashima, K. (2011). Synthesis of hollow CaCO_3 nanospheres templated by micelles of poly (styrene-*b*-acrylic acid-*b*-ethylene glycol) in aqueous solutions. *Langmuir*, 27(1), 379–384. <https://doi.org/10.1021/la103660x>
- Carrillo. (2017). Viabilidad del reciclaje de la concha de abanico en la industria de la construcción. [Tesis de Maestría Universidad de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3274/MAS_MDG_197.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Chen, Y., Lian, X., Li, Z., Zheng, S., y Wang, Z. (2015). Effects of rotation speed and media density on particle size distribution and structure of ground calcium carbonate in a planetary ball mill. *Advanced Powder Technology*, 26(2), 505–510. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2014.12.007>
- Chu. (2019). Impactos Ambientales negativos en el proceso primario del cultivo de la concha de abanico *Argopecten purpuratus* (LAMARCK, 1819) en la bahía de Sechura –Piura -Perú [Tesis de Pregrado Universidad Nacional de Piura].

<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2249/FIP-CHU-NEY>

2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Elkhatib, E. A., Mahdy, A. M., y Salama, K. A. (2015). Green synthesis of nanoparticles by milling residues of water treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 13(3), 333–339. <https://doi.org/10.1007/s10311-015-0506-6>

Fadia, P., Tyagi, S., Bhagat, S., Nair, A., Panchal, P., Dave, H., Dang, S., y Singh, S. (2021). Calcium carbonate nano- and microparticles: synthesis methods and biological applications. In 3 Biotech (Vol. 11, Issue 11). *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02995-2>

Fritsch. (2020). Instructivo de servicio monomolino planetario pulverisette 6 classic line. www.fritsch.de

Gbadeyan, O. J., Adali, S., Bright, G., Sithole, B., y Onwubu, S. (2020). Optimization of Milling Procedures for Synthesizing Nano-CaCO₃ from Achatina fulica Shell through Mechanochemical Techniques. *Journal of Nanomaterials*. <https://doi.org/10.1155/2020/4370172>

Gómez Santiago, M., Cholico-González, D., Ortiz Lara, N., y Escudero García, R. (2022). Caracterización de un mineral carbonáceo e identificación del efecto preg-robbing. *Epistemos*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemos.v16i32.205>

