

Producción de Microcápsulas de Almidón con Aceite Esencial de Romero como
Potencial Aplicación en la Industria Textil

Natalia Tobar Cataño

UNIVERSIDAD ICESI

FACULTAD DE INGENIERIA, DISEÑO Y CIENCIAS APLICADAS

Química con énfasis en Bioquímica

Cali

2024

Producción de Microcápsulas de Almidón con Aceite Esencial de Romero como
Potencial Aplicación en la Industria Textil

Natalia Tobar Cataño

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE QUIMICO CON ÉNFASIS EN
BIOQUIMICA

Giovanni Rojas

Ph. D en

Química.

Cali

2024



AVAL PARA LA ENTREGA DE PDG II

Firma del Asesor:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Giovanni Rojas", written over a horizontal line.

Giovanni Rojas

Firma del estudiante:

A handwritten signature in black ink, reading "Natalia Tobar", written over a horizontal line.

Natalia Tobar

Tabla de Contenido

1	Resumen	5
2	Introducción.....	5
3	Metodología.....	8
3.1	Síntesis de microcápsulas	8
3.2	Cuantificación del contenido de aceite esencial al interior de las microcápsulas	9
3.3	Determinación de eficiencia de encapsulación y capacidad de carga	9
3.4	Determinación de tamaño de partícula	10
3.5	Estudio de liberación	10
4	Resultados.....	10
4.1	Cuantificación de aceite esencial dentro de la microcápsula	10
4.1.1	Curva de Calibración	10
4.1.2	Controles de las suspensiones.....	11
4.1.3	Encapsulación del aceite esencial.....	11
4.2	Determinación de tamaño en el Analysette	12
4.3	Estudio de liberación	13
4.3.1	Porcentaje de liberación.....	14
5	Discusión	15
5.1	Controles de las suspensiones.....	15
5.2	Encapsulación del aceite esencial.....	15
5.3	Determinación de tamaño en el Analysette	16
5.4	Estudio de liberación	18
6	Conclusiones.....	18
7	Agradecimientos.....	19
8	Referencias	20

1 Resumen

El sector textil cuenta con una enorme complejidad debido a la abundancia de procesos en los que participa, además de la gran aplicabilidad de sus productos en sectores como: indumentaria, textil hogar, medicina, agricultura, etc.¹ Las características de los textiles como un área superficial, textura porosa y habilidad para retener humedad y calor, los convierte en un ambiente propicio para el crecimiento de microorganismos.² Los textiles antimicrobianos cuentan con la capacidad de evitar la proliferación de microorganismos en sus fibras², su funcionamiento es debido a la microencapsulación de agentes antimicrobianos, los cuales pueden encontrarse en aceites esenciales.³ El objetivo de este estudio fue desarrollar microcápsulas de almidón capaces de almacenar y liberar el aceite esencial de romero, teniendo como objetivos específicos la caracterización fisicoquímica de las microcápsulas y el estudio de liberación de estas en un solvente. Se prepararon suspensiones con diferentes técnicas de encapsulación para sintetizar las microcápsulas. Las suspensiones fueron evaluadas mediante análisis de difracción laser y espectrofotometría, evaluando el tamaño de partícula, estabilidad a través del tiempo y liberación del aceite. Los resultados reportaron que las microcápsulas sin emulsionante presentaron una liberación más rápida, mientras que aquellas estabilizadas con este mantuvieron una liberación más controlada. Además, se observó que el tamaño promedio de las suspensiones sin Tween 80 mantenían un tamaño constante, mientras que las suspensiones que lo contenían presentaban variaciones de tamaño. Se concluyó que, la suspensión SCT80 US presenta las mejores condiciones de liberación, gracias a su potencial de liberación reducido en éter de petróleo y su eficiencia de encapsulación.

Palabras clave: *microcápsulas, Tween 80, ultrasonido, romero, encapsulación, estudio de liberación*

2 Introducción

La industria textil representa un papel importante en todo el mundo, sus estructuras a base de fibras que son utilizadas para diferentes fines. Los avances tecnológicos en la industria textil son mayormente reconocidos en prendas de vestir, sin embargo, estos juegan importantes roles en otras

industrias como: envasado de alimentos, mobiliario doméstico, textiles para automóviles, filtros de aire, dispositivos médicos, aplicaciones sanitarias, etc. Gracias a su gran superficie y habilidad para retener la humedad, los textiles son conocidos por favorecer el crecimiento de microorganismos, como bacterias y hongos, los cuales se pueden encontrar en cualquier parte y multiplicarse con facilidad, dependiendo de los factores de humedad, nutrientes y temperatura.⁴

En el campo científico, las propiedades medicinales de las plantas se encuentran en estudio debido a su baja toxicidad, actividades farmacológicas y viabilidad económica. Los principios activos obtenidos naturalmente de las plantas pueden ser compuestos, o aceites esenciales. La industria alimenticia se encuentra mayormente interesada por los compuestos naturales, ya que la aplicación directa de aceites esenciales y extractos de plantas aromáticas a los alimentos ejerce un efecto antioxidante o antimicrobiano.³ El uso de antimicrobianos (conservantes) es una práctica común, por largo años se han utilizado antimicrobianos sintetizados químicamente, que en algunos casos han causado daño en la salud de los consumidores, lo que ha generado rechazo por parte de estos hacia los productos procesados. La mayor parte de estos antimicrobianos alimentarios son bacteriostático o fungistáticos, en lugar de bactericidas, o fungicidas (refiriéndose a bacteriostático como la inhibición transitoriamente del crecimiento bacteriano y bactericida que se ejerce una acción letal para la bacteria)⁵, por lo que, su efectividad en alimentos es limitada. En el caso en que algunos de estos microorganismos puedan no verse inhibidos o destruidos por las dosis convencionales de antimicrobianos utilizados individualmente, puede utilizarse una combinación de ellos, de esta manera se amplía el espectro de cobertura en la preservación de frutas o alimentos en general.⁶

