

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE UN AGENTE
DESMOLDANTE PARTIENDO DE ACEITES VEGETALES, PARA USO EN LA
INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

JADER ORTIZ PINTO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2020

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE UN AGENTE
DESMOLDANTE PARTIENDO DE ACEITES VEGETALES, PARA USO EN LA
INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

JADER ORTIZ PINTO

Proyecto integral de grado para optar título de:
INGENIERO QUÍMICO

Director
Andrés Felipe Sánchez Akli
MSc. Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2020

Nota de aceptación:

Bogotá D.C, octubre de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano Facultad de Ingenierías

Dr. Julio César Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. Iván Ramírez Marín

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

Sea esta la oportunidad para darle gracias a Dios por permitir culminar esta etapa, pero sobre todo por colmarme de sabiduría, entendimiento y fortaleza, por convertirme en una persona paciente y perseverante en momentos difíciles. Al Sr. Jorge Montenegro y a la Sr(a) Angela Montenegro en representación de la compañía Sigra S.A, mis más sinceros agradecimientos por el voto de confianza que depositaron en mi para llevar a cabo este proyecto de investigación y por ser facilitadores de los recursos requeridos para su consecución. Al director de trabajo de grado, Andrés Felipe Sánchez Akli, agradezco de igual manera su voto de confianza, que desde la dirección de investigación y desarrollo contribuyo de forma integral e incondicional en el alcance de los objetivos de esta investigación. A mi mamá, quien ha forjado en mi principios y conocimientos para ser una persona dispuesta al servicio de la sociedad, con la esperanza de tener una sociedad más equitativa y justa. A mis hermanos, por su apoyo y generosidad en los distintos momentos. A la Universidad de América por su contribución desde las diferentes áreas como el cuerpo de docentes, quienes nos han acompañado a los estudiantes en todo este proceso de formación y a todos sus colaboradores.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	22
INTRODUCCIÓN	24
OBJETIVOS	26
1. GENERALIDADES	27
1.1 MATERIALES PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	27
1.1.1 Concreto	27
1.1.2 Formaletas	28
1.2 AGENTE DESMOLDANTE	28
1.2.1 Agente desmoldante partiendo de aceites minerales	28
1.2.2 Agente desmoldante partiendo de aceites vegetales	29
1.3 EMULSIONES	30
1.3.1 Materia prima que actúa como fase continua	31
1.3.2 Materia prima que actúa como fase dispersante	31
1.3.3 Emulsificante	33
1.3.4 Estabilidad de las emulsiones	33
1.3.5 Materias primas hidrofílicas	34
1.3.6 Materias primas hidrofóbicas	34
1.3.7 Materias primas anfifílicas	35
1.3.8 Aceites vegetales	35
1.3.9 Aceites vegetales usados	36
1.3.10 Aceites minerales	36
2. METODOLOGÍA	37
2.1 SELECCIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN Y MATERIA PRIMAS	37
2.1.1 Condiciones de operación	37
2.1.2 Selección de materias primas	38
2.2 SELECCIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES Y EMULSIONES DE ACUERDO CON SU DESEMPEÑO EN PRE-EXPERIMENTACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN	40
2.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS ACEITES VEGETALES	45
2.4 ELABORACIÓN DE LAS EMULSIONES	46
3. SELECCIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN Y MATERIAS PRIMAS	48
3.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN	48
3.2 SELECCIÓN DEL ACEITE VEGETAL	48
3.2.1 Aceite vegetal usado	49
3.2.2 Aceite de palma	51
3.2.3 Mercados mundiales y comercio de soya	53

3.2.4 Requerimientos de los aceites vegetales para uso como desmoldantes	54
4. DESARROLLO PRE-EXPERIMENTAL Y EXPERIMENTAL PARA LA PRODUCCIÓN DE UN AGENTE DESMOLDANTE PARTIENDO DE ACEITES VEGETALES	57
4.1 SELECCIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES DE ACUERDO CON SU DESEMPEÑO EN UNA PRE-EXPERIMENTACIÓN	57
4.1.1 Aplicación de los aceites vegetales en las formaletas	58
4.1.2 Proceso de mezclado del concreto para su vertimiento en las formaletas	59
4.1.3 Desprendimiento y/o remoción de las formaletas metálicas compuestas	61
4.1.3.1 Fase I. Fraguado o secado parcial corto	61
4.1.3.2 Fase II. Fraguado o secado parcial prolongado	66
4.1.4 Curado para las piezas en tratamiento (8 días)	79
4.1.5 Secado de las piezas a temperatura ambiente (durante 2 días)	70
4.1.6 Evaluación de los resultados en los acabados de las piezas de concreto después de 8 días de curado y después de 2 días de exposición a temperatura ambiente para secado total	70
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
4.2.1 Distribución de burbujas	81
4.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS ACEITES VEGETALES	104
4.4 ELABORACIÓN DE LAS EMULSIONES	110
4.4.1 Pesaje y registro de las materias primas para preparar la emulsión	111
4.4.2 Montaje del sistema para la elaboración de las emulsiones	112
4.4.3 Calentar materias primas: aceite vegetal, agua y emulsificante	113
4.4.4 Extracción de la muestra de aceite vegetal y adición del emulsificante	113
4.4.5 Adición de la mezcla	114
4.4.6 Vertimiento de la materia prima que actúa como fase continua al beaker con sistema de baño de enfriamiento	114
4.4.7 Configuración para el funcionamiento del equipo de baño de enfriamiento e inicio del sistema de agitación mecánica	115
4.4.8 Adición de la materia prima que actúa como fase dispersante al beaker con sistema de baño de enfriamiento	115
4.4.9 Enfriamiento de la emulsión, manteniendo la agitación mecánica constante	115
4.4.10 Finalización de la agitación y el accionamiento del equipo de baño de enfriamiento	116
4.4.11 Envasar	117
4.4.12 Almacenamiento de las emulsiones	117
4.4.13 Estabilidad de las emulsiones	117
4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS	121
4.6 SELECCIÓN DE EMULSIONES DE ACUERDO CON SU DESEMPEÑO COMO AGENTE DESMOLDANTE EN EXPERIMENTACIÓN	128
4.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS	129

5. DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN	136
5.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN PARTIENDO DE ACEITE VEGETAL SOYA CRUDA	137
5.2 COSTOS DE PRODUCCIÓN PARTIENDO DE ACEITE VEGETAL USADO	140
5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DE COSTOS DIRECTOS Y COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN CON ACEITE DE SOYA CRUDA Y ACEITE USADO	142
5.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DE DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN CON ACEITE DE SOYA CRUDA Y ACEITE USADO	143
5.5 ANÁLISIS DE PRECIOS EN EL MERCADO	144
5.5.1 Análisis de precios en el mercado con respecto al precio total del agente desmoldante producido a partir de aceites vegetales de soya cruda y aceite usado	146
6. CONCLUSIONES	149
7. RECOMENDACIONES	151
BIBLIOGRAFÍA	152
ANEXOS	156

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Condiciones de operación para la elaboración de la emulsión	48
Tabla 2. Aceites seleccionados sin emulsionar para pruebas de desempeño preliminares	57
Tabla 3. Reporte de la fracción de pega del concreto que se adhiere a las formaletas	79
Tabla 4. Reducción de la distribución de burbujas utilizando los aceites vegetales con respecto al uso de APCM	104
Tabla 5. Tipificación del aceite de soya	104
Tabla 6. Análisis fisicoquímico para aceite vegetal de soya cruda a través de la técnica de cromatografía	105
Tabla 7. Tipificación de aceite usado, muestra 1	106
Tabla 8. Análisis fisicoquímico para el aceite vegetal usado (muestra 1) a través de la técnica de cromatografía	107
Tabla 9. Tipificación de aceite usado, muestra 2	108
Tabla 10. Análisis fisicoquímico para el aceite vegetal usado (muestra 2) a través de la técnica de cromatografía	109
Tabla 11. Materias primas para la elaboración de la emulsión	111
Tabla 12. Formulación estándar de las materias primas	111
Tabla 13. Aceites vegetales en emulsión que desencofraron en pre-experimentación, primera parte	119
Tabla 14. Aceites vegetales en emulsión que desencofraron en pre-experimentación, segunda parte	119
Tabla 15. Aceites vegetales en emulsión que desencofraron en pre-experimentación, tercera parte	119
Tabla 16. Estabilidad de las emulsiones (W/O) con emulsificante puro, agitación de 500 rpm, temperatura de (40 – 55) °C	121
Tabla 17. Estabilidad de las emulsiones (O/W) con emulsificante puro, agitación de 500 rpm, temperatura de (40 – 55) °C	122
Tabla 18. Estabilidad de las emulsiones (W/O) con emulsificante en mezcla, agitación de 500 rpm, temperatura de (40 – 55) °C	124
Tabla 19. Estabilidad de las emulsiones (O/W) con emulsificante en mezcla, agitación de 500 rpm, temperatura de (40 – 55) °C	125
Tabla 20. Estabilidad de las emulsiones (W/O) disminuyendo la concentración de emulsificante, agitación de 500 rpm, temperatura de (40 – 55) °C	126
Tabla 21. Estabilidad de las emulsiones (O/W) disminuyendo la concentración de emulsificante, agitación de 500 rpm, temperatura de (40 – 55) °C	127
Tabla 22. Precios de las materias primas en referencia a una cantidad estándar de 1 kg	136
Tabla 23. Costos para producir 20 kg de agente desmoldante a partir de aceite vegetal de soya cruda y precio total para el mercado	137

Tabla 24. Distribución de costos del agente desmoldante partiendo de soya cruda y Esterlac SSL	138
Tabla 25. Distribución de costos del agente desmoldante partiendo de soya cruda y Esterlac SSL en mezcla con polisorbato 60	139
Tabla 26. Costos para producir 20 kg de agente desmoldante a partir de aceite vegetal usado	140
Tabla 27. Distribución de costos del agente desmoldante partiendo de aceite usado y Esterlac SSL puro	141
Tabla 28. Distribución de costos del agente desmoldante partiendo de aceite usado y Esterlac SSL en mezcla con Polisorbato 60	142
Tabla 29. Precio comercial de agentes desmoldantes en la compañía de Sika Colombia	145
Tabla 30. Precio comercial de agentes desmoldantes en la compañía de Toxement Euclid Chemical Colombia	145
Tabla 31. Precio comercial de agentes desmoldantes en la compañía de Mapei Colombia	145
Tabla 32. Comparativo de precios en el mercado de las referencias más económicas	146
Tabla 33. Comparativo de precios en el mercado de las referencias más costosas	157

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Afectación de las placas de concreto, causada por la aplicación de agentes desmoldantes a base de aceite mineral	29
Figura 2. Funcionalidad del agente desmoldante en las formaletas que se usan la industria de la construcción	30
Figura 3. Componentes o fases que se pueden formar en la preparación de una emulsión	30
Figura 4. Tasa de transferencia de las moléculas (aceite vegetal y agua) en la superficie interfacial por el efecto del emulsificante	31
Figura 5. Formación de la gota	32
Figura 6. Ciclo de formación de la gota, introducción por el lado izquierdo de la materia prima que actuara como fase dispersante en la emulsión	32
Figura 7. Características de una emulsión y tipo de emulsión de acuerdo con la naturaleza de las materias primas	33
Figura 8. Mecanismo de obtención de una emulsión homogénea y estable	34
Figura 9. Estructura molecular de las materias primas anfifílicas	35
Figura 10. Proceso de tratamiento de los aceites vegetales usado	36
Figura 11. Buenas prácticas para el manejo de los aceites de cocina usados,	50
Figura 12. La distribución de cultivo de la palma de aceite en Colombia	52
Figura 13. Muestra de aceite vegetal para aplicar a las formaletas metálicas con área de contacto de $2,550 \text{ cm}^2$ por cada aceite vegetal	58
Figura 14. Aplicación de los aceites vegetales en las formaletas metálicas, a) disposición de las formaletas metálicas, b) limpieza c) aplicación de aceite de palma cruda y oleína de palma d) aplicación de aceite soya cruda y usado	59
Figura 15. Trompo mezclador de concreto	60
Figura 16. Vertimiento en el área de contacto con, a) aceite de palma y oleína de palma, b) adición de malla, c) distribución uniforme del concreto, d) perfilamiento final para inicio del proceso de secado o fraguado	61
Figura 17. Remoción de las formaletas laterales con orientación vertical; área de contacto correspondientes a la aplicación de los aceites vegetales y sus derivados a) palma cruda, b) oleína de palma, c) soya cruda, d) aceite usado	62
Figura 18. Formaletas metálicas verticales a) limpias, con fracción de pega en el área de contacto con b) palma cruda y oleína de palma, c) soya cruda d) aceite usado y ACPM	63
Figura 19. Remoción de las formaletas laterales horizontales con aplicación de a) palma cruda, b) oleína de palma, c) soya cruda, d) aceite usado	64
Figura 20. Formaletas metálicas horizontales a) limpias, con fracción de pega en el área de contacto con b) palma cruda, c) oleína de palma, y d) soya cruda	65
Figura 21. Formaletas metálicas horizontales, a) limpias, con fracción de pega por la aplicación de b) aceite usado	66

Figura 22. Área de contacto de las piezas de concreto con los aceites vegetales y sus derivados, después de remover las formaletas laterales al transcurrir 24 horas	66
Figura 23. Área de contacto de la cara adyacente de la formaleta en aluminio con a) palma cruda, b) oleína de palma, c) soya cruda y d) aceite usado	68
Figura 24. Área de contacto de la cara adyacente de la formaleta en aluminio con ACPM	68
Figura 25. Depósito de agua para proceso de curado de las piezas de concreto	69
Figura 26. a) y b) Áreas de acopio de las piezas de concreto	70
Figura 27. Área de contacto de las piezas de concreto con aceite vegetal de palma cruda: a) antes del proceso de curado, b) después de 8 días de curado por método de inmersión	71
Figura 28. Área de contacto de las piezas de concreto con aceite de palma cruda, después de 2 días de secado	72
Figura 29. Área de contacto de las piezas de concreto con oleína de palma: a) antes del proceso de curado, b) después de 8 días de curado por método de inmersión	74
Figura 30. Área de contacto de las piezas de concreto con aceite oleína de palma, después de 2 días de secado	75
Figura 31. Área de contacto de las piezas de concreto con soya cruda: a) antes del proceso de curado, b) después de 8 días de curado por método de inmersión	76
Figura 32. Área de contacto de las piezas de concreto con aceite de soya cruda, después de 2 días de secado	76
Figura 33. Área de contacto de las piezas de concreto con aceite usado (24 horas después del proceso de fundición)	77
Figura 34. Área de contacto de las piezas de concreto con aceite de soya cruda, después de 2 días de secado	78
Figura 35. Formaletas con, a) sección de área 425 cm^2 y b) su fracción de pega del concreto	79
Figura 36. Pieza 1, área de contacto con palma cruda	82
Figura 37. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	82
Figura 38. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	82
Figura 39. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	82
Figura 40. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	83
Figura 41. Pieza 2, área de contacto con palma cruda	83
Figura 42. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	83
Figura 43. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	83

Figura 44. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	84
Figura 45. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	84
Figura 46. Pieza 3, área de contacto con palma cruda	84
Figura 47. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	84
Figura 48. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	85
Figura 49. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	85
Figura 50. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	85
Figura 51. Pieza 1, área de contacto con oleína de palma	85
Figura 52. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	86
Figura 53. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	86
Figura 54. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	86
Figura 55. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	86
Figura 56. Pieza 2, área de contacto con oleína de palma	87
Figura 57. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	87
Figura 58. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	87
Figura 59. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	87
Figura 60. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	88
Figura 61. Pieza 3, área de contacto con oleína de palma	88
Figura 62. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	88
Figura 63. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	88
Figura 64. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	89
Figura 65. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	89
Figura 66. Pieza 1, área de contacto con soya cruda	89
Figura 67. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	89
Figura 68. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	90

Figura 69. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	90
Figura 70. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	90
Figura 71. Pieza 2, área de contacto con soya cruda	90
Figura 72. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	91
Figura 73. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	91
Figura 74. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	91
Figura 75. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	91
Figura 76. Pieza 3, área de contacto con soya cruda	91
Figura 77. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	92
Figura 78. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	92
Figura 79. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	92
Figura 80. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	92
Figura 81. Pieza 1, área de contacto con aceite usado	93
Figura 82. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	93
Figura 83. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	93
Figura 84. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	93
Figura 85. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	94
Figura 86. Pieza 2, área de contacto con aceite usado	94
Figura 87. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	94
Figura 88. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	94
Figura 89. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	95
Figura 90. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	95
Figura 91. Pieza 3, área de contacto con aceite usado	95
Figura 92. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	95
Figura 93. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	96

Figura 94. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	96
Figura 95. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	96
Figura 96. Pieza 1, área de contacto con ACPM	96
Figura 97. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	97
Figura 98. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	97
Figura 99. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	97
Figura 100. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	97
Figura 101. Pieza 2, área de contacto con ACPM	98
Figura 102. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	98
Figura 103. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	98
Figura 104. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	98
Figura 105. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	99
Figura 106. Pieza 3, área de contacto con ACPM	99
Figura 107. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	99
Figura 108. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm	99
Figura 109. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	100
Figura 110. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm	100
Figura 111. Pesaje de las materias primas: a) aceite vegetal de soya cruda o usado y b) agua	111
Figura 112. a) emulsificante y b) registro de pesaje en gramos (g) de las materias primas	112
Figura 113. Montaje del sistema para la elaboración de emulsiones	112
Figura 114. Calentamiento y control de la temperatura de las materias primas: a) aceite vegetal de soya cruda o usado y b) agua	113
Figura 115. Mezcla entre la muestra de aceite y emulsificante	113
Figura 116. Adición de la muestra al aceite vegetal	114
Figura 117. Vertimiento en el sistema de enchaquetado de la materia prima que actúa como fase continua a) aceite vegetal de soya cruda y b) agua	114
Figura 118. Ajuste de: a) temperatura, b) agitación y c) altura del eje de paletas	115

Figura 119. Adición gota a gota de la materia prima que actúa como fase dispersante, a) agua, b) y c) aceite usado	115
Figura 120. Ajuste de la temperatura a un valor deseado o <i>setpoint</i> de 40°C	116
Figura 121. Accionamiento del equipo de baño de enfriamiento: a) verificación de la temperatura en 40°C, b) retorno del agua de enfriamiento, c) finalización de la agitación mecánica	116
Figura 122. Procedimiento del envase de las emulsiones obtenidas	117
Figura 123. a) Emulsiones de aceite usado y Esterlac SSL, b) emulsiones de aceite de soya y Esterlac SSL	117
Figura 124. Procesos que se llevan a cabo antes, durante o después de la homogenización	118
Figura 125. Características de las emulsiones obtenidas	120
Figura 126. Acabados de la pieza 1, área de contacto con la emulsión de soya cruda, a) sección de la pieza 1, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm	129
Figura 127. Acabados de la pieza 2, área de contacto con la emulsión de soya cruda, a) sección de la pieza 2, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm	130
Figura 128. Acabados de la pieza 3, área de contacto con la emulsión de soya cruda, a) sección de la pieza 3, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm	131
Figura 129. Acabados de la pieza 1, área de contacto con la emulsión de aceite usado, a) sección de la pieza 1, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm	132
Figura 130. Acabados de la pieza 2, área de contacto con la emulsión de aceite usado, a) sección de la pieza 2, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm	132
Figura 131. Acabados de la pieza 3, área de contacto con la emulsión de aceite usado, a) sección de la pieza 3, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm	133
Figura 132. Acabados de la pieza 1, área de contacto con ACPM, a) sección de la pieza 1, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm	134
Figura 133. Acabados de la pieza 2, área de contacto con ACPM, a) sección de la pieza 2, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm	135
Figura 134. Acabados de la pieza 3, área de contacto con ACPM, a) sección de la pieza 3, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm	135
Figura 135. Proceso de fundido, a) mezcla de los materiales, b) vertimiento de la mezcla en las formaletas	157
Figura 136. Estructuras de concreto: a) placas prefabricadas, b) columnas	157
Figura 137. Encofrado de a) formaletas compuestas, b) formaletas unificadas	158
Figura 138. Secciones de las formaletas metálicas, a) verticales, b) horizontales; intervenidas con la aplicación de aceites vegetales	158

Figura 139. Secciones de las formaletas compuestas, a) perfil de las dos caras con A_1 y A_2 , b) perfil de las tres caras con A_1 , A_2 y A_3 , c) dimensiones y d) perfil de la región con 6 secciones	159
Figura 140. Formaletas compuestas, a), b) área total de contacto de $2,550 \text{ cm}^2$ de las 6 secciones con la aplicación de los aceites vegetales, c) y d) vertimiento de concreto en las 6 secciones	160
Figura 141. Cara adyacente en material de aluminio para el área de contacto por a), b) cada sección, c) región en que se aplican los aceites vegetales y d) una vez se han removido las piezas de concreto	161
Figura 142. Formaletas metálicas unificadas con aplicación de aceites vegetales a) por cada una de las caras A_1 , A_2 y A_3 , b) sus dimensiones y c) su réplica en tres formaletas, removidas en una sola fase	162
Figura 143. Piezas o placas de concreto con área impregnada de aceite vegetal de a) 425 cm^2 cada una, b) 1980 cm^2 cada una	163
Figura 144. Fracción de pega del concreto, a) adherida a la formaleta, b) pesada en base seca	163

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Consumo de aceites vegetales alrededor del mundo	49
Gráfica 2. Pronóstico de la producción y consumo mundial de semillas oleaginosas	54
Gráfica 3. Proporción de ácido grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de distintas grasas y aceites	55
Gráfica 4. Fracción de pega en gramos (g) del concreto en las formaletas metálicas, evaluada para un área total de contacto por región de $2,550 \text{ cm}^2$	80
Gráfica 5. Fracción de pega en gramos (g) del concreto en las formaletas metálicas, evaluada para un área de contacto por sección 425 cm^2	80
Gráfica 6. Cantidad de burbujas totales y clasificación por tamaño de diámetro D1 (0-1,0) mm y D2 (1,1-2,0) mm en cada pieza de concreto en el área de contacto de 200 cm^2 con a) palma cruda, b) oleína de palma, c) soya cruda y d) aceite usado	101
Gráfica 7. Distribución de burbujas por pieza de concreto con ACPM	102
Gráfica 8. Distribución de burbujas totales por pieza de concreto con ACPM y b) Promedio de la distribución de burbujas en ACPM y los aceites vegetales	103
Gráfica 9. Perfil de ácidos grasos del aceite vegetal de soya cruda, obtenido con la técnica de análisis de cromatografía	106
Gráfica 10. Perfil de ácidos grasos del aceite vegetal usado para la muestra 1, obtenido con la técnica de análisis de cromatografía	108
Gráfica 11. Perfil de ácidos grasos del aceite vegetal usado para la muestra 2, obtenido con la técnica de análisis de cromatografía	110
Gráfica 12. Evaluación de la estabilidad en las emulsiones (W/O) con emulsificante puro en un determinado tiempo	122
Gráfica 13. Evaluación de la estabilidad en las emulsiones (O/W) con emulsificante puro en un determinado tiempo	123
Gráfica 14. Evaluación de la estabilidad en las emulsiones (W/O) con emulsificante en mezcla de Esterlac SSL y polisorbato 60 en un determinado tiempo	125
Gráfica 15. Evaluación de la estabilidad en las emulsiones (O/W) con emulsificante en mezcla de Esterlac SSL y polisorbato 60 en un determinado tiempo	126
Gráfica 16. Evaluación de la estabilidad en las emulsiones (W/O) con emulsificante puro y en mezcla entre Esterlac SSL y polisorbato 60 en un determinado tiempo para concentraciones de 1.5%, 1.0%, 0.5%	127
Gráfica 17. Evaluación de la estabilidad en las emulsiones (O/W) con emulsificante puro y en mezcla entre Esterlac SSL y polisorbato 60 en un determinado tiempo para concentraciones de 1.5%, 1.0%, 0.5%	128
Gráfica 18. Distribución de costos para la producción del agente desmoldante partiendo de soya cruda	139

Gráfica 19. Distribución de costos para la producción del agente desmoldante partiendo de aceite vegetal usado	142
Gráfica 20. Precios en el mercado 1, por diferentes compañías	146
Gráfica 21. Precios en el mercado 2, por diferentes compañías	147

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Condiciones de operación	38
Diagrama 2. Selección de aceites vegetales	39
Diagrama 3. Selección de los emulsificantes	40
Diagrama 4. Validación de desempeño en pre-experimentación	42
Diagrama 5. Validación de desempeño en experimentación	43
Diagrama 6. Remoción de las formaletas	44
Diagrama 7. Caracterización fisicoquímica: Índice de yodo y análisis de cromatografía	45
Diagrama 8. Proceso de obtención del agente desmoldante como una emulsión a partir de aceite vegetal	46
Diagrama 9. Evaluar estabilidad de las emulsiones	47
Diagrama 10. Aceites vegetales seleccionados para validación en desempeño	56

RESUMEN

Se desarrolló un agente desmoldante a través de la elaboración de emulsiones a base de aceites vegetales de soya cruda y aceite usado a nivel de laboratorio, las cuales se puedan aplicar y faciliten la remoción de las formaletas que se usan en la industria de la construcción y así formar muros, placas o columnas. De acuerdo con los resultados del desarrollo experimental, esterlac SSL y polisorbato 60 son los emulsificantes que ofrecen un tiempo de estabilidad superior a los 60 minutos cuando son adicionados en una concentración del 2% puros. Este tiempo se pudo aumentar y superar a 120 minutos al realizar una mezcla de emulsificantes en proporción másica de 80% de esterlac SSL y 20% de polisorbato 60. También se pudo determinar que a una concentración 1,5% de emulsificante, adicionado puro o en mezcla en la misma proporción másica que se indicó, es la concentración mínima que permite ocupar los espacios dados en la interfase aceite-agua para llevar a cabo la adsorción del sistema de dispersión. La temperatura que favoreció al sistema de dispersión fue entre 40 a 55°C, agitación de 500 rpm y tiempo de retención en el sistema de enfriamiento entre 40 a 50 minutos.

Por otra parte, los aceites vegetales de palma cruda, oleína de palma y ácidos grasos, fueron descartados del proceso, teniendo en cuenta los criterios de evaluación como la disponibilidad, abastecimiento y la validación del desempeño. La validación de desempeño involucra resultados desde la aplicación, remoción de formaletas y acabados de las piezas de concreto, tanto en la pre-experimentación donde se lleva a cabo la aplicación de aceites sin emulsionar como en la experimentación que incluye los aceites en emulsión de soya cruda y aceite usado, seleccionados en la pre-experimentación. En la aplicación de los aceites sin emulsionar se determinó que la oleína de palma, soya cruda y aceite usado tienen una mejor distribución uniforme por unidad de área en la superficie de las formaletas metálicas. En su remoción, los aceites vegetales de palma cruda, oleína de palma, soya cruda y aceite usado mostraron un mejor resultado, ya que no se presentó adherencia de las piezas de concreto a las formaletas. Adicionalmente, la remoción en fase I, estableció que soya cruda y aceite usado generan menor fracción de pega y a su vez es más fácil su estandarización comparado con palma cruda, oleína de palma y adicionalmente con respecto al ACPM. Mientras que, con referencia a los acabados de las piezas de concreto, el aceite de palma cruda confiere una coloración amarilla en la superficie del área de contacto, la cual fue eliminada en el proceso de curado.

También se determinó que en las piezas de concreto que tuvieron área de contacto con los aceites vegetales presenta una coloración gris claro, por el contrario las que tuvieron área de contacto con ACPM tienen una coloración gris oscuro y en relación con la distribución de burbujas en la superficie de las piezas de concreto se pudo determinar que el aceite de palma cruda reduce en promedio un 77,42% la distribución de burbujas de diámetro máximo y en un 80,42% las de diámetro mínimo con respecto al ACPM. Con soya cruda, la reducción en promedio es de

74.19% la distribución de burbujas de diámetro máximo y 73.33% las de diámetro mínimo con respecto al ACPM. Mientras con aceite usado la reducción oscila en promedio cerca del 64.52% la distribución de burbujas de diámetro máximo y 79.17% las de diámetro mínimo en comparación con el ACPM.

Por último, se determinó que la producción de un agente desmoldante a través de una emulsión a base de aceite vegetal usado reduce los costos totales de producción en un 39,98% con respecto al aceite vegetal de soya cruda, aun utilizando el mismo emulsificante Esterlac SSL puro. También se pudo establecer la reducción de costos totales en un 40,22% por parte del aceite vegetal usado y emulsificante puro, en comparación con aceite de soya cruda y emulsificantes en mezcla. Adicionalmente se describen los precios del mercado relacionados a los agentes desmoldantes que actualmente se comercializan para realizar un comparativo del precio de venta de estos productos frente a los que se utilizan tradicionalmente en la industria de la construcción.

Palabras clave

Agente desmoldante, formaletas metálicas, fracción de pega, fisisorción, distribución de burbujas.

INTRODUCCIÓN

Las estructuras de concreto derivan de un proceso que comprende el mezclado entre distintos componentes, como el cemento, arena o gravilla y agua. Esta mezcla homogénea se consigue realizando una agitación constante de forma manual o mecánica, adicionalmente se debe favorecer la proporción adecuada de los componentes y tener en cuenta las condiciones ambientales¹. Una vez obtenida la mezcla, se hacen necesarias estructuras sólidas que sirvan como plataforma para el vertimiento de la mezcla; conocidas con el nombre de formaletas y se distribuyen en correspondencia a un arreglo definido, es decir, un sistema de encofrados que organiza y da forma al contenido de la mezcla; permitiendo su exposición directa al ambiente para formar muros, placas o columnas. Así, la mezcla sufre una pérdida de agua en respuesta a su evaporación durante un tiempo prolongado hasta verificar que el concreto haya endurecido, con la finalidad de evaluar el momento adecuado para retirar o remover las formaletas; es allí donde la funcionalidad de los agentes de liberación o simplemente desmoldantes se hace importante, porque estos permiten evitar que el material de concreto tienda a adherirse a la formaleta y dificulte el proceso de remoción².

Los agentes de liberación, actualmente se les reconoce por ser un producto antiadherente, con las características de ser un líquido viscoso y corresponde una emulsión estable, el cual a su vez facilita la distribución uniforme sobre la superficie de la formaleta. De esta manera se obtiene una película delgada entre la formaleta y el concreto, encargada de reducir la tensión interfacial y conferirle la propiedad hidrofóbica al concreto por efecto del fenómeno de adsorción³. Adicionalmente con el uso de los agentes de liberación, se reduce el desgaste de material, no mancha el concreto, contribuye en minimizar la cantidad burbujas generadas en la superficie del concreto y prolongan la vida útil de las formaletas⁴.

Teniendo en cuenta lo anterior, los agentes de liberación responden a un mercado competitivo; sin embargo, es importante identificar la procedencia de las materias primas con el fin de evaluar sus impactos ambientales, así como también en materia de seguridad y salud en el trabajo para su respectiva aplicación. Hoy en día, la industria de la construcción al igual que otras industrias dependen de la

¹ Laboratory and field performance of biodegradable release agents for hydraulic concrete; Rilem 2015. Recuperado de: DOI 10.1617/s11527-015-0681-8

² A hydrophobic release agent containing SiO₂-CH₃ submicron-sized particles for waterproofing mortar structures, Elsevier (2018), Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.018>

³ Tipos y ventajas de desmoldantes para la construcción de viviendas. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ventajas-de-desmoldantes-para-la-construccion-de-viviendas>

⁴ A hydrophobic release agent containing SiO₂-CH₃ submicron-sized particles for waterproofing mortar structures, Elsevier (2018), Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.018>

disponibilidad de materias primas de origen petroquímico, lo cual se debe a la diversificación de productos que se obtienen en el fraccionamiento del petróleo y la funcionalidad de estos al incluirlos e integrarlos como materia prima en los diferentes procesos industriales⁵.

Con relación al impacto ambiental, los procesos en las grandes industrias se deben reconocer y distinguir por desarrollar modelos estratégicos que intenten reducir la cantidad de material particulado emitido a la atmósfera y a los ecosistemas; así como también contribuir con un ambiente más limpio que favorezca la seguridad y salud de los trabajadores, ya que de alguna manera estas personas se encuentran expuestas a inhalación de distintas sustancias tóxicas durante los procedimientos o acciones inherentes a su trabajo. Por esta razón, se busca como una alternativa distinta el uso de aceites vegetales⁶, tales como palma cruda, oleína de palma, soya cruda, aceite usado y ácidos grasos. Estas materias primas garantizan el abastecimiento y disponibilidad para la producción de un agente desmoldante obtenido desde una emulsión a base de aceite vegetal, agua y un emulsificante.

⁵ Choosing a form release agent, Much depends on the type of form material. Recuperado de: https://www.concreteconstruction.net/_view-object?id=00000153-8b9a-dbf3-a177-9fbb2da20000

⁶ Correlation between adhesion energy of release agents on the formwork and demoulding performances; Elsevier (2014). Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.061>

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para la producción de un agente desmoldante partiendo de aceites vegetales a nivel laboratorio, para uso en la industria de la construcción.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar las materias primas y condiciones de operación adecuadas para la obtención de un agente desmoldante.
- Obtener el agente desmoldante a través de un diseño experimental.
- Determinar el desempeño del agente desmoldante durante el proceso de remoción o desprendimiento de las formaletas que sirven como un molde del concreto.
- Establecer los costos, asociados a la obtención del agente desmoldante que se aplica a las formaletas como soporte al concreto.

1. GENERALIDADES

En el presente capítulo se describen todos los conceptos clave que soporten y referencien la metodología que busca la producción de un agente desmoldante obtenido desde una emulsión a base de aceite vegetal, agua y emulsificante. También se abordarán los conceptos relacionados con los fenómenos fisicoquímicos presentes en los procedimientos y acciones a desarrollar durante la experimentación.

1.1 MATERIALES PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

En la industria de la construcción existe una diversificación de materiales que incluyen desde el concreto, formaletas y hasta agentes desmoldantes con características que faciliten el desprendimiento de las formaletas, disminuyan la fracción de pega que se adquiere y favorezcan acabados de las estructuras: placas, muros o columnas de concreto.

1.1.1 Concreto. Material de uso frecuente o tradicional, que se obtiene a través de la mezcla de tres componentes principales, cemento, agua y agregados, en este último se puede utilizar, grava, piedra machacada, confitillo o escoria de hornos. Eventualmente también se puede agregar un cuarto componente que generalmente es un aditivo, el cual ayuda a mejorar o modificar las propiedades de plasticidad, resistencia y también reducir el tiempo de secado. En esta mezcla el cemento y el agua definen una reacción química en donde van integrando simultáneamente las partículas de los agregados, produciendo una sustancia plástica, por lo que se da una relativa facilidad en el moldeo y compactación, sin embargo, la mezcla con el transcurso del tiempo empieza a transformarse en un cuerpo sólido, en respuesta a la exposición de un secado o eliminación de humedad de manera gradual para convertirlo en un material mecánicamente resistente y se le denomina finalmente como concreto endurecido⁷. Los agregados en esta mezcla se pueden considerar como agregado fino o grueso de la siguiente manera:

- a) Agregado fino: arena
- b) Agregado grueso: Grava, piedra machacada, confitillo, escoria de hornos

1.1.2 Formaletas. Conjunto de piezas o módulos y accesorios que, unidos entre sí se denomina encofrado y sirven como estructura para dar forma al concreto, garantizar uniformidad en las superficies y favorecer su respectiva compactación en las obras de construcción⁸. Las formaletas existen de tres tipos principalmente:

⁷ Concreto: generalidades, propiedades y procesos. Recuperado de: https://www.academia.edu/9706247/CONCRETO_Generalidades_propiedades_y_procesos

⁸ Guía práctica para armar y desarmar: Formesan. Recuperado de: <http://www.formesan.com/instructivo.pdf>

- a) De madera
- b) Metálicas en aluminio
- c) Plásticas

1.2 AGENTE DESMOLDANTE

Producto que se utiliza para aplicarlo en las formaletas que sirven como estructura en el vertimiento o vaciado del concreto y ayudan a facilitar su remoción cuando el concreto ha endurecido, evitando de esta manera que el concreto se adhiera a la formaleta que se remueve⁹.

Son productos viscosos, preparados tradicionalmente a base de aceites minerales puros, grasas de origen animal, ceras de petróleo, recubrimientos plásticos, sin embargo, se han desarrollado estudios de investigación que involucran los aceites vegetales emulsionados, tales como la palma cruda, oleína de palma, soya cruda, canola, linaza, ricino, entre otros, para evaluarlos como posibles candidatos en la producción de agentes desmoldantes obtenidos como emulsiones a base de su respectivo aceite vegetal, agua y emulsificante, finalmente estas emulsiones se pueden aplicar a las formaletas que tienen un área de contacto con el concreto¹⁰.

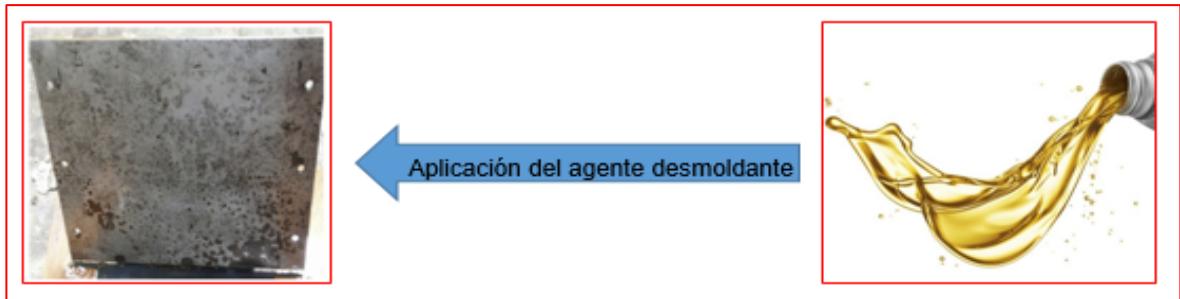
1.2.1 Agente desmoldante partiendo de aceites minerales. Son los desmoldantes más comunes comercialmente para aplicar a las formaletas, su proceso de obtención se da por la destilación del petróleo, como derivados parafínicos y nafténicos, los cuales son mejorados con aditivos químicos como ácidos orgánicos o ésteres modificados. Sin embargo, el exceso de aceite puede causar decoloración y acumular polvo y producirse manchas en las placas de concreto (Fig. 1). Adicionalmente los productos a base de aceite mineral generan emisiones de compuestos orgánicos volátiles que pueden afectar la salud de las personas al igual que afectaciones al aire y a los ecosistemas¹¹.

⁹ Tecnología del concreto: Argos. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ventajas-de-desmoldantes-para-la-construccion-de-viviendas>

¹⁰ Laboratory and field performance of biodegradable reléase agents for hydraulic concrete. Pág [1-2]. Recuperado de: 10.1617/s11527-015-0681-8

¹¹ ¿Do New Release Agents Work? Alternative, vegetable-oil based products offer safety advantages to workers and the environment, (2015), pág. [3-10], Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/280097796>

Figura 1. Afectación de las placas de concreto, causada por la aplicación de agentes desmoldantes a base de aceite mineral



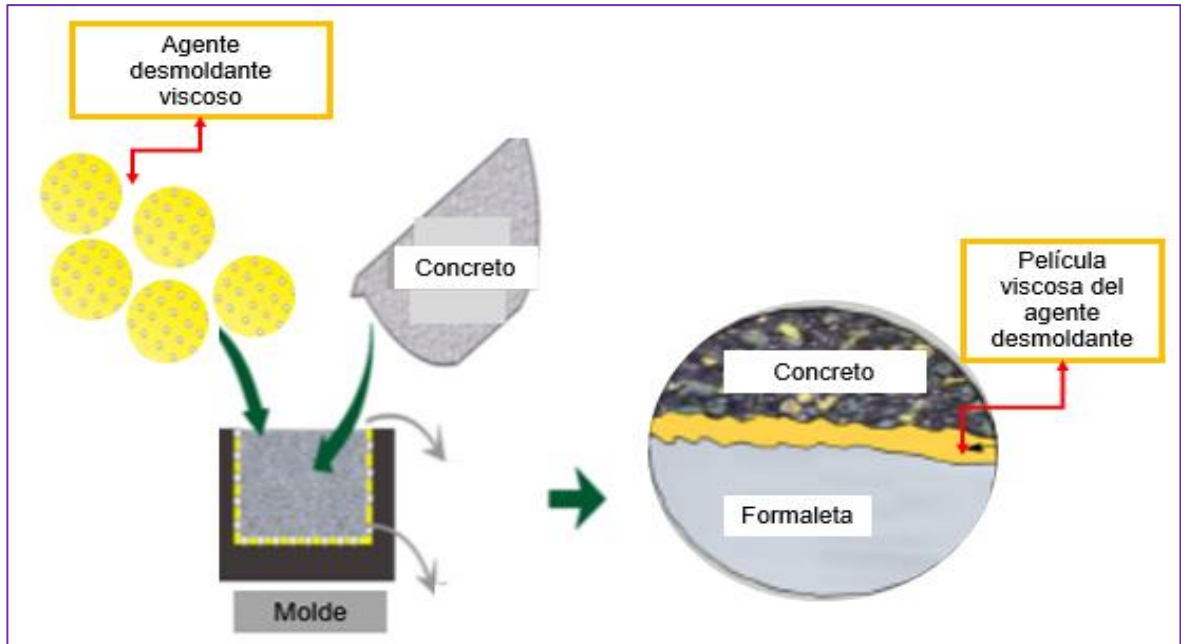
Fuente: DE BRITO Jorge, BRANCO Fernando A., DOS SANTOS Roberto. ¿Do New Release Agents Work? Alternative, vegetable-oil based products offer safety advantages to workers and the environment, (2015), pág 3-5, Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/280097796>

1.2.2 Agente desmoldante partiendo de aceites vegetales. Estos también son conocidos como *Vegetable Oil-based Release Agents (VERA)*, por sus siglas en inglés, los cuales tienen propiedades valiosas que garantizan excelente desempeño en la aplicación como desmoldante en la remoción de las formaletas que se utilizan en la industria de la construcción, además de ser productos que por su descomposición son recursos renovables, tienen baja toxicidad y volatilidad, lo cual favorece la salud y seguridad de las personas que los manipulan para su respectiva aplicación y ausencia de riesgos de incendio (no inflamable)¹².

Estos desmoldantes, se caracterizan por ser un producto antiadherente obtenido como una emulsión a base de aceite vegetal, agua y emulsificante, el cual reduce el desgaste del concreto, no mancha el concreto, ahorra tiempo y dinero, contribuye en minimizar la cantidad burbujas generadas en la superficie del concreto, creando una película hidrofóbica y prolongan la vida útil de las formaletas. La película hidrofóbica está formada por una delgada capa de filamentos, orientados desde la superficie del concreto hacia la fase acuosa de los granos sólidos del concreto (Fig. 2).

¹²¿Do New Release Agents Work? Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/280097796>

Figura 2. Funcionalidad del agente desmoldante en las formaletas que se usan la industria de la construcción

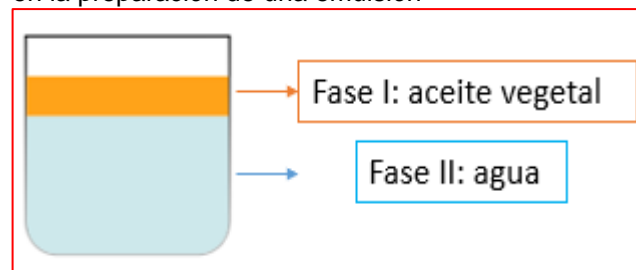


Fuente: elaboración propia

1.3 EMULSIONES

Mezclas de dos componentes inmiscibles de manera más o menos homogénea¹³, en ejemplo, se tienen los aceites vegetales y el agua (Fig.3), que serán dos de las materias primas involucradas en los experimentos de la investigación. Las emulsiones, se caracterizan por tener una materia prima que actúa como la fase dispersante y otra como fase continua; la miscibilidad de estas fases se logra con ayuda de un emulsificante.

Figura 3. Componentes o fases que se pueden formar en la preparación de una emulsión

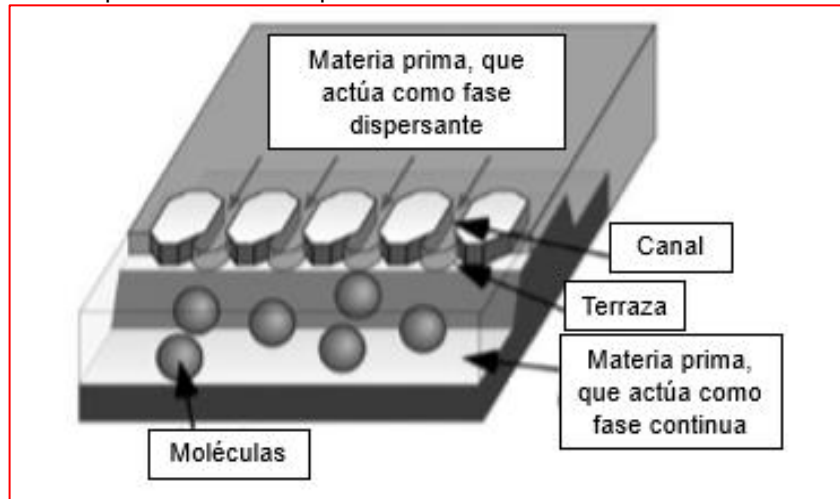


Fuente: elaboración propia

¹³ Food Emulsions: Principles, practices, and techniques. Third edition (2016). Recuperado de: <https://doi.org/10.1201/b18868>

1.3.1 Materia prima que actúa como fase continua. Fase externa de una emulsión (aceite vegetal o agua) y que se encuentra en mayor proporción en comparación con las otras materias primas. Una vez formada la superficie interfacial entre el aceite vegetal y el agua, el flujo de entrada es suficientemente rápido y no participa en la formación de la gota, es decir, la tasa de transferencia de moléculas de esta materia prima es significativamente alta, comparada con el flujo de salida de la materia prima que participa en la formación de la gota¹⁴ (Fig. 4).

Figura 4. Tasa de transferencia de las moléculas (aceite vegetal y agua) en la superficie interfacial por el efecto del emulsificante



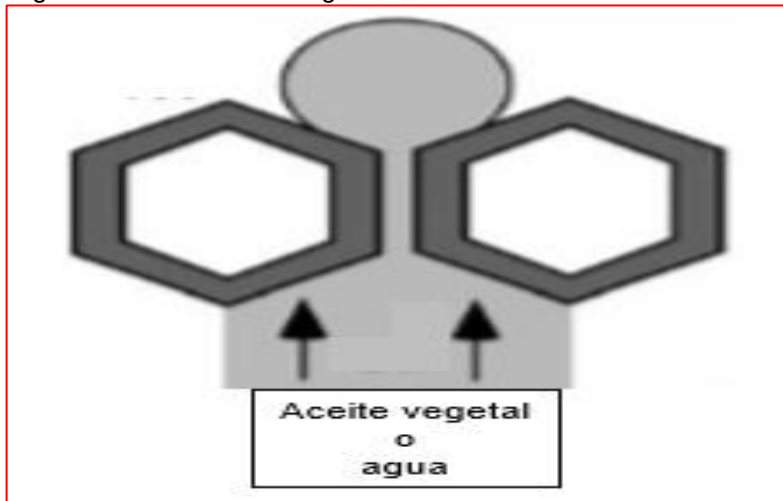
Fuente: KOEN VAN Dijke, [et al]. Effect of viscosities of dispersed and continuous phases in microchannel oil-in-water emulsification. Springer-Verlag 2009. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10404-009-0521-7>

1.3.2 Materia prima que actúa como fase dispersante. Fase interna de una emulsión (aceite vegetal o agua), es la encargada del ciclo de formación de la gota; por lo tanto, el flujo de salida de esta materia prima, es decir, la tasa de transferencia de estas moléculas es baja, si se compara con la tasa de transferencia de moléculas de la fase continua. El ciclo de formación de la gota se da a partir de la introducción de las moléculas de esta materia prima por el microcanal (Fig. 5) y (Fig. 6), que se construye cuando se reduce la tensión superficial de la interfaz (aceite vegetal - agua) por el efecto que genera el emulsificante; el fenómeno se explica con la formación de un disco a lo largo del microcanal que al final se rompe para formar la gota, la cual a su vez queda atrapa y rodeada por las moléculas del emulsificante con la finalidad de garantizar la estabilidad de la emulsión¹⁵.