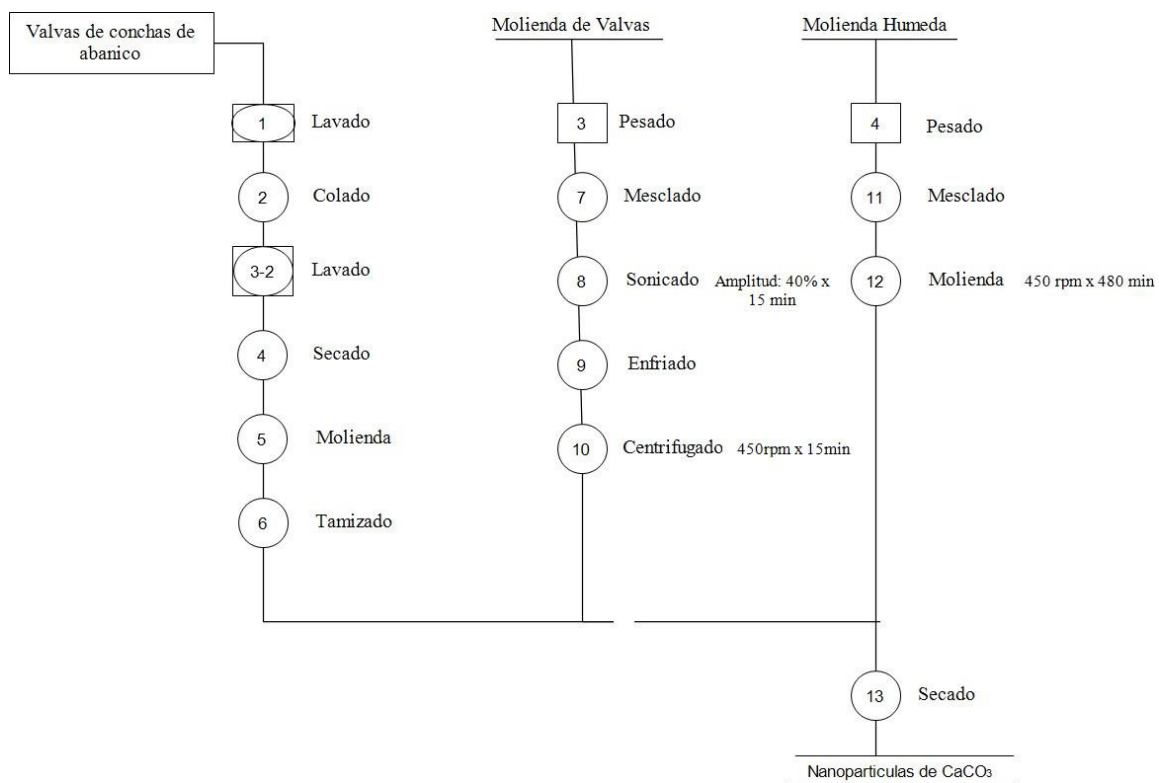
Islam, K. N., Zuki, A. B. Z., Ali, M. E., Bin Hussein, M. Z., Noordin, M. M., Loqman, M. Y., Wahid, H., Hakim, M. A., y Abd Hamid, S. B. (2012). Facile synthesis of calcium carbonate nanoparticles from cockle shells. *Journal of Nanomaterials*. <https://doi.org/10.1155/2012/534010>

- Jacinto. (2021). Mejoramiento mecánico de suelos blandos en la sub rasante, utilizando residuos de bivalvos de la bahía de Sechura. (2020). [Tesis de Posgrado Universidad Nacional de Piura]. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2932>
- Li, C., Liu, X., Liu, B., Ma, B., Liu, F., Liu, G., Shi, Q., y Wang, C. (2018). Draft genome of the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus*. *GigaScience*, 7(4). <https://doi.org/10.1093/gigascience/giy031>
- Mendo y Quevedo. (2020). La cadena de valor de la concha de abanico. file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Conchaabanico_compressed.pdf
- Ministerio de la Producción. (2022). Manual para una acuicultura sostenible Cultivo de Concha de Abanico. *Red Nacional de Información Acuícola* <https://rnia.produce.gob.pe/manual-para-una-acuicultura-sostenible-cultivo-de-concha-de-abanico/>
- Mollusca Base eds. (2023) Mollusca Base. *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). Accedido a través de: Registro Mundial de Especies Marinas en: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=394269> el 2023-08-21
- Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES). (2021). Sanipes reevaluará la bahía de Sechura donde se produce el 80% de conchas de abanico para exportación – Noticias - Organismo Nacional de Sanidad Pesquera - Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/sanipes/noticias/488013-sanipes-revaluara-la-bahia-de-sechura-donde-se-produce-el-80-de-conchas-de-abanico-para-exportacion>.
- Özcan-Taşkin, N. G., Padron, G., y Voelkel, A. (2009). Effect of particle type on the mechanisms of break up of nanoscale particle clusters. *Chemical Engineering Research and Design*, 87(4), 468–473. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2008.12.012>