Según estudios, se ha reportado que los aceites esenciales de clavo y romero inhiben el crecimiento de bacterias y hongos. Las propiedades antimicrobianas del aceite esencial de clavo mostraron actividad inhibitoria en *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Salmonella enteritidis*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, mientras que el aceite esencial de romero es utilizado como antibacterial y agente antifúngico.⁷

Los agentes antimicrobianos pueden ser microencapsulados con el objetivo de liberarse de manera gradual a través del tiempo, esta tecnología es ampliamente utilizada en diferentes industrias, permitiendo mejorar el suministro y liberación de los materiales biológicamente activos.⁸

En la industria textil, se pueden implementar estas microencapsulaciones en los diversos textiles presentes en los servicios sanitarios, ya que, el uso de batas es ampliamente empleado como una barrera de protección a fluidos corporales y agentes infecciosos, sin embargo, su funcionalidad

protectora contra la contaminación microbiana es sobreestimada.⁹ Teniendo esto en cuenta, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo producir microcápsulas de almidón que sean capaces de almacenar y liberar un aceite esencial de romero como potencial aplicación en la industria textil?

Se sabe que, el uso de la bata en los servicios sanitarios es de carácter obligatorio, también esta norma se rige en los laboratorios de investigación. La bata desde el punto de vista práctico es una barrera mecánica entre el médico y su paciente; está destinada a evitar la contaminación de microorganismo, de la ropa de la persona que la está portando a fin de no convertirlo en un vehículo mecánico de transmisión indirecta de elementos infectantes. Se encuentran estudios que demuestran la transmisión de microorganismos a la comunidad, en el caso de los médicos y estudiantes de medicina por no despojarse de la bata en el hospital o utilizarla a lo largo del día, lo que favorece que las bacterias de la comunidad se lleven al hospital, poniendo en riesgo los pacientes hospitalizados.¹⁰

Teniendo esto en cuenta, se hace de gran importancia fijarse en los diversos textiles presentes en los servicios sanitarios, ya que, como se mencionó anteriormente, juegan un papel muy peligroso en la contaminación y transmisión microbiana, tanto los profesionales, como sus batas y uniformes. Otro factor para tener en cuenta es la frecuencia de lavado de batas, datos reportados en un estudio de revisión sistemática demostraron que el 5 al 65% de los profesionales sanitarios realizan el lavado de sus batas solo una vez cada dos semanas, y es aún más crítica respecto a los estudiantes del área sanitaria, ya que la frecuencia de lavado reportada se encuentra en cada tres semanas y media.⁹

Los textiles antimicrobianos son definidos como aquellos tejidos con la capacidad de evitar la proliferación de microorganismos en sus fibras. Estos productos son obtenidos luego de someter al textil a tratamientos o acabados finales en los cuales se adicionan productos químicos reconocidos por su acción nociva sobre diversos tipos de microorganismos. Depende del tipo de agente químico seleccionado, el textil puede adquirir propiedades biocidas (destrucción del microorganismo) o biostáticas (inhibición del crecimiento), obteniendo ambos casos textiles más higiénicos.²

Es por esta razón que, es de manera imprescindible realizar estudios acerca de los diferentes agentes antimicrobianos que pueden llegar a ser utilizados en la industria textil en microencapsulaciones para la producción de uniformes y/o batas de laboratorio que destruyan o inhiban el crecimiento de los microorganismos en estos textiles.

3 Metodología

3.1 Síntesis de microcápsulas

Se preparó suspensiones o/w (fase oleosa y fase acuosa) siendo en este caso la fase acuosa la mayor parte de la solución. Las microcápsulas son preparadas en suspensiones, las cuales contienen 3 gramos de almidón y 97 gramos de agua. Esta mezcla se calentó hasta alcanzar una temperatura de 85 °C, donde ocurrió el proceso de gelatinización y posteriormente se enfriaron a temperatura ambiente. Una vez enfriada, se adicionó 0.750 gramos de aceite esencial de romero. Una de las variables evaluadas en el proceso es la capacidad del tensioactivo Tween 80 (T80) cuyo propósito es generar una mayor encapsulación, de este se adicionó 0.250 gramos posteriormente a la adición del aceite esencial, en algunas suspensiones. Seguido de esto, llevaron distintas condiciones de encapsulamiento las cuales son mostradas en la **Tabla 1**. Además, se incluyeron controles sin aceite esencial (SA) los cuales se encuentran a un lado de la **Tabla 1**.