¹⁴ Effect of viscosities of dispersed and continuous phases in microchannel oil-in-water emulsification. Recuperado de: [10.1007/s10404-009-0521-7](https://doi.org/10.1007/s10404-009-0521-7)

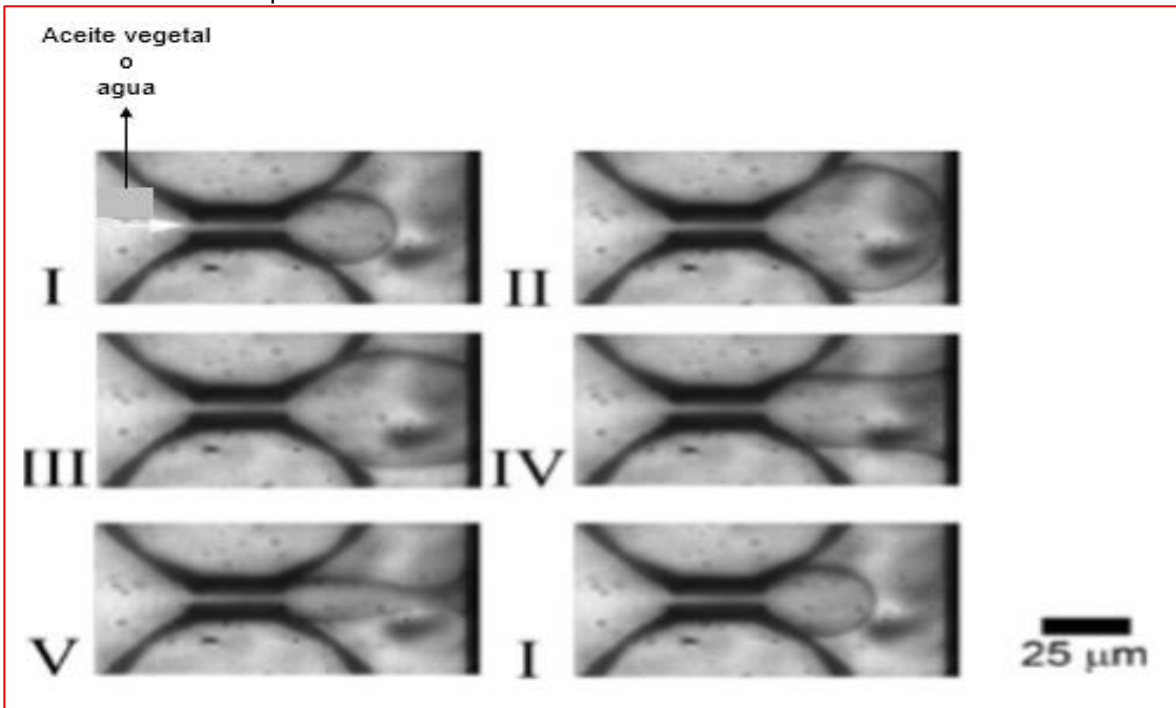
¹⁵ Effect of viscosities of dispersed and continuous phases in microchannel oil-in-water emulsification. Recuperado de: [10.1007/s10404-009-0521-7](https://doi.org/10.1007/s10404-009-0521-7)

Figura 5. Formación de la gota



Fuente: KOEN VAN Dijke, [et al]. Effect of viscosities of dispersed and continuous phases in microchannel oil-in-water emulsification. Springer-Verlag 2009. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10404-009-0521-7>

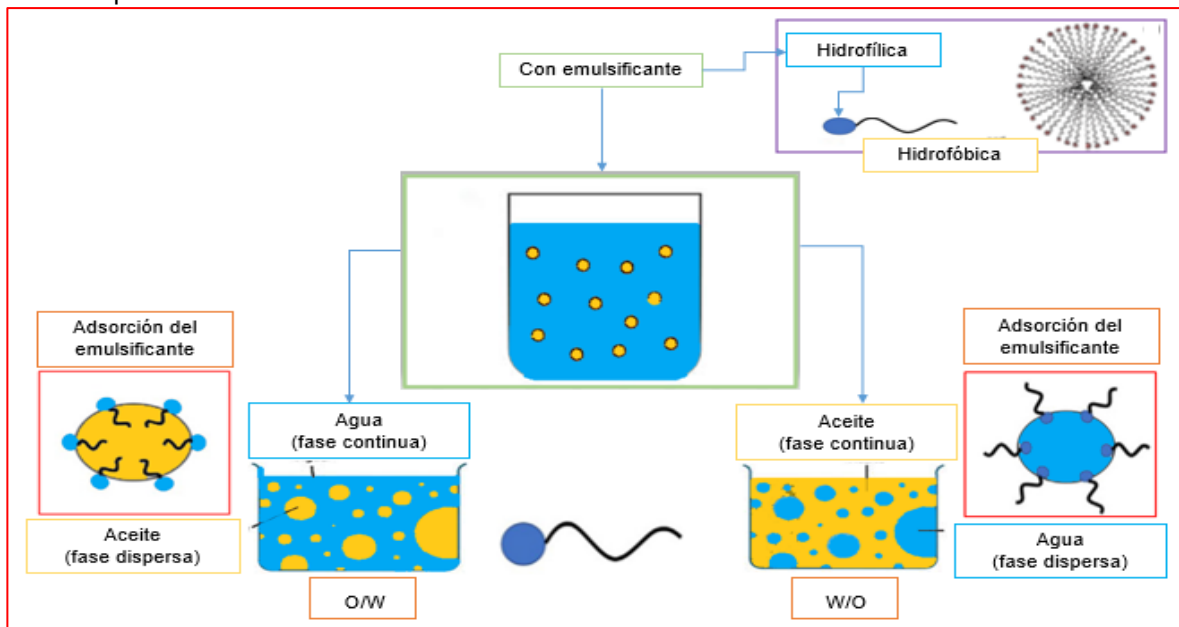
Figura 6. Ciclo de formación de la gota, introducción por el lado izquierdo de la materia prima que actuara como fase dispersante en la emulsión



Fuente: KOEN VAN Dijke, [et al]. Effect of viscosities of dispersed and continuous phases in microchannel oil-in-water emulsification. Springer-Verlag 2009. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10404-009-0521-7>

1.3.3 Emulsificante. Sustancia que reduce la tensión interfacial entre cada uno de los aceites vegetales y el agua ya que a los emulsificantes se les reconoce por ser moléculas anfifílicas, las cuales logran adsorberse en la interfaz¹⁶. Esta actividad superficial ayuda a mejorar las propiedades de dichas materias primas, porque una vez es adicionado en una determinada muestra favorece la dispersión, ya sea del aceite o del agua, dependiendo cual esté actuando como dispersante y así formar la mezcla homogénea y estable de las emulsiones¹⁷ (Fig. 7). El aceite y el agua son materias primas que no se mezclan, se hace necesario el uso de un agente emulsificante para lograr miscibilidad de las fases y estabilidad de la emulsión.

Figura 7. Características de una emulsión y tipo de emulsión de acuerdo con la naturaleza de las materias primas



Fuente: elaboración propia

1.3.4 Estabilidad de las emulsiones. Capacidad que tiene una emulsión para resistir a cambios en sus propiedades físicas y químicas a lo largo del tiempo, los cambios físicos se pueden dar por una alteración en la distribución espacial u organización estructural de las moléculas, mientras los cambios químicos es respuesta a la alteración en el tipo de moléculas presentes¹⁸.

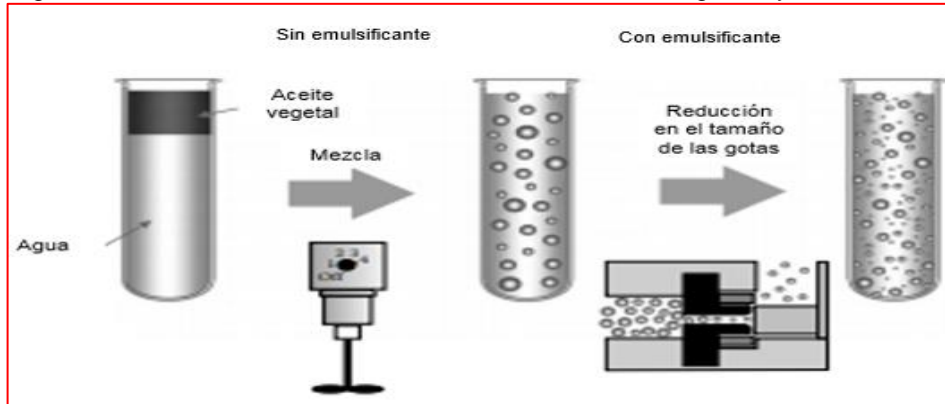
¹⁶ Preparation of monodisperse O/W emulsions using a crude surface-active extract from argan by-products in microchannel emulsification, Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.124050>

¹⁷ Emulsification and emulsion flow in thermal recovery operations with a focus on SAGD operations: A critical review. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117141>

¹⁸ Food Emulsions: Principles, practices, and techniques. Third edition (2016). Recuperado de: <https://doi.org/10.1201/b18868>

Conocer la naturaleza química de los emulsificantes juega un papel importante en la formación y estabilidad de una emulsión, porque permite determinar en cuál de las materias primas, aceite vegetal o agua, es más soluble. Teniendo en cuenta lo anterior, antes de dar paso a la homogenización con ayuda del agitador mecánico (Fig. 8)¹⁹, se debe realizar uno de los procesos vinculados a la etapa de pre-homogenización, el cual es la dispersión del emulsificante en la materia prima con la que tiene mayor solubilidad.

Figura 8. Mecanismo de obtención de una emulsión homogénea y estable



Fuente: MCCLEMENTS, David. J. Food emulsions, principles, practices, and techniques. Third edition; CRC Press (2016); New York; Pág. [246]. Recuperado de: <https://doi.org/10.1201/b18868>

1.3.5 Materias primas hidrofílicas. Sustancias que tienen afinidad con el agua, gracias a que tienen grupos funcionales polares fuertes que interactúan fácilmente con el agua; por lo tanto, en disolución o coloide las moléculas hidrófilas son a su vez lipófilas, es decir, no se pueden mezclar con lípidos o grasas²⁰, como es el caso del agua que será la materia prima hidrofílica de la emulsión.

1.3.6 Materias primas hidrofóbicas. Aplica para aquellas sustancias que son repelidas por el agua, o que simplemente no se pueden mezclar con el agua. Un ejemplo, son las moléculas de los aceites vegetales que estarán en las emulsiones; las cuales experimentan fuerzas de interacción entre grupos no polares separados por el agua. Esto se explica con el hecho de que las moléculas de agua tienen la capacidad de formar enlaces de hidrógeno relativamente fuertes con sus vecinos más cercanos, mientras que las moléculas de la materia prima hidrofóbica o no polar, solo puede formar enlaces de Van Der Waals relativamente débiles²¹.

¹⁹ Food Emulsions: Principles, practices, and techniques. Third edition (2016). Recuperado de: <https://doi.org/10.1201/b18868>

²⁰ A hydrophobic release agent containing SiO₂-CH₃ submicron-sized particles for waterproofing mortar structures, Elsevier (2018), Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.018>

²¹ Food Emulsions: Principles, practices, and techniques. Third edition (2016). Recuperado de: <https://doi.org/10.1201/b18868>

1.3.7 Materias primas anfílicas. Sustancias que tiene regiones polares y no polares en la misma molécula (Fig. 9); los emulsificantes son las materias primas reconocidas por ser de naturaleza anfílica. Por lo tanto, sus moléculas se ubican en la interfase entre el aceite vegetal y el agua, garantizando así que las regiones no polares del emulsificante se ubiquen en orientación a la materia prima oleosa o simplemente aceite vegetal, mientras las regiones polares se orienten en función de su fase acuosa, es decir, el agua²².

Figura 9. Estructura molecular de las materias primas anfílicas



Fuente: elaboración propia

1.3.8 Aceites vegetales. Son triglicéridos (glicerol y ácidos grasos), de diversas composiciones de ácidos grasos, los cuales están presentes naturalmente en semillas de plantas oleaginosas. Estos ácidos grasos forman largas cadenas en los aceites vegetales, la longitud de estas cadenas es la que los caracteriza y los diferencia entre ellos, al igual que el número y la posición de los dobles enlaces en la unión carbono-carbono (C-C); también otro aspecto diferenciador entre ellos es la presencia de grupos funcionales específicos a lo largo de estas cadenas de ácidos grasos ²³. También es importante mencionar que algunos contienen monoglicéridos y diglicéridos, al igual que ácidos grasos libres, fosfátidos, esteroides, tocoferoles, vitaminas liposolubles, entre otros.

Existen dos clases de ácidos grasos, aquellos que son saturados (palmítico, láurico, mirístico, araquídico, esteárico, cáprico, entre otros) e insaturados (linoleico, linolénico, oleico); en los ácidos grasos insaturados, también se conoce otra clasificación de acuerdo con los dobles enlaces en la molécula, monoinsaturados (MUFA) por ser de un solo doble enlace, que es propio en el omega 9, y los poliinsaturados (PUFAs) por ser de dos o más dobles enlaces, que es propio en el omega 6 y 3²⁴. Por lo tanto, se les reconoce por su amplia aplicación en los distintos sectores industriales, especialmente en la industria de alimentos por su importante

²² Food Emulsions: Principles, practices, and techniques. Third edition (2016), pág 4. Recuperado de: <https://doi.org/10.1201/b18868>

²³ Conjugated linoleic Acids and conjugated vegetable oils. Pág. 119. Recuperado de: [10.1039/9781782620211](https://doi.org/10.1039/9781782620211)

²⁴ Screening of some lesser known tree-borne oilseed plants from North-East India for their oil content and major fatty acid components, pág [1-2]. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plefa.2017.08.014>

fuerza nutricional seguida por la industria de los biocombustibles y la alternativa de incluirlos para la obtención de agentes desmoldantes.

Algunas de las semillas de plantas oleaginosas más conocidos son: almendra de palma (es una de las plantas oleaginosas con mayor producción en el mundo) soya, colza, semilla de girasol, semilla de algodón, oliva, maíz, maní, copra, nuez, semilla de uva, sésamo, linaza, ricino o castor, entre otros ²⁵.

1.3.9 Aceites vegetales usados. Son residuos que se pueden aprovechar y utilizarlos como materias primas para distintos procesos industriales. Estos igualmente, son originarios de plantas oleaginosas, los cuales han sufrido transformaciones físicas debido a los usos domésticos en frituras y se pueden conseguir en los distintos establecimientos de comercio, tales como: hoteles, restaurantes, casas domésticas, entre otros. Sin embargo, los aceites usados de origen vegetal pueden ofrecer una alternativa prometedora para los agentes de liberación en formaletas de la industria de la construcción, teniendo en cuenta el tratamiento adecuado (Fig. 10).

Figura 10. Proceso de tratamiento de los aceites vegetales usados



Fuente: SIGRA. Tratamiento de aceites vegetales usados Recuperado: <https://sigra.com/2015/07/21/aceites-vegetales-usados-lo-que-debe-saber-sobre-su-manejo/>

1.3.10 Aceites minerales. Se les reconoce por ser materias primas simples, obtenidas de la destilación del petróleo como derivados parafínicos y nafténicos, las cuales se caracterizan por ser de baja viscosidad.

²⁵ Conjugated linoleic Acids and conjugated vegetable oils. Pág. 119. Recuperado de: 10.1039/9781782620211

2. METODOLOGÍA

Llevar a cabo la producción de un agente desmoldante obtenido como emulsión a base de aceite vegetal, agua y emulsificante, requiere de un planteamiento y una formulación estratégica para que el producto cumpla con unas características y propiedades similares o mejores que los desmoldantes convencionales que actualmente se comercializan en el mercado de productos destinados para la industria de la construcción. Algunas de estas características, es ser un producto viscoso y estable que garantice la distribución uniforme en las formaletas metálicas cuando sea aplicado, facilite la remoción de las formaletas metálicas cuando la mezcla de concreto con propiedades plásticas y maleables se convierta en un concreto endurecido, reduzca así mismo la fracción de pega en estas formaletas y no menos importante favorezca los acabados de las piezas o placas de concreto.

El planteamiento para el desarrollo experimental contempló tres etapas generales:

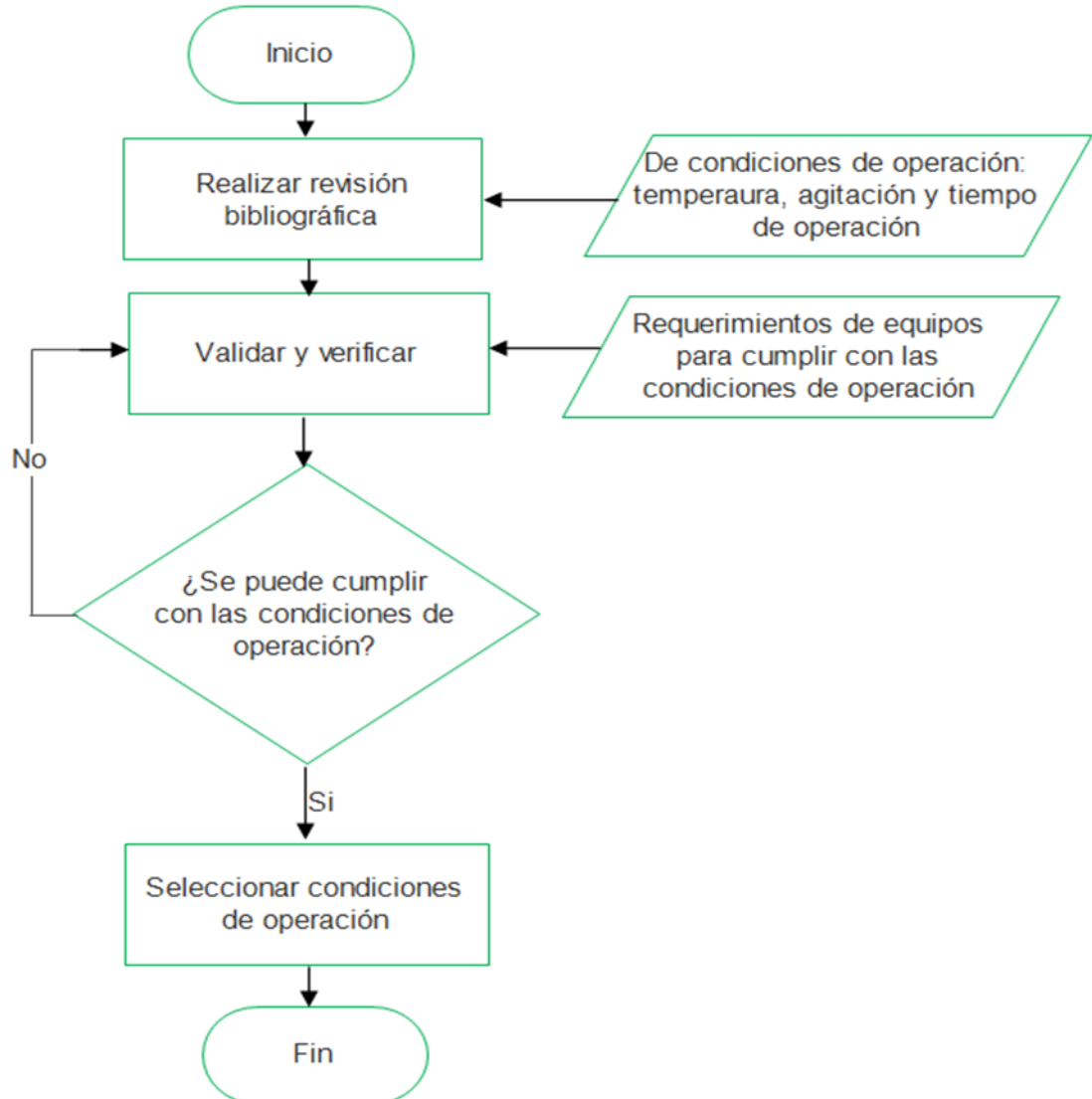
- a) Selección de condiciones de operación y materias primas.
- b) Selección de los aceites vegetales y emulsiones de acuerdo con su desempeño en pre-experimentación y experimentación
- c) Elaboración de las emulsiones

2.1 SELECCIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN Y MATERIAS PRIMAS

La temperatura, agitación y el tiempo son las condiciones de operación para tener en cuenta en la producción de un agente desmoldante obtenido como una emulsión a base de aceites vegetales. Adicionalmente la selección de materia prima como los aceites vegetales, dependerá de la disponibilidad, el abastecimiento y su respectiva caracterización fisicoquímica; mientras los emulsificantes obedecerá a una selección teniendo presente los resultados de los estudios de investigación anteriores y por supuesto su naturaleza química.

2.1.1 Condiciones de operación. En el ejercicio de parametrizar las condiciones de operación se realizó una revisión bibliográfica de fuentes relacionadas con la producción de agentes desmoldantes como se muestra en el diagrama 1, específicamente aquellos que son a base de aceites vegetales y que se obtienen como emulsiones, ya sea de tipo agua en aceite (W/O) o aceite en agua (O/W). Las condiciones de operación que se definen son la temperatura T (°C), agitación (rpm) y tiempo de residencia u operación.

Diagrama 1. Condiciones de operación



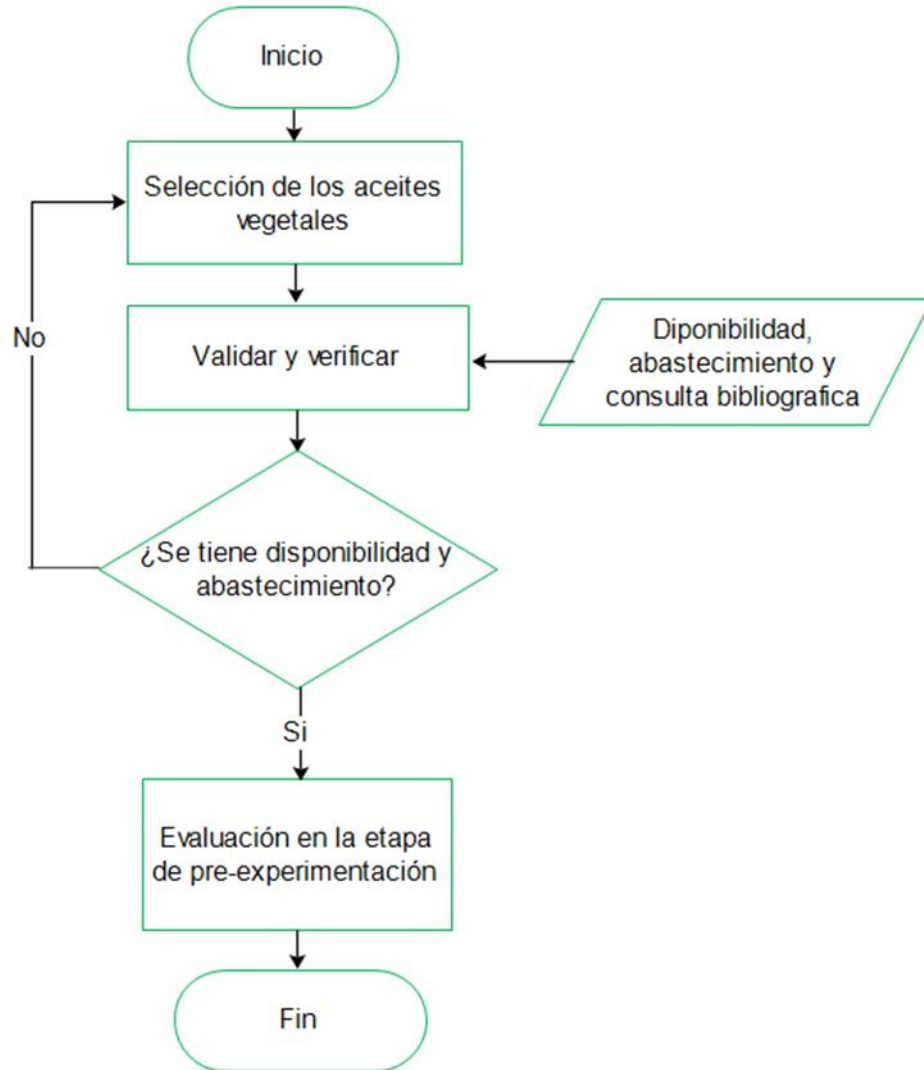
Fuente: elaboración propia

2.1.2 Selección de materias primas. Se realizó un estudio investigativo sobre la disponibilidad y abastecimiento de la diversidad de aceites vegetales que se tiene a nivel mundial y como se encuentra Colombia al respecto, como se indica en el diagrama 2. Posteriormente se determinó la estructura química de los aceites a través de técnicas conocidas como, índice de yodo y análisis de cromatografía, las cuales permiten medir el perfil de ácidos grasos (grado de insaturación), es decir, tipo y número de enlaces.

Adicionalmente, se realizó la selección de emulsificante de acuerdo con la revisión bibliográfica de fuentes relacionadas con la producción de agentes desmoldantes

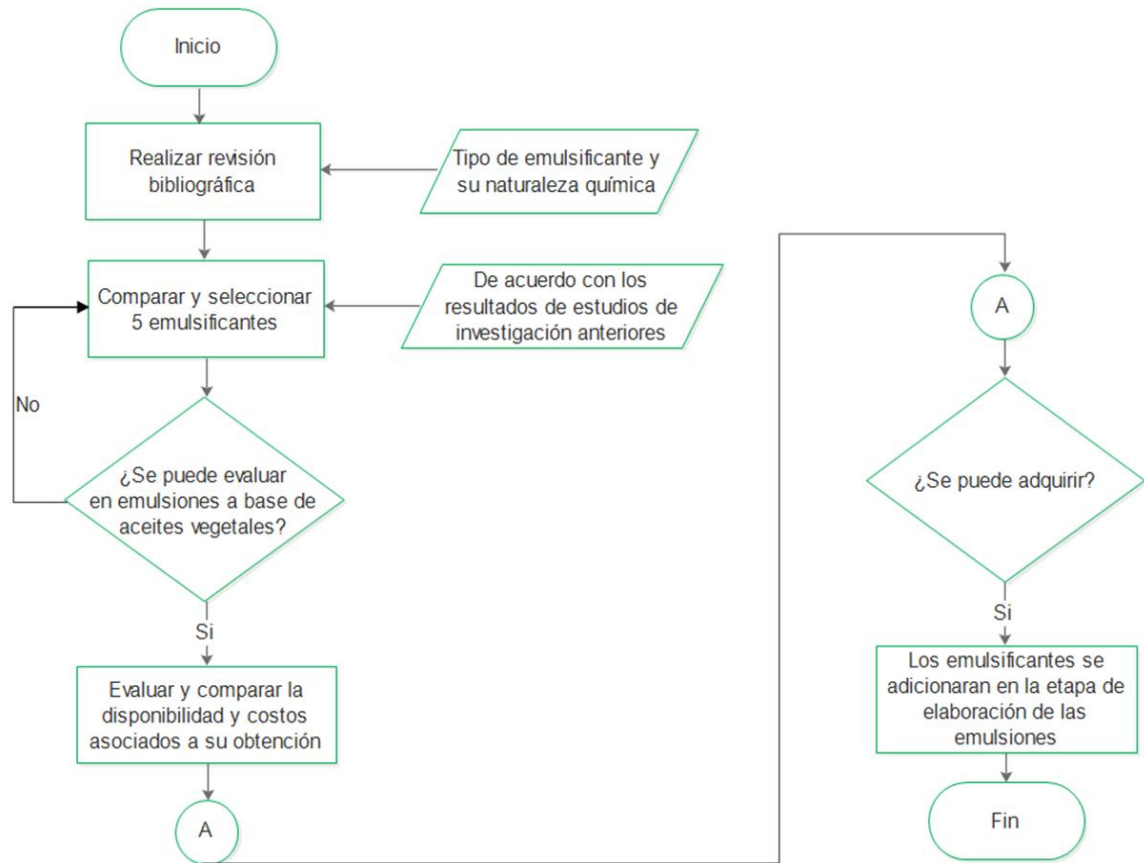
como se muestra en el diagrama 3. Selección en la que se tuvo en cuenta el tipo de emulsificante y su naturaleza química para tener 5 candidatos.

Diagrama 2. Selección de aceites vegetales



Fuente: elaboración propia

Diagrama 3. Selección de los emulsificantes



Fuente: elaboración propia

2.2 SELECCIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES Y EMULSIONES DE ACUERDO CON SU DESEMPEÑO EN PRE-EXPERIMENTACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN

Es donde se llevó a cabo la aplicación y distribución de manera uniforme de los aceites vegetales y las emulsiones en las formaletas metálicas que tendrán contacto con el concreto.

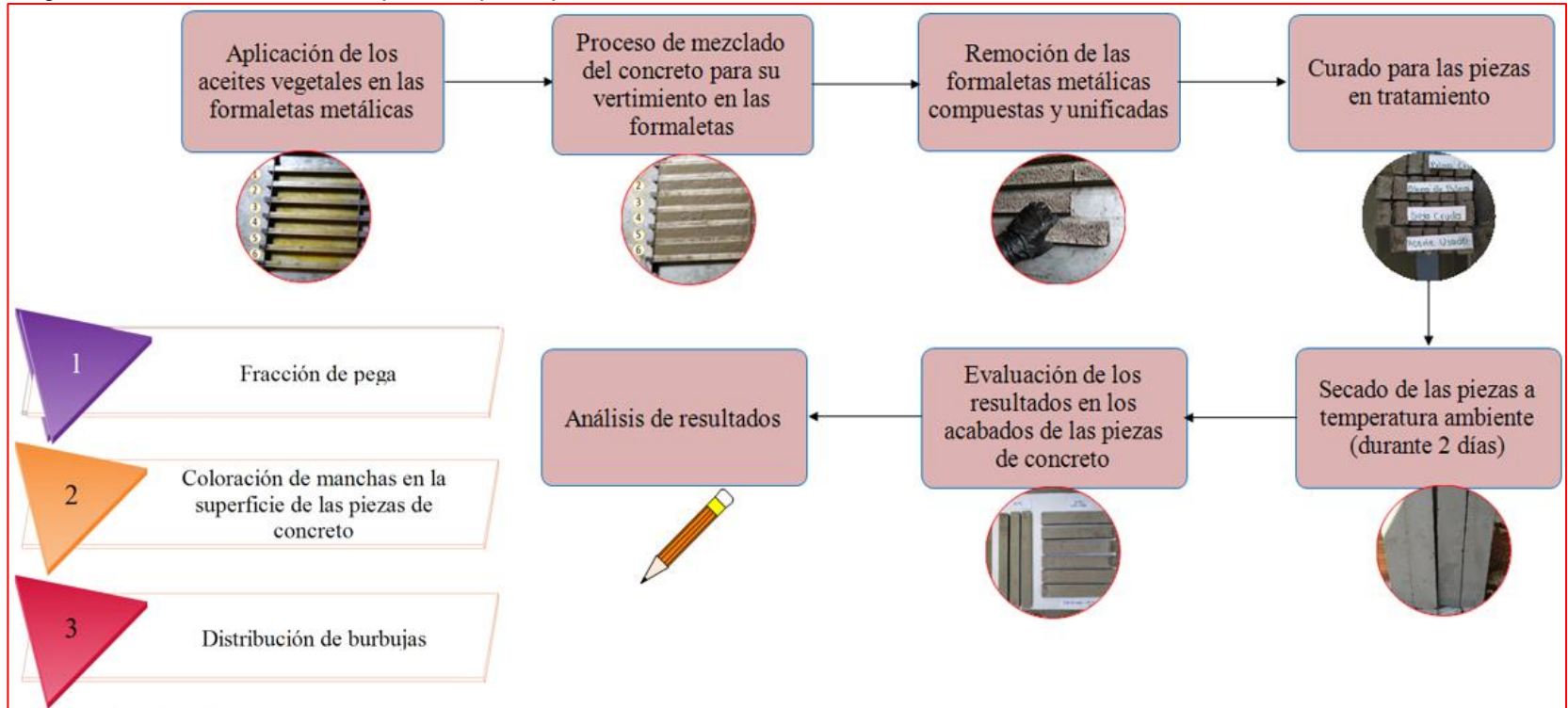
Adicionalmente, una vez que se obtiene la selección de los aceites vegetales, se procede a realizar una validación de desempeño a través de una pre-experimentación, etapa en la que consiste aplicar a las formaletas metálicas los aceites vegetales de palma cruda, oleína de palma, soya cruda, aceite usado y ácidos grasos, teniendo en cuenta que estos aceites no se encuentran emulsionados, ni tampoco en adición con otros componentes o materias primas. La pre-experimentación permite seleccionar los dos mejores aceites vegetales como candidatos para la producción de un agente desmoldante y descartar aquellos que no muestren un buen desempeño, teniendo en cuenta unos criterios de evaluación cualitativos y cuantitativos, de acuerdo con los acabados de las piezas de concreto. Por lo tanto, en la pre-experimentación (Diagrama 4), la selección de los dos

mejores aceites vegetales permite especificar cuáles de los aceites se pueden incluir como materias primas en una experimentación, que tiene el propósito de obtener un agente desmoldante a través de una emulsión.

La experimentación, consiste en validar el desempeño de las emulsiones elaboradas a partir de los aceites vegetales (Diagrama 5) que fueron seleccionados en la pre-experimentación; para esto se evaluó su estabilidad y posteriormente la aplicación en las formaletas metálicas, garantizando su distribución uniforme en el área de contacto con la formaleta (Anexo 1).

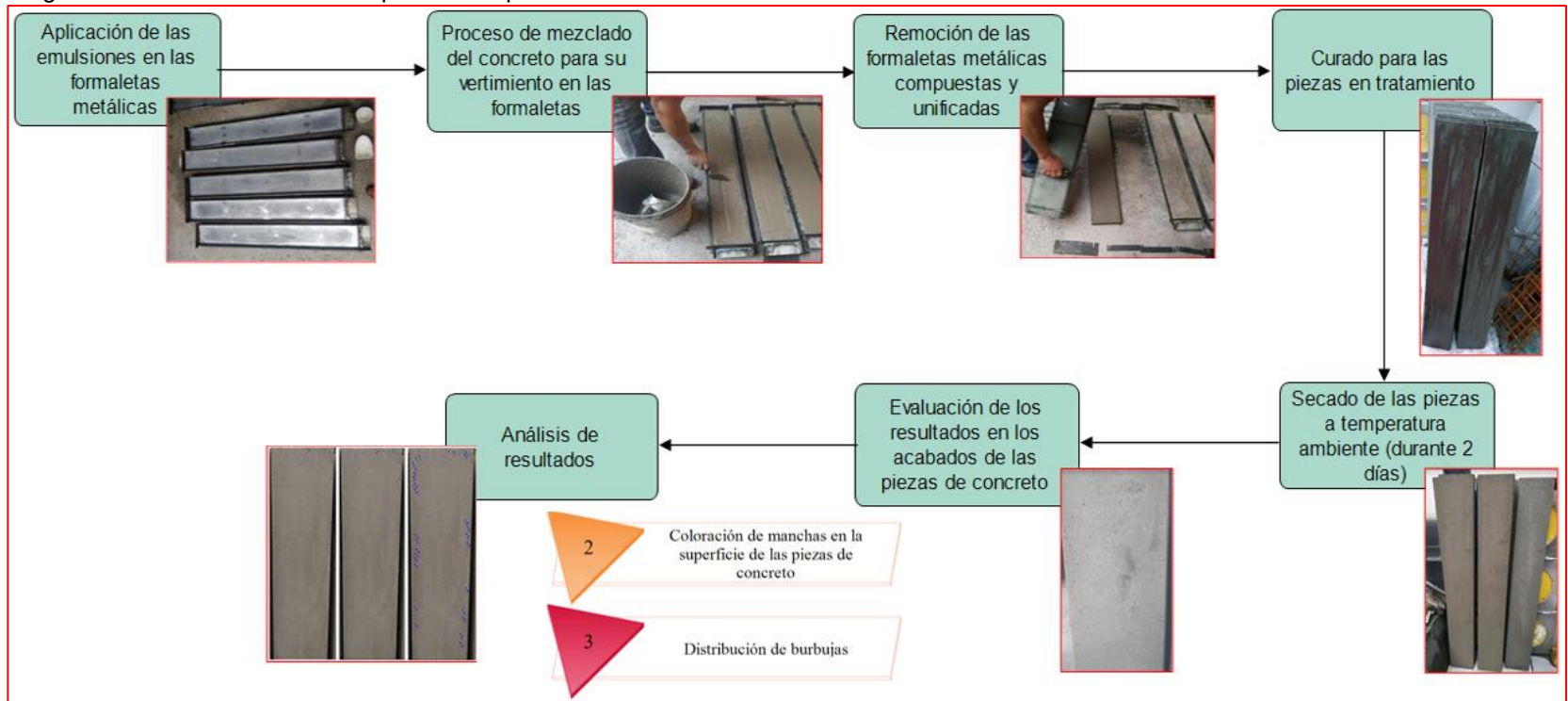
El diagrama 6, permite describir y mostrar el paso a paso de la remoción de las formaletas metálicas, cuando el concreto ha sufrido un proceso de fraguado o secado en un determinado tiempo.

Diagrama 4. Validación de desempeño en pre-experimentación



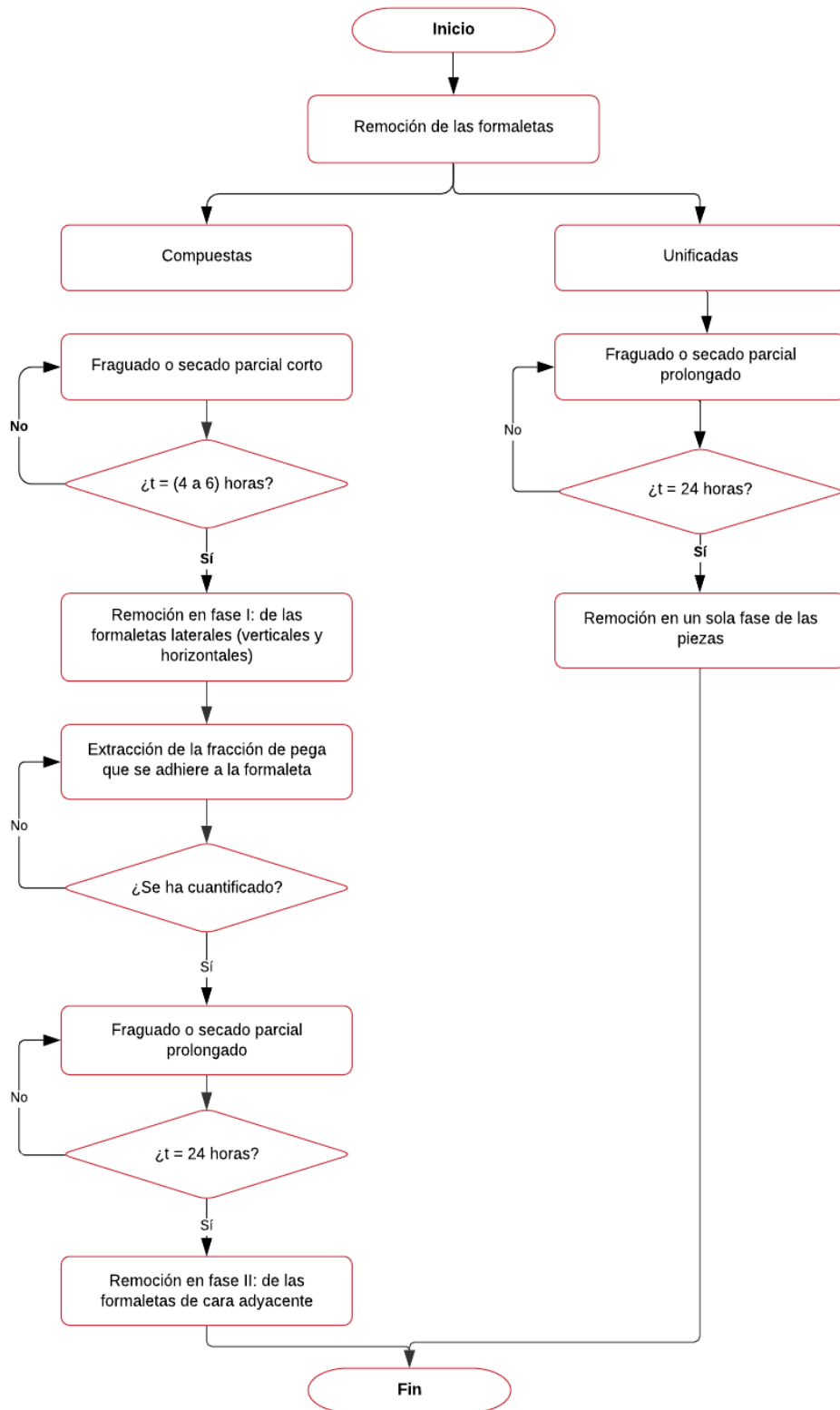
Fuente: elaboración propia

Diagrama 5. Validación de desempeño en experimentación



Fuente: elaboración propia

Diagrama 6. Remoción de las formaletas

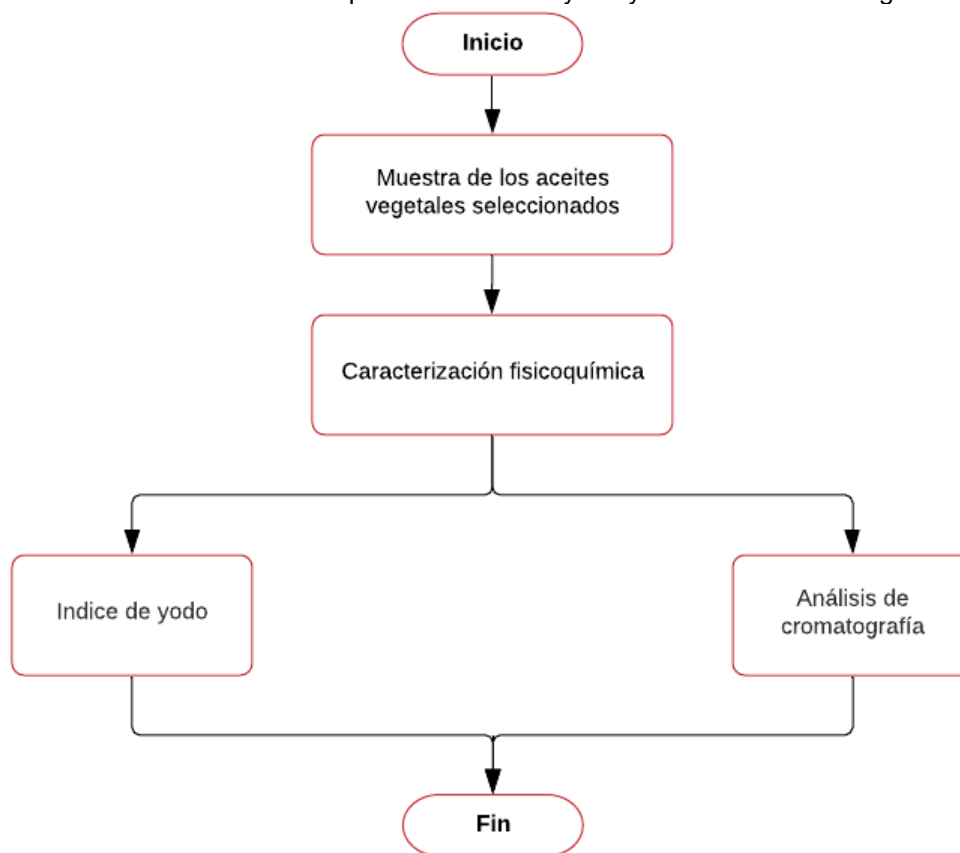


Fuente: elaboración propia

2.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS ACEITES VEGETALES

Posteriormente se determina la estructura química de los aceites vegetales seleccionados en la validación de desempeño correspondiente a la pre-experimentación a través de técnicas conocidas como, índice de yodo y análisis de cromatografía, las cuales permiten medir el perfil de ácidos grasos (grado de insaturación), es decir, tipo y número de enlaces. Esta caracterización se realiza como se indica en el diagrama 7.

Diagrama 7. Caracterización fisicoquímica: Índice de yodo y análisis de cromatografía

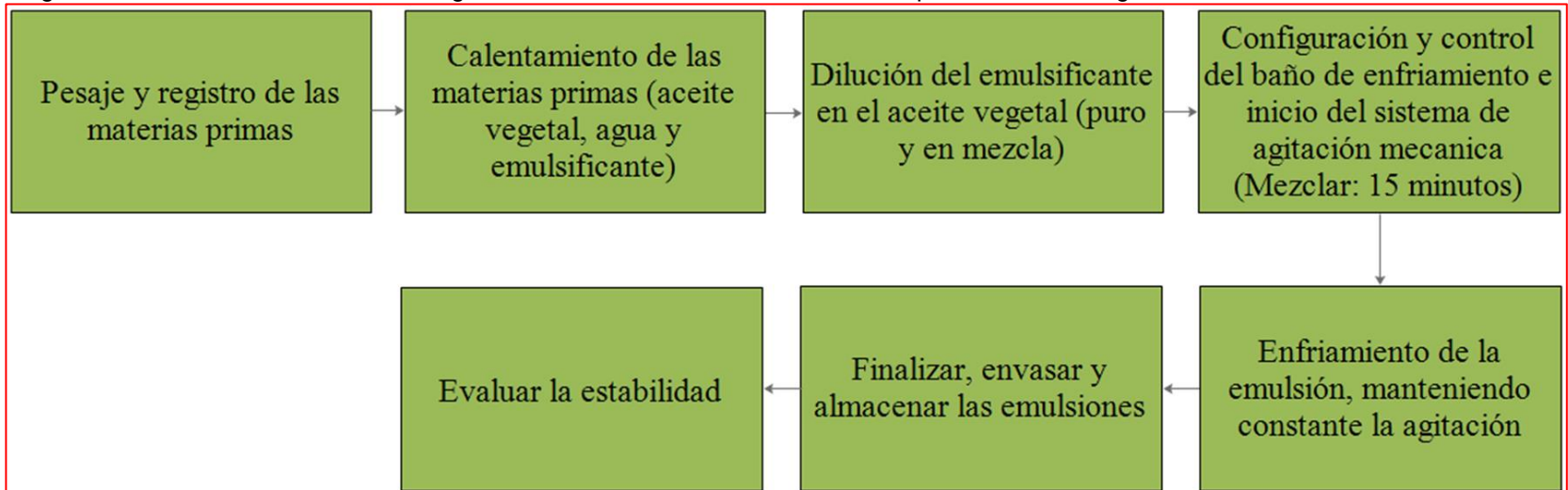


Fuente: elaboración propia

2.4 ELABORACIÓN DE LAS EMULSIONES

Se estableció una fórmula estándar que correlaciona las cantidades de las materias primas a usar en la emulsión, así como también fue necesario determinar las condiciones de operación de temperatura y agitación mecánica para su correspondiente elaboración. Adicionalmente se definieron las variables independientes: el tipo de aceite vegetal, el tipo de emulsificante puro, la combinación de emulsificantes y la concentración del emulsificante. De igual manera, se tienen las variables dependientes como la fracción de pega que se evalúa en el desempeño (Diagrama 8).

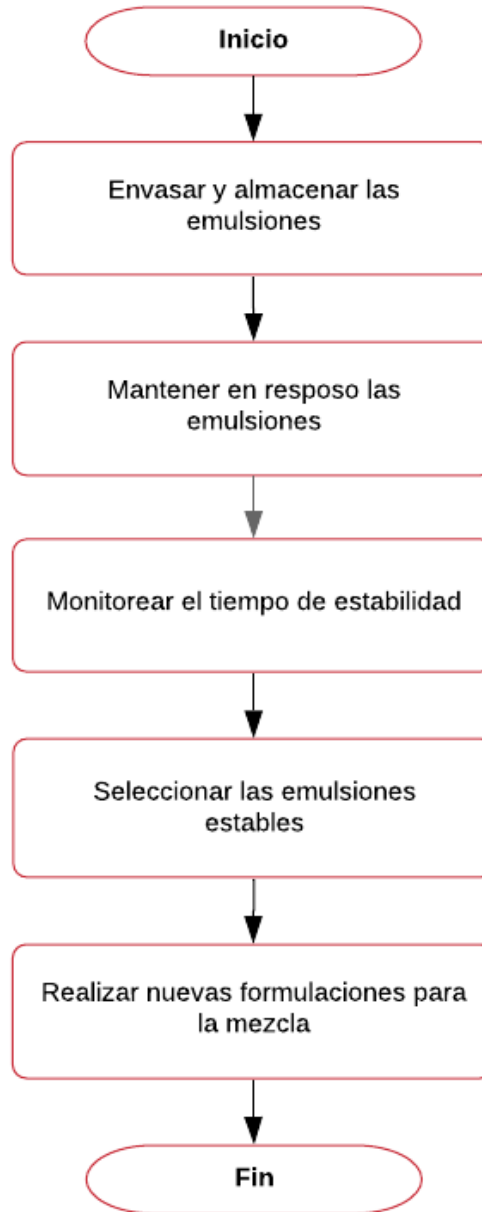
Diagrama 8. Proceso de obtención del agente desmoldante como una emulsión a partir de aceite vegetal



Fuente: elaboración propia

Una vez envasadas y almacenadas las emulsiones, se realiza una evaluación de su estabilidad, como se indica en el diagrama 9.

Diagrama 9. Evaluar estabilidad de las emulsiones



Fuente: elaboración propia

3. SELECCIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN Y DE MATERIAS PRIMAS

Para definir la obtención de un agente desmoldante es necesario determinar parámetros o condiciones de operación, seleccionar la materia prima y realizar su respectiva caracterización a través de un análisis fisicoquímico, que incluye las técnicas de índice de yodo y cromatografía. Para la selección de la materia prima, se debe tener en cuenta la disponibilidad de materia prima en Colombia o sus facilidades de acceso que promuevan su abastecimiento, sostenibilidad y los costos asociados a la adquisición del aceite vegetal al igual que otras materias primas como los emulsificantes.

3.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN

De acuerdo con los estudios de investigación consultados²⁶ y aportes técnicos del área de investigación y desarrollo de la compañía de Sigra S.A se determinaron las condiciones de operación (Tabla 1) del proceso que permite la obtención de un agente desmoldante a través de una emulsión homogénea y estable.

Tabla 1. Condiciones de operación para la elaboración de la emulsión

Condiciones de operación		
Temperatura (°C)	Agitación mecánica (rpm)	Tiempo de agitación (minutos)
40 - 55	500	40 - 50

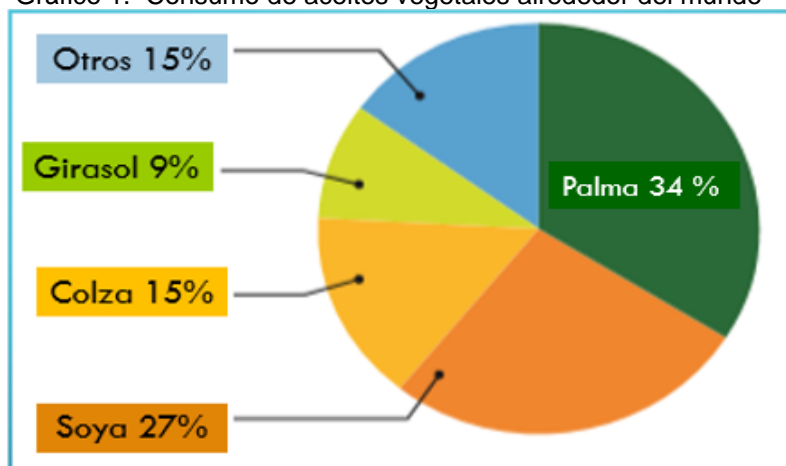
Fuente: elaboración propia

3.2 SELECCIÓN DEL ACEITE VEGETAL

El aceite vegetal es una de las materias primas que participa en mayor proporción para la obtención del agente desmoldante y además es el principal responsable de conferirle la propiedad hidrofóbica al concreto u hormigón a través de la película que se forma en la superficie. Dentro de las posibles materias primas para la obtención del agente desmoldante se encuentra el aceite de palma, la oleína de palma, el aceite de soya, aceite usado y los ácidos grasos; estos candidatos se han seleccionado en virtud de su disponibilidad, abastecimiento y sostenibilidad.

²⁶ F.M. León Martínez, E.F. Abad Zarate, L. Lagunez Rivera, P.F. de J. Cano Barrita; Laboratory and field performance of biodegradable release agents for hydraulic concrete. Recuperado de: DOI 10.1617/s11527-015-0681-8

Gráfico 1. Consumo de aceites vegetales alrededor del mundo



Fuente: BROWN Janet. Inform International news on fats, oils, and related materials (Plant-based 'Ice cream'). AOCS Recuperado de: <https://www.aocs.org/stay-informed/inform-magazine/inform-archives?SSO=True>

La palma, es una de las plantas oleaginosas con mayor producción en el mundo, teniendo una participación del 34% en este mercado, seguido del aceite de soya que llega al 27%, colza o también conocido como canola con el 15%, girasol es un 9% y 15% corresponde a otros aceites vegetales, dentro de los que se destacan el cártamo, algodón, oliva maíz, lino, maní, ajonjolí, cacao e higuierilla (Gráf.1). Estas plantas oleaginosas se les reconocen por su alto contenido de ácido grasos, proteínas y otros compuestos que las hacen únicas e importantes en los distintos sectores de su aplicación.