- Ruiz, Y., & Torres, W. (2015). Síntesis de nanopartículas de carbonato de calcio: control de tamaño y fase cristalina. [Tesis de Posgrado Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/15630>
- Saavedra. (2016). Interacción de la concha de abanico triturada con los agregados triturados y redondeados en mezclas de concreto. [Tesis de Pregrado Universidad de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/2582>
- Soni, P., Ruiz, E., Lozano, T., Beatriz Morales, A., Lafleur, P., y Martinez, G. (2014). Mejoramiento de la Tenacidad de Polipropileno con nanopartículas de Carbonato de Calcio. *Química Hoy Chemistry Sciences* <https://doi.org/10.29105/qh4.4-31>
- Vega, L. E. R., Leiva, D. R., Leal Neto, R. M., Silva, W. B., Silva, R. A., Ishikawa, T. T., Kiminami, C. S., y Botta, W. J. (2020). Improved ball milling method for the synthesis of nanocrystalline TiFe compound ready to absorb hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(3), 2084–2093. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.035>
- Zakaria, N. I., Mohammad, R., Hanifah, S. A., Kamarudin, K. H., y Ahmad, A. (2021). Low cost and eco-friendly nanoparticles from cockle shells as a potential matrix for the immobilisation of urease enzyme. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(4). <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103056>






IX. ANEXOS

Anexo A. Diagrama del proceso de la elaboración de la nanopartícula



Fuente: Elaboración propia

Anexo B. Diagrama complementario

Descripción de la actividad	TIEMPO (Días)						Observaciones
1. Lavar las valvas con agua potable	2						
2. Colar en un recipiente	1						
3. Lavar las valvas con agua destilada	1						
4. Secar en el horno	5						
5. Moler en el molino de martillo	2						
6. Tamizar	1						
7. Sonicar	2						Se sonicó 10g de muestra
8. Observar en microscopio las micropartículas	3						
9. Centrifugado	1						Se centrifugo 450 rpm x 15 minutos
10. Molienda en el Molino de bolas Planetario	8						Se molió 450 rpm x 480
11. Secar en el horno	4						
12. Transferir las muestras en frascos previamente rotulados	2						
13. Traslados a realizar los análisis	2						
14. Obtención de nanopartículas	2						
15. Tiempo total de la investigación	9 meses						

Fuente: Elaboración propia

Anexo C. Recepción de las conchas de abanico *Argopecten purpuratus* en el laboratorio

La figura 20 la recepción de las conchas de abanico en el laboratorio de GEIA.

Figura 20

Recepción de las conchas de abanico.



Figura 21

Clasificado y pesado de las valvas de conchas de abanico.



ANEXO D. Elaboración del secado

El Secado se realizó en el laboratorio de la empresa GEIA como se muestra en la figura 22.

Figura 22

Secado de las valvas de conchas de abanico.



ANEXO E. Elaboración de la molienda

Las figuras 23 y 24 muestran la elaboración de la primera molienda de las valvas de conchas de abanico en el laboratorio GEIA.

Figura 23

Molienda de las valvas de concha de abanico.

**Figura 24**

Molienda y pesado de las valvas de conchas de abanico.



ANEXO F. Tamizado de las micropartículas

Las figuras 25 y 26 muestran el tamizado de las micropartículas obtenidas de lamolienda con el molino de martillo.