Entre las condiciones de encapsulamiento evaluadas, se consideraron dos factores principales: el uso de T80, previamente mencionado, y la aplicación de Ultrasonido (US) durante 2 min después del proceso de homogenización. Es importante destacar que todas las suspensiones fueron homogenizadas previamente en un equipo Ultraturrax durante 2 min a 13.500 rpm. La nomenclatura de las suspensiones se representa de la siguiente forma: “S” de suspensión, “CO” de control, “S” representa la ausencia del reactivo T80 y “C” su presencia, “SUS” el no empleo del ultrasonido y “US” el empleo del equipo. Por ejemplo, la suspensión “SST80 SUS” quiere decir suspensión sin T80 y el no empleo del ultrasonido.

Tabla 1. *Condiciones de las suspensiones y controles*

Suspensión	Condiciones	Controles	Condiciones
SST80 SUS	No US No T80	COST80 SUS	SA No T80 No US
SST80 US	Uso US No T80	COST80 US	SA No T80 Uso de US

SCT80 SUS	Uso de T80 No US	COCT80 SUS	SA Uso de T80 No US
SCT80 US	Uso de T80 Uso de US	COCT80 US	SA Uso de T80 Uso de US

3.2 Cuantificación del contenido de aceite esencial al interior de las microcápsulas

Para determinar la cantidad de aceite es necesario realizar una extracción con éter de petróleo antes de llevar a cabo el análisis espectrofotométrico (Shimadzu UV-1800 Spectrophotometer). En este paso, se comparó frente a una curva de calibración la cual fue realizada con 30 mg de aceite esencial de romero, el cual fue diluido en 10 ml de éter de petróleo (siendo este el punto de mayor concentración), de ahí en adelante se usó la ecuación $C_1V_1 = C_2V_2$ para obtener los siguientes puntos de la curva. Finalmente, se midió las absorbancias de las muestras de suspensión en el espectrofotómetro a una longitud de 265 nm y se calculó sus concentraciones mediante la ecuación de la curva de calibración. Una vez obtenidos los valores de la concentración de aceite afuera de las microcápsulas, este es restado con su concentración inicial a la hora de la preparación. Además, con el objetivo de analizar si se encontraban interferencias que pudieran afectar el resultado de las mediciones de aceite esencial de romero, se midió la absorbancia de los controles a la misma longitud de onda utilizada en las suspensiones.

3.3 Determinación de eficiencia de encapsulación y capacidad de carga

La eficiencia de encapsulación (EE%) es definida como la cantidad del compuesto que fue cargado, relacionada con la concentración inicial utilizada. Mientras que, la capacidad de carga (LC) define la cantidad de compuesto cargado por cada 100 gramos.¹¹ Esta metodología, fue seguida según¹², las ecuaciones son encontradas a continuación:

$$\%EE = \frac{\text{Aceite esencial encontrado en microcápsulas (mg)}}{\text{Aceite esencial total (mg)}} \times 100 \text{ Ec. 1}$$

$$\%LC = \frac{\text{Aceite esencial total (mg)}}{\text{Peso de la suspensión (mg)}} \times 100 \text{ Ec. 2}$$

3.4 Determinación de tamaño de partícula

Para la evaluación del tamaño de las microcápsulas estas fueron analizadas en el analysette 22, el cual es un analizador de tamaño de partícula por difracción láser. Como protocolo, en el computador conectado al equipo se utilizó el software FRITSCH MaS, se realizó una limpieza antes de leer las muestras y, se seleccionaron los parámetros adecuados a la muestra, siendo estos el tipo de dispersión, cantidad de lavados y número de mediciones. Posteriormente se introdujo una alícuota de muestra en el depósito de dispersión, configurando la cantidad de dispersante para evitar concentraciones excesivas que afecten la lectura del láser. Por último, se realizó una limpieza en el circuito de dispersión. En el equipo fueron analizadas cada muestra (en el caso de las suspensiones) el día siguiente a la creación de las microcápsulas y 7 días después, con el objetivo de evaluar su comportamiento. Por otra parte, los controles fueron evaluados al día siguiente de su producción.

3.5 Estudio de liberación

Seguido de esto, las suspensiones fueron liofilizadas, este proceso constó de su congelamiento a una temperatura de -50°C para posteriormente colocarlas en el liofilizador durante 24 horas hasta que estas presentaran una textura en polvo. Este proceso fue utilizado para determinar la liberación de aceite esencial de romero de las microcápsulas en éter de petróleo y se realizó por duplicado. En el proceso se usó 1g de suspensión y se vertió en un tubo Falcon 5 mL de buffer, después, los tubos se agitaron por 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 minutos. Durante cada intervalo de tiempo son suspendidas en centrifugadora a 3500 rpm por 5 min y se analizó el sobrenadante en el espectrofotómetro a una longitud de 265 nm.

4 Resultados

4.1 Cuantificación de aceite esencial dentro de la microcápsula

4.1.1 Curva de Calibración

Para la determinación de aceite esencial fue realizada una curva de calibración con éter de petróleo, la cual es encontrada a continuación.