Por otro lado, en Colombia ya es posible reciclar el aceite de cocina usado para su aprovechamiento a gran escala y destinarlo a distintos fines como lo es la alternativa de incluirlo como materia prima en la obtención de un agente desmoldante. De la misma manera, las industrias productoras de aceites vegetales están enfocadas en el desarrollo e innovación, aprovechando los residuos generados en cada uno de sus procesos, contribuyen con el cuidado y preservación del medio ambiente, así como la reducción en la emisión de agentes contaminantes a la atmosfera.

3.2.1 Aceite vegetal usado. El aceite vegetal usado, puede ser originario de cualquiera de las plantas oleaginosas de las que se obtiene aceite comestible, de las más conocidas la palma de aceite en sus distintas especies (*Elaeis guineensis*, *E. oleifera*, OxG)²⁷. *Elaeis guineensis*, es la especie que más se cosecha para abastecer la producción de aceite, gracias a la mayor cantidad de frutos por planta.

²⁷ ¿Qué es el aceite de palma?: Composición y características, Recuperado de: <https://aceitedepalmasostenible.es/aceite-palma-composicion-caracteristicas/>

Los aceites usados se convierten en un residuo orgánico debido a los distintos usos, al cual se le debe realizar prácticas aptas de manipulación y tratamientos idóneos para transformarlos en materia prima para la obtención de otros productos (Fig. 11), con el objetivo de evitar que se acumulen en los desagües o vertimientos de aguas y sea un problema al momento del desecho. Estos aceites usados, son altamente contaminantes en respuesta a los residuos o material particulado conferido por sus usos preliminares en frituras y su consumo promueve la proliferación de radicales libres y acrilamidas²⁸; los cuales pueden llegar a los ríos generando una capa en la superficie que impide el paso de luz solar y del oxígeno ocasionando la mortandad de especies de la flora y fauna de nuestros ecosistemas, propiciando también el crecimiento de bacterias, hongos, roedores e insectos.

Figura 11. Buenas prácticas para el manejo de los aceites de cocina usados.



Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE. Reglamentación de la disposición de aceites de cocina usados en el país. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3673-ministerio-de-ambiente-reglamenta-disposicion-de-aceites-de-cocina-usados-en-el-pais>

A raíz de mitigar los problemas de contaminación generados por el aceite vegetal usado, el Ministerio de Ambiente establece la resolución 0316 de 2016, la cual se encarga de promover y regular el ejercicio de reciclar este líquido inmiscible en el agua para empresas y grandes complejos industriales²⁹. Aunque esta resolución excluye de manera directa a las casas domésticas, es importante aclarar que existe una inclusión de manera indirecta a este ejercicio de reciclar el aceite usado para

²⁸¿Cómo y por qué deshacerse del aceite de cocina usado? (2017), recuperado de: <https://sostenibilidad.semana.com/impacto/articulo/aceite-de-cocina-usado-como-botarlo-y-reciclarlo-en-colombia/38474>

²⁹Ya es posible reciclar el aceite de cocina usado en Colombia, recuperado de: <https://www.elspectador.com/noticias/medio-ambiente/ya-es-posible-reciclar-el-aceite-de-cocina-usado-en-colombia-articulo-744117>

así también dar cumplimiento al contrato de servicios públicos domiciliarios, el cual ampara la prohibición de verter grasas y aceites a los sistemas de alcantarillado³⁰. La forma de evitar futuros daños en la red es contribuir con la recolección de aceite de cocina en una botella plástica una vez usado y posteriormente conducirlo a los puntos de reciclaje de este, encargados de impulsar y desarrollar todas las gestiones encaminadas a favorecer su aprovechamiento. De esta forma se busca la oportunidad de convertir el residuo en materia prima para la obtención de un agente desmoldante que pueda ser aplicado a las formaletas y facilite su remoción, la cual se realiza después del proceso de fraguado del concreto en la industria de la construcción y así tener una alternativa para reemplazar el ACPM. Adicionalmente con el aceite usado se busca la disponibilidad como materia prima para la producción de agentes desmoldantes a través del abastecimiento por parte de las casas domésticas, pequeños restaurantes, hoteles, cafeterías y empresas industriales.

3.2.2 Aceite de Palma. La producción de aceite de palma en Colombia, permite ubicarla en el cuarto lugar a nivel mundial detrás de Indonesia, Malasia y Tailandia. Mientras en América se encuentra en el primer lugar, gracias a que su cultivo se encuentra distribuido en 21 departamentos, dentro de los que se integran 161 municipios³¹ (Fig. 12).

La industria de palmicultores ya cuenta con una trayectoria de 60 años en Colombia y se reportan cerca de unas 500.000 hectáreas de palma de aceite sembradas, distribuidas en los más de 6.000 productores, de los cuales 5.000 son pequeños productores, quienes constantemente buscan hacer parte del proceso estándar *Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO)*, por sus siglas en inglés; proceso que consiste en diseñar una estrategia amigable con el medio ambiente que favorezca la conservación de la biodiversidad y no menos importante implemente buenas prácticas laborales y sociales.

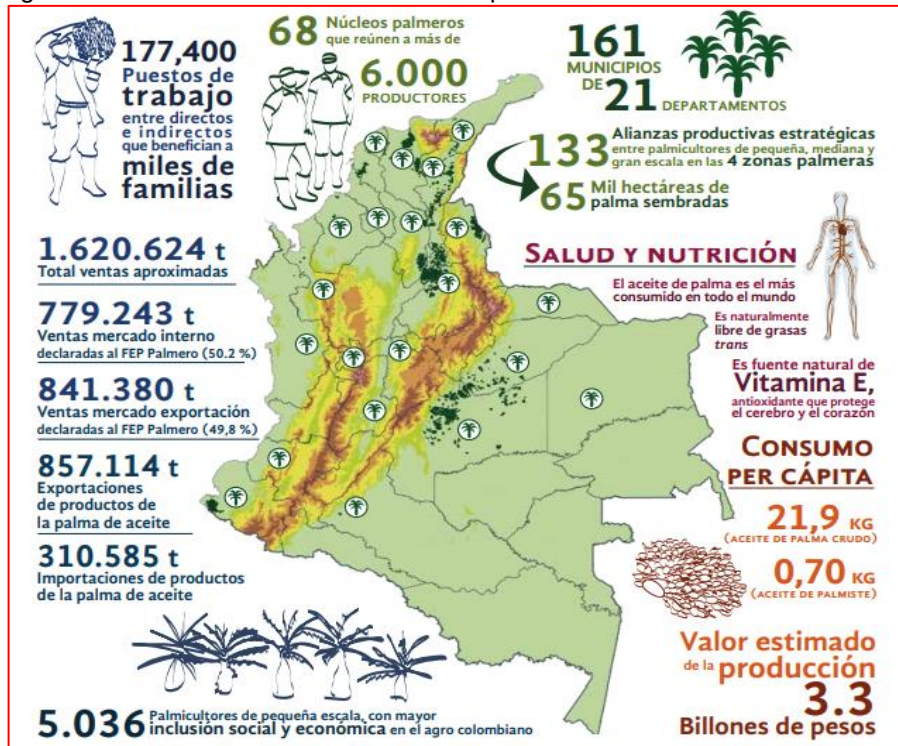
Por otra parte, la industria de palmicultores ofrece 177.400 empleos, entre directos e indirectos, lo que ayuda a responder con una demanda total de ventas en el mercado que oscila en 1.620.624 Ton, de las cuales el 50,2% son ventas destinadas al mercado interno, mientras el excedente 49,8% corresponde a la exportación (Fig.

³⁰ Cada litro de aceite que usted bota ensucia mil litros de agua (2017), recuperado de: <https://www.eltiempo.com/bogota/cada-litro-de-aceite-botado-en-bogota-ensucia-mil-litros-de-agua-151338>

³¹ Fedepalma, La palma de aceite en Colombia, recuperado de: <http://web.fedepalma.org/la-palma-de-aceite-en-colombia-departamentos>

12)³². Adicionalmente, se registra que en Malasia el acogimiento por esta industria llega a 650.000 empleos³³.

Figura 12. La distribución de cultivo de la palma de aceite en Colombia



Fuente: SEMANA REVISTA, Colombia saca la cara por los palmeros del mundo, recuperado de: <https://sostenibilidad.semana.com/negocios-verdes/articulo/colombia-saca-la-cara-por-los-palmeros-del-mundo/38749>

De esta manera se contribuye a extender los cultivos de la palma de aceite en Colombia sin ser necesariamente una consecuencia de la depredación de sus ecosistemas como lo ha establecido el Instituto Humboldt, WWF Colombia, Fedepalma y Cenipalma a través del proyecto implementado desde el 2012 y promovido como 'Paisaje Palmero Biodiverso', el cual se concentra en tres acciones³⁴:

³²La Palma de aceite en Colombia, recuperado de: <http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/infografias/infografia-palmadeaceite-colombia-2019.pdf>

³³La guerra al aceite de palma, recuperado de: <https://www.dinero.com/opinion/columnistas/articulo/la-guerra-al-aceite-de-palma-por-alejandra-carvajal/269681>

³⁴ Colombia saca la cara por los palmeros del mundo, recuperado de: <https://sostenibilidad.semana.com/negocios-verdes/articulo/colombia-saca-la-cara-por-los-palmeros-del-mundo/38749>

- La primera se encarga de diseñar una herramienta que permita orientar la planificación estratégica ambiental de los nuevos cultivos o en materia de expansión en los ya existentes.
- En la segunda establece criterios enfocados para el diseño de los predios palmeros, incluyendo a su entorno pequeños corredores de conectividad para el tránsito de especies y conservación de humedales.
- Como tercera acción se promueve la planificación a nivel de finca, con el objetivo de integrar buenas prácticas agrícolas y planes de conservación de la biodiversidad.

Por ejemplo, en Colombia el 90% de los cultivos de palma de aceite han sido ubicados de manera estratégica en zonas, donde previamente estaban instalados los cultivos de arroz, los destinados a actividades agropecuarias o los terrenos utilizados para la ganadería, de las cuales se ha informado que son 23 millones de hectáreas disponibles o aptas para el cultivo de palma de aceite.

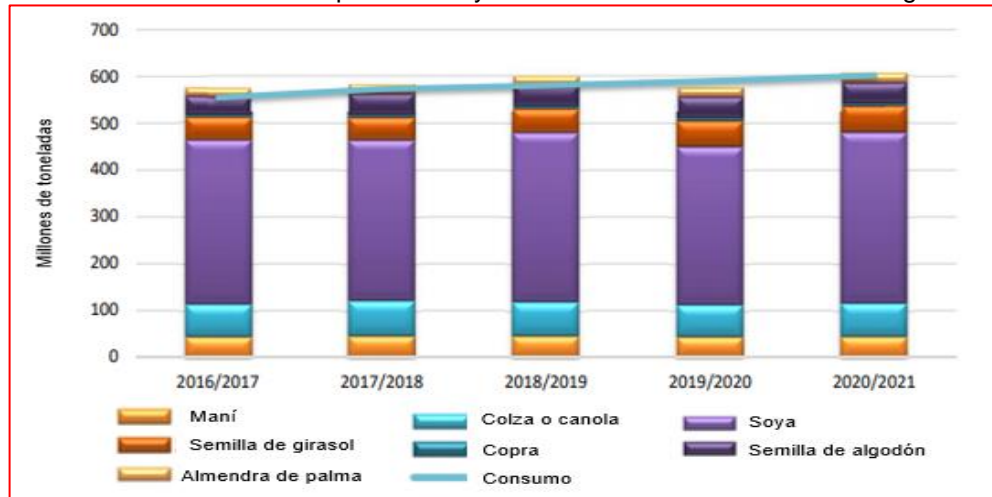
Dentro de estas zonas, se puede incluir el Catatumbo, subregión colombiana ubicada en el noreste del departamento de Norte de Santander, que se extiende entre la Cordillera Oriental de Colombia y el Lago de Maracaibo. Así lo manifestó el mandatario presidencial de la república Colombiana Iván Duque en el desarrollo del XLVII Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite 2019³⁵, dejando en claro que a través del programa “Colombia Rural” se impulsará el ejercicio del cultivo de palma con los pequeños productores que se asocian al sector para dejar a un lado los cultivos ilícitos.

3.2.3 Mercados mundiales y comercio de soya. Para el periodo de transición de 2020/21, se espera un crecimiento del 5% en la producción mundial de semillas oleaginosas; este crecimiento se da principalmente por la fuerte expansión de la producción de soya en los Estados Unidos y América del Sur. Teniendo en cuenta lo anterior, se pronostica que sólo en la producción de soya se llegará de 336.2 en 2019/20 a 362.8 millones de toneladas en 2020/21, es decir, se reflejará un aumento del 7.9%; también se prevé que la producción de semillas de canola, maní, girasol y almendra de palma, estará favorecido en su conjunto principalmente por semillas de girasol y almendra de palma; mientras se presenta un comportamiento contrario con las semillas de copra y algodón, ya que su producción disminuirá. Por lo tanto, el record esperado en plantación de semillas oleaginosas alcanza los 605.9 millones de toneladas (Gráf. 2)³⁶.

³⁵ Palma al día Noticias, XLVII Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite 2019, XLVII Asamblea General de Fedepalma – XXIX Sala General de Cenipalma, Recuperado de: <http://web.fedepalma.org/Palma-al-dia-noticias>

³⁶ United States Department of Agriculture (USDA), Oilseeds: World Markets and Trade, Global

Gráfica 2. Pronóstico de la producción y consumo mundial de semillas oleaginosas



Fuente: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Oilseeds: World Markets and Trade, Global Consumption Recovers in 2020/21 after 2019/20 Drop. Recuperado de: <https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>

Por otro lado, se presenta un incremento del 2% en el consumo mundial de semillas oleaginosas para el periodo de transición 2020/21 (Gráf. 2). Este crecimiento, se debe gracias al ritmo que se viene dando hace dos años desde el periodo de transición 2017/18, ya que desde ese momento en China se ha venido disminuyendo la producción de carne de cerdo en razón a la peste porcina africana. Por consiguiente, aumentará el comercio mundial de semillas oleaginosas debido a la mayor demanda de soya que requiere China; también el crecimiento en el mercado de las semillas oleaginosas estará favorecido por el aumento de exportaciones moderadas en los suministros de semilla de girasol y canola. Es así, como la soya representa la mayor parte de crecimiento en el consumo de las semillas oleaginosas en el mundo, mientras el aumento en el consumo de semilla de girasol se debe principalmente al menor uso de las otras semillas oleaginosas.

3.2.4 Requerimientos de los aceites vegetales para uso como desmoldante.

Los aceites vegetales deben cumplir unas especificaciones mínimas en términos del grado de insaturación dado por el índice de yodo y la estructura química, es decir, el perfil de ácidos grasos a través del análisis por cromatografía. De esta manera, se realiza una caracterización fisicoquímica de los aceites vegetales como materia prima para la obtención de un agente desmoldante que responda a un excelente desempeño en las pruebas de validación del producto. Por consiguiente, el aceite de palma tiene un 50% de ácido grasos saturados y 50% de insaturados (Graf. 3), en su mayoría ácido palmítico y oleico, respectivamente.

Consumption Recovers in 2020/21 after 2019/20 Drop. Recuperado de: <https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>

Gráfica 3. Proporción de ácido grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de distintas grasas y aceites.



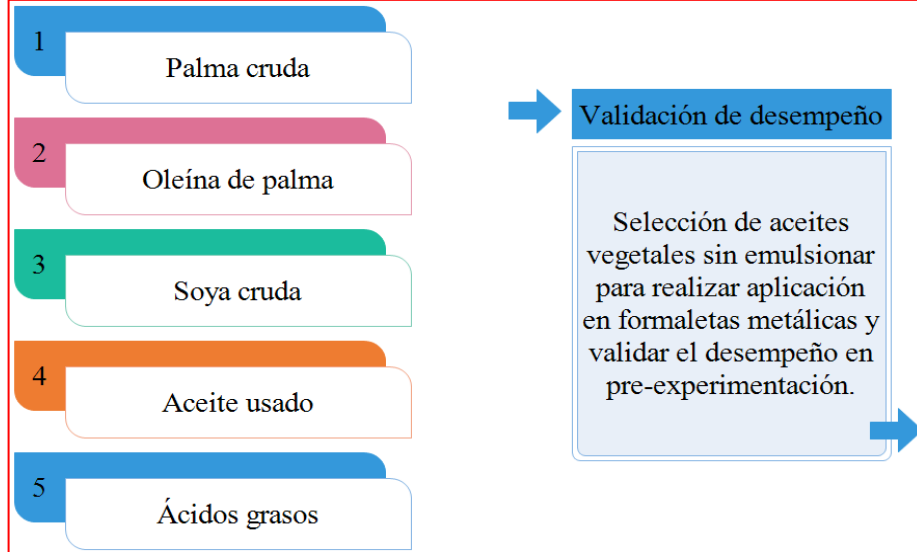
Fuente: FUNDACIÓN ESPAÑOLA DEL ACEITE DE PALMA. ¿Qué es el aceite de palma: composición y características?, recuperado de: <https://aceitedepalmasostenible.es/aceite-palma-composicion-caracteristicas/>.

Los aceites vegetales, actualmente se han convertido en un aliado importante para la obtención de distintos productos, como lo son los agentes desmoldantes que tienen características valoradas por ser un producto antiadherente utilizado para la remoción o desprendimiento de las formaletas en la industria de la construcción, que reduce el desgaste, no mancha el hormigón, ahorra tiempo y dinero, contribuye en la eliminación de burbujas y no menos importante su aplicación evita problemas de corrosión en la infraestructura de los materiales del concreto.

El uso de los aceites vegetales (Diagrama 10) es una alternativa que reemplaza el uso del ACPM como agente desmoldante, el cual, se aplica en las superficies de las formaletas. De esta forma se permite garantizar en primera instancia la salud y seguridad de las personas que se encargan de aplicar estos agentes desmoldantes, quienes inhalan constantemente parte de la cantidad de producto agente desmoldante durante el proceso de aplicación. También esta sustitución total o parcial contribuirá en la conservación, cuidado del medio ambiente y disminución de las emisiones de gases y material particulado. Adicionalmente se está favoreciendo con las actividades del acueducto, cuando se está aprovechando el aceite usado como materia prima para la producción de agentes desmoldantes, ya que se recicla y se dispone para un tratamiento adecuado, evitando de esta manera se lleve a los

alcanzarillos y así disminuya los 8.000 mantenimientos que se realizan por concepto de repasamientos en las redes de alcantarillado³⁷.

Diagrama 10. Aceites vegetales seleccionados para validación en desempeño



Fuente: elaboración propia

³⁷ Cada litro de aceite que usted bota ensucia mil litros de agua (2017), recuperado de: <https://www.eltiempo.com/bogota/cada-litro-de-aceite-botado-en-bogota-ensucia-mil-litros-de-agua-151338>

4. DESARROLLO PRE-EXPERIMENTAL Y EXPERIMENTAL PARA LA PRODUCCIÓN DE UN AGENTE DESMOLDANTE PARTIENDO DE ACEITES VEGETALES

La producción de un agente desmoldante para el presente desarrollo experimental fue a través de una emulsión, en donde se definió, las materias primas, condiciones de operación y el método de dispersión; con la finalidad de conocer los fenómenos asociados al comportamiento de las emulsiones. Adicionalmente, se evaluó el desempeño de estas emulsiones como agentes desmoldantes en las formaletas metálicas que utiliza la industria de la construcción para verter el concreto y dar forma a piezas, placas, columnas o simplemente estructuras a base de concreto.

4.1 SELECCIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES SIN EMULSIONAR DE ACUERDO CON SU DESEMPEÑO EN UNA PRE-EXPERIMENTACIÓN

Se realizó de manera preliminar una pre-experimentación para validar el desempeño que se obtiene con cada uno de los aceites vegetales seleccionados. Esta pre-experimentación consistió en aplicar en las formaletas metálicas los aceites vegetales sin emulsionar y evaluar a través de un análisis comparativo los resultados derivados de cada uno de los aceites vegetales, en función de la facilidad para la remoción de las formaletas, la fracción de pega y los acabados de las piezas en relación con el fenómeno de manchas y burbujas en las superficies que tienen contacto con las formaletas.

Adicionalmente, se buscó que estos aceites vegetales a su vez tuvieran cualidades o características sobresalientes comparadas con las de un agente desmoldante convencional a base de ACPM, tales como la reducción de sustancias tóxicas por la volatilidad de estos productos, tanto para los colaboradores de estas actividades a fin con la construcción como para la contaminación ambiental.

Por otro lado, los aceites vegetales (Tabla 2), se han seleccionado en relación con el grado de insaturación, la disponibilidad y el abastecimiento de materia prima, por parte de los gremios que cosechan plantas oleaginosas y a las industrias de aceites asociadas a todo el proceso de producción.

Tabla 2. Aceites seleccionados sin emulsionar para pruebas de desempeño preliminares
Pre-experimentación

Tipo de aceite	Prueba
Palma cruda	*PA-1
Oleína de palma	PA-2
Soya cruda	PA-3
Usado	PA-4
Ácidos grasos (A.G)	PA-5

Fuente: elaboración propia

*PA: Prueba de aceite

4.1.1 Aplicación de los aceites vegetales en las formaletas. De los aceites vegetales, palma cruda, oleína de palma, soya cruda y aceite usado, se tomó una muestra para depositar en un recipiente de un determinado material de plástico o vidrio. Es importante realizar una limpieza integral de estos materiales, con la finalidad de evitar la presencia de material particulado que dificulte la aplicación y distribución sobre las formaletas (Fig. 13).

Figura 13. Muestra de aceite vegetal para aplicar a las formaletas metálicas con área de contacto de $2,550 \text{ cm}^2$ por cada aceite vegetal.

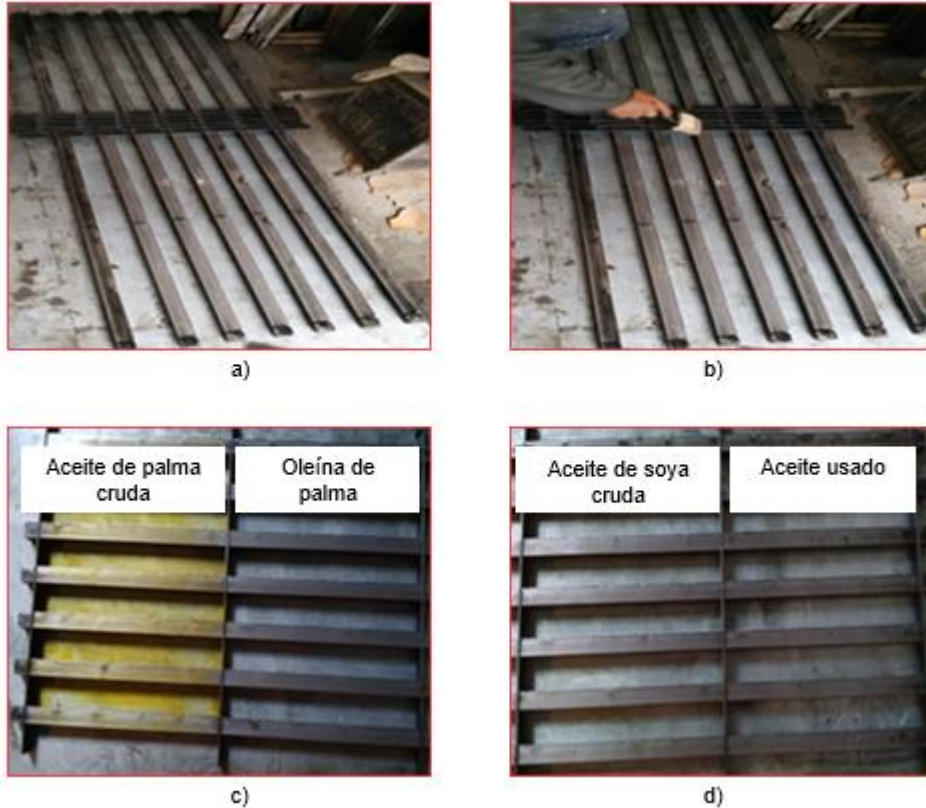


Fuente: elaboración propia

Los ácidos grasos, fueron descartados para aplicarlos en las formaletas metálicas, teniendo en cuenta que a temperatura ambiente de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ se cristalizan, transformándose en una pasta sólida que dificulta la distribución uniforme, ya que en relación con su contextura difiere de ser un líquido viscoso, que debe ser una característica principal en un agente desmoldante.

Adicionalmente se realizó una limpieza general de las formaletas metálicas, antes de aplicar los aceites vegetales sin emulsionar (Fig. 14 a) y (Fig. 14 b), para luego efectuar la aplicación de manera uniforme en los compartimientos de las formaletas metálicas con ayuda de una brocha.

Figura 14. Aplicación de los aceites vegetales en las formaletas metálicas, a) disposición de las formaletas metálicas, b) limpieza c) aplicación de aceite de palma cruda y oleína de palma d) aplicación de aceite soya cruda y usado.



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la figura 14 c), se puede evidenciar que el aceite de palma cruda les proporciona a las formaletas metálicas un color amarillo y la oleína de palma no genera ninguna coloración. Mientras tanto, la figura 14 d), correspondiente al área de contacto con soya cruda y aceite usado, en donde tampoco se observa la existencia de una coloración determinada. Por otro lado, cada uno de los aceites vegetales garantiza tener una distribución uniforme en las formaletas metálicas.

4.1.2 Proceso de mezclado del concreto para su vertimiento en las formaletas.

Es la preparación de la mezcla homogénea que permite obtener las piezas, placas, columnas o estructuras de concreto. Los componentes principales y cantidades requeridas para la homogenización de esta mezcla son los siguientes:

3 bultos de tierra negra, confitillo o arena amarilla = 60 kg
 ½ bulto de cemento = 25 kg
 5 canecas o valdes de agua = 100 kg

a) **Mezclado del concreto.** Para realizar el mezclado o también conocido como el proceso de fundido del concreto, se requieren materiales sólidos, tales como la tierra negra de río, también es tradicional el uso de confitillo o arena amarilla, el cual fue adicionado en un trompo mezclador con la proporción adecuada de cemento y luego se mezclaron en medio acuoso (agua) para garantizar que el material particulado se mezcle de manera homogénea, lo que a la vez altera las propiedades de los materiales en respuesta al cambio o nueva distribución del tamaño de partículas. La alteración de las propiedades también está asociada al movimiento mecánico que le ofrece el equipo trompo mezclador de concreto (Fig. 15). Este proceso tardó 30 minutos aproximadamente e inició de manera simultánea con las actividades de medición y aplicación de los aceites vegetales en las formaletas.

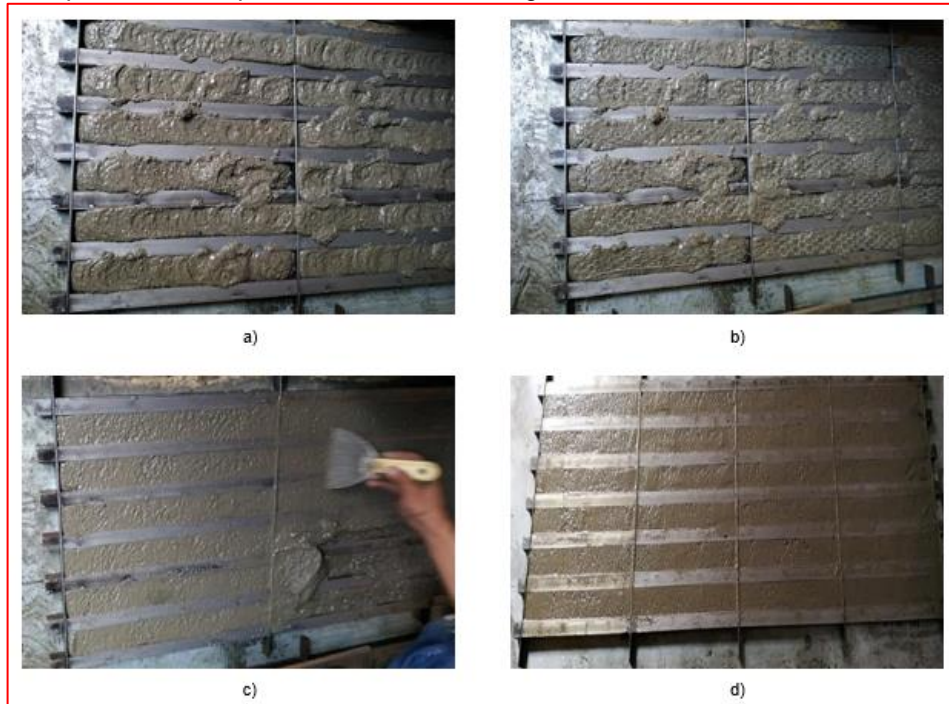
Figura 15. Trompo mezclador de concreto.



Fuente: elaboración propia

b) **Vertimiento y distribución uniforme del concreto en las formaletas metálicas.** Una vez se obtuvo la mezcla homogénea a partir de la fundición del concreto, se transportó y distribuyó de forma proporcional en cada uno de los compartimientos que integran el sistema de formaletas metálicas (Fig. 16), con la finalidad de dar inicio al proceso de fraguado o secado del concreto; proceso que tardó 15 minutos.

Figura 16. Vertimiento en el área de contacto con, a) aceite de palma y oleína de palma, b) adición de malla, c) distribución uniforme del concreto, d) perfilamiento final para inicio del proceso de secado o fraguado.



Fuente: elaboración propia

En la figura 16 a), se puede evaluar que la mezcla de concreto corresponde a una sustancia plástica que facilita su moldeo, mientras se va transformando de manera gradual en un cuerpo sólido y compacto que responde al concreto endurecido de las piezas o placas de concreto. Para que estas piezas de concreto ofrezcan una resistencia mecánica significativa es necesario que se adicione al concreto una malla metálica cuando esté en un alto grado de plasticidad, como se indica en la figura 16 b). La malla es el refuerzo multidireccional en toda la matriz de concreto, es decir, es la infraestructura encargada de garantizar la resistencia a la ruptura de las piezas.

De acuerdo con los resultados de este proceso, en las figuras 16 c) y 16 d), se obtuvo una distribución uniforme de la mezcla de concreto en las formaletas metálicas con ayuda de una espátula o también conocida como una boquillera.

4.1.3 Desprendimiento y/o remoción de las formaletas metálicas compuestas.

Para realizar este procedimiento fue necesario dividir el desarrollo en dos fases, secado parcial corto y secado parcial prolongado, como se describe a continuación:

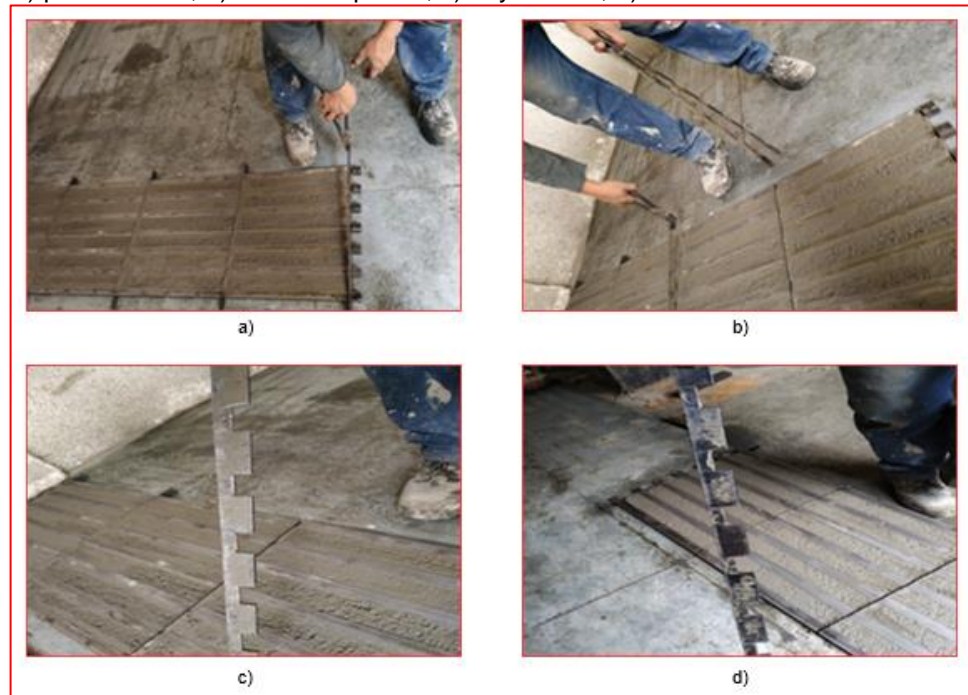
4.1.3.1 Fase I. Fraguado o secado parcial corto (4 a 6 horas). El fraguado o secado parcial, se definió como la fase en la que se realizó el desprendimiento o remoción de las formaletas metálicas que se ubican de forma lateral (Fig. 17).

Desprendimiento que se hizo de manera cuidadosa y paulatinamente para evitar imperfecciones futuras en las piezas tratadas, favoreciendo sus acabados y disminuir la fracción de pega en dichas formaletas.

Teniendo en cuenta la evaluación en la textura de las piezas de concreto por medio de la observación y las condiciones ambientales, se pudo definir que dentro del intervalo de 4 a 6 horas aproximadamente después del proceso de mezclado, es el tiempo idóneo y adecuado para realizar la remoción de las formaletas metálicas laterales tanto verticales como horizontales.

- **Remoción de formaletas metálicas verticales**

Figura 17. Remoción de las formaletas laterales con orientación vertical; área de contacto correspondientes a la aplicación de los aceites vegetales y sus derivados a) palma cruda, b) oleína de palma, c) soya cruda, d) aceite usado.



Fuente: elaboración propia

En la figura 17 se puede observar cómo se efectuó la remoción de las formaletas metálicas verticales con ayuda de un alicate o pinza. Estas figuras corresponden al área de contacto con a) palma cruda b) oleína de palma, c) soya cruda y d) aceite usado. Es importante evaluar que en las figuras 17 c) y d), las formaletas exhiben una superficie rugosa en respuesta a la fracción de pega.

En esta primera fase, se realizó un raspado de la formaleta para extraer y cuantificar la fracción de pega de concreto que se adhiere a las formaletas metálicas, las cuales tienen un área de contacto con la aplicación de los aceites vegetales palma cruda,

oleína de palma, soya cruda y aceite usado; así mismo se evaluó en aquellas formaletas con las cuales se tiene un área de contacto con ACPM (Fig. 18).

Figura 18. Formaletas metálicas verticales a) limpias, con fracción de pega en el área de contacto con b) palma cruda y oleína de palma, c) soya cruda y d) aceite usado y ACPM.



Fuente: elaboración propia

En la figura 18 a), se puede observar las formaletas metálicas limpias, es decir, sin ningún tipo de material particulado en la superficie. Sin embargo, en las figuras 18 b), c) y d), se puede observar que las formaletas metálicas presentan una superficie rugosa, lo cual es respuesta a la fracción de pega en el área de contacto con cada uno de los aceites vegetales y el comparativo de control con ACPM.

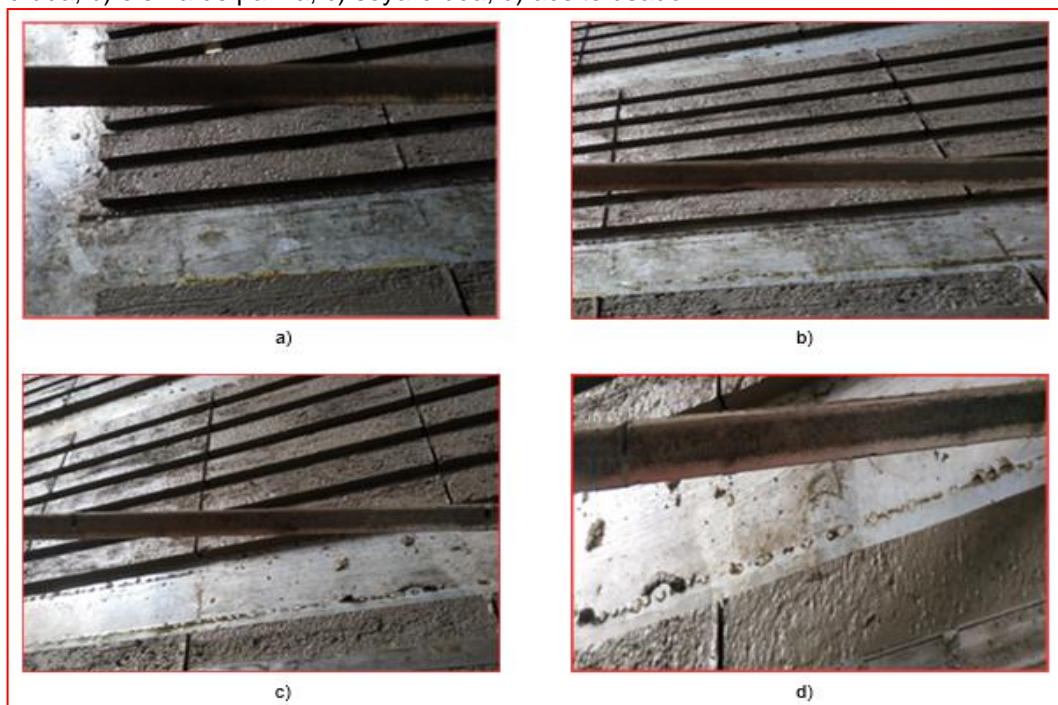
Teniendo en cuenta lo anterior, se puede indicar a partir de un análisis cualitativo que las formaletas de la figura 18 b) correspondientes al área de contacto con aceite de palma cruda y oleína de palma respectivamente, presentan una fracción de pega similar comparada con el ACPM. Mientras en la figura 18 c), las formaletas con área

de contacto con el aceite de soya cruda presentan una fracción de pega ligeramente menor comparada con ACPM y significativamente menor es la fracción de pega que se presenta en la formaleta con área de contacto con aceite usado, como se exhibe en la figura 18 d).

- **Remoción de formaletas metálicas horizontales**

Adicionalmente, también se realizó un raspado de las formaletas metálicas horizontales para extraer y cuantificar la fracción de pega de concreto que se adhieren (Fig. 19).

Figura 19. Remoción de las formaletas laterales horizontales con aplicación de a) palma cruda, b) oleína de palma, c) soya cruda, d) aceite usado.



Fuente: elaboración propia

En la figura 19 se presenta una descripción gráfica de cómo se efectuó la remoción de las formaletas metálicas horizontales. Estas figuras corresponden al área de contacto con a) palma cruda b) oleína de palma, c) soya cruda y d) aceite usado.

El análisis para las figuras 20 y 21, es similar al análisis comparativo que se realizó entre las formaletas verticales. En la figura 20 a), se puede observar las formaletas metálicas limpias, es decir, sin ningún tipo de material particulado en la superficie. Sin embargo, en las figuras 20 b), c) y d), se puede observar que las formaletas metálicas exhiben una superficie rugosa, lo cual es respuesta a la fracción de pega en el área de contacto con cada uno de los aceites vegetales de palma cruda, oleína de palma y soya cruda.

Figura 20. Formaletas metálicas horizontales a) limpias, con fracción de pega en el área de contacto con b) palma cruda, c) oleína de palma, y d) soya cruda.



Fuente: elaboración propia

Por otro lado, en la figura 21 b) y c) también se puede observar la presencia de la fracción de pega adherido a las formaletas en el área de contacto con aceite usado y con ACPM.

Figura 21. Formaletas metálicas horizontales, a) limpias, con fracción de pega por la aplicación de b) aceite usado.



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede determinar a partir de un análisis cualitativo que la formaleta de la figura 20 b), correspondiente al área de contacto con aceite de palma cruda, presenta una fracción de pega ligeramente menor comparada con ACPM, de forma similar ocurre con las figuras 20 c) y d). Mientras en la figura 21 b), las formaletas con área de contacto con el aceite usado, alcanza a evaluarse una disminución de la fracción de pega comparada con ACPM.

4.1.3.2 Fase II. Fraguado o secado parcial prolongado (24 horas). Esta segunda fase corresponde al proceso mediante el cual las piezas de concreto liberan agua durante el secado a temperatura ambiente por un periodo de tiempo de 24 horas, contado a partir del momento en que finalizó el vertimiento del concreto en las formaletas. Por consiguiente, en el transcurso de este periodo de tiempo, las piezas de concreto siguen teniendo un área de contacto por la cara adyacente de la formaleta en material de aluminio, como se muestra en la figura 22.

Figura 22. Área de contacto de las piezas de concreto con los aceites vegetales y sus derivados, después de remover las formaletas laterales al transcurrir 24 horas.



Fuente: elaboración propia

- **Remoción de la formaleta en material de aluminio**

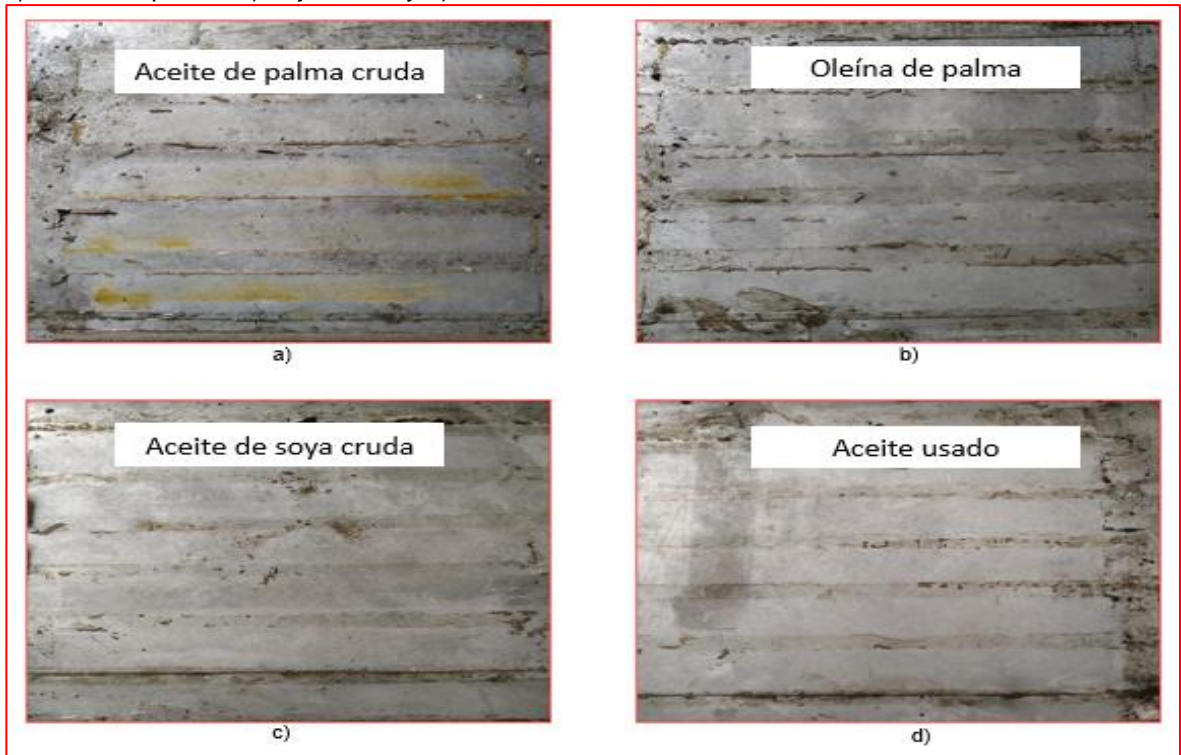
Una vez se alcanzó el periodo de las 24 horas, las piezas de concreto fueron removidas del área de contacto y los resultados de la fracción de pega se pueden evaluar en la figura 23. La remoción de estas piezas de concreto se realizó de manera cuidadosa y paulatinamente para evitar imperfecciones, favoreciendo sus acabados y reducción de la fracción de pega que se adhiere a la formaleta de aluminio.

En la figura 23 a), se pueden evaluar dos elementos importantes, el primero de ellos es el color amarillo plasmado en la formaleta de aluminio por el área de contacto de las piezas de concreto con aceite de palma cruda, una vez se han removido estas piezas; y el segundo elemento es lo relacionado a la fracción de pega que se adhiere a la superficie de la formaleta de aluminio, en la cual no se evidenció una cantidad significativa para extraerla y cuantificarla.

Sin embargo, en la figura 23 a) se percibe una fracción de pega correspondiente al área de contacto entre formaletas, es decir, las formaletas metálicas tanto verticales como horizontales tienen un área de contacto libre con la formaleta de aluminio y durante el proceso de secado se genera un movimiento interno de los materiales del concreto por efecto de la presión entre las partículas de la mezcla contribuyendo a que algunas de ellas migren a los espacios vacíos que se generan en los bordes o esquinas de las formaletas.

Los espacios vacíos corresponden al área de contacto libre existente entre las formaletas, también se puede considerar como el área que inicialmente está libre de concreto o simplemente el área de menor concentración de partículas de concreto. Por otro lado, el movimiento interno de los materiales del concreto genera una reorganización de las partículas que se hace de manera gradual por efecto de la evaporación o liberación del agua durante el periodo de secado. De esta manera la mezcla de concreto en su conjunto inicialmente es una sustancia plástica que con el tiempo empieza a perder su viscosidad, para transformarse en un cuerpo sólido, compacto y mecánicamente resistente; el cual va tomando la forma del molde que lo contiene, para garantizar el asentamiento, la geometría determinada y el endurecimiento del concreto.

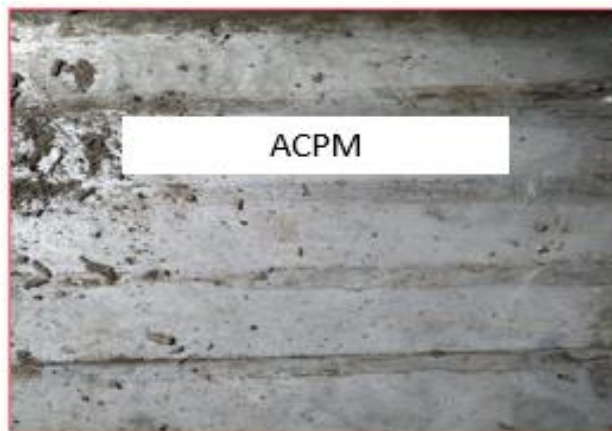
Figura 23. Área de contacto de la cara adyacente de la formaleta en aluminio con a) palma cruda, b) oleína de palma, c) soya cruda y d) aceite usado.



Fuente: elaboración propia

En la figura 23 b) que pertenece al área de contacto de las piezas de concreto con oleína de palma, tampoco se evidencia una fracción de pega significativa para cuantificar. El mismo escenario relacionado con la fracción de pega se replica, en las figuras 23 c) y d), pertenecientes al área de contacto con soya cruda y aceite usado, así mismo como ocurre en la figura 24, en el área de contacto con ACPM.

Figura 24. Área de contacto de la cara adyacente de la formaleta en aluminio con ACPM



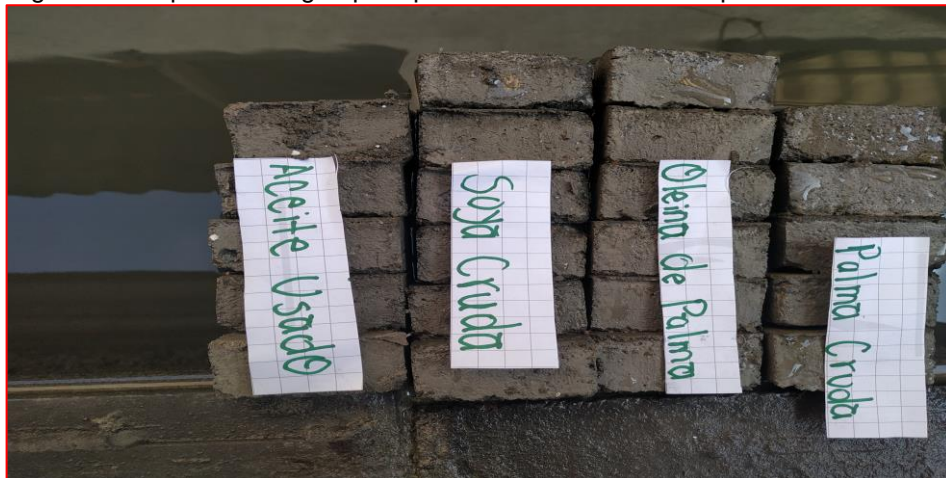
Fuente: elaboración propia

La ausencia de la fracción de pega en las formaletas de aluminio se debe principalmente a que en esta segunda fase la adsorción del líquido en la interfase formada entre la formaleta metálica y la mezcla viscosa del concreto, se tiene un mayor tiempo de contacto que favorece la reacción química entre los ácidos grasos libres de los aceites y el agua que hidrata la mezcla del concreto, como también favorece a la reacción simultánea que ocurre entre los ácidos grasos libres y las formaletas metálicas para formar sales orgánicas en la superficie.

El periodo de tiempo de 24 horas que ofrece el fraguado parcial prolongado es un tiempo de contacto suficiente para que la reacción química entre los componentes se lleve a cabo de manera completa y así garantizar que la adsorción del líquido, es decir, el aceite vegetal logre ser adsorbido completamente en la superficie del concreto. Sin embargo, las condiciones ambientales, son un factor determinante que puede favorecer o no a la adsorción de los aceites, porque a climas fríos o temperaturas bajas, cercanas e inferiores a 17°C retardan la hidratación del concreto y por consiguiente los tiempos de fraguado se amplían considerablemente hasta un 40% de lo previsto. Por el contrario, a temperaturas altas, cercanas y superiores a los 20°C aceleran la hidratación del concreto y en consecuencia conlleva a tiempos de fraguado cortos, es decir, tiempos en promedio de 20 a 24 horas.

4.1.4 Curado para las piezas en tratamiento (8 días). El proceso de curado consistió en proteger y evitar que las piezas de concreto sufrieran posibles agrietamientos o fisuras provocados por las condiciones ambientales como la humedad relativa y las corrientes de aire. Este proceso se llevó a cabo por el método de inmersión de las piezas en un depósito de agua (Fig. 25), donde permanecieron durante un periodo de tiempo de 8 días, contados a partir del momento en que se desprenden las piezas de concreto de la formaleta de aluminio para llevarlas a dicho depósito.