Figura 25

Tamizado de las micropartículas de conchas de abanico

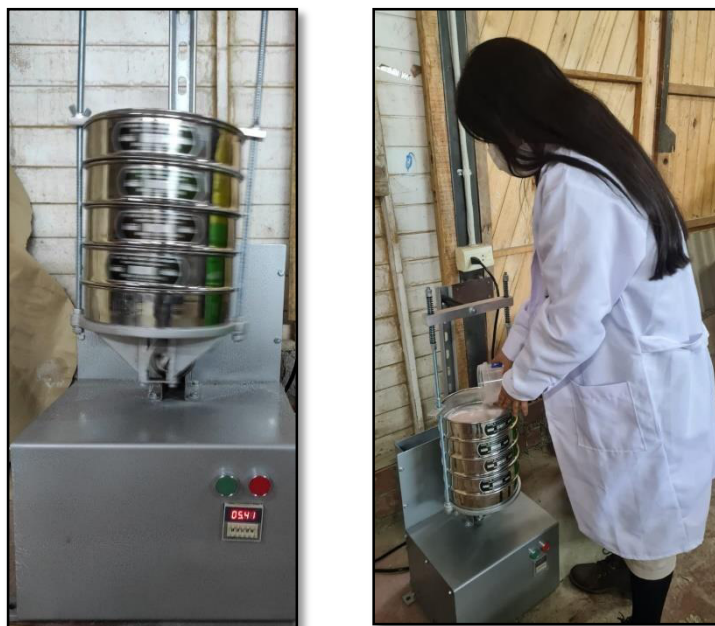


Figura 26

Recepción de las diferentes medidas de micropartículas de carbonato de calcio.



ANEXO G. Elaboración del sonicado con el solvente H₂O

Las figuras 27, 28 y 29 muestran la elaboración y proceso del sonicado con el solvente agua.

Figura 27

Preparación de la muestra para el sonicado con el solvente agua.

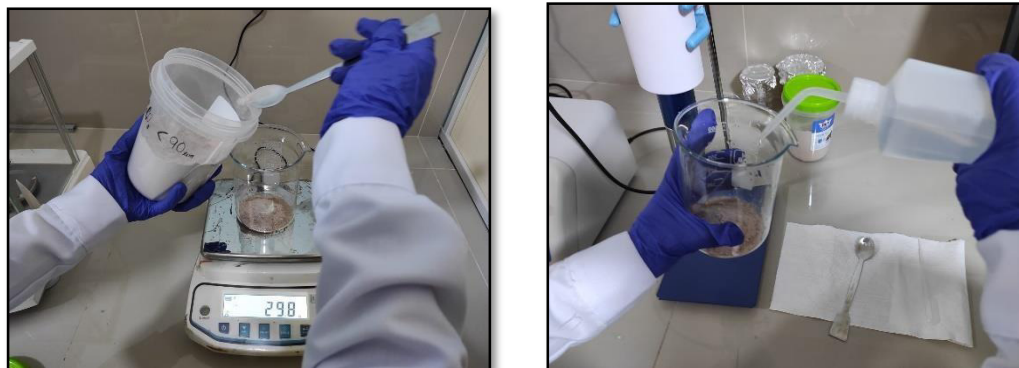


Figura 28

Proceso de sonicado con el solvente agua.

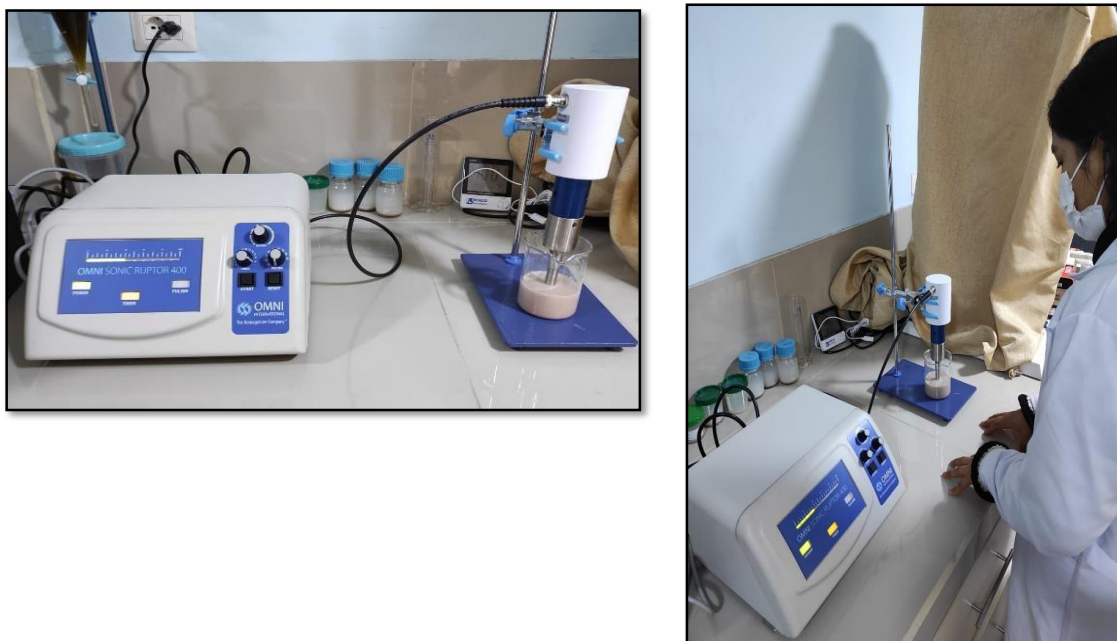
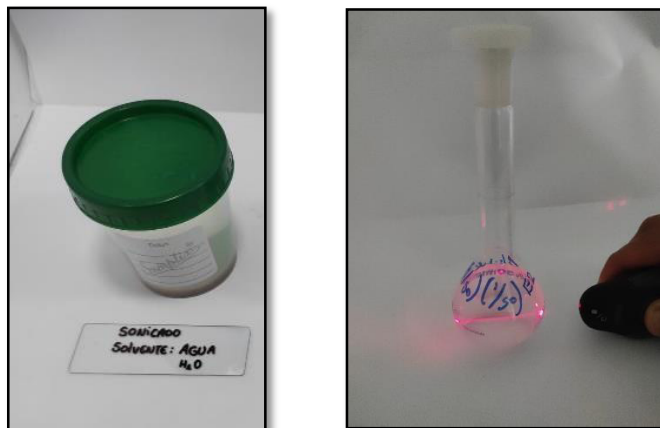