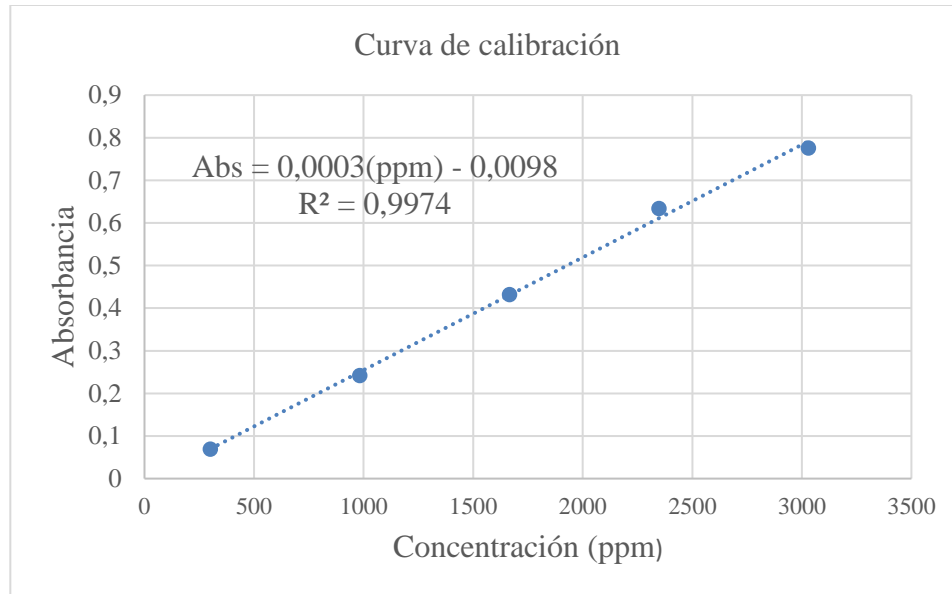


Figura 1. Curva de calibración

4.1.2 Controles de las suspensiones

En la **Tabla 2** se encuentran las absorbancias obtenidas de los controles al día 1 de su producción.

Tabla 2. Absorbancias obtenidas de los controles

Control	Absorbancia
	Día 1
COST80 SUS	0.0365
COST80 US	0.0209
COCT80 SUS	0.0458
COCT80 US	0.0547

4.1.3 Encapsulación del aceite esencial

Entre los resultados obtenidos se encuentra en la **Tabla 3** son encontradas las concentraciones obtenidas en los días 1, 5 y 20, de las suspensiones.

Tabla 3. Concentraciones obtenidas del aceite esencial dentro de las microcápsulas

Suspensión	Masa (mg)		
	Día 1	Día 6	Día 20
SST80 SUS	311	467	579
SST80 US	358	429	392
SCT80 SUS	471	456	617
SCT80 US	472	588	617

4.1.3.1 Eficiencia de encapsulación y Capacidad de carga

En los resultados se logra observar la diferencia de encapsulación debido a las variables de cada suspensión.

Tabla 4. Eficiencia de encapsulación de las suspensiones.

Suspensión	Porcentaje (%)		
	Día 1	Día 6	Día 20
SST80 SUS	4.,47	62.27	77.2
SST80 US	47.74	57.2	52.6
SCT80 SUS	62.8	60.8	82.27
SCT80 US	62.94	78.4	82.27

La capacidad de carga fue del 0,75%, lo que indica que aproximadamente el 0,75% del peso total del sistema corresponde al aceite esencial encapsulado.

4.2 Determinación de tamaño en el Analysette

En el equipo analysette 22, fueron analizadas las muestras de suspensiones de SST80 SUS, SST80 US, SCT80 SUS y SCT80 US los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 5**, estas fueron medidas en los días 1 y 8, para analizar su cambio en el tamaño con el paso del tiempo.

Tabla 5. Tamaño promedio de las microcápsulas

Suspensión	Día 1		Día 8	
	Span (d90-d10)/d50	D[4,3] (µm)	Span (d90-d10)/d50	D[4,3] (µm)
SST80 SUS	0.902	41	0.91	41
SST80 US	0.898	42	0.892	41
SCT80 SUS	5.586	32	0.88	40
SCT80 US	8.294	27	7.456	28

También fueron analizados los controles de las suspensiones, esto se realizó en el día siguiente de su producción.

Tabla 6. *Tamaño promedio de las microcápsulas de control*

Control	Día 1	
	Span (d90-d10)/d50	D [4,3] (µm)
COST80 SUS	0,89	41
COST80 US	0,89	41
COCT80 SUS	42,55	56
COCT80 US	14,136	15

Cabe aclarar que, el parámetro D[4,3] es un indicador ponderado sobre el volumen de las partículas, por el contrario, el parámetro Span corresponde a la amplitud de una distribución de tamaños basada en el volumen, esta da una indicación de la distancia entre los puntos del 10% y el 90%, normalizada con el punto medio.

4.3 Estudio de liberación

Para el estudio de liberación las suspensiones fueron sometidas a éter de petróleo por diferentes intervalos de tiempo, con el objetivo de hallar su potencial de liberación en este solvente. En la **Tabla 7**, son encontrados los resultados obtenidos en base a la **Figura 1**.