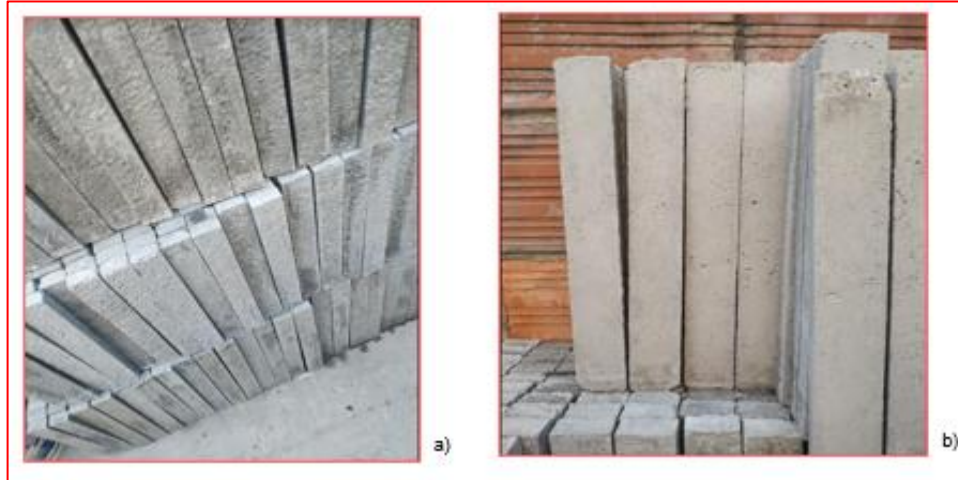
Figura 25. Depósito de agua para proceso de curado de las piezas de concreto.



Fuente: elaboración propia

4.1.5 Secado de las piezas a temperatura ambiente (durante 2 días). Luego las piezas fueron trasladadas a un área de acopio (Fig. 26), la cual debe estar en una zona ventilada que favorezca la eliminación total de humedad a temperatura ambiente.

Figura 26. a) y b) Áreas de acopio de las piezas de concreto.

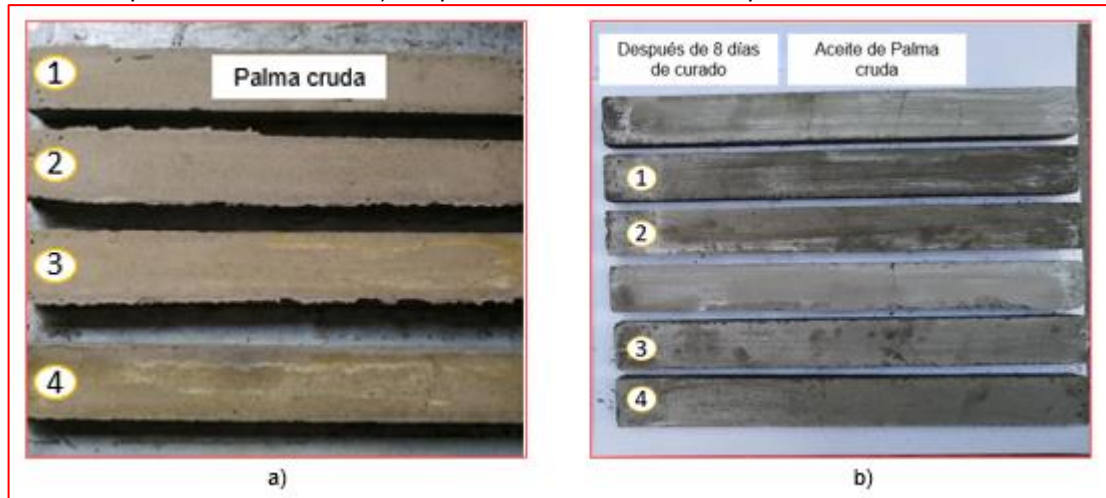


Fuente: elaboración propia

4.1.6 Evaluación de los resultados en los acabados de las piezas de concreto después de 8 días de curado y después de 2 días de exposición a temperatura ambiente para secado total. Una vez, transcurridos los 8 días del proceso de curado, se finaliza el método de inmersión y las piezas se retiran del depósito de agua para posteriormente evaluar los acabados, comparando los resultados obtenidos de los aceites vegetales y sus derivados con los resultados del ACPM.

Las piezas de concreto observadas en la figura 27 a), corresponden a los resultados preliminares obtenidos antes de llevar a cabo el proceso de curado a través del método de inmersión. Las piezas de concreto exhiben un color amarillo que se plasma de forma no uniforme en distintas zonas que pertenecen al área de contacto con el aceite de palma cruda; sin embargo, la coloración es más pronunciada en las piezas 3 y 4 respectivamente.

Figura 27. Área de contacto de las piezas de concreto con aceite vegetal de palma cruda: a) antes del proceso de curado, b) después de 8 días de curado por método de inmersión.



Fuente: elaboración propia

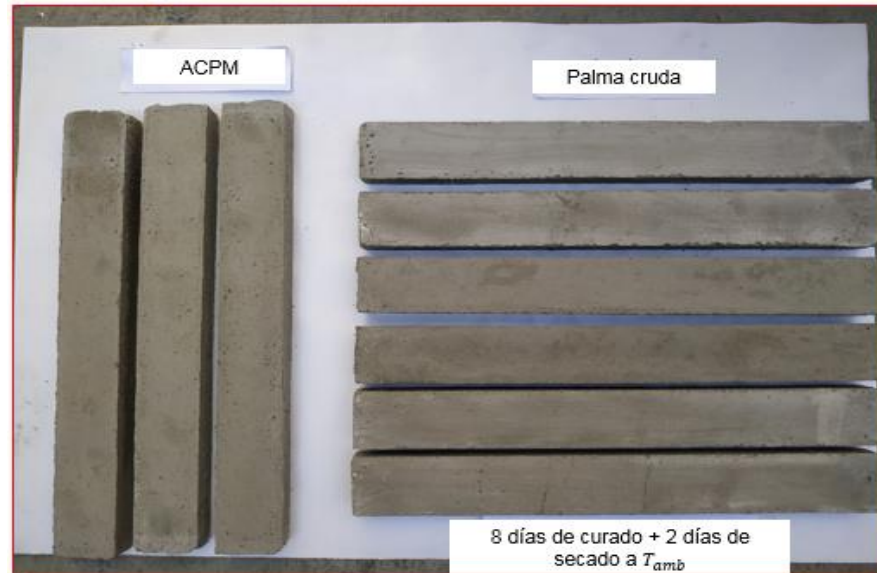
En la figura 27 b), se puede evidenciar que el área de contacto de las piezas de concreto con aceite de palma cruda no presenta manchas de coloración amarilla, especialmente si se observan y se evalúan las piezas 1, 2, 3 y 4, las cuales corresponden a las piezas evaluadas de la figura 27 a). Por lo tanto, se determinó que las manchas de coloración amarilla fueron removidas de la superficie del concreto durante el proceso de curado por el método de inmersión, después de 8 días. Esto se explica por la fuerte interacción molecular entre el agua que favorece el ambiente húmedo y refrigerante en el depósito de agua que sirve como medio de inmersión de las piezas de concreto y los ácidos grasos libres del aceite de palma cruda que se encuentran en exceso sobre la superficie del concreto y responde a las manchas de color amarillo.

Adicionalmente se puede observar que la figura 27 b) presenta algunas piezas de concreto más oscuras que otras, lo cual se debe principalmente a dos factores, uno de ellos es por el corto tiempo de exposición a temperatura ambiente después de retiradas del depósito de agua, lo segundo es por el material sólido en suspensión que queda adherido a la superficie. Este material sólido, es producto de las partículas moleculares del hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$, componente principal del cemento utilizado en la mezcla, el cual no se logra mantener hidratado durante el proceso de curado para luego desintegrarse en pequeñas partículas suspendidas en el depósito de agua y posteriormente se logran adherir a la superficie de las piezas de concreto cuando se están retirando.

Mientras en la figura 28, se puede evidenciar que todas las áreas de contacto con palma cruda no presentan manchas, ya que después de dos días de secado a temperatura ambiente se pudo eliminar el contenido de agua total, permitiendo de esta manera estabilizar el color de las piezas y sea uniforme en toda la superficie.

Es importante también describir la comparación con las piezas de concreto que tuvieron un área de contacto con ACPM, las cuales tiene un color levemente más oscuro de las de palma cruda y generan una mayor distribución de burbujas en la superficie.

Figura 28. Área de contacto de las piezas de concreto con aceite de palma cruda, después de 2 días de secado.



Fuente: elaboración propia

La coloración amarilla, en las piezas de concreto de la figura 27 a), se les atribuye a los residuos de aceite de palma cruda que producen manchas en la superficie del concreto; fenómeno que se debe a cuatro factores que afectaron la adsorción del aceite de palma cruda en la superficie del concreto. Las condiciones ambientales son el primer factor que posiblemente no favoreció la adsorción completa del aceite de palma cruda en la superficie del concreto, en relación a que la adsorción se llevó a cabo a una temperatura relativamente baja, es decir, cercana o inferior a los 17°C lo que produjo un retardo de la hidratación del concreto por parte de los ácidos grasos libres que van siendo adsorbidos en la superficie de la mezcla del concreto gracias a la reacción química generada con el agua que se encuentra desde la mezcla ya hidratando al concreto. A la temperatura de 17°C , no se logró que todas las moléculas del aceite de palma cruda fueran adsorbidas en la superficie del concreto y, por lo tanto, se presentó un exceso de moléculas de aceite de palma cruda en la superficie del concreto. Teniendo en cuenta lo anterior, se debe aumentar la temperatura por encima de los 20°C , garantizando las condiciones mínimas que requiere el adsorbente para ocupar los sitios disponibles en el área de contacto con la superficie del concreto.

Otro factor que influye en el proceso de adsorción es el exceso de aceite vegetal, ya que en la interfase sus moléculas van ocupando los sitios disponibles en la

superficie del concreto, la cual se empieza a saturar limitando la disponibilidad de sitios a ocupar. Entonces el exceso de aceite vegetal se acumula en la superficie, confiriéndole un color amarillo que se plasma como una mancha sectorizada, es decir, la coloración se distribuye de forma no uniforme. Por lo tanto, es necesario determinar la cantidad requerida de aceite vegetal por unidad de área de contacto con la formaleta.

La viscosidad de los aceites vegetales es otro de los factores que afecta su adsorción en la superficie de las piezas de concreto, en relación a que si se tiene una baja viscosidad se puede dar una distribución no uniforme sobre la formaleta, porque el aceite vegetal como fluido tendrá una baja resistencia a las deformaciones por la tensión que se produce cuando entra en el área de contacto con la formaleta metálica, en este caso se generará poca tensión de tracción y por consiguiente hace que el aceite se acumule en unas zonas más que en otras. Este comportamiento de los aceites vegetales se puede reproducir también para aquellos que responden a altas viscosidades, es decir, conlleva a que el aceite vegetal no garantice una distribución uniforme. Teniendo en cuenta lo anterior, la viscosidad dinámica a 25°C es 0,0473 Paxes para el aceite vegetal de soya cruda³⁸, se ha citado este dato para tener un marco de referencia ya que no se tuvo disponibilidad de equipos e instrumentos de laboratorio para este análisis. La viscosidad es un factor es predominante en el desempeño y rendimiento de los aceites vegetales porque determina la cantidad que se debe consumir por unidad de área y los resultados en los acabados de las piezas de concreto.

El cuarto y último factor, responsable de esta coloración amarilla se presenta como consecuencia de los tres factores anteriores, el cual es el periodo de tiempo de fraguado, porque como se indicó anteriormente, a temperaturas por debajo de los 17°C, se retarda la hidratación del concreto, lo cual se convierte en un indicativo para que se determine la ampliación del tiempo de fraguado hasta en un 40%, dependiendo de la especificación de temperatura que se haya determinado de acuerdo con el clima. Por el contrario, realizar la remoción de las formaletas en un tiempo de fraguado corto, sin prever las condiciones que favorecen la adsorción, conlleva a resultados como los que se pueden evidenciar en la figura 27-a, piezas de concreto con manchas amarillas.

Teniendo en cuenta lo anterior, los cuatro factores determinantes en el proceso de adsorción de los aceites vegetales en la superficie del concreto están interrelacionados. Por consiguiente, es importante determinar un tiempo de fraguado adecuado, teniendo en cuenta indicativos de temperatura, cantidad

³⁸ F.M. León Martínez, E.F. Abad Zarate, L. Lagunez Rivera, P.F. de J. Cano Barrita Laboratory and field performance of biodegradable release agents for hydraulic concrete; Recuperado de: DOI 10.1617/s11527-015-0681-8

mínima requerida de aceite vegetal por unidad de área y la viscosidad de los aceites vegetales.

La velocidad en que las moléculas del aceite vegetal son adsorbidas por la superficie del concreto, se puede determinar a través de la cinética química de adsorción, que es un elemento trascendental que permite tener un análisis amplio y específico que ayude a determinar tiempos de fraguado mínimos y requeridos. Sin embargo, es un objetivo fuera del alcance del presente tema de investigación.

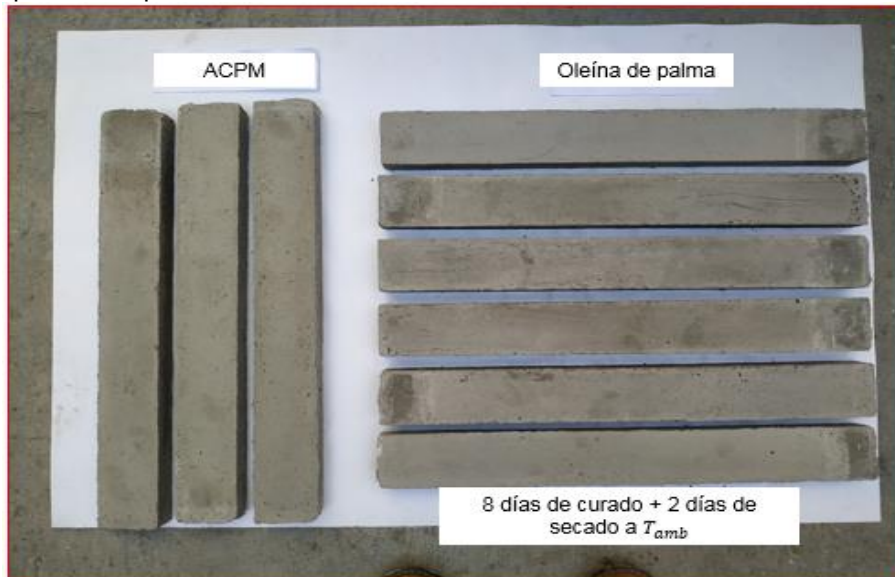
Por parte del área de contacto de las piezas de concreto con oleína de palma, no presentaron manchas atribuibles al posible exceso de oleína de palma en la superficie, como se puede observar en la figura 29 a), donde se exponen los resultados preliminares antes de proceder con el proceso de curado a través del método de inmersión. Teniendo en cuenta lo anterior, se pudo determinar que la temperatura ambiente durante el proceso de fraguado se mantuvo dentro de la referencia promedio aceptada de los 20°C. Por otro lado, se logró favorecer una adsorción completa de las moléculas de oleína de palma en la superficie del concreto.

Figura 29. Área de contacto de las piezas de concreto con oleína de palma: a) antes del proceso de curado, b) después de 8 días de curado por método de inmersión.



Fuente: elaboración propia

Figura 30. Área de contacto de las piezas de concreto con aceite oleína de palma, después de 2 días de secado.

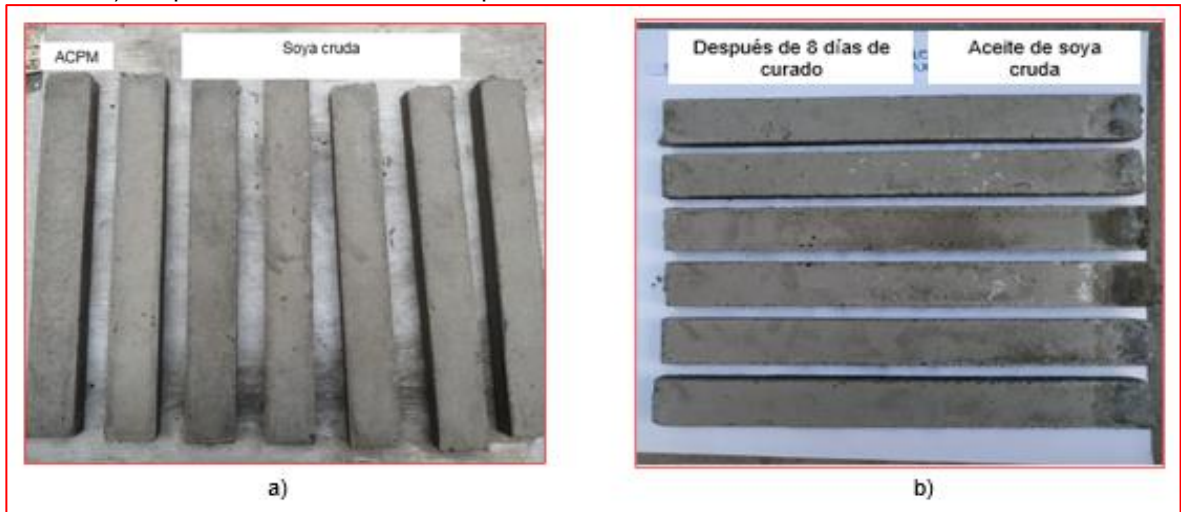


Fuente: elaboración propia

Al comparar las piezas de concreto de la figura 30 a) con las de la figura 29 b), se puede percibir que las piezas de concreto de la figura 29 a) tienen un color ligeramente café oscuro, que difiere del color de las presentadas en la figura 29 b). Aunque el área de contacto de las piezas de concreto con oleína de palma presentadas en ambas figuras 29 a) y 29 b), respectivamente, sean las mismas. En la figura 29 b), se observan los resultados después de 8 días de curado, lo que favorece la hidratación constante durante la compactación y endurecimiento. Sin embargo, las piezas de concreto en su extremo izquierdo presentan manchas oscuras que no corresponden al color del resto de la superficie, lo cual se debe a una parte del área de la pieza que no quedó inmersa en el depósito de agua, durante el proceso de curado. Mientras en la figura 30, las piezas de concreto presentan un color gris más claro y con las manchas en su extremo izquierdo menos pronunciadas que, comparadas con el ACPM responden a una menor distribución de burbujas y también un color gris más claro.

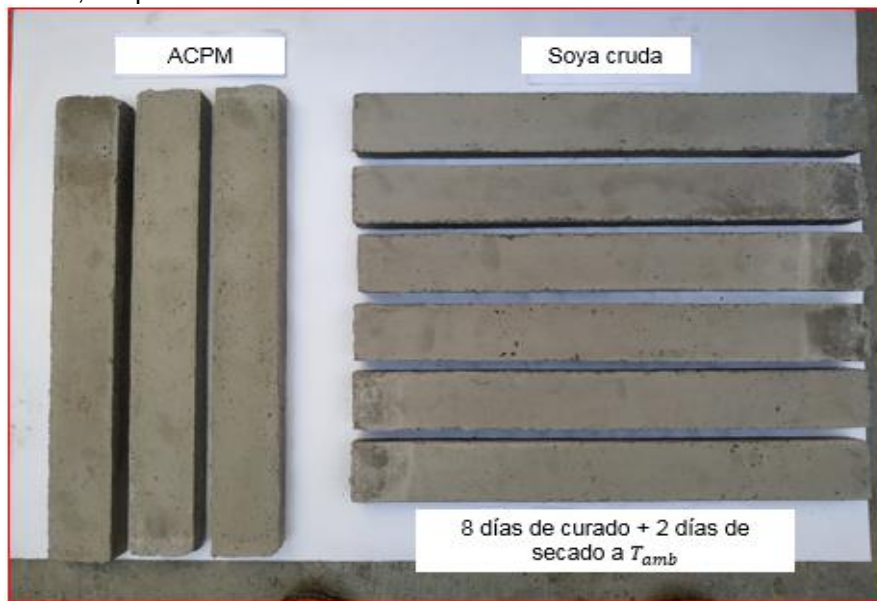
Por otro lado, como se puede evidenciar en las piezas de concreto expuestas en la figura 31 a), no se presenta manchas generalizadas. Sin embargo, en la figura 31 b) se percibe manchas en el extremo derecho de las piezas de concreto, denotando un color más oscuro, diferente al resto de la superficie. Estas manchas, responden al área de las piezas de concreto que quedaron libres de la inmersión en el depósito de agua, en las cuales después de dos días de secado disminuye la tonalidad oscura, como se puede observar en la figura 32 y que comparadas con el ACPM responden a una menor distribución de burbujas y también un color gris más claro, el cual es un resultado similar al de la oleína de la palma.

Figura 31. Área de contacto de las piezas de concreto con soya cruda: a) antes del proceso de curado, b) después de 8 días de curado por método de inmersión.



Fuente: elaboración propia

Figura 32. Área de contacto de las piezas de concreto con aceite de soya cruda, después de 2 días de secado.



Fuente: elaboración propia

Se observa que las piezas de concreto en la figura 33 a), presentan un color gris más claro, comparadas con las expuestas en la figura 33 b); lo cual está relacionado con el tiempo de exposición de las piezas a temperatura ambiente, ya que el área de contacto de las piezas de concreto con aceite usado de la figura 33 b), fueron las primeras en retirarse del depósito de agua en donde se llevó a cabo el proceso de curado y por lo tanto, el color gris oscuro se debe a la humedad en la superficie.

Mientras en la figura 33a), son piezas de concreto que aún no se habían llevado al depósito de agua para su correspondiente proceso de curado.

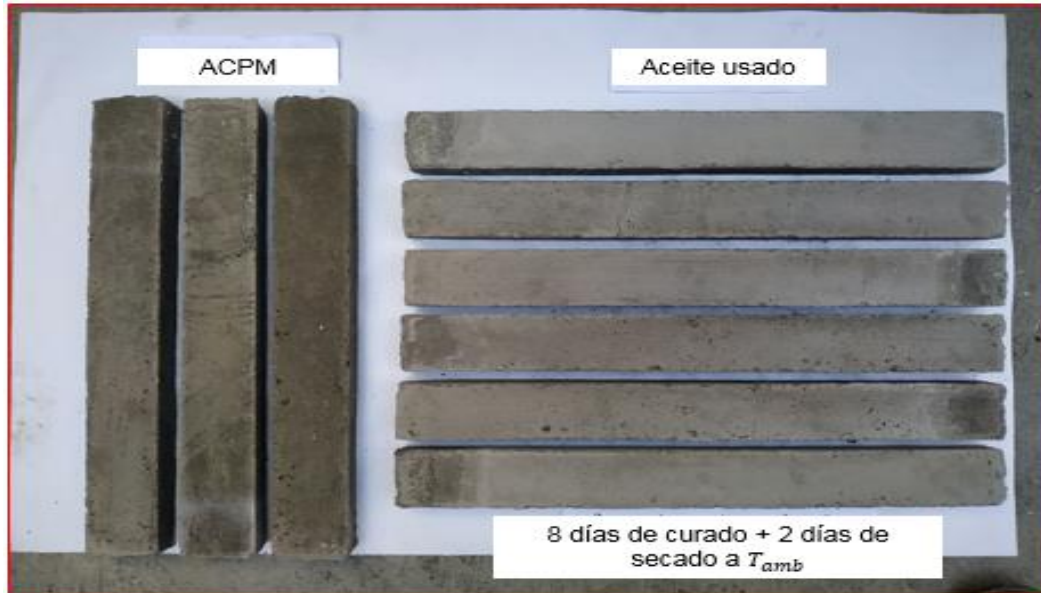
Figura 33. Área de contacto de las piezas de concreto con aceite usado (24 horas después del proceso de fundición).



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante mencionar que el color oscuro de las piezas de concreto en la figura 33 b), también difiere del color de las piezas de concreto presentadas en las figuras 27 b), 29 b) y 31 b), porque el tiempo de exposición a temperatura ambiente de estas piezas, después de retirarlas del depósito de agua fue más prolongado, aproximadamente de 10 a 15 minutos, mientras que las piezas de concreto que tuvieron área de contacto con el aceite usado, fueron evaluadas a los dos minutos de retiradas del depósito de agua. Adicionalmente en la figura 34, la comparación se puede validar con las piezas de área de contacto con ACPM después de dos días de secado a temperatura ambiente, las cuales presentan un color gris más oscuro y mayor distribución de burbujas en la superficie que el área de contacto de las piezas de concreto con aceite usado. Sin embargo, cabe destacar que el color en las piezas, columnas o estructuras de concreto también depende del lote de producción al que pertenezca el concreto utilizado para la mezcla.

Figura 34. Área de contacto de las piezas de concreto con aceite usado, después de 2 días de secado.



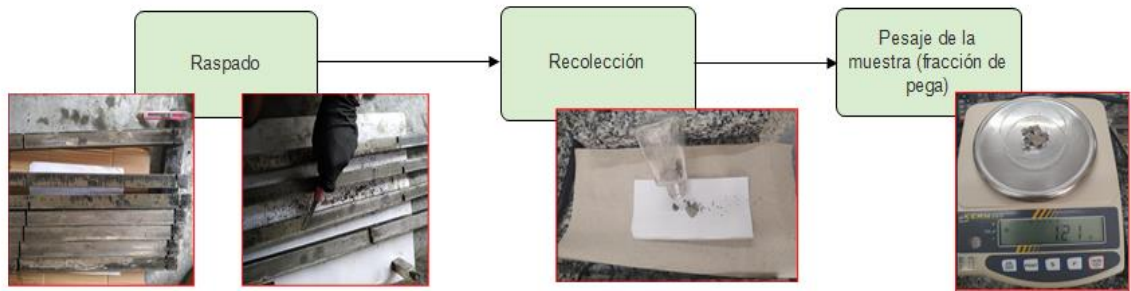
Fuente: elaboración propia

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se determinó que los ácidos grasos a diferencia de las otras materias primas, no tiene un buen desempeño como agente desmoldante porque cuando fueron aplicados en las formaletas metálicas no se pudo obtener una distribución uniforme debido a su aspecto pastoso que se evidenció a través de su cristalización a temperatura ambiente de 22°C. Esto conllevó a tener regiones libres de ácidos grasos en las formaletas, las cuales fueron inspeccionadas previamente para evitar que el concreto se fuera a adherir. Por estas razones, se prescindió del uso de los ácidos grasos para evaluarlos como posibles materias primas en el desarrollo experimental que permite la obtención de un agente desmoldante.

Se pudo calcular y evaluar la fracción de pega en cada una de las secciones con área de contacto por sección de 425 cm^2 (Fig. 35), donde se aplicó los aceites vegetales de palma cruda, oleína de palma, soya cruda y aceite usado, los cuales reportaron una fracción de pega variable en cada sección (Tabla 3).

Figura 35. Formaletas con, a) sección de área 425 cm^2 y b) su fracción de pega del concreto



Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Reporte de la fracción de pega del concreto que se adhiere a las formaletas

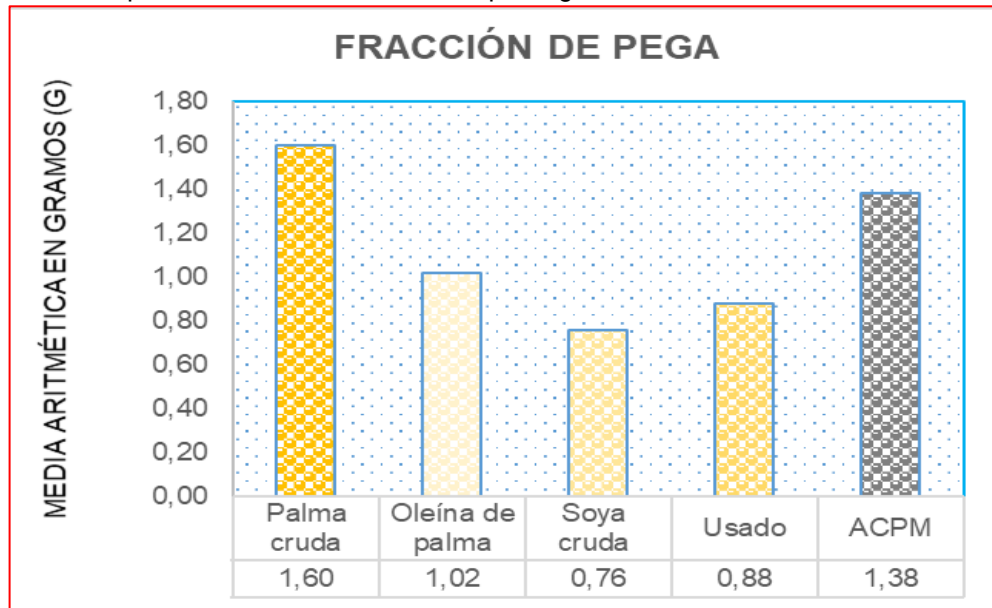
Tipo de aceite	Gramos (g) en Sec. 1	Gramos (g) en Sec. 2	Gramos (g) en Sec. 3	Gramos (g) en Sec. 4	Gramos (g) en Sec. 5	Gramos (g) en Sec. 6
Palma cruda	1,60	1,87	1,38	1,47	1,52	1,77
Oleína de palma	1,25	1,38	1,22	0,87	0,59	0,79
Soya cruda	0,70	0,54	0,61	1,12	0,55	1,01
Usado	0,93	1,07	0,58	0,97	1,18	0,54
ACPM	2,10	1,03	0,57	2,01	0,84	1,72

Fuente: elaboración propia

*Sec: sección

Por lo tanto, se calculó una media aritmética de la fracción de pega (Gráf. 4), de 1.60 g de palma cruda, 1.02 g de oleína de palma, 0.76 g de soya cruda y 0.88 g aceite usado, calculada para un área total de contacto por región de $2,550 \text{ cm}^2$, mientras el ACPM responde a una fracción de pega de 1.38 g, estos valores derivan de la tabla 3. Esto significa que la soya cruda reduce la fracción de pega en un 44.93%, así mismo ocurre con aceite usado y oleína de palma, los cuales reducen sus fracciones de pega en un 36.23% y 26.09% respectivamente, al compararse con el ACPM. En contraste, se tiene el comportamiento de la palma cruda, la cual aumenta su fracción de pega en un 13.75%, respecto al ACPM.

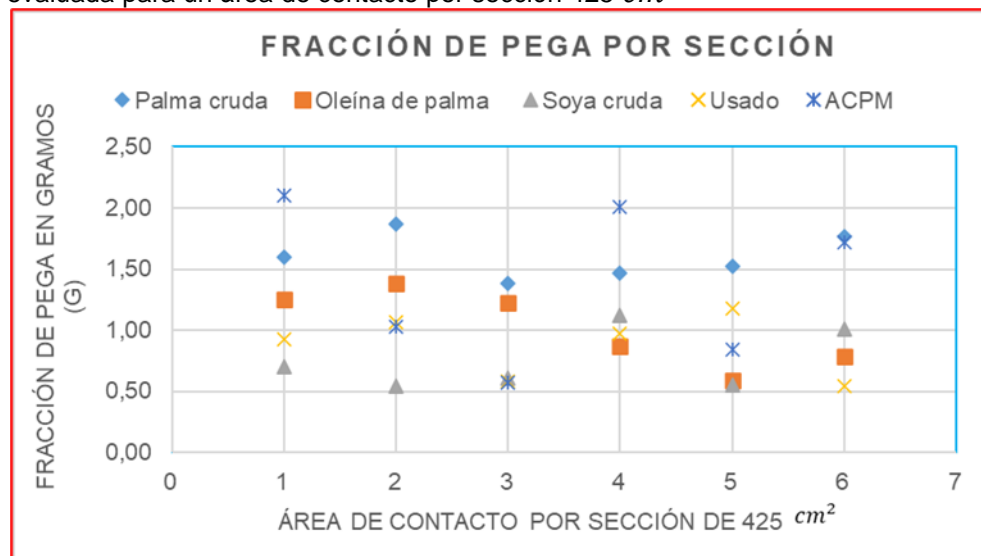
Gráfica 4. Fracción de pega en gramos (g) del concreto en las formaletas metálicas, evaluada para un área total de contacto por región de $2,550 \text{ cm}^2$



Fuente: elaboración propia

De acuerdo con (Gráf. 5), se pudo determinar que el aceite de palma cruda alcanzó una fracción de pega máximo y mínimo de 1.87 g y 1.38 g respectivamente, la oleína de palma tiene un máximo de 1.38 g y un mínimo de 0.59 g, la soya cruda responde a un 1.12 g como máximo y 0.54 g de pega mínimo, mientras el aceite usado ofrece un máximo y mínimo de 1.18 g y 0.54 g respectivamente. Por otro lado, el ACPM, evidencia un máximo y mínimo de fracción de pega de 2.10 g y 0.57 g.

Gráfica 5. Fracción de pega en gramos (g) del concreto en las formaletas metálicas, evaluada para un área de contacto por sección 425 cm^2



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se estableció que la soya cruda y aceite usado tienen una variabilidad en la fracción de pega de 0.58 g y 0.64 g respectivamente, en relación con la diferencia entre su máximo y mínimo; mientras la palma cruda es 0.49 g y oleína de palma llega a 0.79 g. Aunque la palma cruda ofrezca una menor variación, es importante considerar que su máximo y mínimo se encuentran en una escala de referencia superior, si se compara con los otros aceites vegetales. Por consiguiente, se pudo determinar que los aceites vegetales de, soya cruda y usado generan menor fracción de pega y a su vez es más fácil su estandarización, comparado con palma cruda y oleína de palma. Sin embargo, los aceites vegetales de, palma cruda y oleína de palma son más estable en términos de la fracción de pega, si se compara con el rango de variación de 1.53g del ACPM; así mismo el aceite de soya cruda y el aceite usado generan menor fracción de pega comparado con ACPM y en consecuencia estos aceites vegetales tienen una variabilidad en la fracción de pega menor.

La importancia que tiene obtener menor fracción de pega y menor variabilidad se enfoca en la menor pérdida de material de concreto, favorecer la vida útil de las formaleas y mejores acabados en las piezas de concreto. Todos estos elementos integran un componente económico, ya que los costos disminuyen porque es menos material desechado, no se requieren tratamientos adicionales a las formaleas o posibles cambios, tampoco tratamientos adicionales a las piezas de concreto para favorecer sus acabados.

En la segunda fase que corresponde al fraguado o secado parcial prolongado se identificó y comprobó que los aceites vegetales responden a un excelente desempeño para involucrarlos en el desarrollo y obtención de agentes desmoldantes, también conocidos como los *Vegetable oil-based Release Agents* (VERA, por sus siglas en inglés). El desempeño de los agentes desmoldantes se determinó en relación con la fracción de pega (Gráf. 4) y (Gráf 5), distribución de burbujas, coloración en las piezas de concreto.

4.2.1 Distribución de burbuja. La distribución de burbujas es otro de los criterios que se evaluó en la validación de desempeño de los aceites vegetales sin emulsionar. De acuerdo con este criterio de evaluación, fueron seleccionadas 3 piezas aleatoriamente de cada uno de los aceites vegetales y 3 del ACPM, para realizar un conteo general de las burbujas en la superficie de las piezas y se determinó una clasificación de burbujas en relación con su tamaño de diámetro.

En la figura 36 se tiene la pieza 1, área de contacto con palma cruda por la cara adyacente, la cual se analizó en el programa de ImageJ.

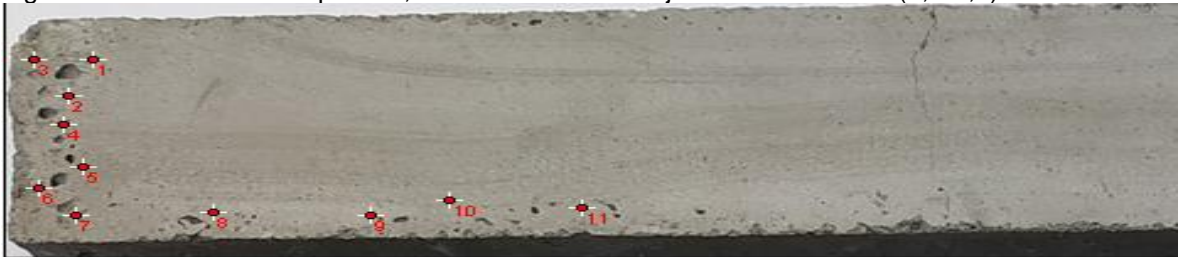
Figura 36. Pieza 1, área de contacto con palma cruda



Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el análisis en el programa de ImageJ, se determinó que la pieza 1 tiene 13 burbujas correspondientes a un diámetro D2 entre (1,1 - 2,0) mm, como se puede observar en la figura 37 y 38.

Figura 37. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 38. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

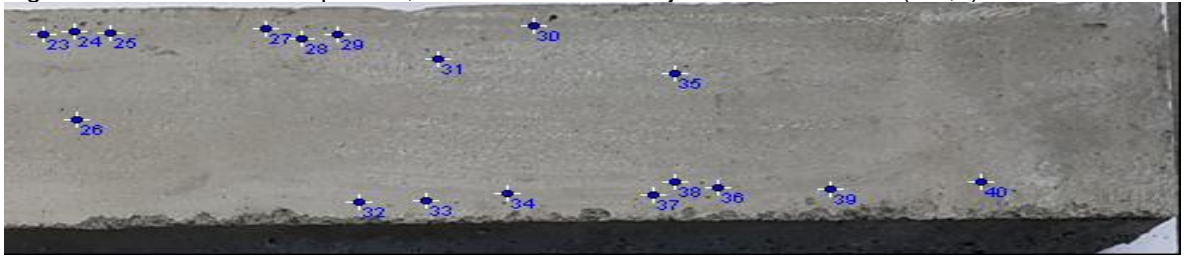
Adicionalmente con el análisis en el programa de ImageJ, se determinó que la pieza 1 tiene 40 burbujas correspondientes a un diámetro D1 entre (0 - 1,0) mm, como se puede observar en la figura 39 y 40. También es importante evidenciar en la superficie de la sección 1 de la pieza presenta una fisura lineal.

Figura 39. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 40. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

La segunda pieza de área de contacto con palma cruda por la cara adyacente se presenta en la figura 41.

Figura 41. Pieza 2, área de contacto con palma cruda



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta, el análisis del programa ImageJ, se determinó que la pieza 2, tiene 11 burbujas de diámetro D2 (1,1 – 2,0) mm, es decir, 2 burbujas menos en comparación a la pieza 1, como se indica en la figura 42 y 43.

Figura 42. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 43. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Por otro lado, también se pudo determinar que la pieza 2, presenta 62 burbujas en la superficie de diámetro D1 (0 – 1,0) mm. Por lo tanto, aumento la distribución de

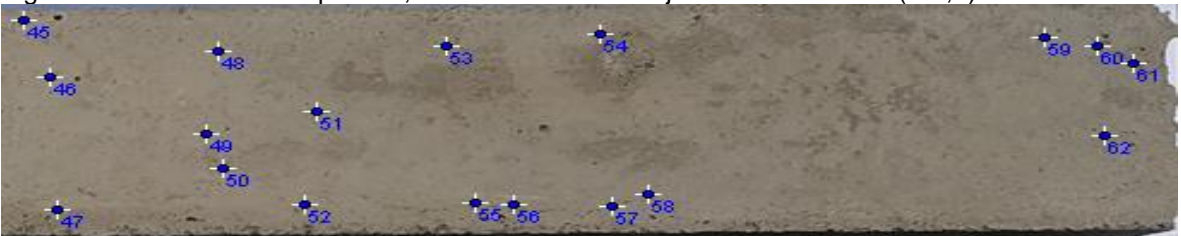
burbujas de diámetro D1 en un 35,48% en comparación a la pieza 1, de acuerdo con lo mostrado en la figura 44 y 45.

Figura 44. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 45. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

La pieza 3 de área de contacto con palma cruda, se puede observar que en la figura 46 presenta algunas imperfecciones o fisuras en la superficie de la pieza, además de la distribución de burbujas que se analizó.

Figura 46. Pieza 3, área de contacto con palma cruda



Fuente: elaboración propia

En la pieza 3, la distribución de burbujas está dada por 12 burbujas de diámetro D2 (1,1 - 2,0) mm. Por lo tanto, no presenta un cambio significativo en comparación con las piezas 1 y 2, como se puede observar en las figuras 47 y 48.

Figura 47. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 48. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

En las figuras 49 y 50, correspondientes a la descripción de la distribución de burbujas en la pieza 3, se tiene la presencia de 46 burbujas de diámetro D1 (0 -1,0) mm. Por lo tanto, existe un aumento del 13,04% de las burbujas de diámetro D1 con respecto a la pieza 1; pero una reducción del 25,81% de las burbujas de diámetro D1 con respecto a la pieza 2.

Figura 49. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 50. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

En la figura 51 se tiene la pieza 1 de área de contacto con oleína de palma por la cara adyacente, la cual se analizó en el programa de ImageJ para determinar la distribución de burbujas en la superficie de la pieza.

Figura 51. Pieza 1, área de contacto con oleína de palma



Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el análisis en el programa de ImageJ, se determinó que la pieza 1 tiene 7 burbujas correspondientes a un diámetro D2 entre (1,1 - 2,0) mm, como se puede observar en la figura 52 y 53.

Figura 52. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 53. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Adicionalmente con el análisis en el programa de ImageJ, se determinó que la pieza 1 tiene 98 burbujas correspondientes a un diámetro D1 entre (0 - 1,0) mm, como se puede observar en la figura 54 y 55.

Figura 54. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 55. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

En la pieza 2 de área de contacto con oleína de palma por la cara adyacente se presenta en la figura 56.

Figura 56. Pieza 2, área de contacto con oleína de palma



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta, el análisis del programa ImageJ, se determinó que la pieza 2, tiene 6 burbujas de diámetro D2 (1,1 – 2,0) mm, es decir, 1 burbuja menos en comparación a la pieza 1, como se indica en la figura 57 y 58.

Figura 57. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 58. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

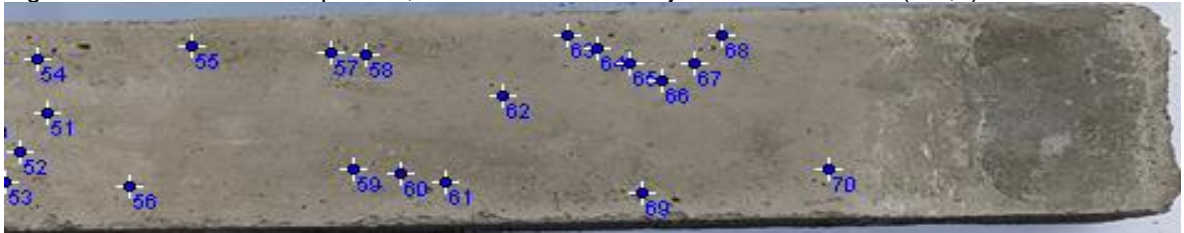
Por otro lado, también se pudo determinar que la pieza 2, presenta 70 burbujas en la superficie de diámetro D1 (0 – 1,0) mm. Por lo tanto, disminuyó la distribución de burbujas de diámetro D1 en un 28,57% en comparación a la pieza 1, de acuerdo con lo mostrado en la figura 59 y 60.

Figura 59. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

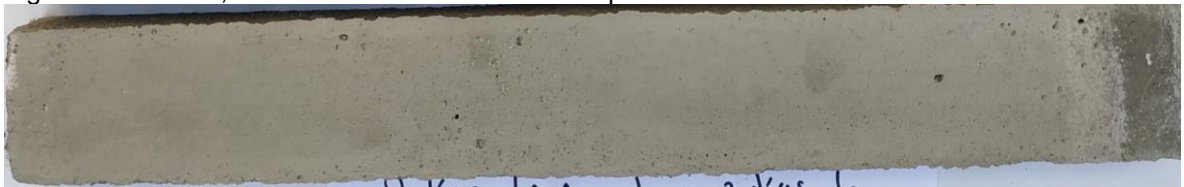
Figura 60. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

En la figura 61, se muestra la pieza 3 de área de contacto con oleína de palma, la cual se analizó en el programa ImageJ.

Figura 61. Pieza 3, área de contacto con oleína de palma



Fuente: elaboración propia

En la pieza 3, la distribución de burbujas está dada por 8 burbujas de diámetro D2 (1,1 - 2,0) mm. Por lo tanto, no presenta un cambio significativo en comparación con las piezas 1 y 2, como se puede observar en las figuras 62 y 63.

Figura 62. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 63. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

En las figuras 64 y 65, correspondientes a la descripción de la distribución de burbujas en la pieza 3, se tiene la presencia de 80 burbujas de diámetro D1 (0 - 1,0) mm. Por lo tanto, existe un aumento del 12,5% de las burbujas de diámetro

D1 con respecto a la pieza 2; pero una reducción del 18,36% de las burbujas de diámetro D1 con respecto a la pieza 1.

Figura 64. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 65. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

En la figura 66 se tiene la pieza 1, área de contacto con soja cruda por la cara adyacente, la cual se analizó en el programa de ImageJ para determinar la distribución de burbujas en la superficie de la pieza.

Figura 66. Pieza 1, área de contacto con soja cruda



Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el análisis en el programa de ImageJ, se determinó que la pieza 1 tiene 4 burbujas correspondientes a un diámetro D2 entre (1,1 - 2,0) mm, como se puede observar en la figura 67 y 68.

Figura 67. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

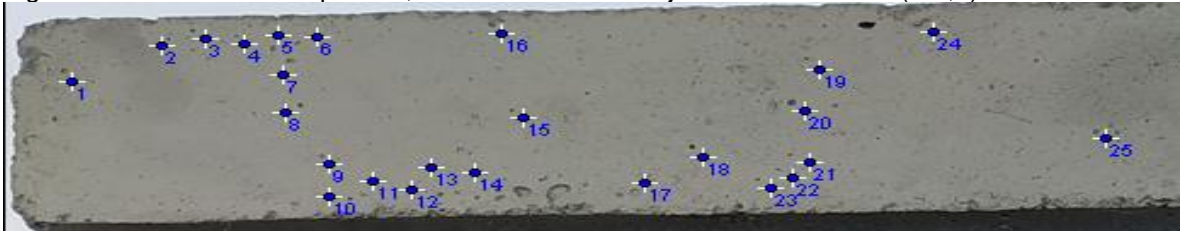
Figura 68. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Adicionalmente con el análisis en el programa de ImageJ, se determinó que la pieza 1 tiene 51 burbujas correspondientes a un diámetro D1 entre (0 - 1,0) mm, como se puede observar en la figura 69 y 70.

Figura 69. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 70. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

La segunda pieza de área de contacto con soya cruda por la cara adyacente se presenta en la figura 71.

Figura 71. Pieza 2, área de contacto con soya cruda



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta, el análisis del programa ImageJ, se determinó que la pieza 2, tiene 3 burbujas de diámetro D2 (1,1 – 2,0) mm, es decir, 1 burbuja menos en comparación a la pieza 1, como se indica en la figura 72 y 73.

Figura 72. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

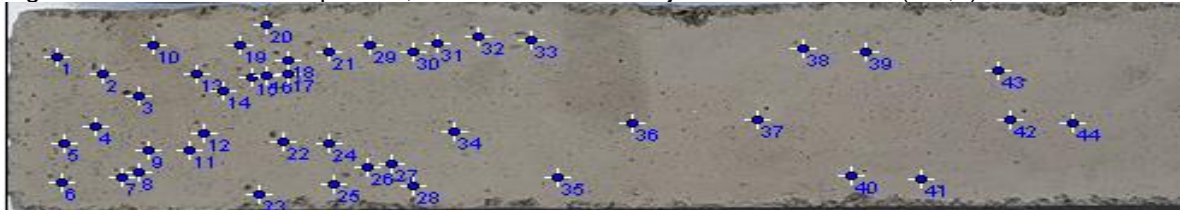
Figura 73. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Por otro lado, también se pudo determinar que la pieza 2, presenta 56 burbujas en la superficie de diámetro D1 (0 – 1,0) mm. Por lo tanto, aumento la distribución de burbujas de diámetro D1 en un 8,93% en comparación a la pieza 1, de acuerdo con lo mostrado en la figura 74 y 75.

Figura 74. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

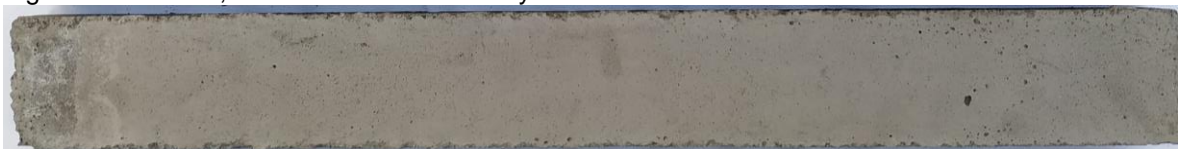
Figura 75. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

En la figura 76, se puede evidenciar la pieza 3 de área de contacto con soya cruda.

Figura 76. Pieza 3, área de contacto con soya cruda



Fuente: elaboración propia

En la pieza 3, la distribución de burbujas está dada por 2 burbujas de diámetro D2 (1,1 - 2,0) mm. Por lo tanto, no presenta un cambio significativo en comparación con las piezas 1 y 2, como se puede observar en las figuras 77 y 78.

Figura 77. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 78. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

En las figuras 79 y 80, correspondientes a la descripción de la distribución de burbujas en la pieza 3, se tiene la presencia de 36 burbujas de diámetro D1 (0 -1,0) mm. Por lo tanto, existe una reducción del 29,41% de las burbujas de diámetro D1 con respecto a la pieza 1 y una reducción del 35,71% de las burbujas de diámetro D1 con respecto a la pieza 2.

Figura 79. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

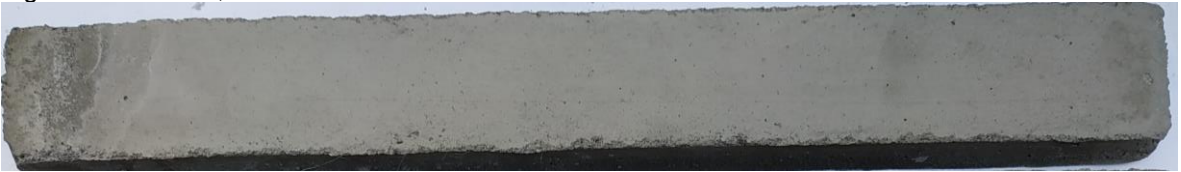
Figura 80. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

En la figura 81 se tiene la pieza 1, área de contacto con aceite vegetal usado por la cara adyacente, la cual se analizó en el programa de ImageJ para determinar la distribución de burbujas en la superficie de la pieza.

Figura 81. Pieza 1, área de contacto con aceite usado



Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el análisis en el programa de ImageJ, se determinó que la pieza 1 tiene 3 burbujas correspondientes a un diámetro D2 entre (1,1 - 2,0) mm, como se puede observar en la figura 82 y 83.