Figura 29

Resultado del sonicado con el solvente agua.

**ANEXO H. Vista en el microscopio**

La figura 30 muestra la observación a través de la microscopía óptica los resultados del sonicado para observar el tamaño promedio encontrado después del proceso de sonicado y la figura 31 muestra el centrifugado de las muestras.

Figura 30

Medición de las posibles micropartículas.

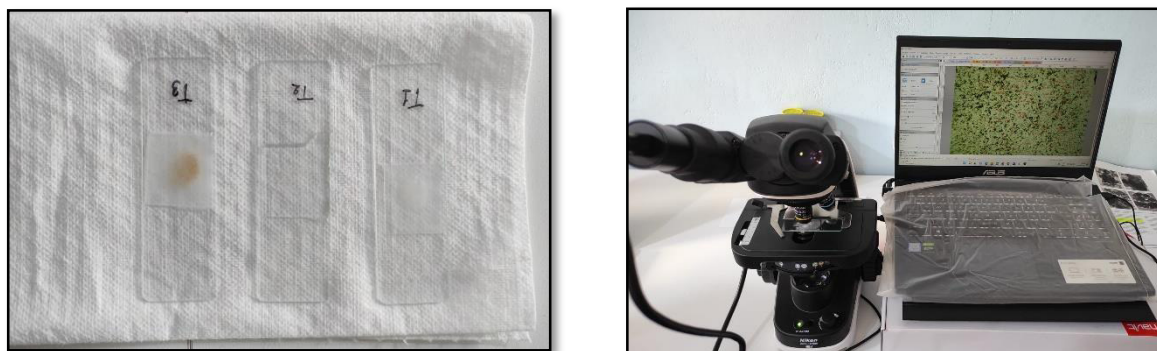


Figura 31

Centrifugado de las muestras.



ANEXO J. Proceso de molienda húmeda en el MBP

Las figuras 32 y 33 muestran el proceso de la elaboración para introducir la muestra al molino de bolas planetario y posterior molienda.