Tabla 7. *Liberación de aceite esencial con el paso del tiempo*

Minutos	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Suspensiones	Masa (mg)									
SST80 SUS	12	17	21	25	31	38	47	52	64	85
SST80 US	11	17	22	27	33	38	45	52	60	71
SCT80 SUS	10	17	20	25	31	44	44	51	60	71
SCT80 US	8	13	17	21	25	30	34	41	45	53

Con el objetivo de observar el potencial de liberación de cada suspensión, se colocaron estos resultados en la gráfica a continuación:

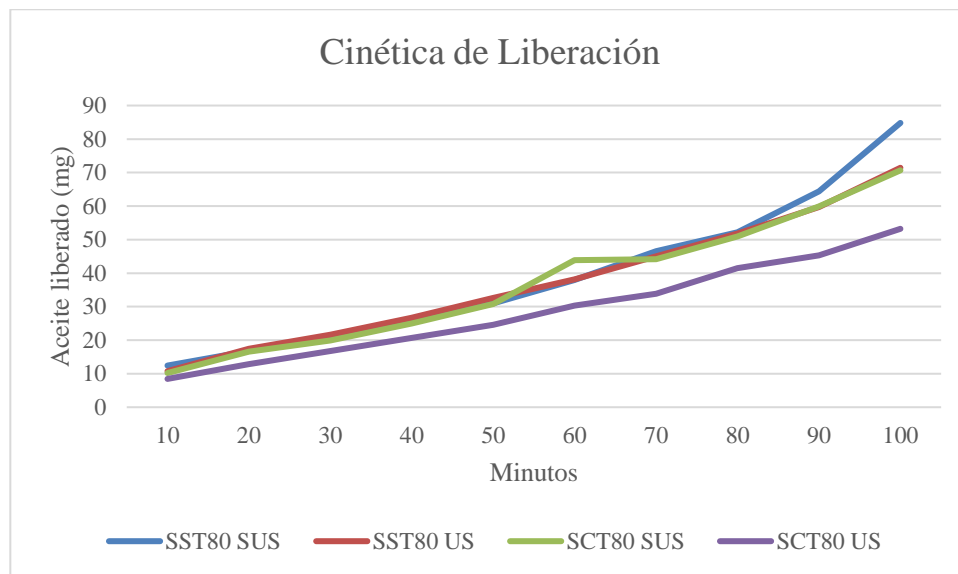


Figura 2. *Cinética de liberación*

4.3.1 Porcentaje de liberación

En la **Figura 3** se puede evidenciar las diferencias de liberación encontradas entre cada una de las suspensiones.

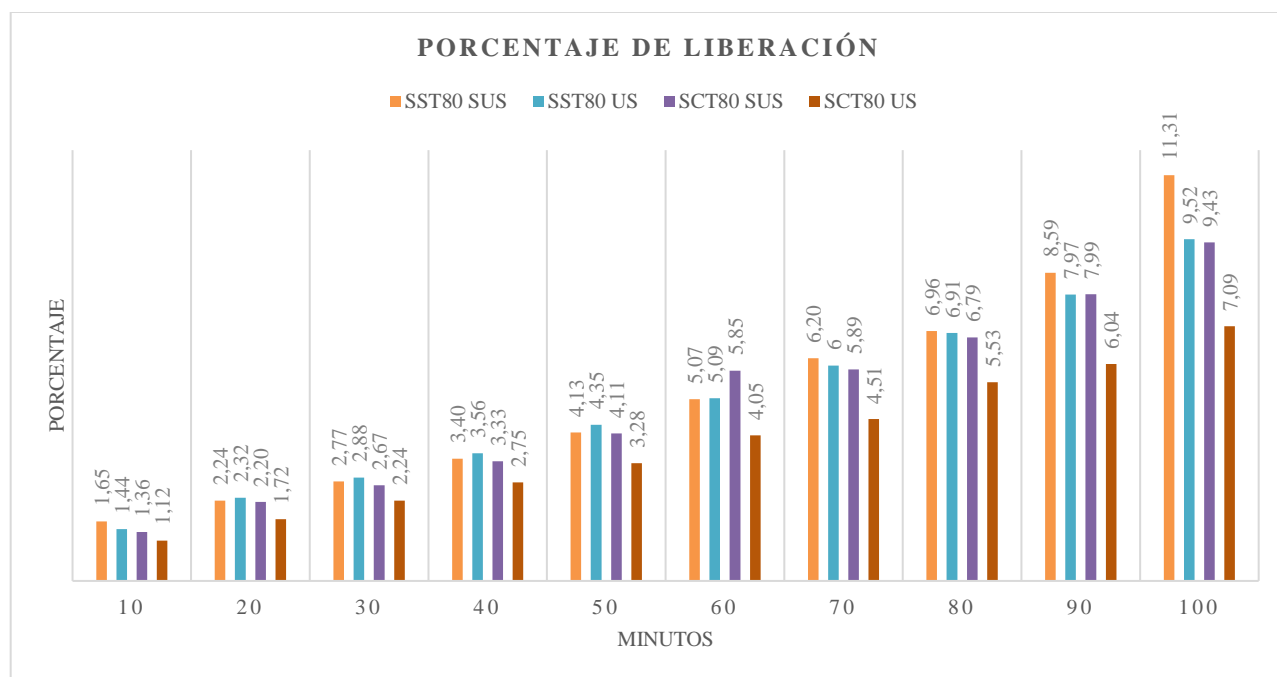


Figura 3. *Porcentaje de liberación evaluado en minutos*

5 Discusión

5.1 Controles de las suspensiones

El aceite esencial de romero está conformado en su mayor parte por 1,8-cineol (15-50%), alcanfor (15-25%), α -pineno (10-25%), canfeno (5.2-8.6%) y borneol (3.2-7.7%).¹³ Para su determinación, se seleccionó como compuesto representativo el 1,8-cineol, que, junto otros componentes del aceite, presenta una absorbancia característica una longitud de onda de 265 nm¹⁴, facilitando de esta manera su análisis.