Figura 82. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

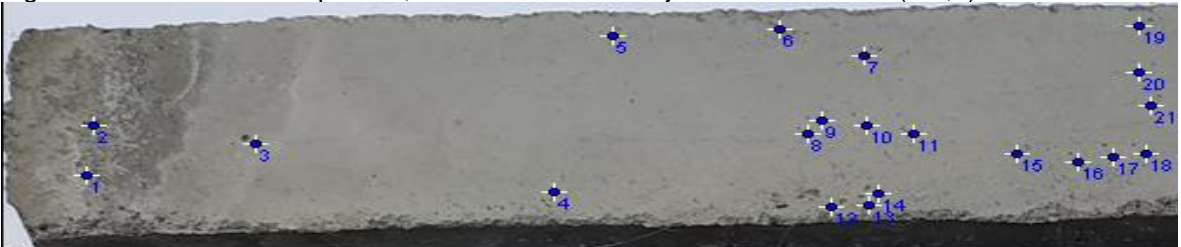
Figura 83. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

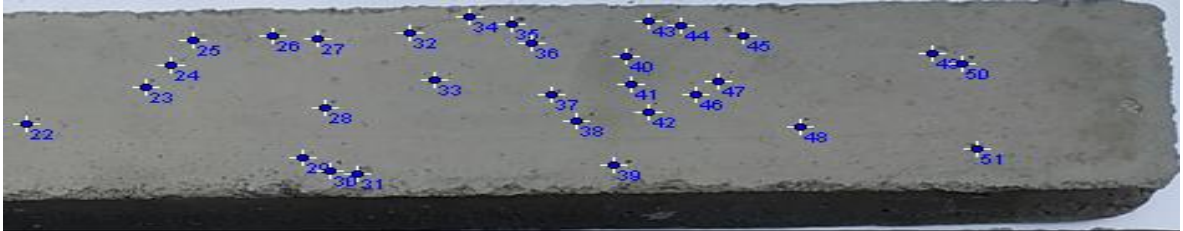
Adicionalmente con el análisis en el programa de ImageJ, se determinó que la pieza 1 tiene 51 burbujas correspondientes a un diámetro D1 entre (0 - 1,0) mm, como se puede observar en la figura 84 y 85.

Figura 84. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 85. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

En la pieza 2 de área de contacto con aceite usado por la cara adyacente se presenta en la figura 86.

Figura 86. Pieza 2, área de contacto con aceite usado



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta, el análisis del programa ImageJ, se determinó que la pieza 2, tiene 8 burbujas de diámetro D2 (1,1 – 2,0) mm, es decir, 5 burbujas más en comparación a la pieza 1, como se indica en la figura 87 y 88.

Figura 87. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 88. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

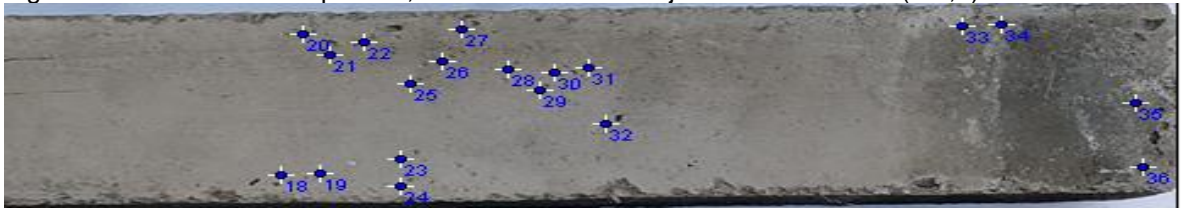
Por otro lado, también se pudo determinar que la pieza 2, presenta 36 burbujas en la superficie de diámetro D1 (0 – 1,0) mm. Por lo tanto, se redujo la distribución de burbujas de diámetro D1 en un 29,41% en comparación a la pieza 1, de acuerdo con lo mostrado en la figura 89 y 90.

Figura 89. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 90. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

La pieza 3 de área de contacto con aceite vegetal usado, se puede observar en la figura 91, que posteriormente fue analizada su distribución de burbujas a través del programa de ImageJ.

Figura 91. Pieza 3, área de contacto con aceite usado



Fuente: elaboración propia

En la pieza 3, la distribución de burbujas está dada por 12 burbujas de diámetro D2 (1,1 - 2,0) mm. Por lo tanto, se experimenta un aumento del 75% en la distribución de burbujas de diámetro D2 con respecto a la pieza 1 y un aumento del 33,33% con respecto a la pieza 2, como se puede observar en las figuras 92 y 93.

Figura 92. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 93. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

En las figuras 94 y 95, correspondientes a la descripción de la distribución de burbujas en la pieza 3, se tiene la presencia de 35 burbujas de diámetro D1 (0 -1,0) mm. Por lo tanto, se reduce un 31,37% de las burbujas de diámetro D1 con respecto a la pieza 1 y una reducción del 2,78% con respecto a la pieza 2.

Figura 94. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 95. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

En la figura 96 se tiene la pieza 1 de área de contacto con ACPM por la cara adyacente, la cual se analizó en el programa de ImageJ para determinar la distribución de burbujas en la superficie de la pieza.

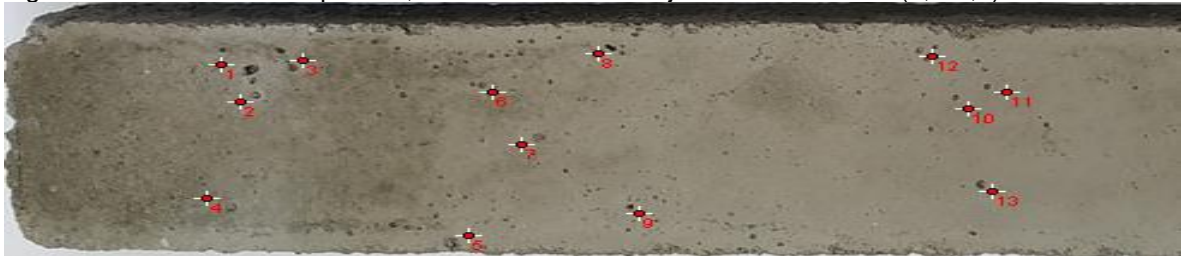
Figura 96. Pieza 1, área de contacto con ACPM



Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el análisis en el programa de ImageJ, se determinó que la pieza 1 tiene 21 burbujas correspondientes a un diámetro D2 entre (1,1 - 2,0) mm, como se puede observar en la figura 97 y 98.

Figura 97. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

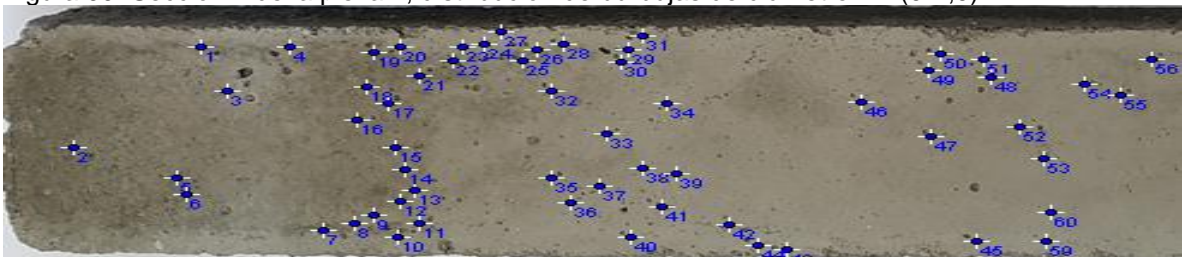
Figura 98. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Adicionalmente con el análisis en el programa de ImageJ, se determinó que la pieza 1 tiene 113 burbujas correspondientes a un diámetro D1 entre (0 - 1,0) mm, como se puede observar en la figura 99 y 100.

Figura 99. Sección 1 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 100. Sección 2 de la pieza 1, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

En la figura 101, se presenta la pieza 2 de área de contacto con ACPM, donde posteriormente se realizó el análisis de distribución de burbujas.

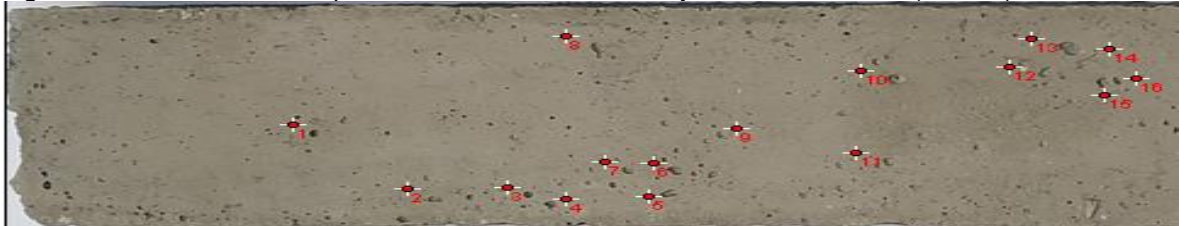
Figura 101. Pieza 2, área de contacto con ACPM



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta, el análisis del programa ImageJ, se determinó que la pieza 2, tiene 35 burbujas de diámetro D2 (1,1 – 2,0) mm, es decir, se aumentó en un 40% la distribución de burbujas de diámetro D1 en comparación con la pieza 1, como se indica en la figura 102 y 103.

Figura 102. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

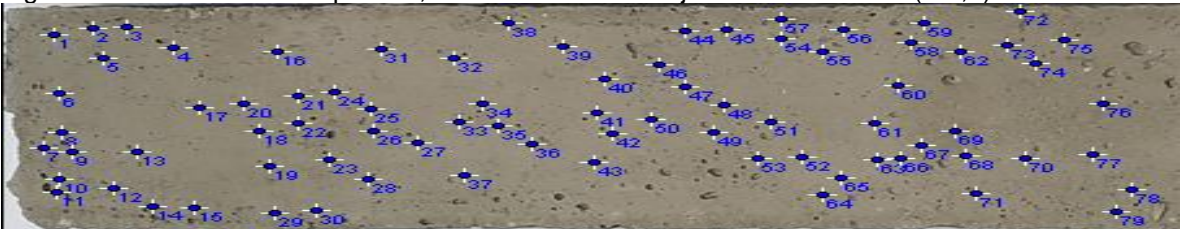
Figura 103. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Por otro lado, también se pudo determinar que la pieza 2, presenta 123 burbujas en la superficie de diámetro D1 (0 – 1,0) mm. Por lo tanto, aumento la distribución de burbujas de diámetro D1 en un 8,13% en comparación a la pieza 1, de acuerdo con lo mostrado en la figura 104 y 105.

Figura 104. Sección 1 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 105. Sección 2 de la pieza 2, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

La pieza 3 de área de contacto con aceite usado, se puede observar que en la figura 106, la cual se analizó en el programa de ImageJ para determinar la distribución de burbujas.

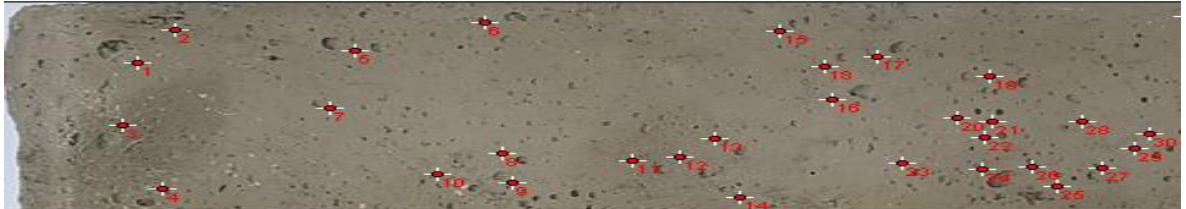
Figura 106. Pieza 3, área de contacto con ACPM



Fuente: elaboración propia

En la pieza 3, la distribución de burbujas está dada por 64 burbujas de diámetro D2 (1,1 - 2,0) mm. Por lo tanto, se aumentó en un 67,19% la distribución de burbujas del diámetro D2 en comparación con la pieza 1 y un aumento del 45,31% con respecto a la pieza 2, como se puede observar en las figuras 107 y 108.

Figura 107. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 108. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm

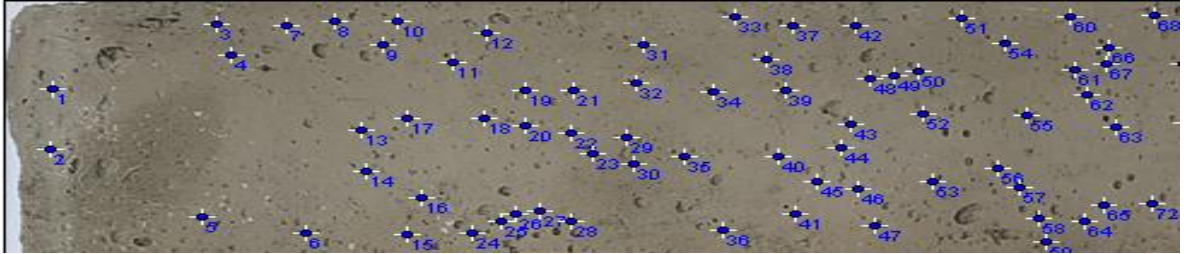


Fuente: elaboración propia

En las figuras 109 y 110, correspondientes a la descripción de la distribución de burbujas en la pieza 3, tiene la presencia de 130 burbujas de diámetro D1 (0 -1,0) mm. Por lo tanto, existe un aumento del 13,08% de las burbujas de diámetro D1 con

respecto a la pieza 1 y un aumento del 5,38% de las burbujas de diámetro D1 con respecto a la pieza 2.

Figura 109. Sección 1 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 110. Sección 2 de la pieza 3, distribución de burbujas de diámetro D1 (0-1,0) mm

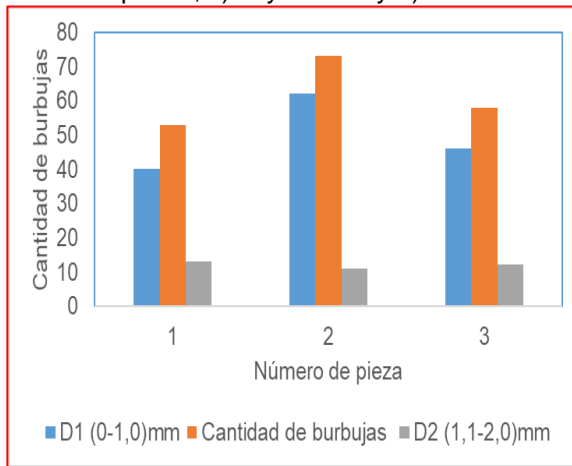


Fuente: elaboración propia

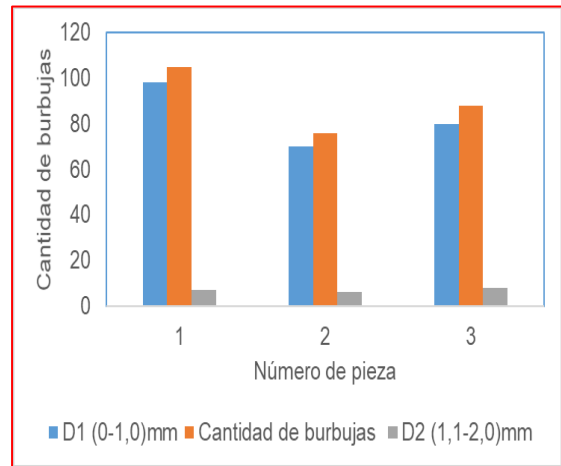
En la gráfica 6, se pudo evaluar y determinar la distribución de burbujas en cada una de las piezas de concreto en el área de contacto de 200 cm^2 . De acuerdo con la gráfica 6 a), la aplicación del aceite de palma cruda en la pieza de concreto número 1 se presenta la menor distribución de burbujas, donde se obtuvo 13 burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 40 de diámetro D1 (0-1,0) mm para una distribución total de 53 burbujas; seguido de la pieza 3, la cual presenta 12 burbujas de diámetro D2 (1,1-1,0) mm y 46 de diámetro D1 (0-1,0) mm para un acumulado de 58 burbujas. Mientras en la pieza de concreto número 2 se presenta la mayor distribución de burbujas de la siguiente manera, 11 de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 62 de diámetro D1 (0-1,0) mm para una distribución total de 73 burbujas.

Por otro lado, en la gráfica 6 b) correspondiente a la aplicación de oleína de palma, se puede evidenciar que la pieza de concreto 2, presentan la menor distribución de burbujas que es 76, de las cuales 6 pertenecen a diámetro D2 (1,1,-2,0) mm y su excedente de 70 son de diámetro D1 (0-1,0) mm. También se determinó la mayor distribución de burbujas en la pieza de concreto número 1 que llega a 105 burbujas, de las cuales 7 son de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 98 de diámetro D1 (0-1,0) mm. Mientras la pieza 3, tiene una distribución de burbujas total de 88, de las cuáles 8 burbujas corresponden a D2 (1,1-2,0) mm y su excedente de 80 corresponden a diámetro D1 (0-1,0) mm.

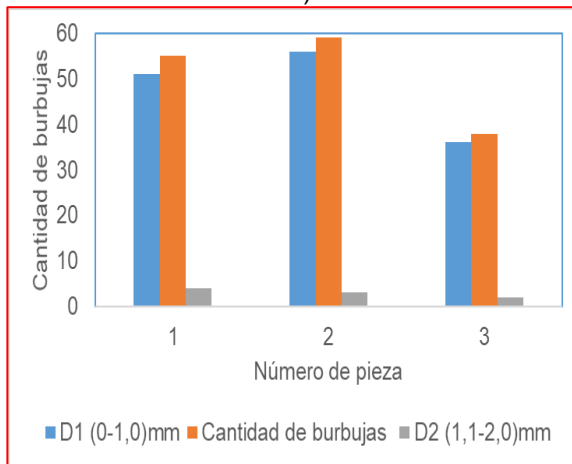
Gráfica 6. Cantidad de burbujas totales y clasificación por tamaño de diámetro D1 (0-1,0) mm y D2 (1,1-2,0) mm en cada pieza de concreto en el área de contacto de 200 cm² con a) palma cruda, b) oleína de palma, c) soya cruda y d) aceite usado



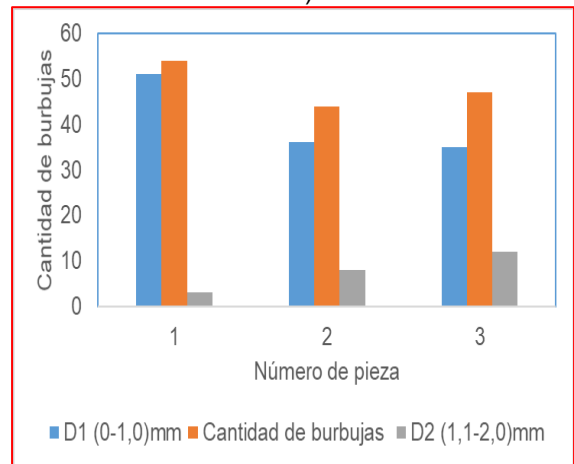
a)



b)



c)



d)

Fuente: elaboración propia

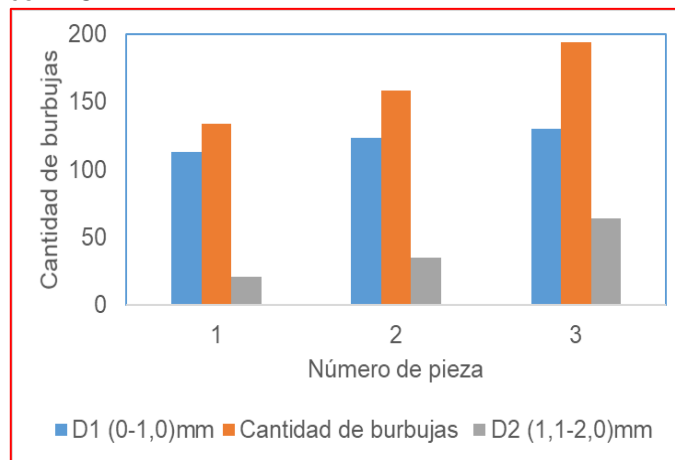
En la gráfica 6 c) que responde a la aplicación de soya cruda, se generó 38 burbujas como la menor distribución de burbujas en la pieza de concreto número 3, de las cuales 2 presentan un diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 36 de un diámetro D1 (0-1,0) mm; seguido de la pieza 1 que tiene 4 burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 51 de diámetro D1 (0-1,0) mm. Mientras la mayor distribución de burbujas se da con 59 burbujas en la pieza de concreto número 2, de las cuáles 3 de estas pertenecen a un diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 56 de un diámetro D1 (0-1,0) mm.

Para el aceite usado en la gráfica 6 d), se determinó que la menor distribución de burbujas se presentó en la pieza de concreto número 2, de las cuales 8 son de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 36 de diámetro D1 (0-1,0) mm, lo que significa un total de 44 burbujas; la precede la pieza 3 con 12 burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 35 de diámetro D1 (0-1,0) mm. Mientras se determinó la mayor distribución de

burbujas en la pieza de concreto número 1, la cual responde a un total de 54 burbujas, divididas en 3 de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 51 de diámetro D1 (0-1,0) mm.

Adicionalmente, se pudo determinar una mayor distribución de burbujas totales por cada pieza de concreto en el área de contacto con ACPM, en comparación con los aceites vegetales. Como se evidencia en la gráfica 7, la pieza de concreto número 1 presenta la menor distribución de burbujas estimada en una cantidad de 134 burbujas en la superficie, divididas en 21 de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 113 de diámetro D1 (0-1,0) mm, precedido de la pieza 2 con 35 burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 123 de diámetro D1 (0-1,0) mm para un total de 158 burbujas. Mientras en la pieza de concreto número 3 presenta la mayor distribución de burbujas correspondiente a 130 burbujas en su superficie, de las cuales 64 responden a un diámetro D2 (1,1-2,0) mm y su excedente de 130 son de diámetro D1 (0-1,0) mm para un total de 194 burbujas.

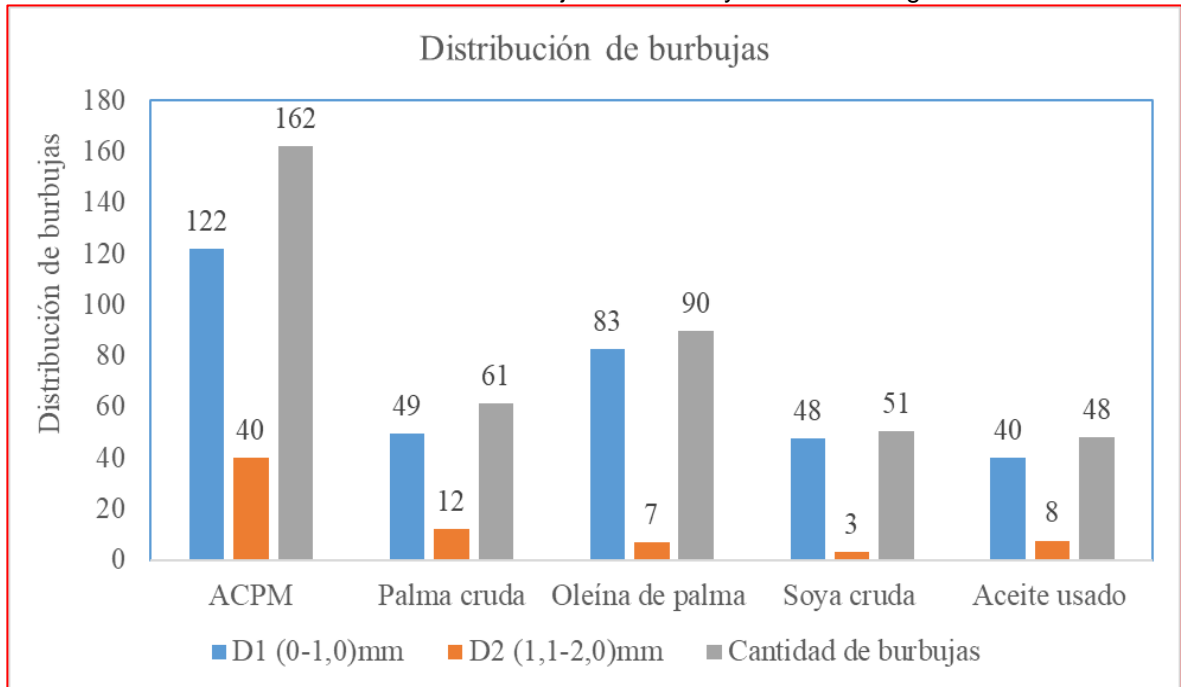
Gráfica 7. Distribución de burbujas por pieza de concreto con ACPM



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se estableció que la máxima distribución de burbujas en el área de contacto de 200 cm^2 por la cara adyacente con cada uno de los aceites vegetales es de aproximadamente menor a <100 burbujas totales, mientras con ACPM se determinó que la máxima distribución de burbujas es de aproximadamente menor a <160 burbujas totales, como se puede observar en la gráfica 8. Por lo tanto, la distribución máxima de burbujas con ACPM es 37,5% mayor comparada con los aceites vegetales, es decir, en el área de contacto con los aceites vegetales se puede garantizar una reducción significativa de la distribución de burbujas.

Gráfica 8. Promedio de la distribución de burbujas en ACPM y los aceites vegetales



Fuente: elaboración propia

En la gráfica 8, también se puede validar la distribución de burbujas en relación con el diámetro, es decir, en promedio el ACPM genera 40 burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 122 responden a un diámetro D1 (1,1-2,0) mm. Mientras los aceites vegetales, aceite de palma cruda presenta en promedio 12 burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 49 de diámetro D1 (1,1-2,0) mm, oleína de palma tiene en promedio 7 burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 83 de diámetro D1 (1,1-2,0) mm, soya cruda presenta en promedio 3 burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 48 de diámetro D1 (1,1-2,0) mm, el aceite usado presenta en promedio 8 burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y su excedente de 41 correspondiente a diámetro D1 (1,1-2,0) mm.

De acuerdo con los resultados de los aceites vegetales, en la gráfica 8 se puede determinar que con aceite de palma cruda se reduce en promedio un 70% la distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y en un 59,56% las de diámetro D1 (1,1-2,0) mm con referencia al ACPM (Tabla 4). Por otro lado, con respecto también al ACPM, la aplicación de oleína de palma se reduce en promedio un 82,50% la distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y en un 32,24% las de diámetro D1 (1,1-2,0) mm. Con soya cruda, la reducción en promedio es de 92,50% la distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 60,93% las de diámetro D1 (1,1-2,0) mm con respecto al ACPM. Mientras con aceite usado la reducción oscila en promedio cerca del 80,83% la distribución de burbujas de diámetro D2 (1,1-2,0) mm y 66,17% las de diámetro D1 (1,1-2,0) mm en comparación con el ACPM.

Tabla 4. Reducción de la distribución de burbujas utilizando los aceites vegetales con respecto al uso de ACPM

Tipo de aceite	Distribución de burbujas	
	% porcentaje de reducción	
	*D1 (0-1,0) mm	**D2 (1,1-2,0) mm
Palma cruda	59,56	70,00
Oleína de palma	32,24	82,50
Soya cruda	60,93	92,50
Aceite usado	67,21	80,83
ACPM	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia

*D1: diámetro entre 0 mm a 1,0 mm, **D2: diámetro entre 1,1 a 2,0 mm.

4.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS ACEITES VEGETALES

Determinar la estructura química de los aceites vegetales de soya cruda y aceite usado, seleccionados en la pre-experimentación permite medir el perfil de ácidos grasos, es decir, tipo y número de enlaces. Caracterización fisicoquímica que se realizó a través de técnicas conocidas como, índice de yodo para determinar el grado de insaturación y análisis de cromatografía, para conocer la estructura química.

Se determinó que el aceite de soya cruda tiene un índice de yodo de 124 (Tabla 5), lo cual expresa el número de gramos de yodo que reaccionarán con los dobles enlaces del aceite vegetal de soya cruda, lo cual responde al grado de insaturación de esta materia prima para la producción del agente desmoldante.

Tabla 5. Tipificación del aceite de soya

Análisis	Resultado
Índice de yodo	112,39

Fuente: elaboración propia

En la tabla 6, se puede conocer y verificar el resultado de la caracterización fisicoquímica realizada a través de la técnica por análisis de cromatografía para el aceite vegetal de soya cruda. El perfil de ácidos grasos se ve representado en la gráfica 9, a partir de la información presentada en la tabla 6. Teniendo en cuenta lo anterior, el aceite de soya cruda reporta que se compone principalmente de ácidos grasos insaturados como linoleico C18:2, de acuerdo con el área normalizada es de 49,79%, seguido de ácido oleico C18:1 con 26,6%, linolénico C18:3N3 con 5,74%. Mientras su composición de ácidos grasos saturados como palmítico C16 es 11,53%, esteárico C18 con 4,69%, y en menor proporción láurico, mirístico, alquídico, entre otros. Por lo tanto, cerca del 82,13% de la composición del aceite

vegetal de soya cruda es ácidos grasos insaturados y permite incluirlo como materia prima para la producción del agente desmoldante porque garantiza tener un producto viscoso, que no se cristalice y ofrezca una distribución uniforme en su aplicación en las formaletas.

Tabla 6. Análisis fisicoquímico para aceite vegetal de soya cruda a través de la técnica de cromatografía

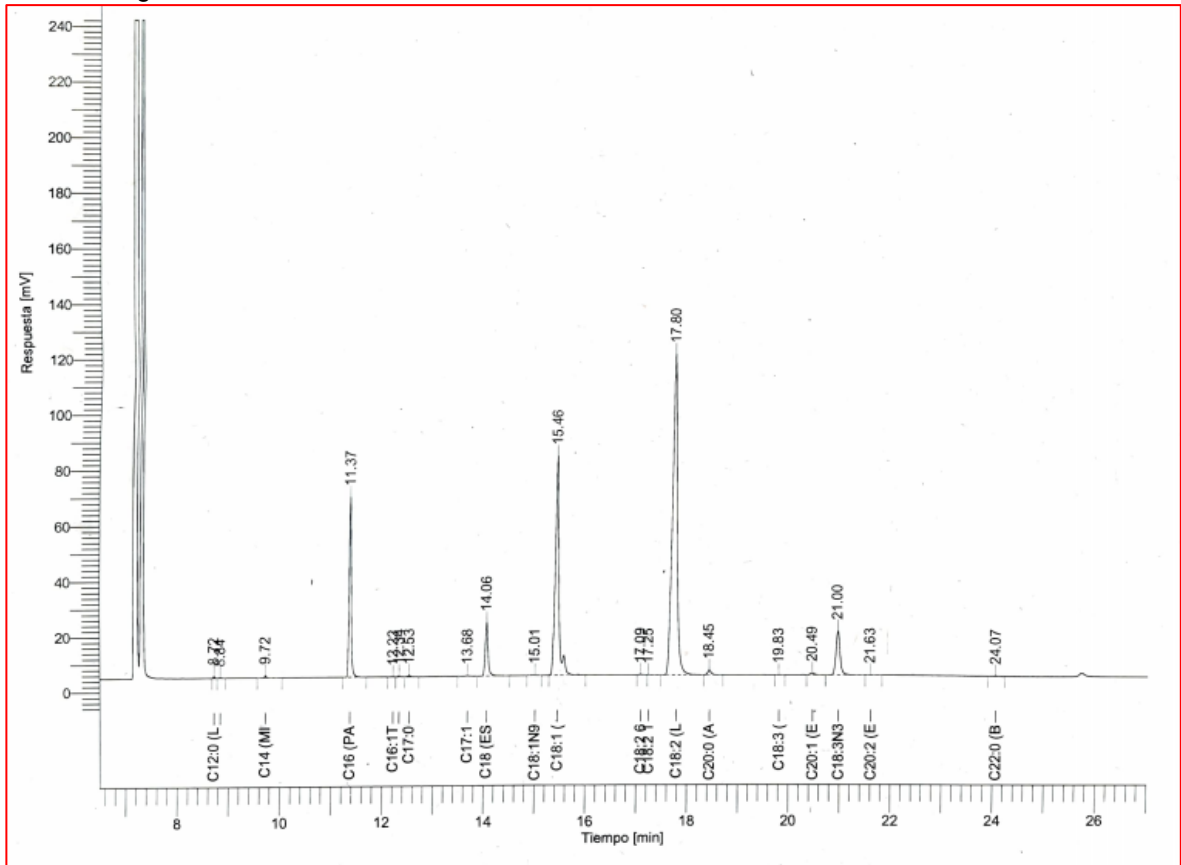
Pico #	Tiempo [min]	Area [$\mu\text{V}\cdot\text{s}$]	Component Name	Norm. Area [%]
1	8.72	1365.61	C12:0 (LAURICO)	0.09
2	8.84	633.83	C13 (TRIDECANOATO)	0.04
3	9.72	2529.40	C14 (MIRISTICO)	0.16
4	11.37	179589.98	C16 (PALMITICO)	11.53
6	12.34	1288.42	C16:1	0.08
7	12.53	1928.78	C17:0	0.12
8	13.68	1066.37	C17:1	0.07
9	14.06	73115.92	C18 (ESTEARICO)	4.69
11	15.46	414491.93	C18:1 (OLEICO)	26.60
	17.09	2225.83	TRANS DEFINIDOS	0.14
14	17.80	775789.44	C18:2 (LINOLEICO)	49.79
15	18.45	8390.57	C20:0 (ARAQUIDICO)	0.54
16	19.83	480.97	C18:3 (G-LINOLEICO)	0.03
17	20.49	4062.53	C20:1 (EICOCIANATO)	0.26
18	21.00	89464.30	C18:3N3 (LINOLENICO)	5.74
19	21.63	968.64	C20:2 (EICOSADIONATO)	0.06
20	24.07	762.49	C22:0 (BEHENICO)	0.05
				100.00
		1558154.99		

Group Report For : TRANS DEFINIDOS

Pico #	Tiempo [min]	Area [$\mu\text{V}\cdot\text{s}$]	Component Name	Norm. Area [%]
5	12.22	306.32	C16:1T	13.76
10	15.01	802.06	C18:1N9T (ELAIDICO)	36.03
12	17.09	931.74	C18:2 6T (LINOELAIDICO)	41.86
13	17.25	185.71	C18:2 11T (LINOELAIDICO)	8.34
				100.00
		2225.83		

Fuente: elaboración propia

Gráfica 9. Perfil de ácidos grasos del aceite vegetal de soya cruda, obtenido con la técnica de análisis de cromatografía



Fuente: elaboración propia

También se determinó el índice de yodo para el aceite vegetal usado en una primera muestra, el cual fue 100,14 (Tabla 7), lo cual expresa el número de gramos de yodo que reaccionarán con los dobles enlaces del aceite vegetal usado.

Tabla 7. Tipificación de aceite usado, muestra 1

Análisis	Resultado
Índice de yodo	100,14

Fuente: elaboración propia

En la tabla 8, se puede evidenciar el resultado de la caracterización fisicoquímica realizada a través de la técnica por análisis de cromatografía para el aceite vegetal usado en una primera muestra. El perfil de ácidos grasos se ve representado en la gráfica 10, a partir de la información presentada en la tabla 8. Teniendo en cuenta lo anterior, el aceite usado arrojó que se compone principalmente de ácidos grasos insaturados como oleico C18:1, de acuerdo con el área normalizada es de 48,02%, seguido de ácido linoleico C18:2 con 29,79%, linolénico C18:3N3 con 1,85%.

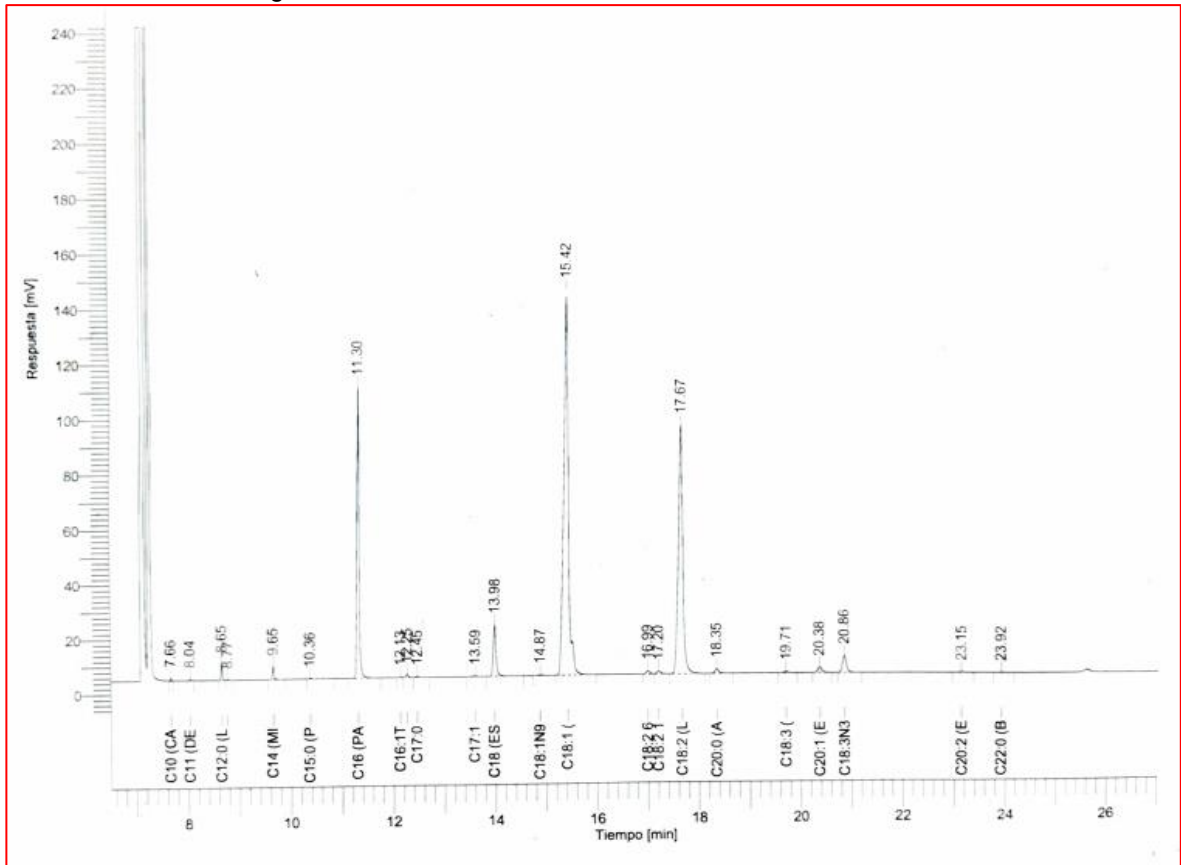
Mientras su composición de ácidos grasos saturados como palmítico C16 es 16,35% y en menor proporción caprico C10, decanoato C11, láurico C12:0 entre otros. Por lo tanto, cerca del 79,66% de la composición del aceite vegetal usado de una primera muestra es de ácidos grasos insaturados. Este grado de insaturación en el aceite vegetal, permite incluirlo como materia prima para la producción del agente desmoldante porque garantiza tener un producto viscoso, que no se cristalice y ofrezca una distribución uniforme en su aplicación en las formaletas.

Tabla 8. Análisis fisicoquímico para el aceite vegetal usado (muestra 1) a través de la técnica de cromatografía

Pico #	Tiempo [min]	Area [$\mu\text{V}\cdot\text{s}$]	Component Name	Norm. Area [%]
1	7.66	1498.30	C10 (CAPRICO)	0.08
2	8.04	1247.50	C11 (DECANOATO)	0.07
3	8.65	11213.15	C12:0 (LAURICO)	0.61
4	8.77	881.94	C13 (TRIDECANOATO)	0.05
5	9.65	10898.89	C14 (MIRISTICO)	0.59
6	10.36	1188.32	C15:0 (PENTADECANOATO)	0.06
7	11.30	301528.72	C16 (PALMITICO)	16.35
9	12.25	3695.94	C16:1	0.20
10	12.45	1792.33	C17:0	0.10
11	13.59	1520.31	C17:1	0.08
14	15.42	885631.95	C18:1 (OLEICO)	48.02
	16.99	13740.45	TRANS DEFINIDOS	0.75
17	17.67	549340.28	C18:2 (LINOLEICO)	29.79
18	18.35	9064.86	C20:0 (ARAQUIDICO)	0.49
19	19.71	2906.01	C18:3 (G-LINOLEICO)	0.16
20	20.38	11589.07	C20:1 (EICOCIANATO)	0.63
21	20.86	34211.21	C18:3N3 (LINOLENICO)	1.85
22	23.15	1497.83	C20:2 (EICOSADIONATO)	0.08
23	23.92	868.83	C22:0 (BEHENICO)	0.05
				100.00
		1844315.90		
Group Report For : TRANS DEFINIDOS				
Pico #	Tiempo [min]	Area [$\mu\text{V}\cdot\text{s}$]	Component Name	Norm. Area [%]
8	12.13	712.38	C16:1T	5.18
13	14.87	2266.67	C18:1N9T (ELAIDICO)	16.50
15	16.99	5474.58	C18:2 6T (LINOELAIDICO)	39.84
16	17.20	5286.81	C18:2 11T (LINOELAIDICO)	38.48
				100.00
		13740.45		

Fuente: elaboración propia

Gráfica 10. Perfil de ácidos grasos del aceite vegetal usado para la muestra 1, obtenido con la técnica de análisis de cromatografía



Fuente: elaboración propia

En una segunda muestra, se determinó el índice de yodo para el aceite vegetal usado, el cual fue 112,39 (Tabla 9), lo cual expresa el número de gramos de yodo que reaccionarán con los dobles enlaces del aceite vegetal usado.

Tabla 9. Tipificación de aceite usado, muestra 2

Análisis	Resultado
Índice de yodo	124

Fuente: elaboración propia

En la tabla 10, se muestra el resultado de la caracterización fisicoquímica realizada a través de la técnica por análisis de cromatografía para el aceite vegetal usado en una segunda muestra. El perfil de ácidos grasos se ve representado en la gráfica 11, a partir de la información presentada en la tabla 10. En esta muestra, el aceite usado reportó también que se compone principalmente de ácidos grasos insaturados como linoleico C18:2, de acuerdo con el área normalizada de 40,23%, seguido de ácido oleico C18:1 con 30,75%, linolénico C18:3N3 con 3,30%. Mientras

su composición de ácidos grasos saturados como palmítico C16 es 16,59%, esteárico C18 es 4,72% y en menor proporción caprico C10, láurico C12:0, mirístico C14, entre otros. Por lo tanto, cerca del 74,28% de la composición del aceite vegetal usado en la segunda muestra es de ácidos grasos insaturados y permite incluirlo también como materia prima para la producción del agente desmoldante porque garantiza tener un producto viscoso, que no se cristalice y ofrezca una distribución uniforme en su aplicación en las formaletas.

Tabla 10. Análisis fisicoquímico para el aceite vegetal usado (muestra 2) a través de la técnica de cromatografía

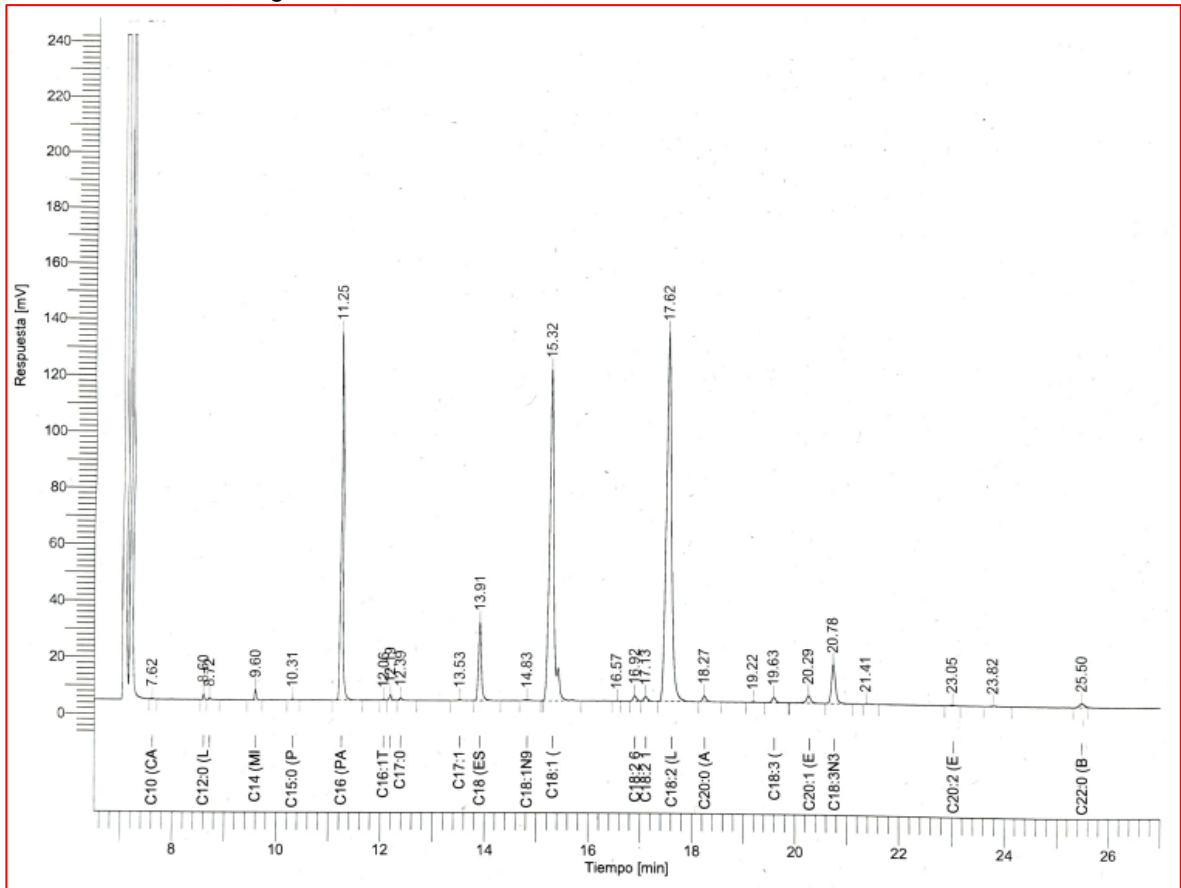
Pico #	Tiempo [min]	Area [$\mu\text{V}\cdot\text{s}$]	Component Name	Norm. Area [%]
1	7.62	586.34	C10 (CAPRICO)	0.03
2	8.60	3654.73	C12:0 (LAURICO)	0.16
3	8.72	1681.74	C13 (TRIDECANOATO)	0.07
4	9.60	8519.02	C14 (MIRISTICO)	0.37
5	10.31	1003.51	C15:0 (PENTADECANOATO)	0.04
6	11.25	379735.80	C16 (PALMITICO)	16.59
8	12.19	5985.40	C16:1	0.26
9	12.39	3240.49	C17:0	0.14
10	13.53	1559.53	C17:1	0.07
11	13.91	108121.98	C18 (ESTEARICO)	4.72
13	15.32	703929.27	C18:1 (OLEICO)	30.75
14	16.57	321.20		0.01
	16.92	21243.49	TRANS DEFINIDOS	0.93
17	17.62	921003.16	C18:2 (LINOLEICO)	40.23
18	18.27	10988.37	C20:0 (ARAQUIDICO)	0.48
19	19.22	1393.27		0.06
20	19.63	10180.08	C18:3 (G-LINOLEICO)	0.44
21	20.29	17024.66	C20:1 (EICOCIANATO)	0.74
22	20.78	75545.82	C18:3N3 (LINOLENICO)	3.30
23	21.41	915.90		0.04
24	23.05	1921.15	C20:2 (EICOSADIONATO)	0.08
25	23.82	1983.46		0.09
26	25.50	8929.83	C22:0 (BEHENICO)	0.39
2289468.19				100.00

Group Report For : TRANS DEFINIDOS

Pico #	Tiempo [min]	Area [$\mu\text{V}\cdot\text{s}$]	Component Name	Norm. Area [%]
7	12.06	1145.23	C16:1T	5.39
12	14.83	2530.99	C18:1N9T (ELAIDICO)	11.91
15	16.92	8904.50	C18:2 6T (LINOELAIDICO)	41.92
16	17.13	8662.77	C18:2 11T (LINOELAIDICO)	40.78
21243.49				100.00

Fuente: elaboración propia

Gráfica 11. Perfil de ácidos grasos del aceite vegetal usado para la muestra 2, obtenido con la técnica de análisis de cromatografía



Fuente: elaboración propia

4.4 ELABORACIÓN DE LAS EMULSIONES

En esta segunda parte, los aceites vegetales, soya cruda y usado, se convirtieron en la materia prima al igual que los emulsificantes y el agua para la producción del agente desmoldante, el cual se obtuvo por medio de una emulsión. Por lo tanto, para cada emulsión se eligió un solo tipo de aceite vegetal, la misma fase acuosa y emulsificante; de los descritos en la (Tabla 11) de materias primas. Adicionalmente de acuerdo con el diseño experimental, la etapa de la elaboración de las emulsiones se dividió en tres partes, teniendo en cuenta la forma de adición del emulsificante:

- a) Elección de un emulsificante puro.
- b) Mezcla de dos emulsificantes de acuerdo con los resultados de estabilidad de las emulsiones obtenidas en la primera parte y a los costos asociados.
- c) Modificación de la fórmula estándar en virtud de evaluar cómo, una disminución de la cantidad de emulsificante afecta las características de la emulsión.

Tabla 11. Materias primas para la elaboración de la emulsión

Tipo de aceite	Fase acuosa	Tipo de emulsificante
Soya cruda Usado	Agua	Polisorbato 20 Polietilenglicol (PET 400) Polisorbato 60 Arcilla de bentonita Estearoil-2-Lactilato de sodio (Esterlac SSL)

Fuente: elaboración propia

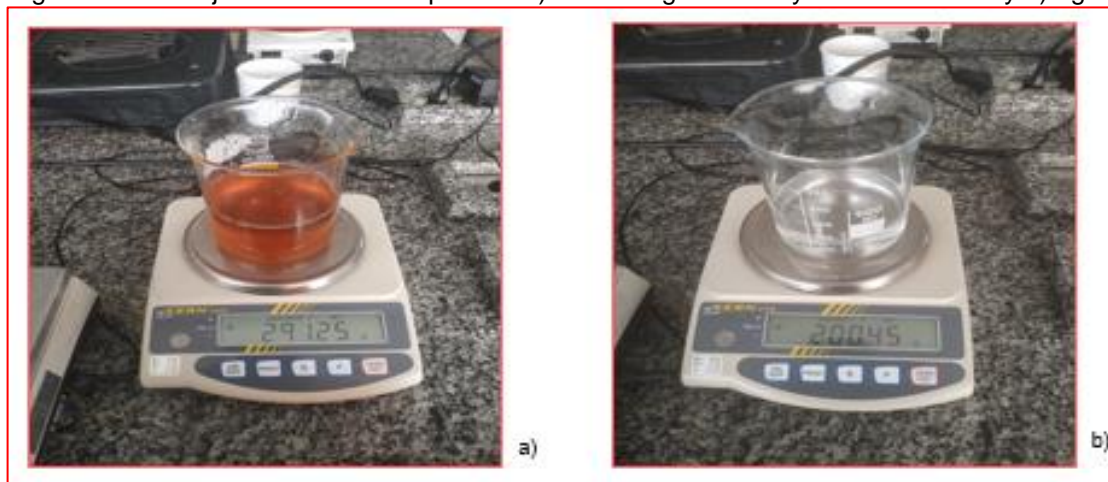
4.4.1 Pesaje y registro de las materias primas para preparar la emulsión. Las materias primas se pesaron en una balanza universal en referencia para 500 gramos totales de emulsión (Fig. 111) y (Fig. 112), en relación con la fórmula estándar, dada en términos del porcentaje de masa para la elaboración de la emulsión (Tabla 12).