Figura 32

Proceso de elaboración para la molienda en el molino de bolas planetario



Figura 33

Molienda húmeda con el molino de bolas planetario

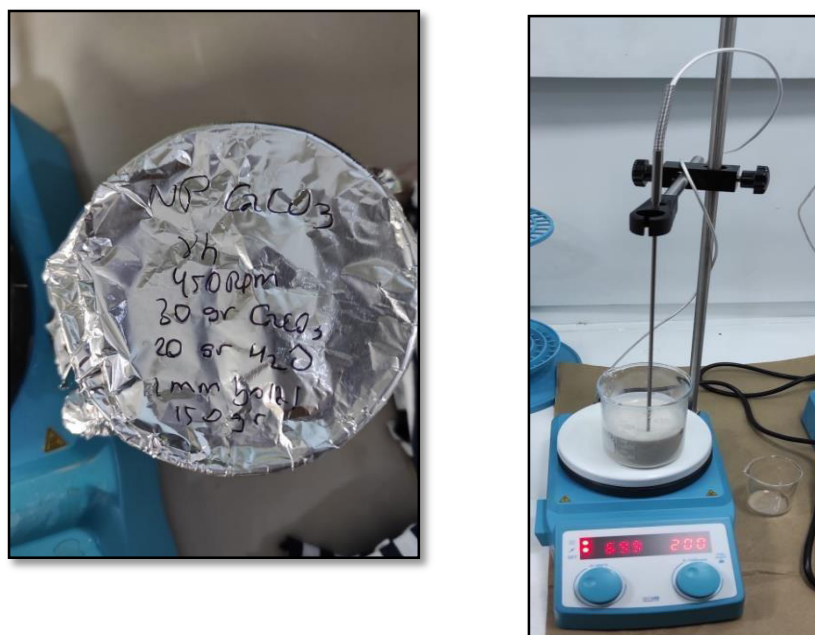


ANEXO K. Evaporación de los solventes

La figura 34 muestra la elaboración de evaporización del solvente agua.

Figura 34

Evaporación del solvente en la campana extractora.



ANEXO M. Muestras obtenidas

La figura 35, 36 y 37 muestra los resultados obtenidos y la preparación para su posterior traslado y realizar los respectivos análisis como la microscopía electrónica de barrido, difracción de rayos X, espectroscopía infrarroja de transmisión y otros estudios.

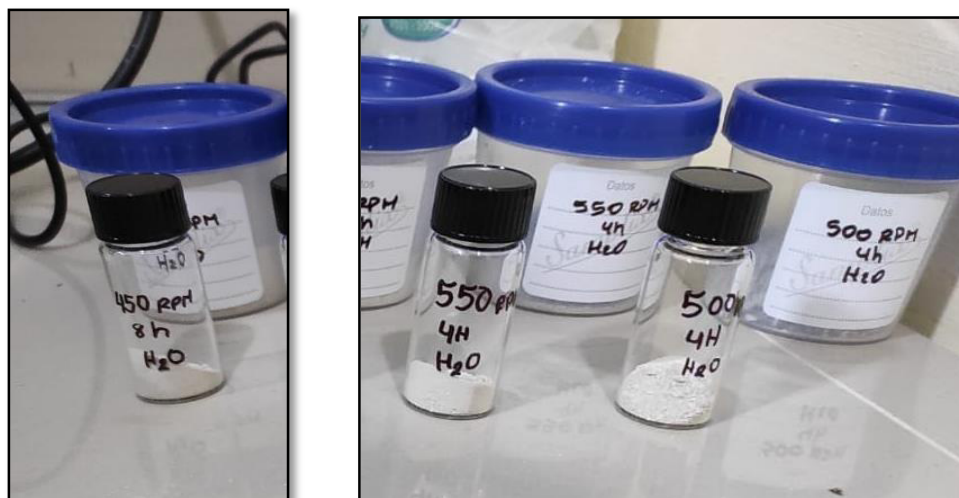
Figura 35

Muestras almacenadas para análisis de nanopartículas.



Figura 36

Muestras para el análisis de la microscopía electrónica de barrido y espectroscopía infrarroja de transmisión.

**Figura 37**

Muestras almacenadas para análisis rayos X.