En los controles realizados, se observaron valores de absorbancia más bajos de los que se encontraban cuando la suspensión contenía aceite esencial de romero, lo que demostró que la ausencia de aceite esencial no interfiere con las mediciones cuando las microcápsulas contienen el ingrediente activo.

5.2 Encapsulación del aceite esencial

El almidón es un polisacárido compuesto por amilosa y amilopectina, estas permiten determinar la absorción y retención de agua, además de su capacidad de formación de geles. Los polímeros del

almidón forman gránulos gelatinizados donde se incrementan la rigidez entre y dentro de los gránulos hinchados. La amilosa se encarga de gelificar fuera del gránulo después de la gelatinización, mientras que, la amilopectina permanece dentro del gránulo hinchado donde se cristaliza y juntas forman una matriz¹⁵, lo que lo hace un buen agente encapsulante. Para mejorar la encapsulación del aceite en algunas suspensiones fue utilizado el tensioactivo no iónico Tween 80, el cual tiene un carácter hidrófilo, además, es considerado como un emulsificante y dispersante de sustancias en productos medicinales y alimentarios.¹⁶

Los resultados obtenidos en la **Tabla 3** muestran que las suspensiones con T80 evidenciaron un mayor nivel de encapsulación con el paso de los días, en comparación con las que no lo presentaban. Este comportamiento es debido a que, el almidón pasa por un proceso de retrogradación, el cual hace referencia al comportamiento de recristalización de almidones gelatinizados durante el enfriamiento y almacenamiento, acompañado por el endurecimiento y la filtración de agua del gel de almidón.¹⁷ Adicionalmente, el T80, al actuar como plastificante forma una interacción entre el surfactante y la matriz polimérica, generando un aumento en la resistencia máxima a la tensión y elongación máxima.¹⁸ Estos efectos, de reorganización del almidón y de mejora de la flexibilidad de la matriz por el T80, explica por qué las suspensiones con este componente encapsulan progresivamente más aceite esencial con el tiempo y destacan por su eficiencia de encapsulación, la cual es mostrada en la **Tabla 4**.

Los resultados obtenidos en la eficiencia de encapsulación y capacidad de carga fueron bajos, ya que el valor máximo esperado sería del 100%, se observó como la eficiencia de encapsulación subía con el paso del tiempo. Para futuras investigaciones, se podría sugerir extender el tiempo de análisis en el caso de la eficiencia de encapsulación y para la capacidad de carga modificar la cantidad de aceite esencial. Además, podría utilizarse almidón modificado para comprobar el nivel de encapsulación de este junto con el T80.

5.3 Determinación de tamaño en el Analysette

Las emulsiones, al igual que las suspensiones, son mezclas heterogéneas. Su diferencia se encuentra en que las emulsiones presentan dos líquidos inmiscibles dispersos entre sí, mientras que, las suspensiones presentan partículas sólidas dispersas en un medio líquido o gaseoso, en el que suele sedimentarse con el tiempo si no es utilizado un estabilizante. Para este estudio, se evaluarán las suspensiones como emulsiones con el objetivo de entender el comportamiento de las

microcápsulas.

Las emulsiones tienen un tamaño de partícula que varía entre 1 μm y 100 μm .¹⁹ Estas emulsiones son termodinámicamente inestables y se separan sin la presencia de un estabilizador.²⁰ La estabilidad de una emulsión puede incrementar con la adicción de un emulsificante para reducir la tensión superficial y evitar la floculación por absorción en la superficie de las gotas. Su principal objetivo es evitar la agregación de nuevas gotas formando una capa protectora y disminuyendo la tensión interfacial, evitando la coalescencia.²¹

La emulsificación asistida por ultrasonidos se ha utilizado exitosamente para preparar emulsiones O/W. El proceso de cavitación, generado por el ultrasonido, ayuda a la formación de nanoemulsiones de forma que se produce una rápida formación y rompimiento de microburbujas en la interfaz de dos mezclas inmiscibles (continua y dispersa) bajo la influencia de un campo acústico de alta intensidad.²² En un sistema de almidón en agua, la sonicación crea localmente una fuerza de corte a través de los fenómenos de cavitación, altas temperaturas y radicales libres que pueden generar cambios en la estructura y propiedades del biopolímero.²³

En los resultados obtenidos en la **Tabla 5** se evidencia la regularidad en el tamaño de las partículas en las suspensiones SST80 SUS, SST80 US y SCT80 US con una variación de ± 1 entre los días 1 y 6. Sin embargo, la suspensión SST80 SUS presenta una gran diferencia en el tamaño de las partículas, posiblemente atribuida a las mediciones realizadas por el equipo. Este resultado se ve apoyado por el valor del span presentado en la tabla, que refleja la influencia de tamaños desiguales registrados en el día 1. Una observación similar es observada en la suspensión SCT80 US, donde a pesar de la variación en los días 1 y 6, el tamaño promedio de las partículas se mantiene constante. Este comportamiento podría estar relacionado con el proceso de cavitación y el uso del emulsificante, ya que, ninguna otra suspensión mostró un tamaño similar.