Tabla 12. Formulación estándar de las materias primas

Materia prima	Fórmula estándar %	Forma de adición
Aceite vegetal: soya cruda ó usado	58	Puro
Agua	40	Puro a) Puro
Emulsificante	2	b) Combinación (dos emulsificantes) c) Reducción de la concentración: (puro y combinación)

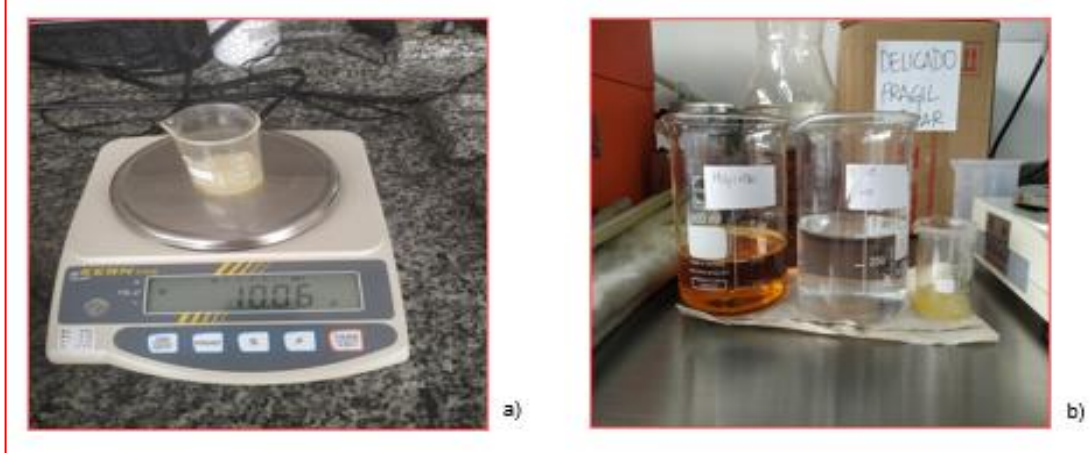
Fuente: elaboración propia

Figura 111. Pesaje de las materias primas: a) aceite vegetal de soya cruda o usado y b) agua



Fuente: elaboración propia

Figura 112. a) emulsificante y b) registro de pesaje en gramos (g) de las materias primas



Fuente: elaboración propia

4.4.2 Montaje del sistema para la elaboración de las emulsiones. El montaje (Fig. 113), está conformado por un agitador mecánico, un beaker con un sistema de enchaquetado y el equipo de baño de enfriamiento. Este montaje se realizó con la finalidad de favorecer la miscibilidad de los componentes en la emulsión, a medida que se disminuyó la temperatura de 55°C a 40°C y suministró una agitación continua de 500 rpm.

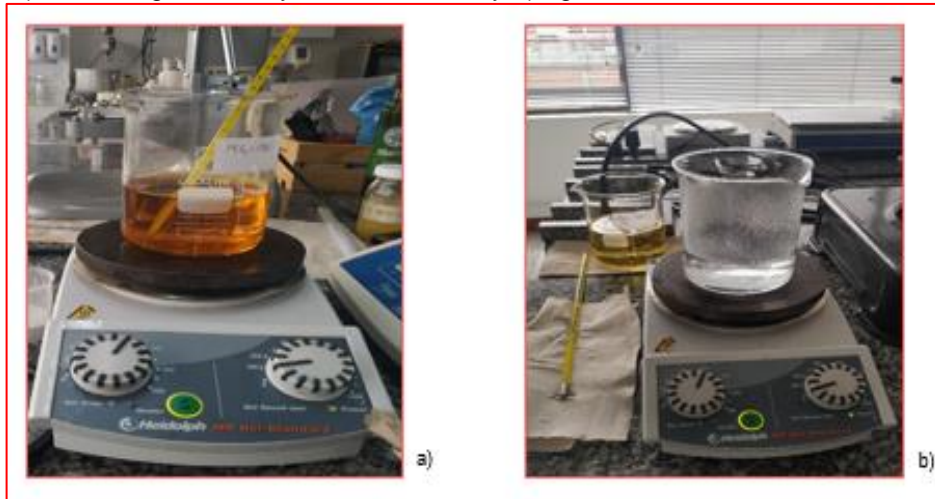
Figura 113. Montaje del sistema para la elaboración de emulsiones



Fuente: elaboración propia

4.4.3 Calentar materias primas: aceite vegetal, agua y emulsificante. El 58% de aceite vegetal de soya cruda o usado, se depositaron en un beaker con capacidad de 500 ml, al igual que el 40% de agua se depositó en otro beaker de 500 ml. Posteriormente se calentó con ayuda de una plancha de calentamiento y se realizó control de verificación de la temperatura (Fig. 114).

Figura 114. Calentamiento y control de la temperatura de las materias primas:
a) aceite vegetal de soya cruda o usado y b) agua



Fuente: elaboración propia

4.4.4 Extracción de la muestra de aceite vegetal y adición del emulsificante. Una vez se inició el calentamiento del aceite vegetal de soya cruda o aceite usado, la temperatura se monitoreó constantemente, luego se extrajo una muestra del aceite y se llevó a un beaker; posteriormente se adicionó emulsificante y se continuó con la agitación, calentamiento y control de temperatura (Fig. 115).

Figura 115. Mezcla entre la muestra de aceite y emulsificante



Fuente: elaboración propia

4.4.5 Adición de la mezcla. Al efectuar la agitación manual de la muestra y continuar con el calentamiento, se verificó que se haya alcanzado una mezcla homogénea de las materias primas, con la finalidad de adicionarla al aceite vegetal y conservar la agitación de la mezcla (Fig. 116).

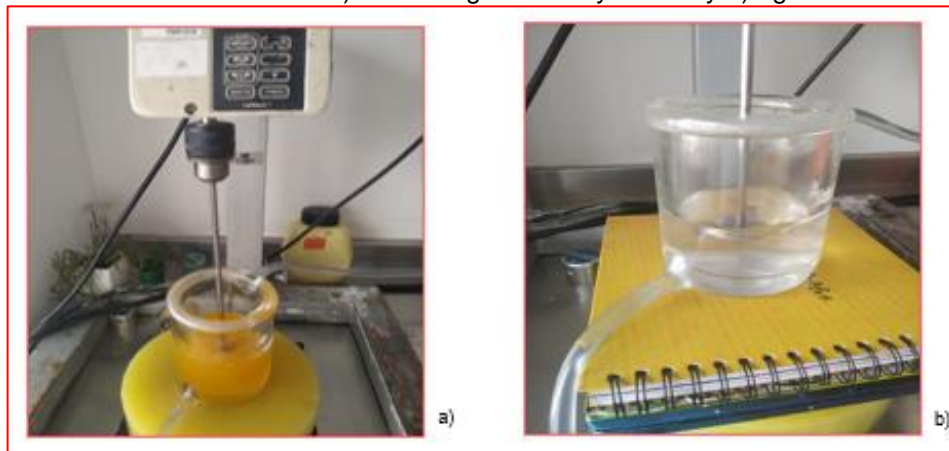
Figura 116. Adición de la muestra al aceite Vegetal



Fuente: elaboración propia

4.4.6 Vertimiento de la materia prima que actúa como fase continua al beaker con sistema de baño de enfriamiento. Una vez se tuvo la mezcla homogénea entre el aceite vegetal y su muestra, se procedió a llevar al beaker, el cual tiene un sistema de enchaquetado. Para emulsiones de aceite usado, el agua por ser la fase continua se convierte en la materia prima que primero se vierte en el beaker con sistema de enchaquetado (Fig. 117).

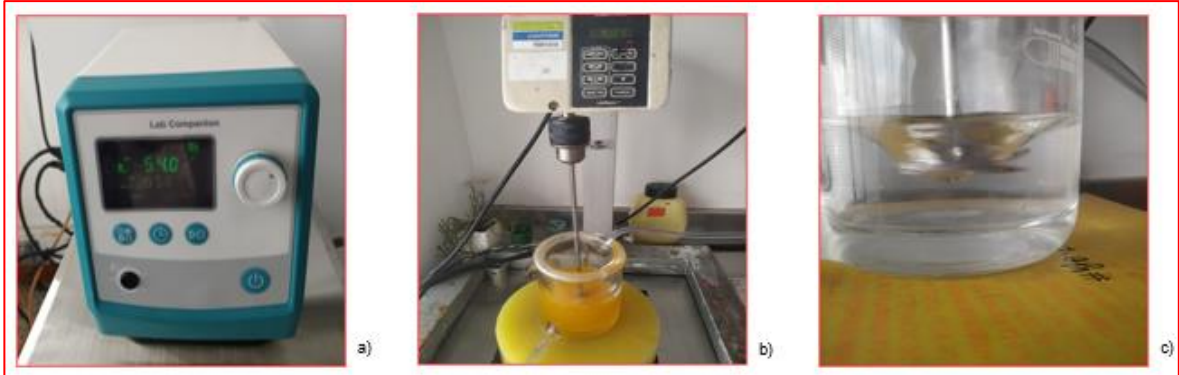
Figura 117. Vertimiento en el sistema de enchaquetado de la materia prima que actúa como fase continua a) aceite vegetal de soya cruda y b) agua



Fuente: elaboración propia

4.4.7 Configuración para el funcionamiento del equipo de baño de enfriamiento e inicio del sistema de agitación mecánica. A continuación, se ajustaron condiciones de operación (Fig. 118) y se dio ingreso al flujo de agua en el sistema de enchaquetado del beaker a través del equipo de baño de enfriamiento, el cual permite ajustar la temperatura a un valor deseado o *setpoint* (Fig. 118-a).

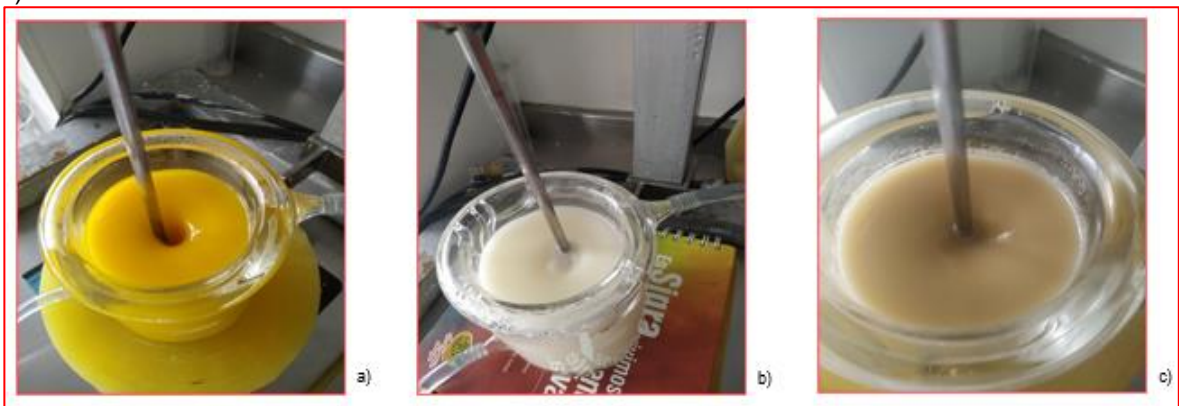
Figura 118. Ajuste de: a) temperatura, b) agitación y c) altura del eje de paletas



Fuente: elaboración propia

4.4.8 Adición de la materia prima que actúa como fase dispersante al beaker con sistema de baño de enfriamiento. La materia prima dispersante se empezó a adicionar cuando habían transcurrido entre 10 a 15 minutos, desde el inicio de la agitación mecánica por el sistema de paletas. Adicionalmente, es importante mencionar que la adición de la fase dispersante se realizó de manera paulatina. Una vez se adicionó la fase dispersa, la agitación se mantuvo durante 15 minutos más (Fig. 119).

Figura 119. Adición gota a gota de la materia prima que actúa como fase dispersante, a) agua, b) y c) aceite usado



Fuente: elaboración propia

4.4.9 Enfriamiento de la emulsión, manteniendo la agitación mecánica constante. A continuación, se disminuyó la temperatura a un valor deseado a través del sistema de monitoreo del que dispone el equipo de baño de enfriamiento (Fig.

120), sin interrumpir la agitación constante, para lo cual se necesitó un monitoreo durante 15 a 20 minutos más, los cuales se suman al proceso de obtención de cada una de las emulsiones.

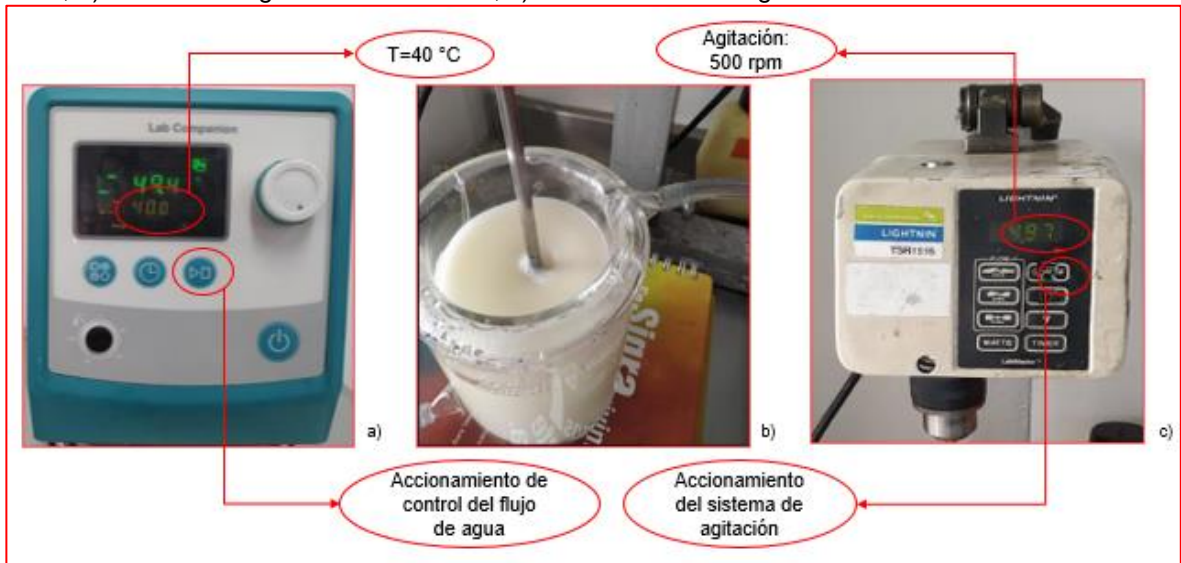
Figura 120. Ajuste de la temperatura a un valor deseado o *setpoint* de 40°C



Fuente: elaboración propia

4.4.10 Finalización de la agitación y el accionamiento del equipo de baño de enfriamiento. Una vez se disminuye la temperatura y se alcanza el valor deseado, se procedió a finalizar el calentamiento a través del accionamiento de control en el equipo. Seguidamente, se finalizó la agitación mecánica, por medio del sistema de control (Fig. 121).

Figura 121. Accionamiento del equipo de baño de enfriamiento: a) verificación de la temperatura en 40°C, b) retorno del agua de enfriamiento, c) finalización de la agitación mecánica



Fuente: elaboración propia

4.4.11 Envasar. Posteriormente las emulsiones obtenidas, se envaso en recipientes plásticos de capacidad de 500 ml con la ayuda de un embudo (Fig. 122).

Figura 122. Procedimiento del envase de las emulsiones obtenidas



Fuente: elaboración propia

4.4.12 Almacenamiento de las emulsiones. Finalmente, en este proceso de obtención de un agente desmoldante a través de la elaboración de una emulsión, se procedió a almacenar cada una de las emulsiones en un área libre de humedad y buena iluminación (Fig. 123).

Figura 123. a) Emulsiones de aceite usado y Esterlac SSL, b) emulsiones de aceite de soya y Esterlac SSL

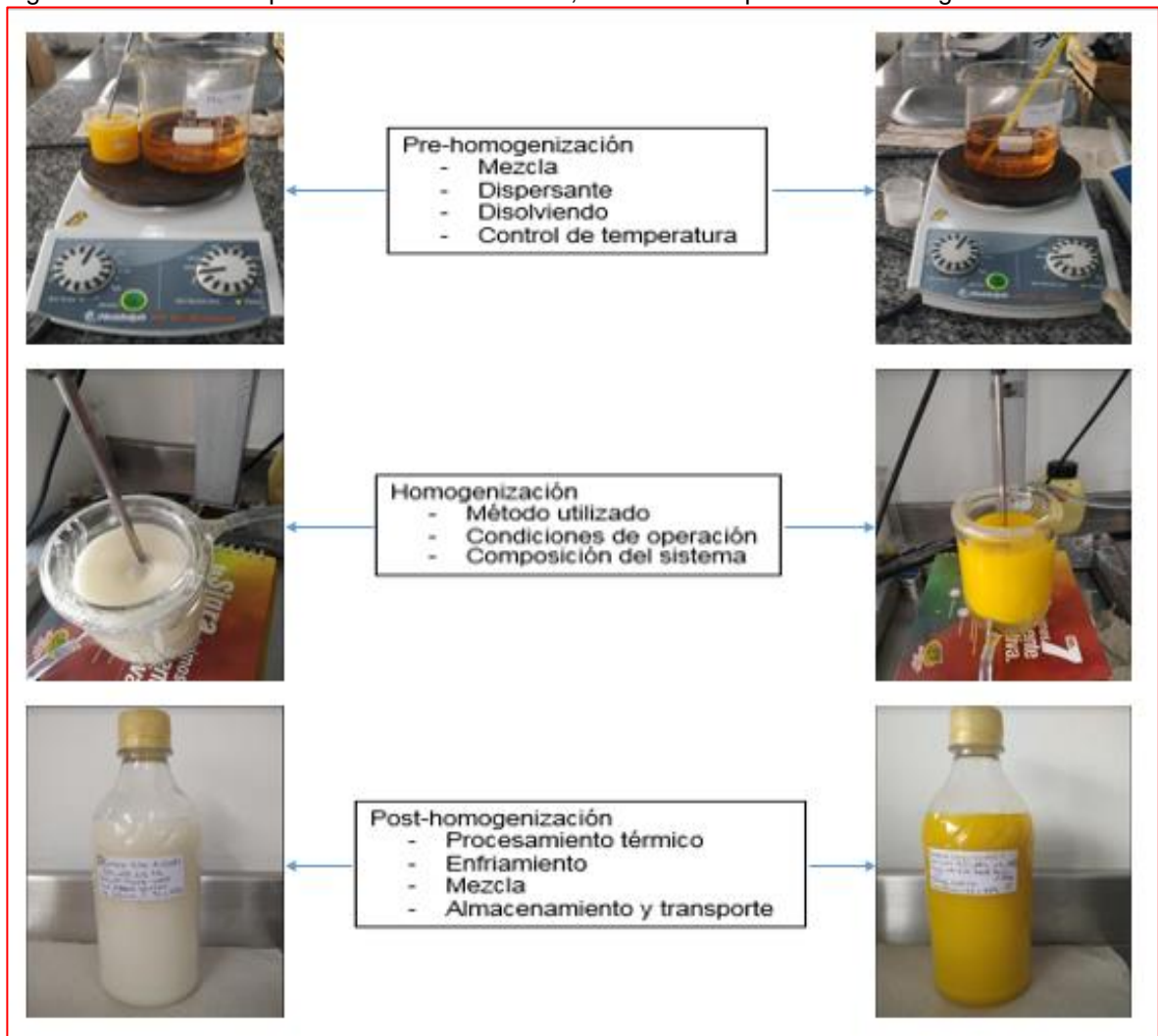


Fuente: elaboración propia

4.4.13 Estabilidad de las emulsiones. En la preparación de una emulsión, se desarrollan diferentes procesos consecutivos, pero se pueden sintetizar en tres etapas para conseguir una mezcla homogénea y estable. Estas se conocen como pre-homogenización, homogenización y post-homogenización; dentro de cada uno

se realizan procesos específicos que contribuyen en la formación de una emulsión, como el monitoreo de la temperatura antes, durante y después de la dispersión ya sea del aceite vegetal o del agua ³⁹ (Fig. 124).

Figura 124. Procesos que se llevan a cabo antes, durante o después de la homogenización



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior y de acuerdo con el diseño experimental las emulsiones fueron elaboradas en tres partes para comparar sus características como la estabilidad y viscosidad de manera experimental.

- a) Elección de un emulsificante puro: se eligió un solo tipo de aceite vegetal, el agua como fase acuosa y un emulsificante puro (Tabla 13).

³⁹ Food Emulsions: Principles, practices, and techniques. Third edition (2016). Recuperado de: <https://doi.org/10.1201/b18868>

Tabla 13. Aceites vegetales en emulsión que desencofraron en pre-experimentación, primera parte

Tipo de aceite	Emulsificante puro (500 rpm)				
	Polisorbato 20	PET 400*	Polisorbato 60	Arc. Bentonita*	SSL*
Soya (W/O)*	*PE-1	PE-2	PE-3	PE-4	PE-5
Ac. Usado (O/W)*	PE-6	PE-7	PE-8	PE-9	PE-10

Fuente: elaboración propia

*PE: Prueba de emulsión, W/O: Agua en aceite, O/W: Aceite en agua, PET 400: Polietilenglicol 400, Arc. Bentonita: Arcilla de bentonita, SSL: Estearoil-2-Lactilato de sodio (Esterlac SSL).

- b) Mezcla de dos emulsificantes de acuerdo con los resultados de estabilidad de la emulsión obtenidos en la primera fase y a los costos asociados: se eligió un solo tipo de aceite vegetal, el agua como fase acuosa y la mezcla de 2 emulsificantes (Tabla 14).

Tabla 14. Aceites vegetales en emulsión que desencofraron en pre-experimentación, segunda parte

Tipo de aceite	Emulsificante en combinación (500 rpm)			
	(20SSL+80P60)**	(40SSL+60P60)	(60SSL+40P60)	(80SSL+20P60)
Soya (W/O)	PE-11	PE-12	PE-13	PE-14
**Ac. Usado (O/W)	PE-15	PE-16	PE-17	PE-18

Fuente: elaboración propia

**Ac: aceite, SSL: Estearoil-2-Lactilato de sodio (Esterlac SSL), P60: Polisorbato 60

- c) Modificación de la fórmula estándar en virtud de evaluar cómo, una disminución de la cantidad de emulsificante afecta las características de la emulsión: se eligió un solo tipo de aceite vegetal, el agua como fase acuosa y emulsificante, variando la concentración de emulsificante a 1.5%, 1.0% y 0.5% (Tabla 15).

Tabla 15. Aceites vegetales en emulsión que desencofraron en la pre-experimentación, tercera parte

Tipo de aceite	Fórmula estandar (%)	Concentración de emulsificante % W/W (500 rpm)		
		1.5 %	1.0 %	0.5 %
Soya cruda (W/O)	100 SSL	PE-19	PE-20	PE-21
	80 SSL + 20 P60	PE-22	PE-23	PE-24
Ac. Usado (O/W)	100 SSL	PE-25	PE-26	PE-27
	80 SSL + 20 P60	PE-28	PE-29	PE-30

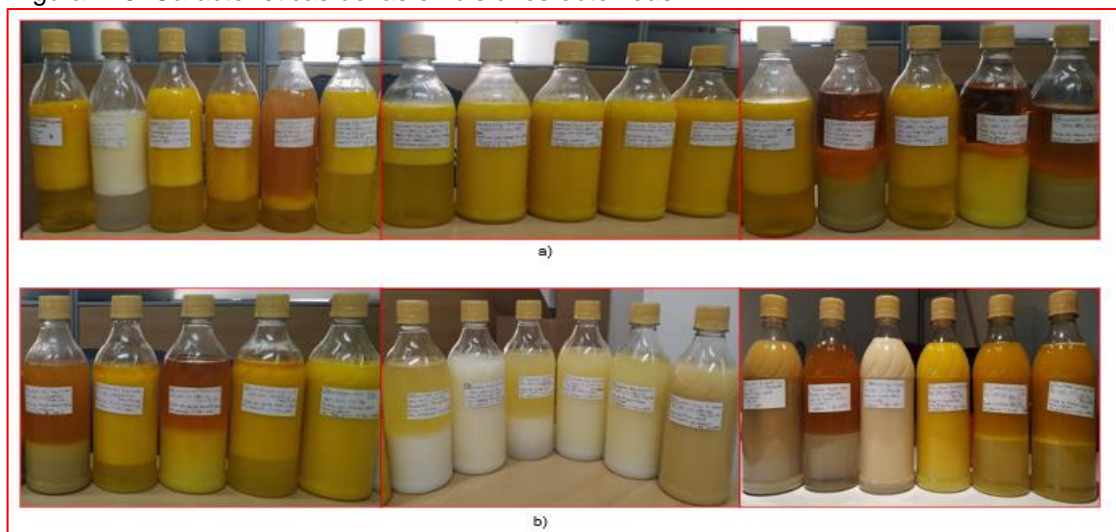
Fuente: elaboración propia

El tipo de emulsión es otra de las variables que permitió evaluar como afectaba las características de las emulsiones, por lo tanto, aquellas que son a base de aceite

soya cruda, se realizaron como emulsiones inversas (W/O) y las de aceite usado como emulsiones directas (O/W) (Tablas 5-7). Estas últimas emulsiones, son sistemas donde el líquido disperso es el aceite vegetal, también denominado fase interna o dispersa y el agua es el líquido que actúa como la fase externa o continua; lo que las distingue de las emulsiones inversas, en las cuales, la fase interna o dispersa es el agua, mientras el aceite vegetal es la fase externa o continua.

En consideración a lo anterior, tener una emulsión de tipo inversa o directa, fue un factor que intervino en el orden en que se adicionaron las materias primas en el beaker con sistema de enfriamiento. Como resultado de esta etapa, se obtiene las emulsiones que se muestran en la figura 125.

Figura 125. Características de las emulsiones obtenidas



Fuente: elaboración propia

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la primera parte de este diseño experimental, se pudo determinar el tiempo de elaboración y tiempo de estabilidad por cada emulsión que está relacionado con el tipo de emulsificante puro que se utilizó, como se indicará más adelante; así como también se pudo establecer el tipo de emulsión para soya cruda, es decir, agua en aceite W/O (Tabla 16).

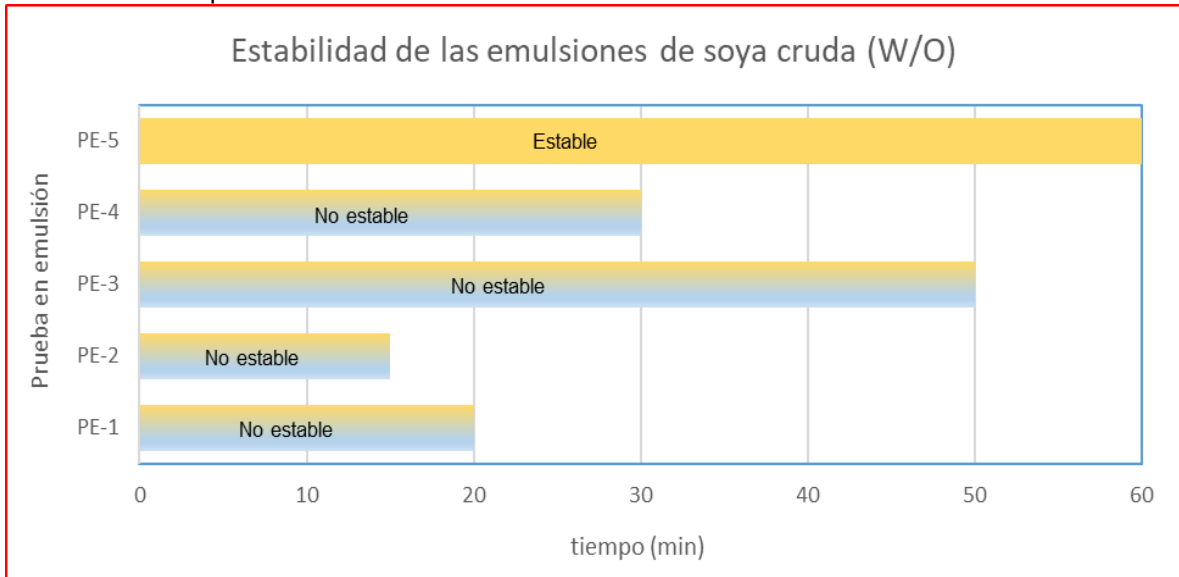
Tabla 16. Estabilidad de las emulsiones (W/O) con emulsificante puro, agitación de 500 rpm, temperatura de (40 – 55) °C

Tipo de aceite	Tiempo de elaboración (min)	Emulsión	Emulsificante	Tiempo de estabilidad (min)
Soya cruda (W/O)	40 - 50	PE-1	Polisorbato 20	20
		PE-2	PET 400	15
		PE-3	Polisorbato 60	50
		PE-4	Arc. Bentonita	30
		PE-5	SSL	60

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los resultados (Gráf. 12), se pudo evaluar y determinar que el tipo de emulsificante puro elegido para cada emulsión tiene un efecto importante en la estabilidad, la cual se evaluó cuando se almacenaron las emulsiones y en un estado de reposo, realizando una inspección y control visual dentro de un rango de tiempo de estabilidad por cada emulsión. Teniendo en cuenta lo anterior, se determinó un tiempo de estabilidad para cada prueba de emulsión PE-1 con polisorbato 20 de 20 minutos, PE-2 con PET 400 de 15 minutos, PE-3 con polisorbato 60 de 50 minutos, PE-4 con arcilla de bentonita de 30 minutos y PE-5 con SSL de 60 minutos; sin embargo una vez se llega al límite del tiempo de estabilidad (60 minutos) las pruebas de emulsión PE-1, PE-2, PE-3 y PE-4 sufren una separación de sus materias primas formando diferentes fases, por esta razón estas emulsiones se consideran no estables, mientras PE-5 garantizó ser una emulsión estable después de los 60 minutos.

Gráfica 12. Evaluación de la estabilidad en las emulsiones (W/O) con emulsificante puro en un determinado tiempo



Fuente: elaboración propia

La tabla 17, también pertenece a la primera parte de este diseño experimental, donde se pudo determinar el tiempo de elaboración y tiempo de estabilidad por cada emulsión de las elaboradas con emulsificante puro; así como también se pudo establecer el tipo de emulsión para aceite usado, es decir, aceite en agua O/W.

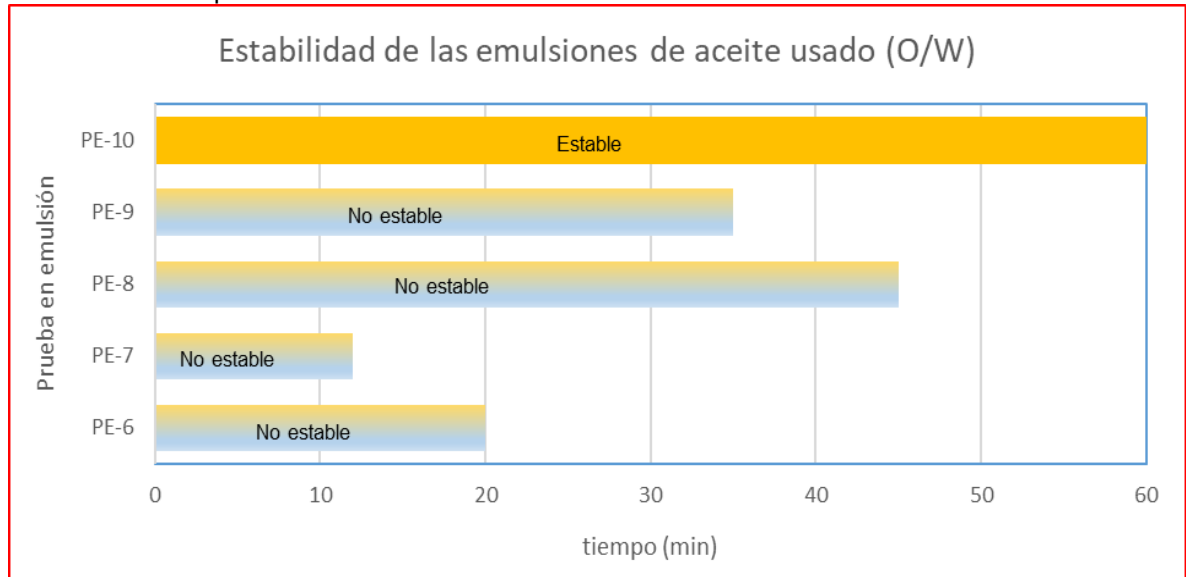
Tabla 17 Estabilidad de las emulsiones (O/W) con emulsificante puro, agitación de 500 rpm, temperatura de (40 – 55) °C

Tipo de aceite	Tiempo de elaboración (min)	Emulsión	Emulsificante	Tiempo de estabilidad (min)
Aceite usado (O/W)	40 - 50	PE-6	Polisorbato 20	20
		PE-7	PET 400	12
		PE-8	Polisorbato 60	45
		PE-9	Arc. Bentonita	35
		PE-10	SSL	60

Fuente: elaboración propia

Cuando realizó la inspección y control visual en las emulsiones con aceite usado se logró determinar un tiempo de estabilidad (Gráf. 13) para cada prueba de emulsión PE-6 con polisorbato 20 de 20 minutos, PE-7 con PET 400 de 12 minutos, PE-8 con polisorbato 60 de 45 minutos, PE-9 con arcilla de bentonita de 35 minutos y PE-10 con SSL de 60 minutos; sin embargo una vez se llega al límite del tiempo de estabilidad (60 minutos) las pruebas de emulsión PE-6, PE-7, PE-8 y PE-9 sufren una separación de sus materias primas formando diferentes fases, lo cual indica que es un comportamiento de separación similar a las emulsiones de soya cruda, por consiguiente son emulsiones que se consideran no estables, mientras PE-10 al igual que PE-5 garantizó ser una emulsión estable después de los 60 minutos.

Gráfica 13. Evaluación de la estabilidad en las emulsiones (O/W) con emulsificante puro en un determinado tiempo



Fuente: elaboración propia

En consideración a los resultados (Gráf. 12-13), las pruebas de emulsión PE-3 y PE-8, aunque no son estables después de los 45 y 50 minutos, respectivamente; tienen un tiempo de estabilidad amplio en comparación con las demás emulsiones que no alcanzan este límite de tiempo en su estabilidad. Por lo tanto, el tiempo de estabilidad de las pruebas de emulsiones no estables PE-3 y PE-8 al igual que las pruebas de emulsiones estables PE-5 y PE-10, se debe no solo a que sus emulsificantes son materias primas tensoactivas que reducen la tensión en la interface formada por aceite y agua, donde sus moléculas son capaces de adsorberse en la materia prima que actúa como fase dispersante, sino también que los emulsificantes ofrecen una protección a las gotas formadas por las moléculas de la materia prima que actúa como fase dispersante y evita de esta manera, se lleve a cabo la fusión de las gotas, es decir, su respectivo rompimiento por acción del agitador mecánico para dar lugar a la floculación. Adicionalmente la interfase formada por aceite y agua es una capa que impide la agregación de gotas provenientes del exterior durante el proceso de obtención, transporte y almacenamiento de las emulsiones.

Otros de los aspectos importantes para tener en cuenta, que contribuyen en el tiempo de estabilidad de las pruebas de emulsión estables PE-5 y PE-10 y por lo tanto altera sus propiedades, es la composición y estructura químicas de las materias primas. Por ejemplo, el emulsificante SSL tiene en su mayor proporción iones primarios de Na^+ , seguido de K^+ , y en menor proporción Ca^{2+} y pequeñas trazas de Mg^{2+} , los cuales tienen interacción con los iones H^+ del agua para formar nuevos enlaces iónicos, además el SSL muestra una cadena lineal alifática, con grupos funcionales como metilo $R - CH_3$, metileno $R - CH_2 - R'$, carbonilo $R - CO -$

$O - R'$, éter $R - O - R'$, los cuales experimentan interacciones de Van der Waals, formando redes espaciales con los grupos carboxilo, ésteres de los triglicéridos presentes en los aceites.

Teniendo en cuenta los resultados de estabilidad aportados por emulsificante polisorbato 60 en las pruebas de emulsiones PE-3, PE-8 y Esterlac SSL en PE-5, PE-10, se realizó en una segunda parte pruebas de emulsiones, en las cuales se consideró la mezcla de los dos emulsificantes, SSL y polisorbato 60. También se tuvo en cuenta los costos asociados para la adquisición de los emulsificantes.

La composición de la mezcla de emulsificantes se varió en diferentes porcentajes, como se indica en la tabla 18, con las pruebas de emulsiones que corresponden a las elaboradas con aceite de soya cruda, en donde también se evaluó el tiempo de elaboración y tiempo de estabilidad de las emulsiones.

Tabla 18. Estabilidad de las emulsiones (W/O) con emulsificante en mezcla, agitación de 500 rpm, temperatura de (40 – 55) °C

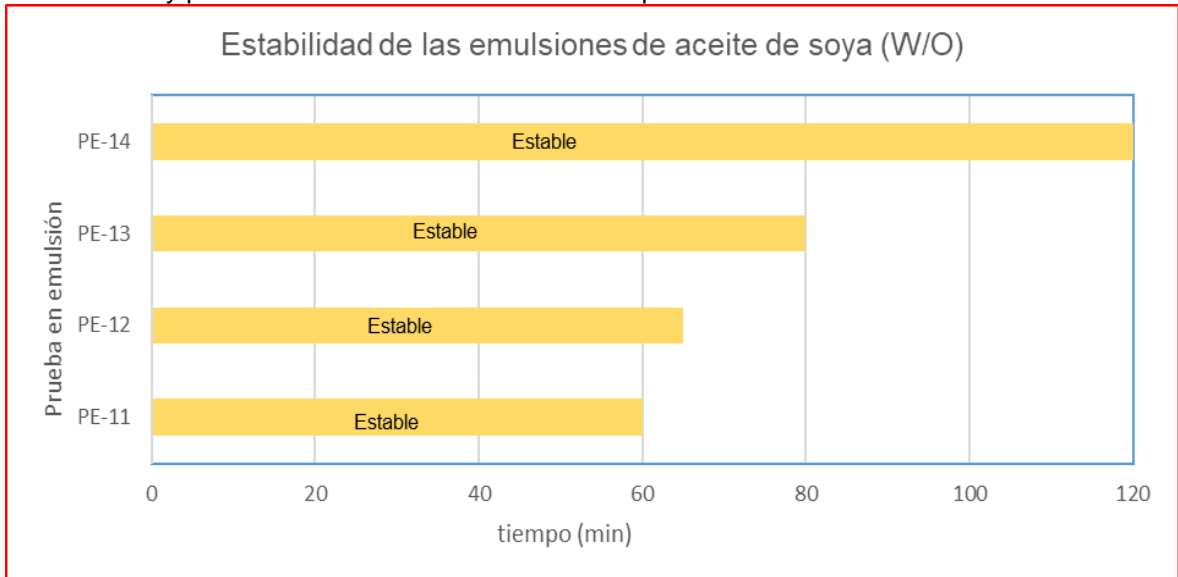
Tipo de aceite	Tiempo de elaboración (min)	*Emulsión	**Emulsificante en mezcla	Tiempo de estabilidad (min)
Soya cruda (W/O)	40 - 50	PE-11	20%SSL + 80%P60	60
		PE-12	40%SSL + 60%P60	65
		PE-13	60%SSL + 40%P60	80
		PE-14	80%SSL + 20%P60	120

Fuente: elaboración propia

*PE: prueba de emulsión, **Emulsificante en mezcla: composición másica de la mezcla, SSL: Estearoil-2-Lactilato de sodio (Esterlac SSL), P60: polisorbato 60.

Con la información de la tabla 18, se pudo obtener la gráfica 14, que se da en relación con el tiempo de estabilidad que se establece para cada prueba de emulsión. En esta grafica se observa que, durante un tiempo de 60 minutos todas las pruebas de emulsiones desde PE-11 hasta PE-14 son estables; sin embargo, la emulsión PE-14 es la que supera una barrera de 120 minutos respecto a su tiempo de estabilidad. Por lo tanto, se puede determinar que una emulsión estable durante un periodo superior a los 60 minutos se garantiza con una mezcla de emulsificantes con una composición másica de 80% de Esterlac SSL y 20% de polisorbato 60.

Gráfica 14. Evaluación de la estabilidad en las emulsiones (W/O) con emulsificante en mezcla de Esterlac SSL y polisorbato 60 en un determinado tiempo



Fuente: elaboración propia

Se establece que el tiempo de estabilidad para una emulsión a base aceite vegetal usado es superior a los 60 minutos, si se involucra una mezcla de emulsificantes como el Esterlac SSL y polisorbato 60 (Tabla 19).

Tabla 19. Estabilidad de las emulsiones (O/W) con emulsificante en mezcla, agitación de 500 rpm, temperatura de (40 – 55) °C

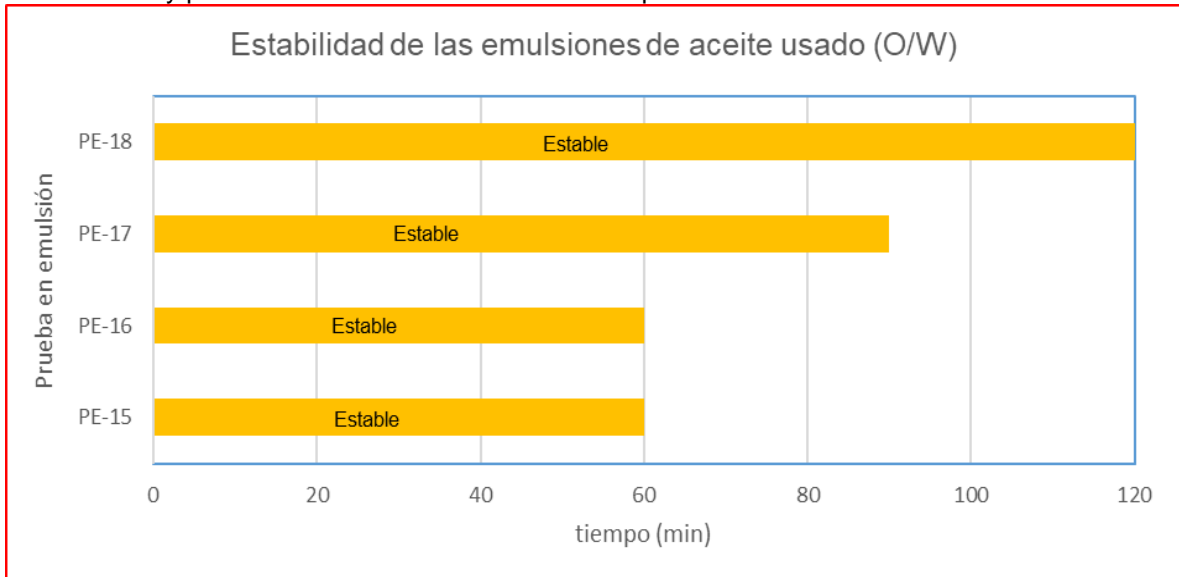
Tipo de aceite	Tiempo de elaboración (min)	*Emulsión	**Emulsificante en mezcla	Tiempo de estabilidad (min)
Aceite usado (O/W)	40 - 50	PE-15	20%SSL + 80%P60	60
		PE-16	40%SSL + 60%P60	60
		PE-17	60%SSL + 40%P60	90
		PE-18	80%SSL + 20%P60	120

Fuente: elaboración propia

*PE: prueba de emulsión, **Emulsificante en mezcla: composición másica de la mezcla, SSL: Estearoil-2-Lactilato de sodio (Esterlac SSL), P60: polisorbato 60.

La gráfica 15, se obtiene a partir de la información de la tabla 19, en donde se evidencia el tiempo de estabilidad que se tiene por cada una de las pruebas emulsionadas a través de la mezcla de emulsificantes de Esterlac SSL y polisorbato 60. Las pruebas de emulsiones PE-15 hasta PE-18, alcanzan un tiempo de estabilidad superior a los 60 minutos. Sin embargo, la prueba de emulsión PE-18, al igual que PE-14 fue en la que se determinó un tiempo de estabilidad superior a 120 minutos, teniendo en cuenta una composición másica de 80% de Esterlac SSL y 20% de polisorbato 60, la misma que se determinó para el aceite de soya cruda.

Gráfica 15. Evaluación de la estabilidad en las emulsiones (O/W) con emulsificante en mezcla de Esterlac SSL y polisorbato 60 en un determinado tiempo



Fuente: elaboración propia

Reducir la concentración de emulsificante de 2% a 1.5%, 1.0% y 0.5%, permitió determinar la concentración específica de 1.5% que se requiere para una emulsión en un batch de 500 ml (Tabla 20).

Tabla 20. Estabilidad de las emulsiones (W/O) disminuyendo la concentración de emulsificante, agitación de 500 rpm, temperatura de (40 – 55) °C

Tipo de aceite	Tiempo de elaboración (min)	*Emulsión	Concentración de emulsificante (%)	**Fórmula estándar (%)	Tiempo de estabilidad (min)
Aceite soya (W/O)	40 - 50	PE-19	1.5	100	120
		PE-20	1.0	100	80
		PE-21	0.5	100	40
		PE-22	1.5	80 SSL + 20 P60	120
		PE-23	1.0	80 SSL + 20 P60	45
		PE-24	0.5	80 SSL + 20 P60	20

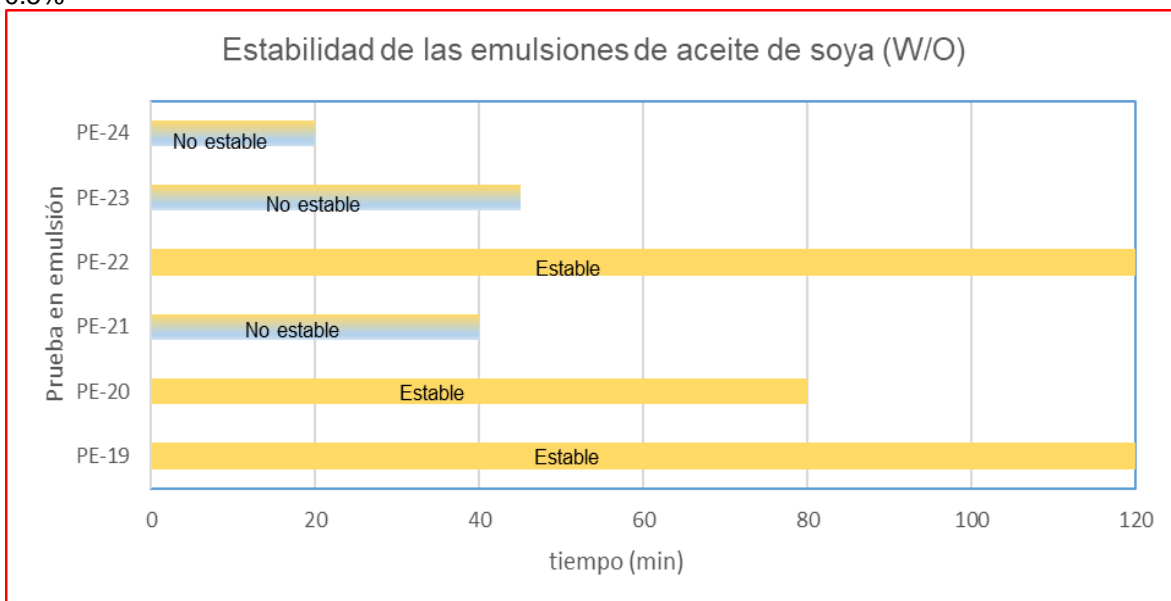
Fuente: elaboración propia

*PE: prueba de emulsión, **fórmula estándar: composición másica de la mezcla, SSL: Estearoil-2-Lactilato de sodio (Esterlac SSL), P60: polisorbato 60.

De acuerdo con la gráfica 16, que se obtiene de la tabla 20, se determinó que PE-21, PE-23 y PE-24 son las pruebas de emulsiones que no son estables porque tienen un tiempo de estabilidad menor a 60 minutos, franja de tiempo en que se modifican las propiedades de la emulsión en relación con que el proceso de adsorción líquido-líquido se ve afectado por la concentración de emulsificante adsorbido, ya que no alcanza una concentración máxima en la interfase formada por aceite-agua y por lo tanto la emulsión no se logra saturar. Sin embargo, las pruebas de emulsiones PE-19, PE-20 y PE-22, son estables incluso después de los

60 minutos, esto se explica con que al incrementar la concentración del emulsificante se garantiza una menor presión en la interfase, la cual se mantendrá constante para favorecer la formación de micelas y de esta manera determinar un tiempo de estabilidad prolongado, superior a 120 minutos.

Gráfica 16. Evaluación de la estabilidad en las emulsiones (W/O) con emulsificante puro y en mezcla entre Esterlac SSL y polisorbato 60 en un determinado tiempo para concentraciones de 1.5%, 1.0%, 0.5%



Fuente: elaboración propia

De la misma manera que se realizó con el aceite vegetal de soya cruda, también con aceite vegetal usado se disminuyó la concentración de emulsificante de 2% a 1.5%, 1.0% y 0.5%. Esto permitió, determinar la concentración específica de 1.5% que se requiere para una emulsión en un batch de 500 ml (Tabla 21).

Tabla 21. Estabilidad de las emulsiones (O/W) disminuyendo la concentración de emulsificante, agitación de 500 rpm, temperatura de (40 – 55) °C

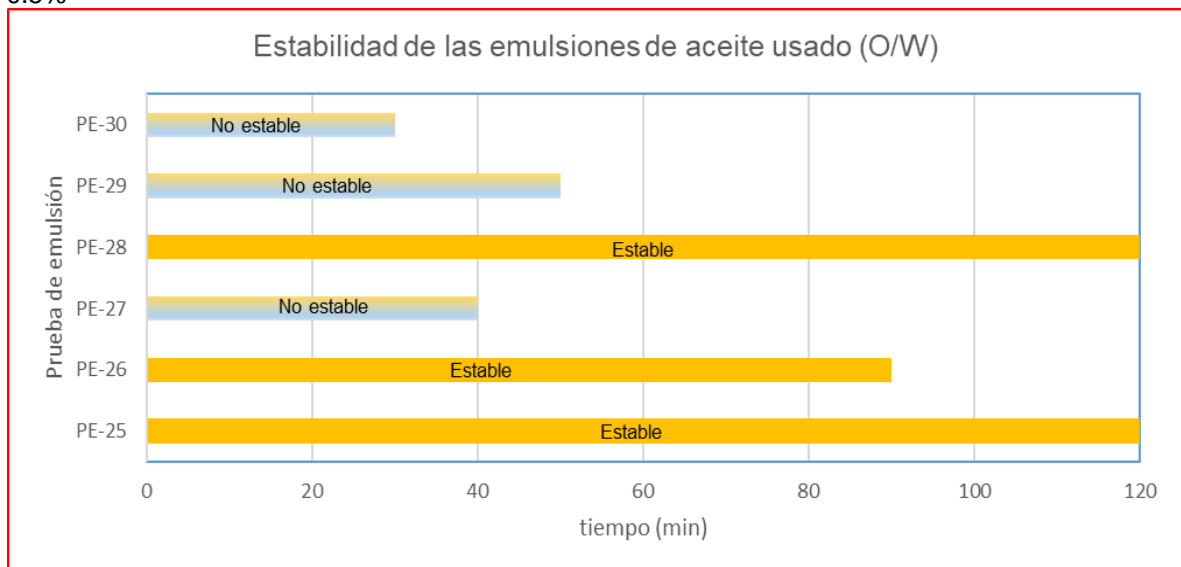
Tipo de aceite	Tiempo de elaboración (min)	*Emulsión	Concentración de emulsificante (%)	**Fórmula estándar (%)	Tiempo de estabilidad (min)
Aceite usado (O/W)	40 - 50	PE-25	1.5	100	120
		PE-26	1.0	100	90
		PE-27	0.5	100	40
		PE-28	1.5	80 SSL + 20 P60	120
		PE-29	1.0	80 SSL + 20 P60	50
		PE-30	0.5	80 SSL + 20 P60	30

Fuente: elaboración propia

*PE: prueba de emulsión, **fórmula estándar: composición másica de la mezcla, SSL: Estearoil-2-Lactilato de sodio (Esterlac SSL), P60: polisorbato 60.

De acuerdo con la gráfica 17, que se obtiene de la tabla 21, se determinó que PE-27, PE-29 y PE-30 son las pruebas de emulsiones que no son estables debido a responden a un tiempo de estabilidad menor a 60 minutos, franja de tiempo en que se modifican las propiedades de la emulsión como también ocurrió con el aceite de soya cruda. Mientras las pruebas de emulsiones de PE-25, PE-26 y PE-28, son aquellas que permanecen estables, después de los 60 minutos. Por lo que se pudo determinar que al momento de aumentar la concentración del emulsificante se establece una menor presión en la interfase, es decir, la presión se mantendrá constante para favorecer la formación de micelas y de esta manera determinar un tiempo de estabilidad prolongado, superior a 120 minutos.

Gráfica 17. Evaluación de la estabilidad en las emulsiones (O/W) con emulsificante puro y en mezcla entre Esterlac SSL y polisorbato 60 en un determinado tiempo para concentraciones de 1.5%, 1.0%, 0.5%



Fuente: elaboración propia

4.6 SELECCIÓN DE LAS EMULSIONES DE ACUERDO CON SU DESEMPEÑO EN LA EXPERIMENTACIÓN

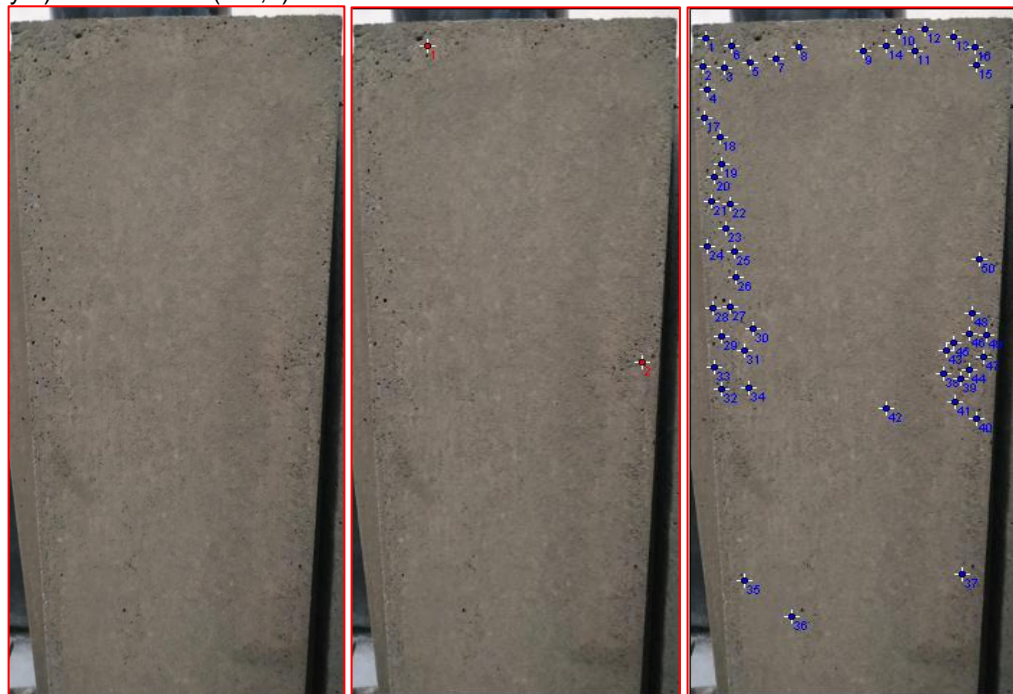
Se realizó una validación de desempeño de cada una de las emulsiones que corresponden a los aceites vegetales emulsionados de soya cruda y aceite usado. Esta experimentación consistió en aplicar en las formaletas metálicas las emulsiones y evaluar a través de un análisis comparativo los resultados derivados de cada una de las emulsiones frente a un agente desmoldante convencional a base de ACPM, en función de la facilidad para la remoción de las formaletas, la fracción de pega y los acabados de las piezas en relación con el fenómeno de manchas y burbujas en las superficies que tienen contacto con las formaletas. Adicionalmente, se buscó la reducción de sustancias tóxicas por la volatilidad de estos productos, tanto para los colaboradores de estas actividades a fin con la construcción como para la contaminación ambiental.

4.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para realizar una evaluación cuantitativa de la distribución de burbujas en las piezas de concreto de área de contacto con los aceites vegetales emulsionados y ACPM, se estableció una sección de 50 cm de longitud para cuantificar la distribución de burbujas en relación con su diámetro, ya que las piezas correspondían a un área total de 1.200 cm^2 por la cara adyacente que tuvo contacto con las formaletas unificadas.

En la figura 126 a) se tiene la pieza 1, área de contacto con la emulsión de soya cruda por la cara adyacente, la cual se analizó en el programa de ImageJ para determinar la distribución de burbujas en la superficie de la pieza. De acuerdo con el análisis, se determinó que la pieza 1 tiene 2 burbujas correspondientes a un diámetro D2 entre (1,1 - 2,0) mm, como se puede observar en la figura 126 b). Adicionalmente, se determinó que la pieza 1 tiene 50 burbujas correspondientes a un diámetro D1 entre (0 - 1,0) mm, como se puede observar en la figura 126 c).

Figura 126. Acabados de la pieza 1, área de contacto con la emulsión de soya cruda, a) sección de la pieza 1, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm



a) Fuente: elaboración propia

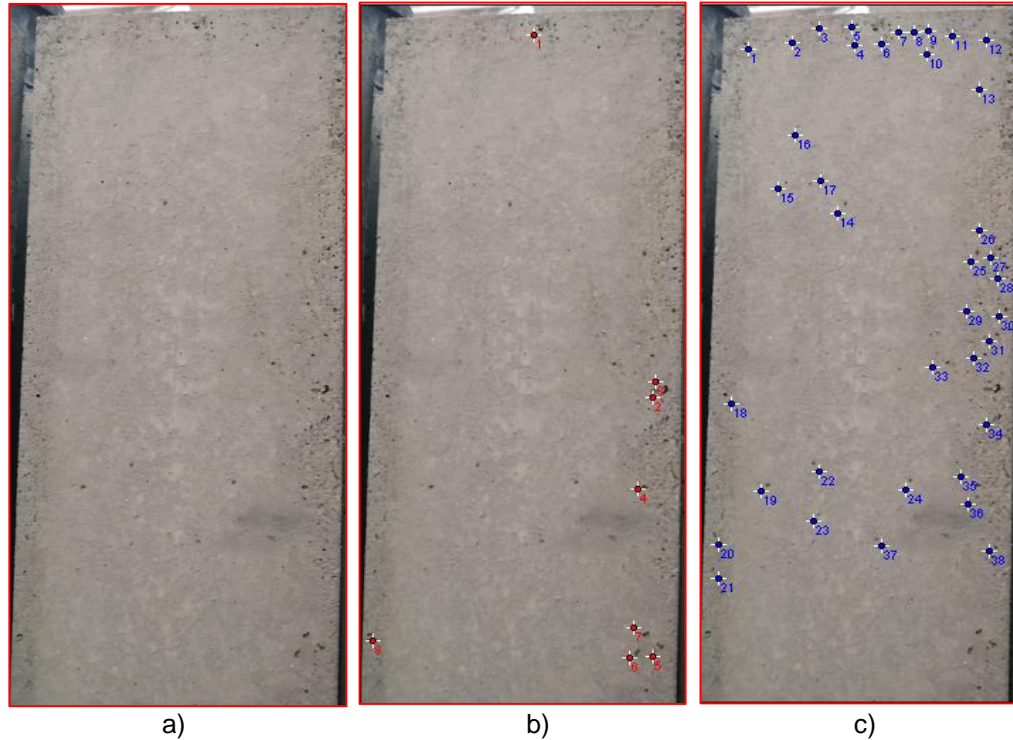
b)

c)

La segunda pieza de área de contacto con soya cruda por la cara adyacente se presenta en la figura 127 a). Teniendo en cuenta, el análisis del programa ImageJ, se determinó que la pieza 2, tiene 8 burbujas de diámetro D2 (1,1 – 2,0) mm, es

decir, aumento un 75% en comparación a la pieza 1, como se indica en la figura 127b). Por otro lado, también se pudo determinar que la pieza 2, presenta 38 burbujas en la superficie de diámetro D1 (0 – 1,0) mm. Por lo tanto, disminuyó la distribución de burbujas de diámetro D1 en un 24% en comparación a la pieza 1, de acuerdo con lo mostrado en la figura 127 c).

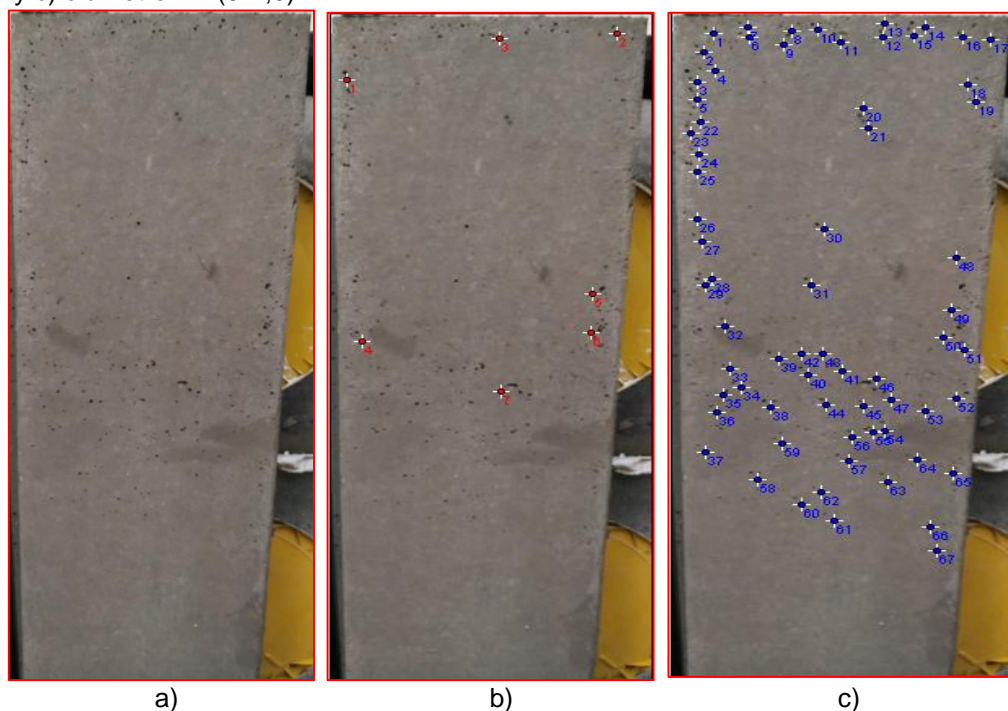
Figura 127. Acabados de la pieza 2, área de contacto con la emulsión de soya cruda, a) sección de la pieza 2, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

La pieza 3 de área de contacto con la emulsión de soya cruda, se puede observar que en la figura 128 a) presenta la distribución de burbujas que se analizó en el programa de ImageJ. Donde, la distribución de burbujas está dada por 7 burbujas de diámetro D2 (1,1 - 2,0) mm. Por lo tanto, no presenta un cambio significativo en comparación con la pieza 2, pero se evidencia un aumento del 71,43% con respecto a la pieza 1 como se puede observar en la figura 128 b). Mientras en la figura 128 c), correspondiente a la descripción de la distribución de burbujas en la pieza, se tiene la presencia de 67 burbujas de diámetro D1 (0 -1,0) mm. Por lo tanto, existe un aumento del 25,37% de las burbujas de diámetro D1 con respecto a la pieza 1 y un aumento del 43,28% con respecto a la pieza 2.

Figura 128. Acabados de la pieza 3, área de contacto con la emulsión de soya cruda, a) sección de la pieza 3, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm

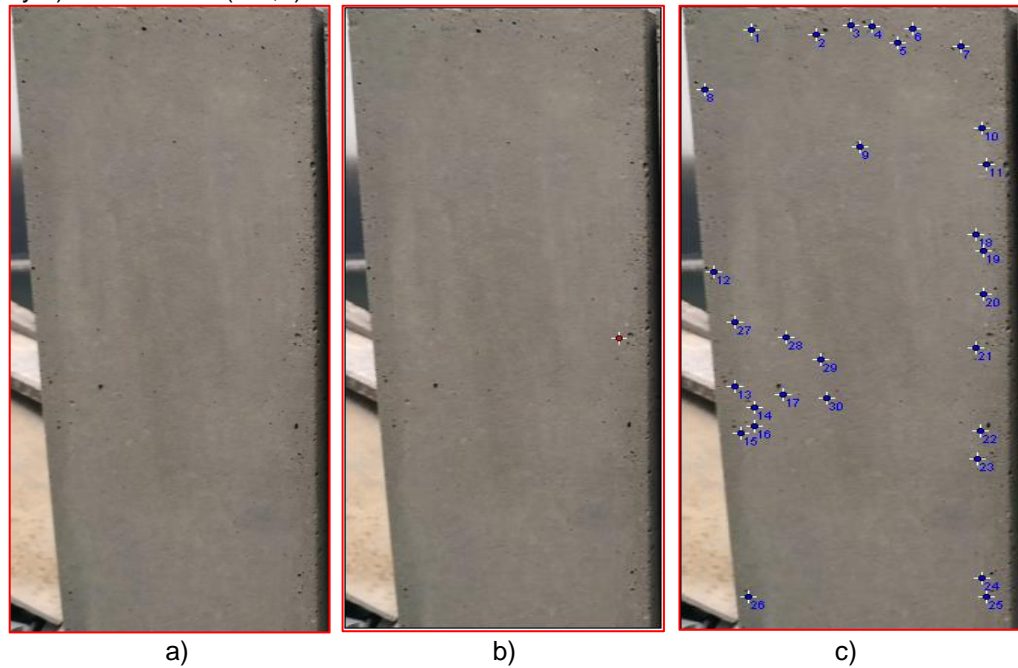


Fuente: elaboración propia

En la figura 129 a), se puede observar la distribución de burbujas que de acuerdo con el análisis en el programa de ImageJ, se determinó que la pieza 1 de área de contacto con la emulsión de aceite usado tiene 1 burbuja correspondiente a un diámetro D2 entre (1,1 - 2,0) mm, como se puede observar en la figura 129 b). Adicionalmente, se determinó que la pieza 1 tiene 30 burbujas correspondientes a un diámetro D1 entre (0 - 1,0) mm, como se puede observar en la figura 129 c).

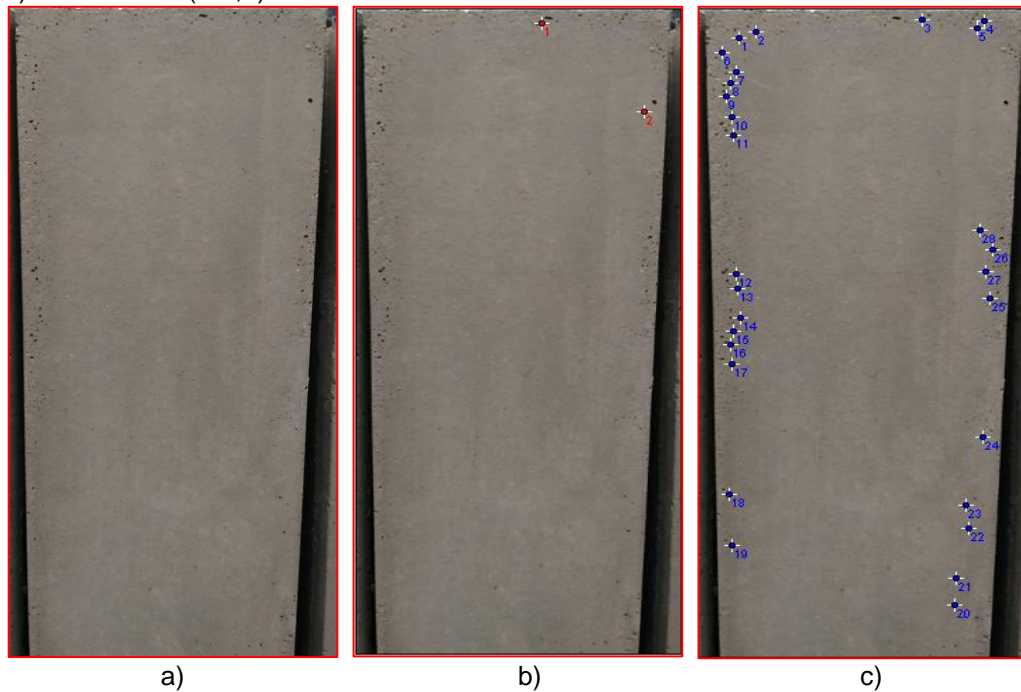
La segunda pieza de área de contacto con la emulsión de aceite usado por la cara adyacente se presenta en la figura 130 a). Teniendo en cuenta, el análisis del programa ImageJ, se determinó que la pieza 2, tiene 2 burbujas de diámetro D2 (1,1 – 2,0) mm, es decir, aumento un 50% la distribución de burbujas en comparación a la pieza 1, como se indica en la figura 130 b). Por otro lado, también se pudo determinar que la pieza 2, presenta 28 burbujas en la superficie de diámetro D1 (0 – 1,0) mm. Por lo tanto, disminuyó la distribución de burbujas de diámetro D1 en un 6,67% en comparación a la pieza 1, de acuerdo con lo mostrado en la figura 130 c).

Figura 129. Acabados de la pieza 1, área de contacto con la emulsión de aceite usado, a) sección de la pieza 1, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

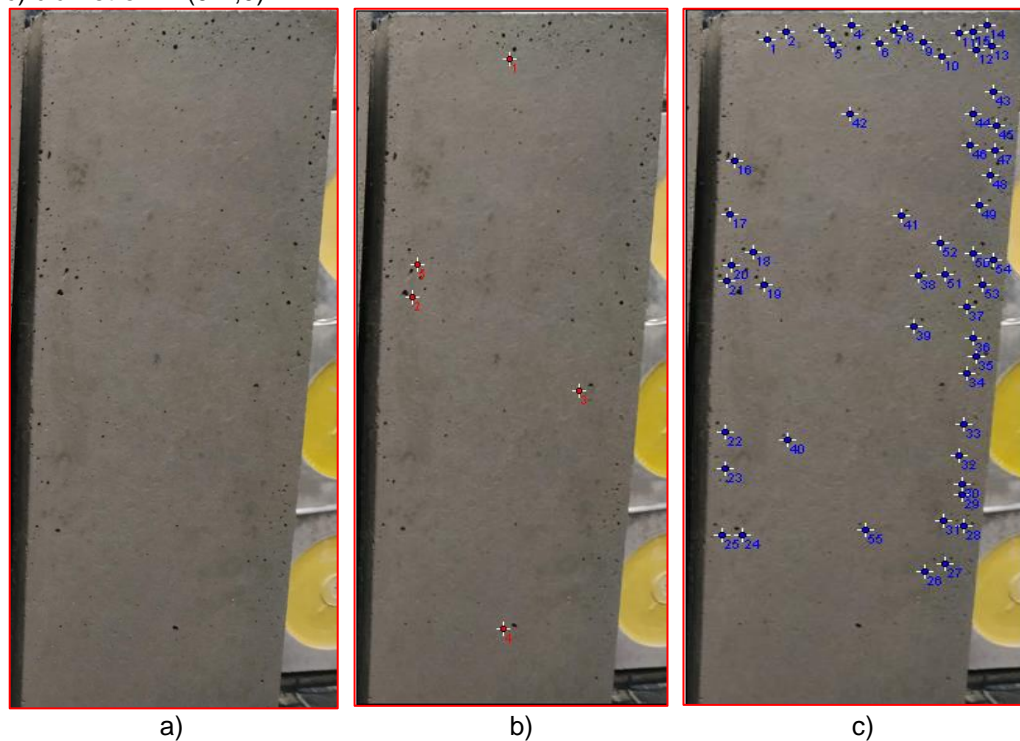
Figura 130. Acabados de la pieza 2, área de contacto con la emulsión de aceite usado, a) sección de la pieza 2, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

La pieza 3 de área de contacto con la emulsión de aceite usado, se puede observar que en la figura 131 a) presenta la distribución de burbujas que se analizó en el programa de ImageJ. Donde, la distribución de burbujas está dada por 5 burbujas de diámetro D2 (1,1 - 2,0) mm. Por lo tanto, presenta un aumento del 80% con respecto a la pieza 1 como se puede observar en la figura 131 b). Mientras en la figura 131 c), correspondiente a la descripción de la distribución de burbujas en la pieza, se tiene la presencia de 55 burbujas de diámetro D1 (0 -1,0) mm. Por consiguiente, existe un aumento del 45,45% de las burbujas de diámetro D1 con respecto a la pieza 1 y un aumento del 49,09% con respecto a la pieza 2.

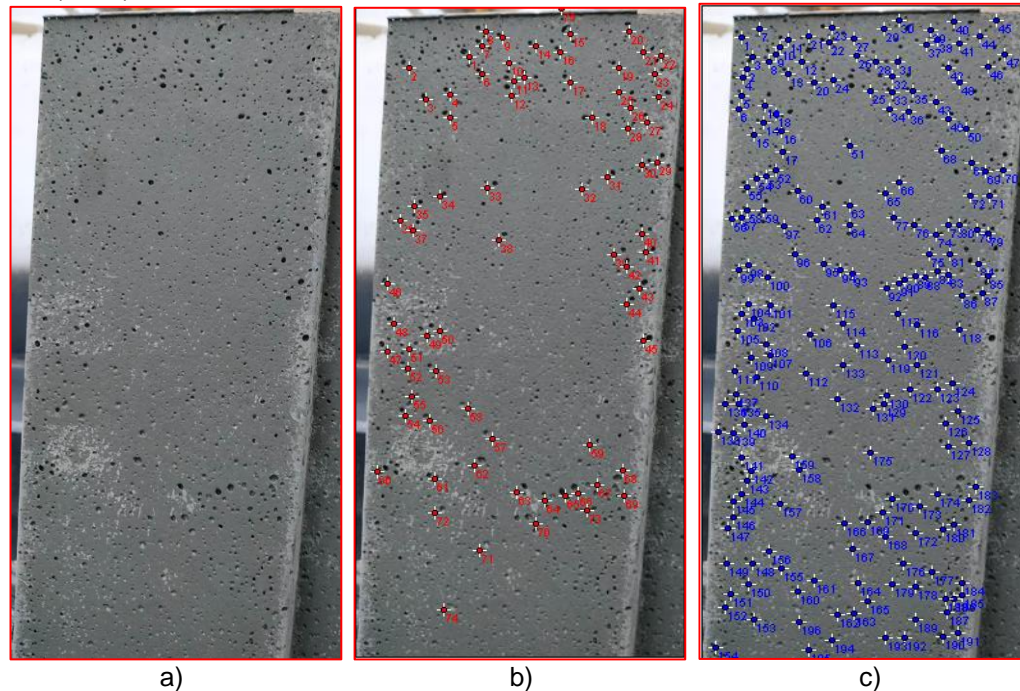
Figura 131. Acabados de la pieza 3, área de contacto con la emulsión de aceite usado, a) sección de la pieza 3, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

En la figura 132 a), se puede evidenciar la distribución de burbujas de la pieza 1 de área de contacto con ACPM. De acuerdo con el análisis en el programa de ImageJ tiene 74 burbujas correspondientes a un diámetro D2 entre (1,1 - 2,0) mm, como se puede observar en la figura 132 b). Adicionalmente, se determinó que la pieza 1 tiene 196 burbujas correspondientes a un diámetro D1 entre (0 - 1,0) mm, como se puede observar en la figura 132 c).

Figura 132. Acabados de la pieza 1, área de contacto con ACPM, a) sección de la pieza 1, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm

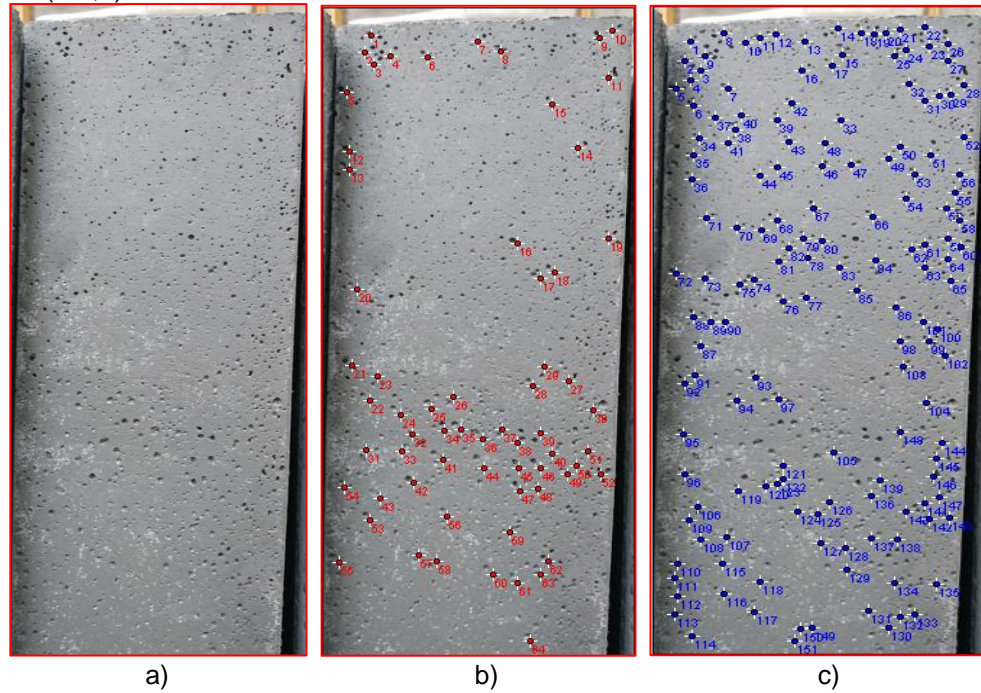


Fuente: elaboración propia

La segunda pieza de área de contacto con ACPM por la cara adyacente se presenta en la figura 133 a). Teniendo en cuenta, el análisis del programa ImageJ, se determinó que la pieza 2, tiene 64 burbujas de diámetro D2 (1,1 – 2,0) mm, es decir, disminuyó un 13,51% la distribución de burbujas en comparación a la pieza 1, como se indica en la figura 133 b). Por otro lado, también se pudo determinar que la pieza 2, presenta 151 burbujas en la superficie de diámetro D1 (0 – 1,0) mm. Por lo tanto, disminuyó la distribución de burbujas de diámetro D1 en un 22,95% en comparación a la pieza 1, de acuerdo con lo mostrado en la figura 133 c).

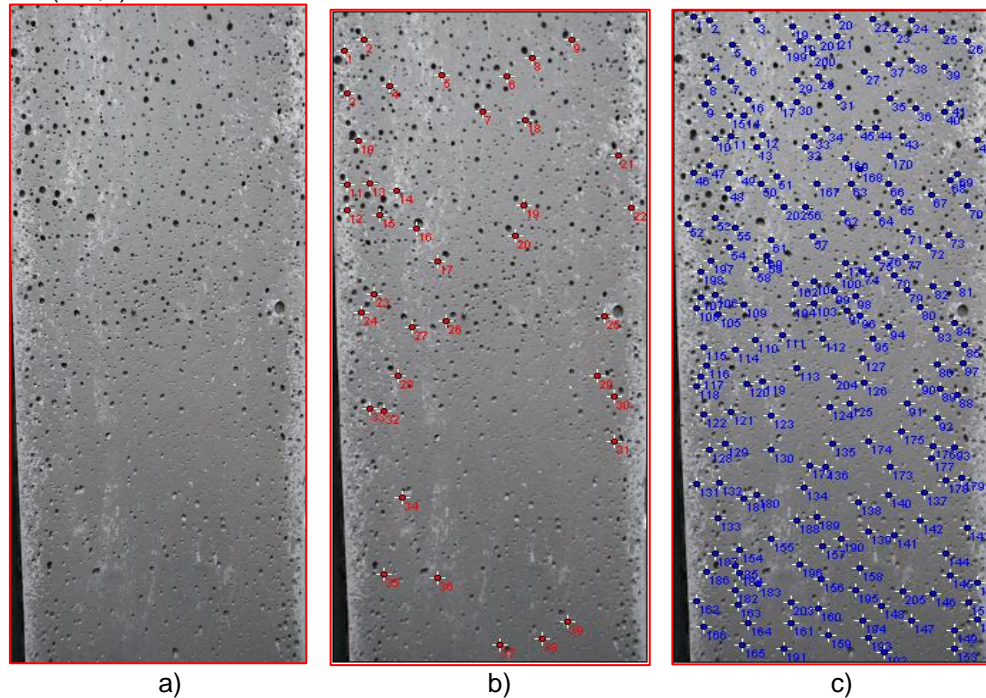
Por último, la pieza 3 de área de contacto con ACPM, se puede observar que en la figura 134 a) presenta la distribución de burbujas que se analizó en el programa de ImageJ. Donde, la distribución de burbujas está dada por 39 burbujas de diámetro D2 (1,1 - 2,0) mm. Por consiguiente, presentó una disminución del 47,30% con respecto a la pieza 1 como se puede observar en la figura 134 b). Mientras en la figura 134 c), correspondiente a la descripción de la distribución de burbujas en la pieza, se tiene la presencia de 205 burbujas de diámetro D1 (0 -1,0) mm. Por lo tanto, existe un aumento del 4,39% de las burbujas de diámetro D1 con respecto a la pieza 1 y un aumento del 26,34% con respecto a la pieza 2.

Figura 133. Acabados de la pieza 2, área de contacto con ACPM, a) sección de la pieza 2, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

Figura 134. Acabados de la pieza 3, área de contacto con ACPM, a) sección de la pieza 3, distribución de burbujas con b) diámetro D2 (1,1-2,0) mm y c) diámetro D1 (0-1,0) mm



Fuente: elaboración propia

5. DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN Y ANÁLISIS DE PRECIOS EN EL MERCADO

Los costos de producción de un agente desmoldante obtenido como una emulsión a base de aceites vegetales a nivel de laboratorio se definen en función de la compra asociada a los insumos o materias primas que se requieren para la obtención de este producto; dentro de las cuales se encuentra, el respectivo aceite vegetal, agua y emulsificante (Tabla 22).

Tabla 22. Precios de las materias primas en referencia a una cantidad estándar de 1 kg

Materia prima	Cantidad estándar *(kg)	***Precio (\$)
Soya cruda		\$ 3.050
Aceite usado		\$ 1.000
Agua		\$ 7
Polisorbato 20	**1	\$ 22.000
Polietilenglicol (PET 400)		\$ 19.000
Polisorbato 60		\$ 10.400
Arcilla de bentonita		\$ 4.500
Estearoil -2- Lactilato de sodio (Esterlac SSL)		\$ 7.400

Fuente: elaboración propia

*kg: gramos, **1: cantidad estándar de cada una de las materias primas, ***(\\$): precio en moneda colombiana por cada kilogramo de materia prima.

Teniendo en cuenta lo anterior, los aceites vegetales de soya cruda y aceite usado al igual que los emulsificantes de polisorbato 60 y estearoil 2-Lactilato de sodio (esterlac SSL), fueron materias primas suministradas por Sigrá S.A. También el agua utilizada es proveía del recurso hídrico de la empresa. Mientras los emulsificantes de polisorbato 20, polietilenglicol (PET 400) y arcilla de bentonita, se obtuvieron a través de la compra a empresas externas.

Polisorbato 20 y polietilenglicol (PEG 400), fueron suministrados por la compañía de distribución de productos químicos Chemi Andes LTDA, en la ciudad de Bogotá D.C, Colombia. Por otro lado, la arcilla de bentonita en polvo fue entregada por la compañía comercial colombiana Fox S.A.S. Adicionalmente se utilizaron recipientes para el respectivo envase de las emulsiones obtenidas, los cuales fueron suministrados por la compañía de distribución de Maxienvases, en la ciudad de Bogotá D.C, Colombia.

5.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN PARTIENDO DE ACEITE VEGETAL SOYA CRUDA

Los costos de producción de un agente desmoldante a través de una emulsión partiendo de aceite vegetal soya cruda, se determinaron teniendo en cuenta la presentación estándar en el mercado de 20kg. Por lo tanto, los requerimientos de materias primas son 11,6 kg de aceite de soya cruda, 8 kg de agua y 0,4 kg de emulsificante, cantidades que están expresadas en relación con la fórmula estándar de 58% aceite, 40% agua y 2% emulsificante como se indica en la tabla 23, donde también se describen los costos asociados a dichas cantidades. Adicionalmente, los costos de material de empaque para esta producción son un elemento importante que se incluyó en este análisis de costos, los cuales hacen referencia al costo del bidón con una capacidad de 20 kg.

Teniendo en cuenta lo anterior, se compilan estos costos por rubros, en donde se puede evidenciar que el costo directo de la producción con el emulsificante Esterlac SSL puro es de \$48.980 y con emulsificantes Esterlac SSL en mezcla con Polisorbato 60 es de \$49.220. Por lo tanto, los costos directos de producción en relación con el emulsificante puro o en mezcla son similares, ya que la producción con emulsificantes en mezcla es 0,49% más costosa con respecto a la producción con emulsificante Esterlac SSL puro.

Tabla 23. Costos para producir 20 kg de agente desmoldante a partir de aceite vegetal de soya cruda y precio total para el mercado

Concepto	Producto con Emulsificante puro		Producto con Emulsificante en mezcla	
	Cantidades (kg)*	Costo	Cantidades (kg)	Costo
Aceite vegetal de soya cruda	11,6	\$ 35.380	11,6	\$ 35.380
Emulsificante puro	0,4	\$ 2.960	-	-
Emulsificante en mezcla	-	-	0,4	\$ 3.200
Agua	8	\$ 56	8	\$ 56
Bidón (20 kg)	-	\$ 10.584	-	\$ 10.584
Costos directos (C.D)	20	\$ 48.980	20	\$ 49.220
Mano de obra	20	\$ 9.000	20	\$ 9.000
Costos indirectos (C.I)	20	\$ 9.000	20	\$ 9.000
Otros costos (Flete)	20	\$ 1.500	20	\$ 1.500
COSTO TOTAL		\$ 59.480		\$ 59.720
UTILIDAD (30%)		\$ 25.491		\$ 25.594
PRECIO TOTAL		\$ 84.971		\$ 85.314
PRECIO TOTAL (19% IVA)		\$ 104.903		\$ 105.326

Fuente: elaboración propia

*kg: kilogramos

El costo total de cada producción de una presentación de 20kg, se determinó al incluir costos directos, indirectos y otros costos. De tal manera, que la producción de un agente desmoldante partiendo de aceite vegetal de soya cruda con emulsificante puro tiene un costo total de \$59.480 y su utilidad se estableció en el

30%, para tener un precio total y competitivo en el mercado de \$84.971. Mientras la producción del agente desmoldante partiendo de aceite vegetal de soya cruda con emulsificantes en mezcla tiene un costo total de \$59.720 y su utilidad del 30%, permite tener un precio total y competitivo en el mercado de \$85.314. Por lo tanto, los costos totales de producción aumentan en un 0,40% por parte de la producción con soya cruda y emulsificantes Esterlac SSL en mezcla con Polisorbato 60 con respecto a la producción con emulsificante Esterlac SSL puro.

En la tabla 24, se presenta la distribución de costos de acuerdo con la producción de un agente desmoldante a través de una emulsión a base de aceite vegetal de soya cruda y utilizando emulsificante de Esterlac SSL, donde se estableció que la mayor concentración de costos se relaciona con la materia prima principal que es el aceite de soya cruda con el 59,48%. Por el contrario, el agua que es otra de las materias primas responde a 0,09%, siendo la que presenta menor concentración de costos entre los materiales evaluados para la producción del agente desmoldante. Mientras el bidón se ubica como el segundo material que representa el 17,79% de los costos, la mano de obra y otros costos corresponde a 15,13%, emulsificante puro con 4,98% y el flete representa el 2,52%.

Tabla 24. Distribución de costos del agente desmoldante partiendo de soya cruda y Esterlac SSL

Concepto	Distribución de costos (%)
Soya cruda	59,48
Bidon de 20 kg	17,79
Mano de obra y otros	15,13
Emulsificante (puro)	4,98
Flete	2,52
Agua	0,09

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, se presenta la distribución de costos de acuerdo con la producción de un agente desmoldante a través de una emulsión a base de aceite vegetal de soya cruda y utilizando emulsificantes de Esterlac SSL en mezcla con Polisorbato 60, como es descrito en la tabla 25. El comportamiento de esta distribución es similar al de aceite vegetal de soya cruda con el uso de emulsificante de Esterlac SSL puro. Por consiguiente, el aceite vegetal de soya cruda representa el mayor costo de la producción con el 59,24%, seguido del bidón con 17,72%, mano de obra y otros costos 15,07%. Mientras la menor concentración de los costos se encuentra, el emulsificante en mezcla con el 5,36%, flete con el 2,51% y el agua con el 0,09%.

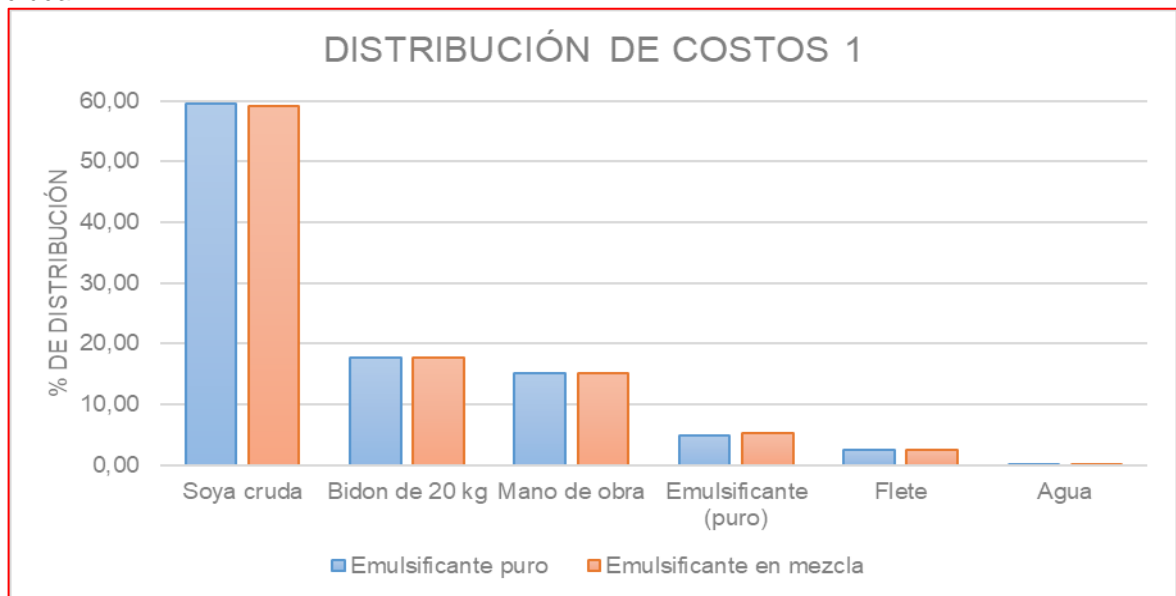
Tabla 25. Distribución de costos del agente desmoldante partiendo de soya cruda y Esterlac SSL en mezcla con polisorbato 60

Concepto	Distribución de costos (%)
Soya cruda	59,24
Bidón de 20 kg	17,72
Mano de obra y otros	15,07
Emulsificante en mezcla	5,36
Flete	2,51
Agua	0,09

Fuente: elaboración propia

Como se muestra en la gráfica 18, construida a partir de las tablas 24 y 25, permite indicar que disminuye levemente el porcentaje de distribución en los costos del aceite vegetal de soya cruda en un 0,24% por parte de la producción con soya cruda y emulsificantes en mezcla con respecto a la producción de emulsificante puro, el bidón también disminuye su porcentaje de distribución en los costos en un 0,07% respecto a la producción con soya cruda y emulsificante Esterlac SSL puro, así como la reducción del 0,06% en la mano de obra y otros costos, por concepto de flete se obtiene una reducción del 0,01% del flete. Por el contrario, para compensar el porcentaje en la distribución de los costos, el emulsificante en mezcla aumenta en un 0,38%, respecto a la producción con soya y emulsificante Esterlac SSL puro. Mientras el agua mantiene constante su representación porcentual en la distribución de costos para ambos casos.

Gráfica 18. Distribución de costos para la producción del agente desmoldante partiendo de soya cruda



Fuente: elaboración propia

5.2 COSTOS DE PRODUCCIÓN PARTIENDO DE ACEITE VEGETAL USADO

Por otro lado, los costos de producción de un agente desmoldante a través de una emulsión partiendo de aceite vegetal usado, se determinaron teniendo en cuenta la presentación estándar en el mercado de 20kg. Por lo tanto, los requerimientos de materias primas son también 11,6 kg de aceite usado, 8 kg de agua y 0,4 kg de emulsificante, cantidades que están expresadas en relación con la fórmula estándar de 58% aceite, 40% agua y 2% emulsificante como se indica en la tabla 26, donde también se describen los costos asociados a dichas cantidades. Adicionalmente, los costos de material de empaque para esta producción son un elemento importante que se incluyó en este análisis de costos, los cuales hacen referencia al costo del bidón con una capacidad de 20 kg.

De acuerdo con lo anterior, se compilan estos costos directos de producción, en donde se puede evidenciar que el costo de la producción con el emulsificante Esterlac SSL puro es de \$25.200 y con emulsificantes Esterlac SSL en mezcla con Polisorbato 60 es de \$25.440. Por lo tanto, los costos directos de producción en relación con el emulsificante puro o en mezcla también son similares entre ellos como ocurrió en la producción con aceite de soya cruda. Sin embargo, la producción con emulsificantes en mezcla para el caso de aceite usado es 0,94% más costosa con respecto a la producción con emulsificante Esterlac SSL puro.

Tabla 26. Costos para producir 20 kg de agente desmoldante a partir de aceite vegetal usado

Concepto	Producto con Emulsificante puro		Producto con Emulsificante en mezcla	
	Cantidades (kg)*	Costo	Cantidades (kg)	Costo
Aceite vegetal usado	11,6	\$ 11.600	11,6	\$ 11.600
Emulsificante puro	0,4	\$ 2.960	-	-
Emulsificante en mezcla	-	-	0,4	\$ 3.200
Agua	8	\$ 56	8	\$ 56
Bidón (20 kg)	-	\$ 10.584	-	\$ 10.584
Costos directos (C.D)	20	\$ 25.200	20	\$ 25.440
Mano de obra	20	\$ 9.000	20	\$ 9.000
Costos indirectos (C.I)	20	\$ 9.000	20	\$ 9.000
Otros costos (Flete)	20	\$ 1.500	20	\$ 1.500
COSTO TOTAL		\$ 35.700		\$ 35.940
UTILIDAD (30%)		\$ 15.300		\$ 15.403
PRECIO TOTAL		\$ 51.000		\$ 51.343
PRECIO TOTAL (19% IVA)		\$ 62.963		\$ 63.386

Fuente: elaboración propia

*kg: kilogramos

De la misma manera que se determinó los costos totales para la producción con soya cruda, se realizó también con aceite usado, así el costo total de cada producción se estableció al incluir costos directos, indirectos y otros costos. De tal manera, que la producción de un agente desmoldante partiendo de aceite vegetal usado con emulsificante puro tiene un costo total de \$35.700 y su utilidad se

estableció en el 30%, para tener un precio total y competitivo en el mercado de \$51.000. Mientras la producción del agente desmoldante partiendo de aceite vegetal usado con emulsificantes en mezcla tiene un costo total de \$35.940 y su utilidad del 30%, permite tener un precio total y competitivo en el mercado de \$51.343. Por lo tanto, los costos totales de producción aumentan en un 0,67% por parte de la producción con aceite usado y emulsificantes Esterlac SSL en mezcla con Polisorbato 60 con respecto a la producción con emulsificante Esterlac SSL puro.

Adicionalmente se determinó la distribución de costos de acuerdo con la producción de un agente desmoldante a través de una emulsión a base de aceite vegetal usado, utilizando emulsificante Esterlac SSL puro, como se muestra en la gráfica 19, construida a partir de las tablas 27 y 28. De acuerdo con la distribución se puede evidenciar que la mayor concentración de costos en esta producción también está dada por la materia prima principal, en este caso el aceite vegetal usado, el cual representa el 32,49% de los costos totales, inmediatamente lo precede los costos del bidón con el 29,65%, la mano de obra y otros costos con 25,21%. En una menor representación de costos se encuentra el emulsificante puro con 8,29%, flete con 4,20% y por último el agua que representa el 0,16% de los costos totales.

Tabla 27. Distribución de costos del agente desmoldante partiendo de aceite usado y Esterlac SSL puro

Concepto	Distribución de costos (%)
Aceite usado	32,49
Bidon de 20 kg	29,65
Mano de obra y otros	25,21
Emulsificante (puro)	8,29
Flete	4,20
Agua	0,16

Fuente: elaboración propia

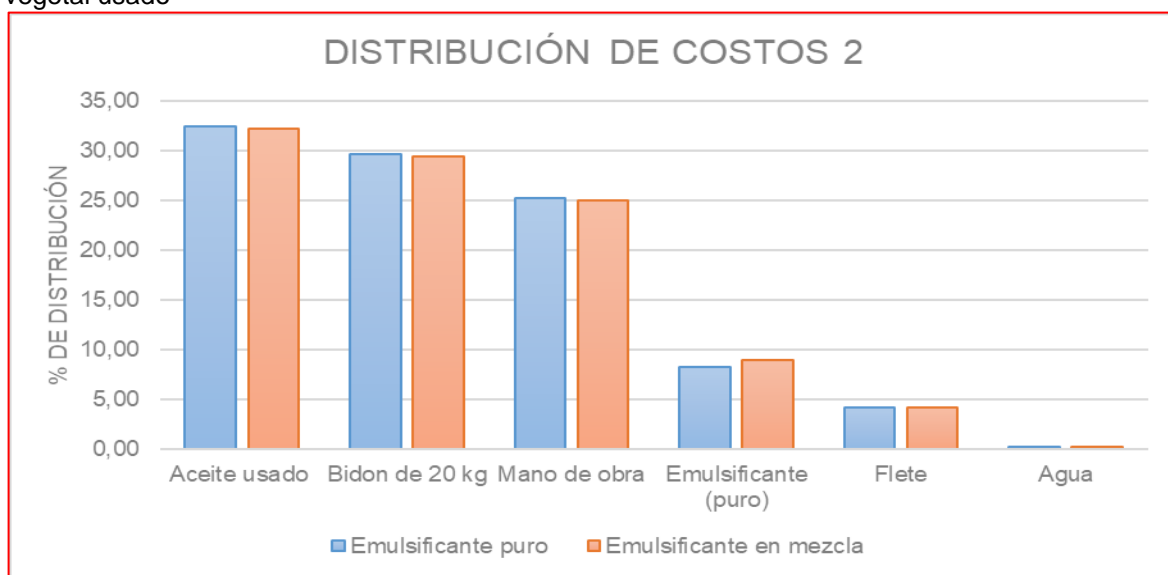
El comportamiento de la distribución de costos en la producción de un agente desmoldante partiendo de aceite vegetal usado con emulsificante en mezcla es similar a la producción partiendo de aceite vegetal usado con emulsificante puro, ya que los porcentajes difieren levemente de la siguiente manera, se reduce el porcentaje de distribución en la materia prima principal, que para este caso es el aceite usado, obteniendo un 0,21% de reducción por parte de la producción con aceite usado y emulsificante en mezcla, con respecto a la producción con emulsificante puro, precedido del bidón con una reducción del 0,2%, la mano de obra y otros costos disminuye 0,17%, el flete disminuye 0,03% respecto de los costos totales. Por el contrario, la concentración de costos del emulsificante en mezcla aumentara 0,61% en comparación a la producción con aceite usado y emulsificante puro como se puede observar en la gráfica 19, que se construyó a partir de la tabla 28.