En la **Tabla 6** se presentan los tamaños de partículas de las suspensiones control en el día 1. Los controles COST80 SUS y COST80 US muestran un buen span junto con un tamaño promedio similar. No obstante, el tamaño del control COCT80 SUS registra el tamaño más alto de la medición y un span elevado, atribuido a la presencia de partículas de tamaño desiguales. El control COCT80 US, a pesar de presentar un span alto, tiene el tamaño promedio más bajo de todas las mediciones. En el caso del control COCT80 SUS, se presentó una mayor distribución hacia tamaños grandes, mientras que, en el caso de COCT80 US la distribución estuvo compuesta principalmente por tamaños muy pequeños.

Finalmente, los resultados reportados en la **Tabla 5** y **6**, correspondientes a las suspensiones y

controles que contienen T80, muestran que su presencia influye en el tamaño de las partículas. Sin embargo, es el proceso de cavitación el que permite homogenizar la distribución de tamaño. Esto podría explicarse por una dispersión inicial no uniforme del T80 durante el proceso de encapsulación.

5.4 Estudio de liberación

La liberación de compuestos bioactivos a partir de distintos sistemas coloidales puede ocurrir a través de uno de los siguientes procesos: disolución (por desorción del ingrediente bioactivo adsorbido a una superficie), difusión a través de la matriz o película interfacial, erosión de la matriz o película interfacial y/o una combinación de estos procesos.²⁴

El éter de petróleo es una fracción de petróleo ligera y volátil, compuesta mayormente de hidrocarburos alifáticos. Es un disolvente líquido común de hidrocarburos que no contiene grupos funcionales de éter.²⁵ En este estudio, se seleccionó el éter de petróleo como solvente para las suspensiones en el estudio de liberación, puesto que, al ser un compuesto apolar se diluía con facilidad en el aceite esencial de romero, permitiendo de esta manera el análisis en el espectrofotómetro. Cabe mencionar que, investigaciones previas han reportado el uso éter de petróleo y hexano como solventes para la extracción de aceite de semillas de Palmiste, logrando ambos un rendimiento óptimo en dicho proceso.²⁶

En la **Figura 2** se observa el perfil de liberación de cada suspensión, destacándose que, la suspensión SST80 SU muestra una liberación más rápida, mientras que, la suspensión SCT80 US presenta la liberación más lenta. Este comportamiento puede atribuirse a las diferencias de estabilidad de los sistemas. En el caso de la suspensión de SST80 SUS se presenta una rápida liberación de aceite esencial debido a la fragilidad del sistema ocasionada por la ausencia de un estabilizador. Por otro lado, la suspensión SCT80 US presenta una liberación más controlada, atribuida a la presencia de este.

Las suspensiones SST80 US y SCT80 SUS presentan un perfil de liberación semejante, lo cual lleva a considerar que, a pesar de que sus variables se encuentran intercambiadas, estas no afectan en la liberación de aceite esencial, llegando a generar el mismo potencial de liberación.

6 Conclusiones

La metodología empleada fue exitosa en formar las microcápsulas, encapsular y liberar el aceite esencial, debido a que los controles sin aceite no presentaron absorbancias significativas relevantes a una longitud de onda de 265 nm. El potencial de liberación disminuye con el uso de Tween 80 y este genera también un mayor porcentaje de encapsulación con el paso del tiempo. El uso de ultrasonido como variables en las suspensiones afecta significativamente con el uso de este tensioactivo, sin embargo, presenta un porcentaje de liberación similar en las suspensiones SST80 US y SCT80 SUS. La microencapsulación de aceite esencial de romero en textiles representa una solución innovadora para el desarrollo de uniformes y/o batas de laboratorio con una protección natural y efectiva contra microorganismos. Gracias a su liberación controlada, se garantiza la conservación del efecto antimicrobiano durante un periodo prolongado. Los resultados obtenidos indican que la suspensión SCT80 US posee las propiedades necesarias para su aplicación como un acabado textil eficiente, lo cual abre la posibilidad de desarrollarla más a fondo en futuras investigaciones.

7 Agradecimientos

Al finalizar este proyecto, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis.

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud a mi tutor de tesis Giovanni Rojas por su gran paciencia, apoyo y dedicación durante este año para llevar a cabo el desarrollo de mi proyecto de grado.

A mi pareja, Juan Pablo González, por ser mi mayor fuente de apoyo emocional y motivación. Gracias por llegar en el momento indicado, por tus palabras de ánimo y motivación, que me brindaban calma cuando más lo necesitaba.

A mis padres, por su amor incondicional y apoyo constante. Por ser mi hogar y brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas.

A mis amigos Sarita Quintero y Samuel Ardila, quienes, a pesar de la distancia, encontraron la manera de estar cerca de mí y brindarme su apoyo incondicional.

A la Universidad Icesi, por ofrecerme los recursos, conocimientos y oportunidades necesarias para la realización de esta investigación. Además, extendiendo mi agradecimiento a las personas del almacén y asistentes de laboratorio, quienes me apoyaron a lo largo de este proyecto y atendieron con diligencia todas las necesidades que surgieron durante su desarrollo.