Tabla 28. Distribución de costos del agente desmoldante partiendo de aceite usado y Esterlac SSL en mezcla con Polisorbato 60

Concepto	Distribución de costos (%)
Aceite usado	32,28
Bidon de 20 kg	29,45
Mano de obra y otros	25,04
Emulsificante (en mezcla)	8,90
Flete	4,17
Agua	0,16

Fuente: elaboración propia

Gráfica 19. Distribución de costos para la producción del agente desmoldante partiendo de aceite vegetal usado



Fuente: elaboración propia

5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DE COSTOS DIRECTOS Y COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN CON ACEITE DE SOYA CRUDA Y ACEITE USADO

Adicionalmente, se determinó que la producción de un agente desmoldante partiendo de aceite vegetal usado y utilizando emulsificante puro, se reducen los costos directos de producción en un 48,55% con respecto a aceite vegetal de soya cruda y emulsificante puro. Mientras la reducción es de 48,80% con respecto a soya cruda y emulsificantes en mezcla.

Por otro lado, la producción utilizando emulsificantes en mezcla, se reduce los costos directos en un 48,06% con aceite vegetal usado, en comparación con soya

cruda y emulsificante puro. Mientras se presenta otra reducción de costos directos del 48,31%, con respecto de la soya cruda y emulsificantes en mezcla.

De acuerdo con lo anterior, se determinó que la producción de un agente desmoldante a través de una emulsión a base de aceite vegetal usado reduce los costos totales de producción en un 39,98% con respecto al aceite vegetal de soya cruda, aun utilizando el mismo emulsificante Esterlac SSL puro. También se pudo establecer la reducción de costos totales en un 40,22% por parte del aceite vegetal usado y emulsificante puro, con respecto al aceite de soya cruda y emulsificantes en mezcla.

De tal manera, que la producción con aceite usado y emulsificante en mezcla se experimenta una disminución del 39,58% los costos totales con respecto a la producción con soya cruda y emulsificante puro. Mientras la reducción de los costos totales es de 39,82% con respecto a la producción con aceite de soya cruda y emulsificante en mezcla.

5.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DE DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN CON ACEITE DE SOYA CRUDA Y ACEITE USADO

De acuerdo con la distribución de costos para la producción del agente desmoldante partiendo de aceite vegetal de soya cruda y la producción con aceite usado; se determinó una reducción en el porcentaje que representa la materia prima principal en un 26,99% por parte de la producción con aceite vegetal usado y emulsificante puro con respecto a la producción con soya cruda y emulsificante puro. Por otro lado, se experimentó una reducción de costos de 26,75% por parte del aceite usado con emulsificante puro con respecto a la soya cruda con emulsificante en mezcla. Por lo tanto, en la producción con aceite vegetal usado y emulsificante puro, el bidón representó un aumento del 11,86% con respecto a la producción con soya cruda y emulsificante puro y un aumento del 11,93% con respecto a la producción de soya de cruda y emulsificante en mezcla. La mano de obra y otros costos aumentó 10,08% por parte de aceite usado y emulsificante puro en comparación con soya cruda y emulsificante puro, al igual que el aumento del 10,14% con respecto a soya cruda y emulsificante en mezcla.

Mientras los elementos que presentan la menor concentración en los costos totales aumentan su porcentaje en la distribución de costos para la producción con aceite usado respecto con la producción a partir soya cruda, el emulsificante aumenta 3,31% con respecto a la producción con soya cruda y emulsificante puro, aumento del 2,93% con respecto a la producción con soya cruda y emulsificante en mezcla, el flete aumenta 1,68% con respecto a la producción con soya cruda y emulsificante puro, aumento del 1,69% en comparación con la producción de soya cruda y emulsificantes en mezcla, mientras el agua aumenta 0,07% con respecto a la producción con soya cruda y emulsificante puro al igual que con emulsificante en mezcla.

Teniendo en cuenta la distribución de costos se determinó una reducción en el porcentaje que representa la materia prima principal en un 27,20% por parte de la producción con aceite vegetal usado y emulsificante en mezcla, en comparación a la producción con soya cruda y emulsificante puro. Por otro lado, el aceite usado y emulsificante en mezcla experimentó una reducción de costos de 26,96% con respecto a la soya cruda y emulsificante en mezcla. Por lo tanto, en la producción con aceite vegetal usado y emulsificante en mezcla, el bidón representó un aumento del 11,66% en comparación a la producción con soya cruda y emulsificante puro y un aumento del 11,73% con respecto a la producción de soya de cruda y emulsificante en mezcla. La mano de obra y otros costos aumentó 9,91% por parte de aceite usado y emulsificante en mezcla con respecto a soya cruda y emulsificante puro, al igual que el aumento del 9,97% con respecto a soya cruda y emulsificante en mezcla.

Mientras los elementos que presentan la menor concentración en los costos totales aumentan su porcentaje en la distribución de costos para la producción con aceite usado respecto a la de aceite de soya cruda, emulsificante aumenta 3,92% con respecto a la producción con soya cruda y emulsificante puro, aumento del 3,54% con respecto a la producción con soya cruda y emulsificante en mezcla, el flete aumenta 1,62% con respecto a la producción con soya cruda y emulsificante puro, aumento del 1,63% en comparación con la producción de soya cruda y emulsificantes en mezcla, mientras el agua aumentó 0,07% con respecto a la producción con soya cruda y emulsificante puro al igual que con emulsificante en mezcla.

5.5 ANÁLISIS DE PRECIOS EN EL MERCADO

El análisis de costos totales permite estudiar la viabilidad financiera de obtener un agente desmoldante a partir de aceites vegetales, la cual sea sustentable frente a un mercado competitivo. Por lo tanto, se realizó un análisis de precios en el mercado, en donde se evaluó el precio comercial para la adquisición de un agente desmoldante en las distintas empresas de distribución y referencias autorizadas en el mercado.

De acuerdo con el análisis de precios en el mercado de los agentes desmoldantes convencionales se pudo evaluar tres compañías distintas que producen y distribuyen a través de puntos autorizados con empresas tercerizadas a nivel nacional. Estas compañías son, Sika, Toxement Euclid Chemical y Mapei.

Sika es una de las empresas industriales que producen agentes desmoldantes y lo comercializan en tres referencias: separol premiun, separol N y separol ecológico (Tabla 29), los cuales tienen un precio en el mercado de acuerdo con las características del producto al momento de utilizarlo en formaletas de un determinado material.

Tabla 29. Precio comercial de agentes desmoldantes en la compañía de Sika Colombia

Sika			
Producto	Presentación (kg)	Precio total *(Iva incluido)	Precio*kilogramo (\$/kg)
Separol Premium	15	\$ 238.935	\$ 15.929
Separol N	20	\$ 172.726	\$ 8.636
Separol Ecológico	20	\$ 156.983	\$ 7.849

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, se tiene otra empresa industrial Toxement Euclid Chemical, quienes producen y comercializan 6 referencias distintas de agentes desmoldantes: Euco desmoldante, desmoldatoc, eucoform MP, eucoslip V, formshield WB y desmoldatoc green (Tabla 30). Por consiguiente, su precio en el mercado dependerá de las características del agente desmoldante que se desea adquirir para realizar su respectiva aplicación en formaleas de un determinado material. También se tiene Mapei, como una empresa industrial que produce sólo una referencia de agente desmoldante: desmoldante DMA 1000 (Tabla 31).

Tabla 30. Precio comercial de agentes desmoldantes en la compañía de Toxement Euclid Chemical Colombia

Toxement Euclid chemical			
Producto	Presentación (kg)	Precio total *(Iva incluido)	Precio*kilogramo (\$/kg)
Euco desmoldante	20	\$ 147.370	\$ 7.369
Desmoldatoc	16	\$ 257.421	\$ 16.089
Eucoform MP	16	\$ 115.002	\$ 7.188
Eucoslip V	16	\$ 228.480	\$ 14.280
Formshield WB	18	\$ 205.632	\$ 11.424
Desmoldatoc green	20	\$ 142.800	\$ 7.140

Fuente: elaboración propia

Tabla 31. Precio comercial de agentes desmoldantes en la compañía de Mapei Colombia

Mapei			
Producto	Presentación (kg)	Precio total *(Iva incluido)	Precio*kilogramo (\$/kg)
Desmoldante DMA 1000	4	\$ 55.692	\$ 13.923
	20	\$ 283.151	\$ 14.158
	200	\$ 2.137.716	\$ 10.689

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta, los precios en el mercado, se puede determinar que el valor de adquisición en el mercado de un agente desmoldante se encuentra entre \$7.140 hasta \$16.089 en pesos colombianos por cada kilogramo. Por lo tanto, las referencias más económicas son por parte de Sika y Toxement Euclid Chemical:

- Sika, separol ecológico en \$7.849 por cada kilogramo

- Toxement Euclid Chemical, desmoldatoc green en \$7.140 por cada kilogramo

De la misma manera, también se tienen las referencias más costosas, por las características específicas del producto en su uso para la aplicación en formaletas de distintos tipos de material:

- Sika, Separol premium en \$ 15.929 por cada kilogramo
- Toxement Euclid Chemical, desmoldatoc en \$16.089 por cada kilogramo
- Mapei, desmoldante DMA 1000 en \$14.150 por cada kilogramo

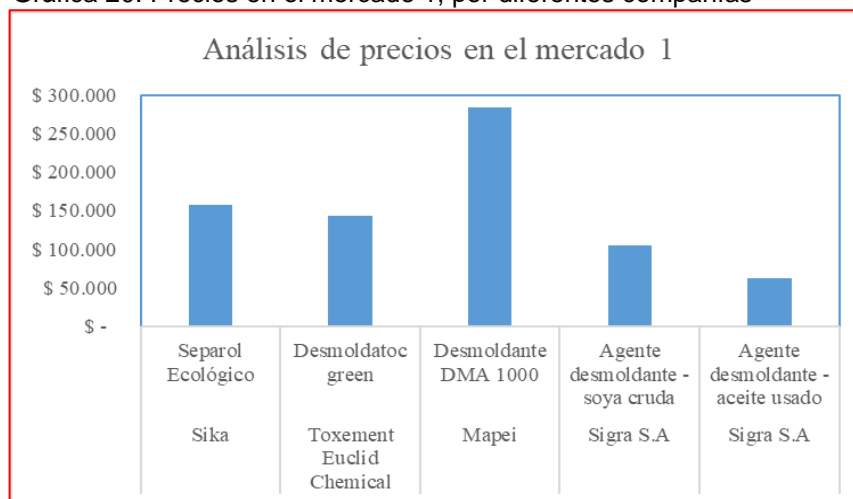
5.5.1 Análisis de precios en el mercado con respecto al precio total del agente desmoldante producido a partir de aceites vegetales de soya cruda y aceite usado. De la producción de un agente desmoldante partiendo de aceite vegetal de soya cruda con emulsificante puro de Esterlac SSL, se logró obtener una reducción del 33% sobre el precio total con respecto al separol ecológico, que es la referencia más económica de los agentes desmoldantes en la compañía de Sika. Mientras la producción partiendo de aceite vegetal usado con emulsificante puro de Esterlac SSL, se alcanzó una reducción del 60%, también en comparación con el separol ecológico.

Tabla 32. Comparativo de precios en el mercado de las referencias más económicas

Empresa	Producto	Precio total	Reducción del precio con soya cruda	Reducción del precio con aceite usado
Sika	Separol Ecológico	\$ 156.983	33%	60%
Toxement Euclid Chemical	Desmoldatoc green	\$ 142.800	27%	56%
Mapei	Desmoldante DMA 1000	\$ 283.151	63%	78%
Sigra S.A	Agente desmoldante - soya cruda	\$ 104.902	-	-
Sigra S.A	Agente desmoldante - aceite usado	\$ 62.963	-	-

Fuente: elaboración propia

Gráfica 20. Precios en el mercado 1, por diferentes compañías



Fuente: elaboración propia

Por otro lado, la producción de un agente desmoldante partiendo de aceite vegetal de soya cruda con emulsificante puro de Esterlac SSL, reduce el precio total en un 27% en comparación al desmoldatoc green, que es la referencia más económica de los agentes desmoldantes en la compañía de Toxement Euclid Chemical. Mientras la producción partiendo de aceite vegetal usado con emulsificante puro de Esterlac SSL, se alcanzó una reducción del 56% en el precio total.

Por último, la producción de un agente desmoldante partiendo de aceite vegetal de soya cruda con emulsificante puro de Esterlac SSL, reduce el precio total en un 63% con respecto al desmoldante DMA 1000 de Mapei. Mientras la producción partiendo de aceite vegetal usado con emulsificante puro de Esterlac SSL, se determinó una reducción del 78% en el precio total.

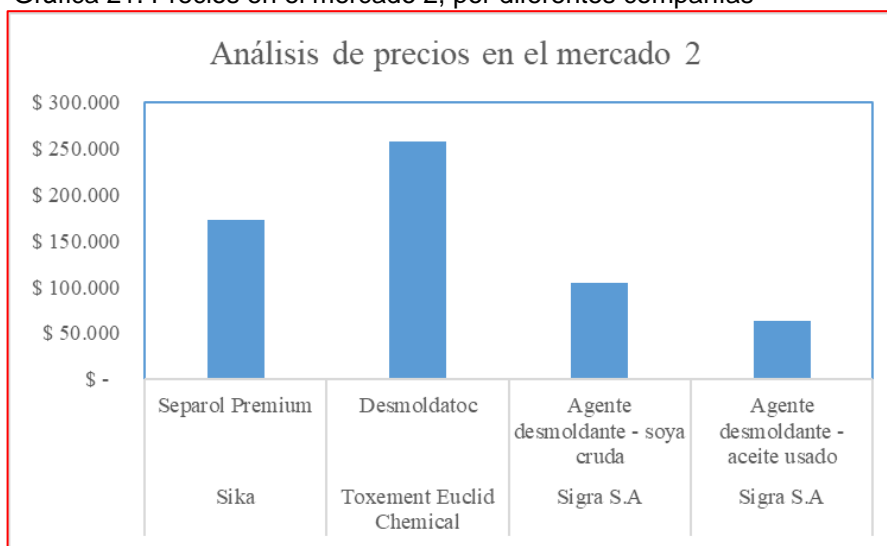
Adicionalmente, se realizó una comparación de precios con las referencias de los agentes desmoldantes comerciales más costosos. En el caso de la producción de un agente desmoldante partiendo de aceite vegetal de soya cruda con emulsificante puro de Esterlac SSL, reduce el precio total en un 39% en comparación al separol premium de Sika. Mientras la producción partiendo de aceite vegetal usado con emulsificante puro de Esterlac SSL, se alcanzó una reducción del 64% en el precio total.

Tabla 33. Comparativo de precios en el mercado de las referencias más costosas.

Empresa	Producto	Precio total	Reducción del precio	
			con soya cruda	con aceite usado
Sika	Separol Premium	\$ 172.726	39%	64%
Toxement Euclid Chemical	Desmoldatoc	\$ 257.421	59%	76%
Sigra S.A	Agente desmoldante - soya cruda	\$ 104.902	-	-
Sigra S.A	Agente desmoldante - aceite usado	\$ 62.963	-	-

Fuente: elaboración propia

Gráfica 21. Precios en el mercado 2, por diferentes compañías



Fuente: elaboración propia

En el caso de la producción de un agente desmoldante partiendo de aceite vegetal de soya cruda con emulsificante puro de Esterlac SSL, reduce el precio total en un 59% con respecto al desmoldatoc de Toxement Euclid Chemical. Mientras la producción partiendo de aceite vegetal usado con emulsificante puro de Esterlac SSL, se determinó una reducción del 76% en el precio total.

6. CONCLUSIONES

- Se determinó que las materias primas para el proceso de obtención de un agente desmoldante sean los aceites vegetales de soya cruda y aceite usado, teniendo en cuenta la disponibilidad y el abastecimiento de estas plantas oleaginosas, además del perfil de ácidos de grasos que en su mayoría son insaturados, superior al 50% que se pudo evaluar a través de las técnicas de índice de yodo y análisis de cromatografía. Mientras que los emulsificantes fueron, polisorbato 20, polietilenglicol 400 (PEG 400), polisorbato 60, arcilla de bentonita y esterlac SSL, los cuales se seleccionaron de acuerdo con su naturaleza química y en relación con a los estudios preliminares realizados. También se determinó una temperatura de operación entre 40 a 55 °C, otras condiciones de operación como la agitación de 500 rpm y el tiempo de elaboración de una emulsión.
- Se pudo obtener un agente desmoldante, partiendo de una emulsión de aceites vegetales, realizando distintas pruebas de emulsiones a través de un diseño experimental. En la etapa de elaboración de las pruebas emulsionadas, se determinó que los emulsificantes esterlac SSL y polisorbato 60 son los que garantizan un tiempo de estabilidad superior a los 60 minutos cuando se adicionan a la emulsión en una concentración del 2% puros; mientras que si son mezclados favorece un tiempo de estabilidad mayor a 120 minutos en proporción másica de 80% de esterlac SSL y 20% de polisorbato 60.
- Teniendo en cuenta, el tiempo de estabilidad de las emulsiones se pudo concluir que a una concentración de 1.5% de emulsificante, ya sea puro o en mezcla en una proporción de 80 % de esterlac SSL y 20% de polisorbato 60, es la concentración mínima que permite ocupar los espacios dados en la interfase formada por aceite-agua en el proceso de adsorción líquido-líquido.
- Durante el proceso de validación del desempeño en la pre-experimentación, se determinó que, en las formaletas de tipo metálicas, los aceites vegetales de soya cruda y aceite usado fueron los que generaron mejores resultados cualitativos y cuantitativos. Por lo tanto, los acabados de las piezas no presentaron manchas y la distribución de burbujas fue uniforme y en menor cantidad; así mismo también se redujo la fracción de pega en un 44.93% para aceite de soya cruda y 36.23% para aceite usado en comparación con la fracción de pega del ACPM.
- Se concluyó que la producción de un agente desmoldante a través de una emulsión a base de aceite vegetal usado reduce los costos totales de producción en un 39,98% con respecto al aceite vegetal de soya cruda, aun utilizando el mismo emulsificante Esterlac SSL puro y también se pudo establecer una reducción de costos totales en un 40,22% por parte del aceite vegetal usado y emulsificante puro, con respecto al aceite de soya cruda y emulsificantes en mezcla. Adicionalmente, se determinó que la producción con aceite usado y

emulsificante en mezcla se experimenta una disminución del 39,58% los costos totales con respecto a la producción con soya cruda y emulsificante puro. Mientras la reducción de los costos totales es de 39,82% con respecto a la producción con aceite de soya cruda y emulsificante en mezcla.

7. RECOMENDACIONES

- Evaluar la estabilidad de las emulsiones durante un periodo de tiempo prolongado que considere tiempos superiores a 6 meses, teniendo en cuenta que el agente desmoldante es un producto para utilizar en la industria de la construcción, en donde estos productos son almacenados por largos periodos de tiempo hasta requerir de su uso en la respectiva aplicación en formaletas.
- Considerar y determinar la reproducibilidad del protocolo de validación del desempeño de las emulsiones a base de aceites vegetales de soya cruda y aceite usado, teniendo en cuenta por lo menos 2 o 3 réplicas para reducir el margen de error en los resultados de las variables medidas durante el protocolo con la aplicación de las pruebas de emulsiones experimentales y así garantizar cuales tienen mejores resultados.
- Realizar una comparación referente a la emisión de gases o vapores que se desprenden en respuesta al grado de volatilidad del agente desmoldante a base de aceites vegetales de soya cruda y aceite usado, al igual que del agente desmoldante de origen petroquímico como el ACPM, para considerar como una variable a medir dentro de los resultados asociados a las afectaciones o incidencia sobre la salud de los trabajadores que manipulan estos productos.
- Realizar una verificación de la norma técnica colombiana (NTC) de construcción de concretos para comparar y establecer los requisitos mínimos que se deben cumplir en los acabados de las piezas o estructuras de concreto en relación con las imperfecciones, que se pueden considerar como la distribución de burbujas en la superficie de concreto, fisuras, manchas o material particulado adherido a la superficie.
- Validar si las condiciones ambientales desde un punto de vista fenomenológico (parametros termodinámicos y cinética de la fisorción), tienen incidencia sobre el proceso de adsorción entre la mezcla de concreto y el agente desmoldante aplicado sobre la formaleta, y así poder evaluar y determinarlas como variables del proceso que afectan los resultados durante el protocolo de validación del desempeño.

BIBLIOGRAFÍA

A. OLIETTI, E. Pargoletti, A. DIONA, G. Cappelletti. A novel optimized mold release oil-in-water emulsion for polyurethane foams production, *Journal of Molecular Liquids* (2018), Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.03.122>

ABANDO C. Flavio, TOVAR S. Carlos, DÍAZ F. José, COTTIER C. Juan Luis, SÁNCHEZ DE GÚZMAN D. Concreto: generalidades, propiedades y procesos. Recuperado de: https://www.academia.edu/9706247/CONCRETO_Generalidades_propiedades_y_procesos

AGUILAR R. Oscar L.; QUIROGA V. Daniel A. Síntesis de un hidrogel base acrílica mediante copolimerización en emulsión inversa, para la liberación controlada de un fertilizante, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ingeniería, Departamento de Ingeniería Química, Bogotá D.C.

ARIAN Velayati, ALIREZA Nouri. Emulsification and emulsion flow in thermal recovery operations with a focus on SAGD operations: A critical review. Editorial Elsevier (2020). Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117141>

BITHIKA Chaliha, LIPIKA Lahkar, ANJALI Doley, RUMI Kotoky, SIDDHARTHA P. Saikia, SUBHAN C. Nath. Screening of some lesser known tree-borne oilseed plants from North-East India for their oil content and major fatty acid components, pág [1-2]. Elsevier 2017 Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plefa.2017.08.014>

BROWN Janet. Inform International news on fats, oils, and related materials (Plant-based 'Ice cream'). AOCS Recuperado de: <https://www.aocs.org/stay-informed/inform-magazine/inform-archives?SSO=True>

CARVAJAL Alejandra. Dinero Revista, La guerra al aceite de palma, recuperado de: <https://www.dinero.com/opinion/columnistas/articulo/la-guerra-al-aceite-de-palma-por-alejandra-carvajal/269681>

CRISTANCHO G. Jaime. Palma Africana: Negro Panorama, El tiempo, otro líquido inflamable, Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-246040>

DE BRITO Jorge, BRANCO Fernando A., DOS SANTOS Roberto. ¿Do New Release Agents Work? Alternative, vegetable-oil based products offer safety advantages to workers and the environment, (2015), pág 3-5, Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/280097796>

EL ESPECTADOR, Ya es posible reciclar el aceite de cocina usado en Colombia, medio ambiente (2018) recuperado de:

<https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/ya-es-posible-reciclar-el-aceite-de-cocina-usado-en-colombia-articulo-744117>

EMIS PROFESSIONAL. Herramienta de inteligencia de negocios para mercados emergentes: comprende información tanto cuantitativa (estados financieros y estadísticos) como cualitativa (fuentes de reportes y noticias) de Colombia. Recuperado de:
<https://ezproxy.uamerica.edu.co:2088/php/companies/index?pc=CO&cmpy=1214404>

ESCOBAR M. Mónica A. Propuesta de la elaboración de un desmoldante a base de aceites vegetales o sus derivados para formaleas utilizadas en la industria de la construcción (2013), Recuperado de: Universidad de América.

EUCLID GROUP TOXEMENT, Proyecto de prefabricados en concreto, Aditivos para la industria del prefabricado, Recuperado de:
http://www.toxement.com.co/media/3559/brochure_prefabricados_.pdf

FEDEPALMA, La palma de aceite en Colombia, recuperado de:
<http://web.fedepalma.org/la-palma-de-aceite-en-colombia-departamentos>

FEDEPALMA, Palma al día Noticias, XLVII Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite 2019, XLVII Asamblea General de Fedepalma – XXIX Sala General de Cenipalma, Recuperado de: <http://web.fedepalma.org/Palma-al-dia-noticias>

F.M. LEÓN MARTÍNEZ, E.F. ABAD ZARATE, L. LAGUNEZ RIVERA, P.F. DE J. CANO BARRITA. Laboratory and field performance of biodegradable release agents for hydraulic concrete; Instituto Politécnico Nacional / CIIDIR, Sta Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México (2015). Recuperado de:
<https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-015-0681-8>

FORMESAN, Guía práctica para armar y desarmar: Formesan. Recuperado de:
<http://www.formesan.com/instructivo.pdf>
Fundación española de aceite de palma sostenible. ¿Qué es el aceite de palma?: Composición y características, Recuperado de:
<https://aceitedepalmasostenible.es/aceite-palma-composicion-caracteristicas/>

FUNDACIÓN ESPAÑOLA DEL ACEITE DE PALMA. ¿Qué es el aceite de palma: composición y características?, recuperado de:
<https://aceitedepalmasostenible.es/aceite-palma-composicion-caracteristicas/>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153 p.

IZARRA Irene, CUBILLO Jose, SERRANO Angel, RODRIGUEZ Juan Francisco, CARMONA Manuel. A hydrophobic release agent containing SiO₂-CH₃ submicron-sized particles for waterproofing mortar structures, Elsevier (2018), Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.018>

KOEN VAN Dijke, ISAO Kobayashi, KARIN Schroën, KUNIIHIKO Uemura, MITSUTOSHI Nakajima, REMKO Boom. Effect of viscosities of dispersed and continuous phases in microchannel oil-in-water emulsification. Springer-Verlag 2009. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10404-009-0521-7>

LAURENT Libessart, PASCALE DE Caro, CHAFIKA Djelal, ISABELLE Dubois. Correlation between adhesion energy of release agents on the formwork and demoulding performances; Elsevier (2014). Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.061>

MALAVAR Carol. El tiempo, Cada litro de aceite que usted bota ensucia mil litros de agua (2017), recuperado de: <https://www.eltiempo.com/bogota/cada-litro-de-aceite-botado-en-bogota-ensucia-mil-litros-de-agua-151338>

MCCLEMENTS, David. J. Food emulsions, principles, practices, and techniques. Third edition; CRC Press (2016); New York; Pág. [246]. Recuperado de: <https://doi.org/10.1201/b18868>

MINIAMBIENTE, Ministerio de Ambiente reglamenta disposición de aceites de cocina usados en el país (2018), Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3673-ministerio-de-ambiente-reglamenta-disposicion-de-aceites-de-cocina-usados-en-el-pais>

NOAMANE Taarji, SEKOVE Vodo, MERIEM Bouhoute, NAUMAN Khalid, ABDELLATIF Hafidi, ISAO Kobayashi, MARCOS A. Neves, HIROKO Isoda, MITSUTOSHI Nakajima. Preparation of monodisperse O/W emulsions using a crude surface-active extract from argan by-products in microchannel emulsification. Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba 305-8577, Japan (2019) Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.124050>

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, Editor: Bert F. Sels and An Philippaerts ISBN: 978-1-84973-900-9, Conjugated linoleic Acids and conjugated vegetable oils. Pág. 119. Recuperado de: <https://pubs.rsc.org/en/content/chapterhtml/2014/9781782620211-FP007?isbn=978-1-84973-900-9>

SEMANA REVISTA, ¿Cómo y por qué deshacerse del aceite de cocina usado? (2017), recuperado de: <https://sostenibilidad.semana.com/impacto/articulo/aceite-de-cocina-usado-como-botarlo-y-reciclarlo-en-colombia/38474>

SEMANA REVISTA, Cultivos de palma por un Catatumbo sostenible, recuperado de: <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/cucuta-se-reinventa/articulo/palnorte-en-norte-de-santander-genera-empleo-con-cultivos-de-palma/643110>

SEMANA REVISTA, Colombia saca la cara por los palmeros del mundo, recuperado de: <https://sostenibilidad.semana.com/negocios-verdes/articulo/colombia-saca-la-cara-por-los-palmeros-del-mundo/38749>

SIGRA. Tratamiento de aceites vegetales usados Recuperado: <https://sigra.com/2015/07/21/aceites-vegetales-usados-lo-que-debe-saber-sobre-su-manejo/>

SILVA O. Javier. Tipos y ventajas de desmoldantes para la construcción de viviendas. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ventajas-de-desmoldantes-para-la-construccion-de-viviendas>

THE ABERDEEN GROUP; Choosing a form release agent, Much depends on the type of form material. Recuperado de: https://www.concreteconstruction.net/_view-object?id=00000153-8b9a-dbf3-a177-9fbb2da20000

THIBODEAU, A. Innovacos Corp., US10195123 (2019), Recuperado de: Cells: Factories of the future AOCS

TORSTEN H. Schwerin, ANJA K. Kreuzau, ALTHOFF H. AM See. Aqueous release agents and their use in the production of polyurethane molding, (2008), recuperado de: <https://patents.google.com/patent/US20080289532A1/en>

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Oilseeds: World Markets and Trade, Global Consumption Recovers in 2020/21 after 2019/20 Drop. Recuperado de: <https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>

ANEXOS

ANEXO A

MATERIALES PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

El concreto y las formaletas, son algunos de los materiales dispuestos para llevar a cabo las actividades relacionadas con la industria de la construcción. Estos materiales son seleccionados por el gremio de la industria de la construcción teniendo en cuenta en el concreto la calidad, la cual se puede evaluar en términos de su grado de plasticidad, color y tiempo de secado. Mientras las formaletas son seleccionadas de acuerdo con el tipo de material y al requerimiento de las dimensiones de las piezas o placas que se deseen fabricar.

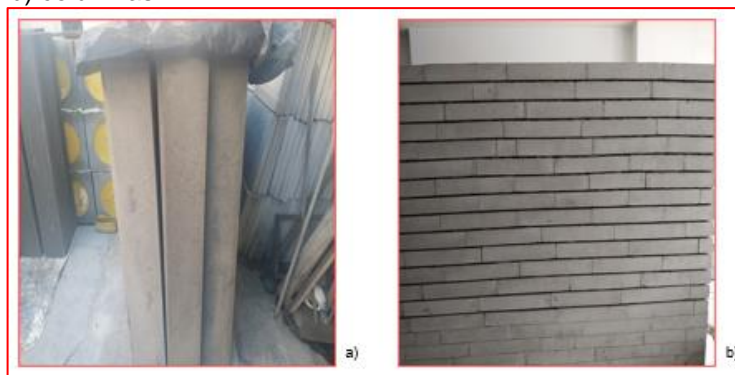
Concreto. Conocido comercialmente como hormigón, el cuál es un material de construcción formado por la mezcla de distintos materiales, como el cemento, arena, agua y grava o piedra machacada; a esta mezcla también se le conoce como proceso de fundido (Fig. 135), para construir finalmente columnas, piezas o placas de concreto (Fig. 136).

Figura 135. Proceso de fundido, a) mezcla de los materiales, b) vertimiento de la mezcla en las formaletas



Fuente: elaboración propia

Figura 136. Estructuras de concreto: a) placas prefabricadas, b) columnas



Fuente: elaboración propia

Encofrado: Armazón y distribución de las formaletas. Armazón formado por un conjunto de piezas metálicas o de madera convenientemente dispuestas para el vertimiento, distribución uniforme y exposición al ambiente de la mezcla de concreto, favoreciendo el proceso de fraguado del concreto, que responde al secado y endurecimiento de este (Fig. 137), para formar muros, placas o columnas.

Figura 137. Encofrado de a) formaletas compuestas, b) formaletas unificadas



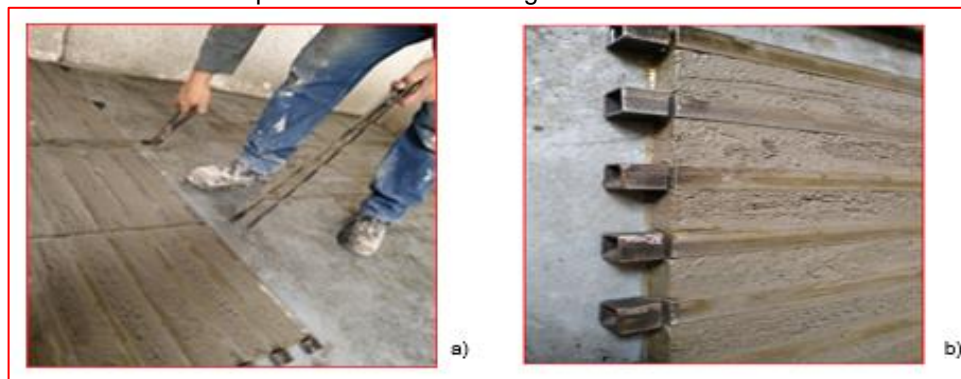
Fuente: elaboración propia

Dimensiones de las formaletas metálicas. A continuación, se realiza una descripción de las formaletas metálicas y sus correspondientes dimensiones.

a) Formaletas compuestas: perfil vertical y horizontal

El armazón del encofrado está constituido por un sistema de formaletas metálicas, distribuidas de manera vertical y horizontal (Fig.138). Estas formaletas, entran en contacto directo con el agente desmoldante, para formar una película delgada que las separa del concreto y evitar la adherencia cuando se realice la remoción dentro de un periodo de tiempo, contado a partir del momento en que se funde el concreto.

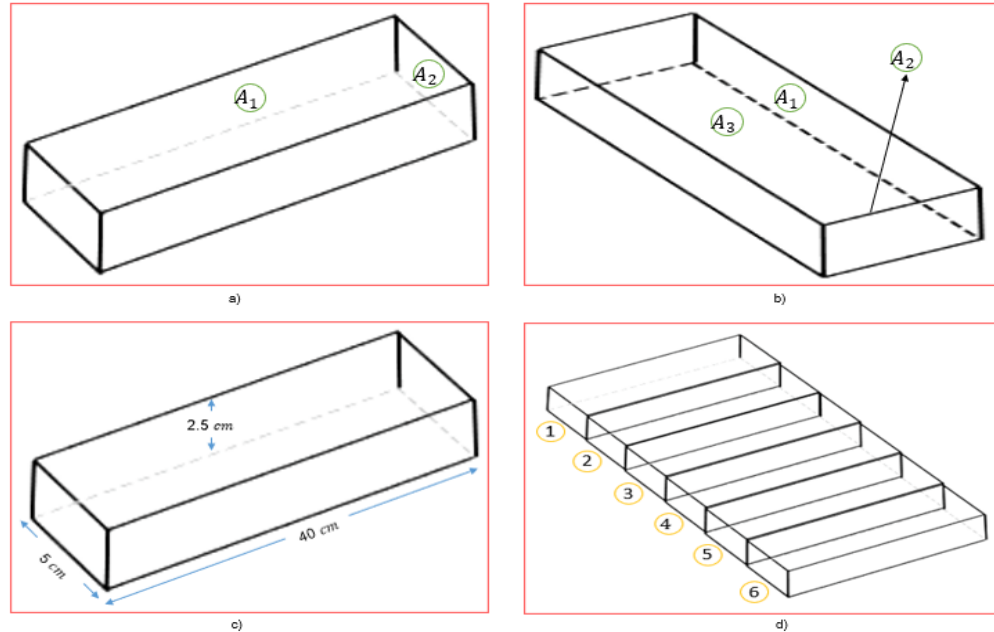
Figura 138. Secciones de las formaletas metálicas, a) verticales, b) horizontales; intervenidas con la aplicación de aceites vegetales



Fuente: elaboración propia

A continuación, se describe la suma de las áreas de contacto con los aceites vegetales, dadas por las caras de cada sección (Fig. 139-a) y (Fig. 139-b), teniendo en cuenta las dimensiones del largo y ancho (Fig. 139-c) de cada una de las 5 caras expuestas por sección (Fig. 139-a) y se determina el área total de contacto por región (Fig. 139-d), la cual tiene a su vez 6 secciones.

Figura 139. Secciones de las formaletas compuestas, a) perfil de las dos caras con A_1 y A_2 , b) perfil de las tres caras con A_1 , A_2 y A_3 , c) dimensiones y d) perfil de la región con 6 secciones



Fuente: elaboración propia

$$A = \text{Largo} \times \text{ancho}$$

A_1 = cara de las formaletas horizontales

A_2 = cara de las formaletas verticales

A_3 = cara de las formaletas adyacentes

$$A_1 = 40.0 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm} = 100 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 5.0 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm} = 12.5 \text{ cm}^2$$

$$A_3 = 40.0 \text{ cm} \times 5.0 \text{ cm} = 200 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{de contacto por sección}} = A_{\text{de contacto por las 5 caras}}$$

$$A_{\text{de contacto por sección}} = 2 \times A_1 + 2 \times A_2 + A_3$$

$$A_{\text{de contacto por sección}} = 2(A_1 + A_2) + A_3$$

$$A_{\text{de contacto por sección}} = 2(100 + 12.5)\text{cm}^2 + 200 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{de contacto por sección}} = 425 \text{ cm}^2$$

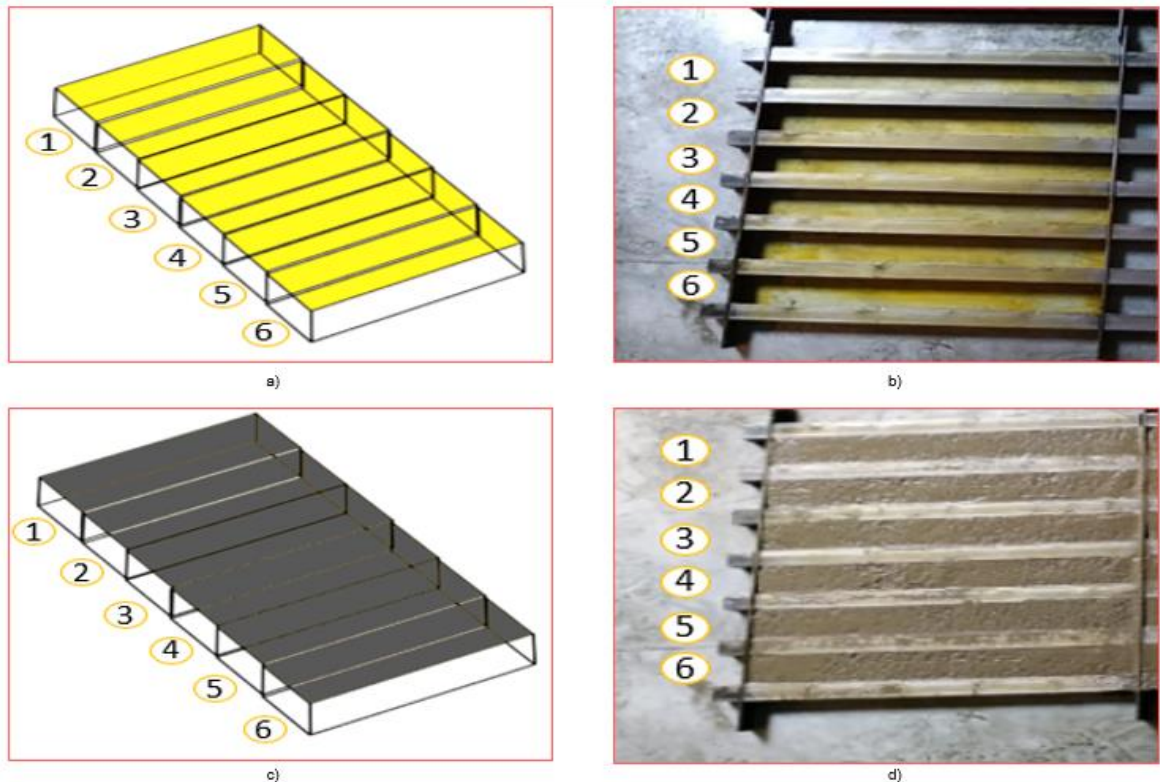
$$A_{\text{de contacto por 6 secciones}} = A_{\text{Total de contacto por región}}$$

$$A_{\text{Total de contacto por región}} = 425 \text{ cm}^2 \times 6 \text{ secciones}$$

$$A_{\text{Total de contacto por región}} = 2,550 \text{ cm}^2$$

Cada región es definida por la separación vertical de las formaletas compuestas, como se indica en la figura 140-a y 140-b. Esta región entra en contacto con el agente desmoldante y tiene un área total de contacto por las 6 secciones de $2,550 \text{ cm}^2$, es decir, cada sección tiene un área de 425 cm^2 , donde se hace el vertimiento del concreto, como se muestra en la figura 140-c y 140-d.

Figura 140. Formaletas compuestas, a) b) área total de contacto de $2,550 \text{ cm}^2$ de las 6 secciones con la aplicación de los aceites vegetales, c) y d) vertimiento de concreto en las 6 secciones



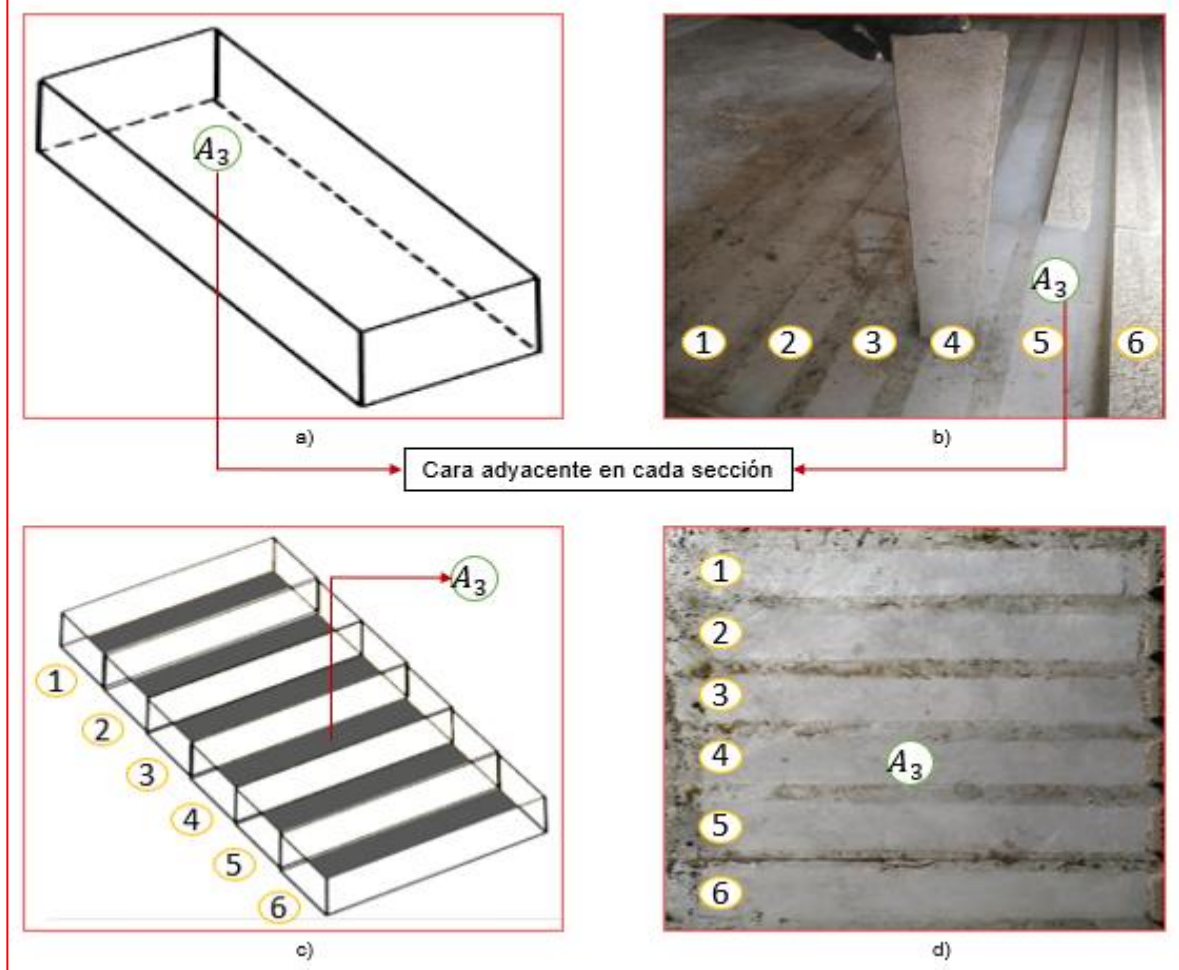
Fuente: elaboración propia

b) Cara adyacente en las formaletas compuestas

Es una de las caras que hace parte del sistema de encofrado dispuesto por las formaletas compuestas metálicas, la cual tiene contacto directo con las piezas de concreto y se encuentra ubicada adyacente a la superficie terrestre. Teniendo en consideración la figura 141-a, se puede observar la cara adyacente que corresponde al área de contacto por sección A_3 ; en la figura 141-b, se puede observar la cara adyacente de las 6 secciones cuando se remueven las piezas de concreto, teniendo en cuenta que el color gris es por efecto del material de aluminio que constituye la formaleta; mientras en la figura 141-c, se observa las caras

adyacentes en las 6 secciones de la primera región, y la figura 141-d, se observa la formaleta adyacente cuando se han removido las piezas de concreto.

Figura 141. Cara adyacente en material de aluminio para el área de contacto por, a), b) cada sección, c) región en que se aplican los aceites vegetales y d) una vez se han removido las piezas de concreto

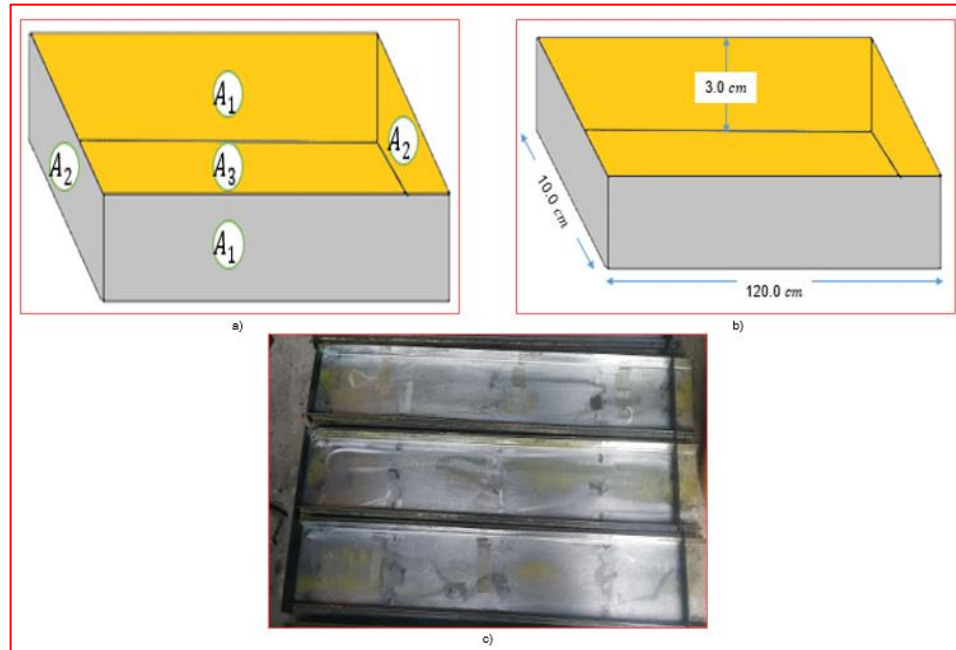


Fuente: elaboración propia

c) Formaletas unificadas

Son formaletas independientes, a diferencia de las formaletas compuestas, estas se remueven en una sola fase (Fig. 142) y se realiza 24 horas después del proceso de fundido del concreto.

Figura 142. Formaletas metálicas unificadas con aplicación de aceites vegetales, a) por cada una de las caras A_1 , A_2 y A_3 , b) sus dimensiones y c) su réplica en tres formaletas, removidas en una sola fase



Fuente: elaboración propia

A continuación, se describe la suma de las áreas de contacto, dadas por las caras de cada formaleta unificada:

$$A_{de\ contacto\ por\ formaleta\ unificada} = Largo \times ancho$$

$$A_1 = 120.0\ cm \times 3.0\ cm = 360\ cm^2$$

$$A_2 = 10.0\ cm \times 3.0\ cm = 30.0\ cm^2$$

$$A_3 = 120.0\ cm \times 10.0\ cm = 1,200\ cm^2$$

$$A_{de\ contacto\ por\ formaleta\ unificada} = A_{de\ contacto\ por\ las\ 5\ caras}$$

$$A_{de\ contacto\ por\ formaleta\ unificada} = 2 \times A_1 + 2 \times A_2 + A_3$$

$$A_{de\ contacto\ por\ formaleta\ unificada} = 2(A_1 + A_2) + A_3$$

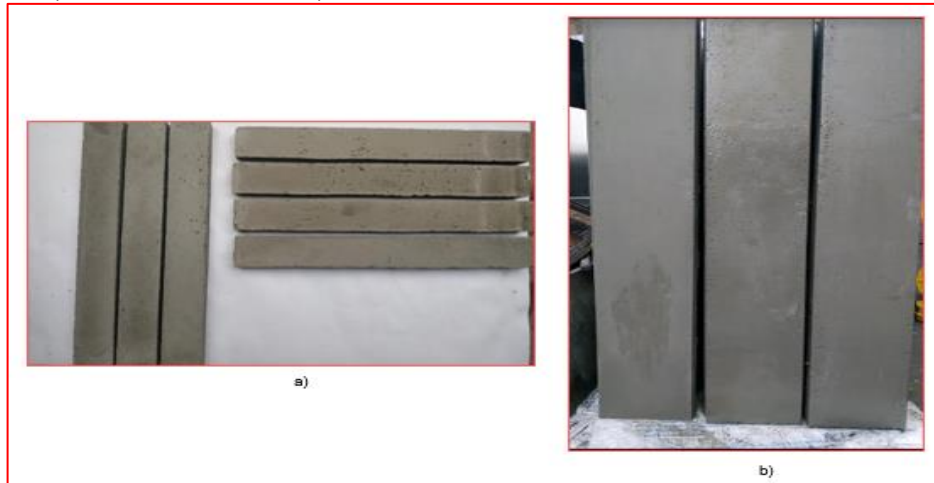
$$A_{de\ contacto\ por\ formaleta\ unificada} = 2(360 + 30.0)cm^2 + 1,200\ cm^2$$

$$A_{de\ contacto\ por\ formaleta\ unificada} = 1980cm^2$$

Piezas o placas de concreto

Son aquellos productos que se obtienen a partir de tres procesos principales: fundido de concreto, fraguado y secado. De acuerdo con las dimensiones de las formaletas metálicas descritas anteriormente, así mismo se obtiene la geometría, forma y dimensiones de las piezas de concreto (Fig. 143).

Figura 143. Piezas o placas de concreto con área impregnada de aceite vegetal de a) 425 cm^2 cada una, b) 1980 cm^2 cada una



Fuente: elaboración propia

Fracción de pega

Es la cantidad de concreto que se adhiere a la superficie de cada una de las formaletas compuestas y unificadas (Fig. 144). Esta fracción se mide en gramos (g) y dependerá entre otras variables de:

- Tipo de aceite vegetal.
- Tipo de emulsificante
- Concentración del emulsificante

Figura 144. Fracción de pega del concreto, a) adherida a la formaleta, b) pesada en base seca



Fuente: elaboración propia