8 Referencias

1. Carmona, C. G. *Desarrollo de Microcápsulas Rígidas de Fragancia y de Técnicas Que Permitan La Cuantificación de La Eficiencia de Encapsulación*. <http://www.tdx.cat/?locale-> (2019).
2. Muñoz Echeverri, L. M. Acabados Antimicrobianos en Textiles: Tendencias y Aplicaciones. *Encuentro Sennova del Oriente Antioqueño* **5**, 17–32 (2020).
3. Chouhan, S., Sharma, K. & Guleria, S. Antimicrobial Activity of Some Essential Oils— Present Status and Future Perspectives. *Medicines* **4**, 58 (2017).
4. Morais, D. S., Guedes, R. M. & Lopes, M. A. Antimicrobial Approaches for Textiles: From Research to Market. *Materials 2016, Vol. 9, Page 498* **9**, 498 (2016).
5. Calvo, J. & Martínez-Martínez, L. Mecanismos de acción de los antimicrobianos. *Enferm Infecc Microbiol Clin* **27**, 44–52 (2009).
6. Aguilar, A. *Extractos y Aceite Esencial Del Clavo de Olor (Syzygium Aromaticum) y Su Potencial Aplicación Como Agentes Antimicrobianos En Alimentos*. <https://www.researchgate.net/publication/339310008> (2013).
7. Fu, Y. *et al.* Antimicrobial activity of clove and rosemary essential oils alone and in combination. *Phytotherapy Research* **21**, 989–994 (2007).
8. Nava Reyna, E., Michelena Álvarez, G., Iliná, A. & Martínez Hernández, J. L. Microencapsulación de componentes bioactivos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 64–70 (2015) doi:10.33064/iycuaa2015663571.
9. Schneider, G. *et al.* The use of antimicrobial-impregnated fabrics in health services: an integrative review. *Rev Lat Am Enfermagem* **29**, (2021).
10. Gonzales, L. O. El médico y su bata, vector de enfermedades. *Acta Pediátrica de México* **33**, 107–108 (2012).
11. Suárez H., M. & Brito D., C. EFICIENCIA DE ENCAPSULACION Y CAPACIDAD DE CARGA DE ANTOCIANINAS DE *Vaccinium floribundum* Kunt EN NANOPARTICULAS DE ZEINA. *infoANALÍTICA* **8**, 83–97 (2020).
12. Keawchaon, L. & Yoksan, R. Preparation, characterization and in vitro release study of carvacrol-loaded chitosan nanoparticles. *Colloids Surf B Biointerfaces* **84**, 163–171 (2011).
13. Flores-Villa, E., Sáenz-Galindo, A., Castañeda-Facio, A. O. & Narro-Céspedes, R. I.

- Romero (*Rosmarinus officinalis* L.): su origen, importancia y generalidades de sus metabolitos secundarios. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* **23**, (2020).
14. Martínez, A. ACEITES ESENCIALES. *Universidad de Antioquia* (2001).
 15. Ingrid, A. *Encapsulación de Un Consorcio Microbiano Con Actividad Promotora de Crecimiento Vegetal (PGPM) En Una Matriz de Almidón de Yuca y Alginato*. (2021).
 16. Ruiz, S. *Efecto de Emulsionantes En microcápsulas de Grasa Dura*. (2015).
 17. Solarte-Montúfar, J. G., Díaz-Murangal, A. E., Osorio-Mora, O. & Mejía-España, D. F. Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Información tecnológica* **30**, 35–44 (2019).
 18. Delgado, K. L., Varona, G. A., Montilla, C. E. & Villada, H. S. Efecto del Aditivo Tween 80 y de la Temperatura de Procesamiento en las Propiedades Mecánicas de Tensión de Películas Flexibles Elaboradas a Partir de Almidón de Yuca Termoplástico. *Información tecnológica* **27**, 145–152 (2016).
 19. Maria, J., Alvarez, G., De, U., Andes, L. & De Ingeniería, F. *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOCOLO PARA LA OBTENCIÓN DE MICROEMULSIONES CON PERFLUOROCARBONOS*. (2002).
 20. Retiz, C. M., Álvarez, Ó. & Restrepo, D. *ELABORACIÓN DE CERÁMICOS EN VERDE A PARTIR DE EMULSIONES-SUSPENSIONES DE POLVO DE ALÚMINA*.
 21. Kori, A. H. *et al.* Effect of process parameters on emulsion stability and droplet size of pomegranate oil-in-water. *Grasas y Aceites* **72**, (2021).
 22. Abbas, S., Hayat, K., Karangwa, E., Bashari, M. & Zhang, X. An Overview of Ultrasound-Assisted Food-Grade Nanoemulsions. *Food Engineering Reviews* **5**, 139–157 (2013).
 23. Alzate, P., Gerschenson, L. & Flores, S. Ultrasound application for production of nano-structured particles from esterified starches to retain potassium sorbate. *Carbohydr Polym* **247**, 116759 (2020).
 24. Hernández, N. Y. *CINÉTICA DE LIBERACIÓN DE CAFEÍNA EN EMULSIONES MÚLTIPLES ESTABILIZADAS POR COMPLEJOS SOLUBLES BINARIOS Y TERNARIOS DE CARBOXIMETILCELULOSA, PROTEÍNAS DE SUERO Y PÉPTIDOS*. (2015).
 25. Éter de petróleo | Fisher Scientific. <https://www.fishersci.es/es/es/browse/80013640/%C3%A9ter-de-petr%C3%B3leo?page=1>.
 26. Salam, K. A., Makun, B., Evuti, A. M. & Adepoju, T. F. Mixed Aqueous Surfactants

Solution for Rapid Oil Extraction from Palm Kernel Seed. *Nig. J. Pure & Appl. Sci* **34**, 2021 (2021).