



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES



ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA ESPUMA
PARA EL DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
PROCESO SUSTENTABLE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y
TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES**

PRESENTA

I Q. SILVIA PAOLA VENEGAS SEGURA

ASESOR: DRA. MARTHA LILIA DOMÍNGUEZ PATIÑO

CO-ASESOR: DR. JOEL VARGAS ORTEGA



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

CUERNAVACA, MORELOS

ENERO, 2019



Cuernavaca, Morelos, a 20 de agosto del 2019.

NOMBRAMIENTO DE COMISIÓN REVISORA Y DICTAMEN DE REVISIÓN (T-2)

Dra. Martha Lilia Domínguez Patiño
Dr. Joel Vargas Ortega
Dr. Mario Alfonso Muñillo Tovar
Dr. Israel Herrera Orozco
Dr. Álvaro Torres Islas

PRESENTE.

Por este conducto, me permito informarle que ha sido asignado como integrante de la Comisión Revisora de la tesis que presenta la LQ. Silvia Paola Venegas Segura titulada: "Elaboración y caracterización de una espuma para el desarrollo e implementación de un proceso sustentable" realizada bajo la dirección de la Dra. Martha Lilia Domínguez Patiño en el Programa Educativo de Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables. Agradezco su valiosa participación en esta Comisión y quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto.

ATENTAMENTE

"Por una humanidad-culta"


Dra. Constanza Machin Ramirez
Coordinadora de la MIATS.

Dra. Constanza Machin Ramirez,
Coordinadora de la MIATS.

PRESENTE.

En respuesta a su amable solicitud para formar parte de la Comisión Revisora de la tesis mencionada y una vez realizada la revisión correspondiente, me permito informarle que mi VOTO es:

DICTAMEN

NOMBRE	VOTO	FIRMA
Dra. Martha Lilia Domínguez Patiño	Aprobatorio	
Dr. Joel Vargas Ortega	Aprobatorio	
Dr. Mario Alfonso Muñillo Tovar	Aprobatorio	
Dr. Israel Herrera Orozco	Aprobatorio	
Dr. Álvaro Torres Islas	Aprobatorio	

c.c.s. Archivo

Av. Universidad 1001 Col. Chamépa, Cuernavaca Morelos, México, 62209,
Tel. (777) 329 70 00, Ext. 3297. e-mail: miats/oaq@uaem.mx



DEDICATORIA

A mis padres, que siempre me han apoyado, son mi motor de vida, un gran ejemplo de superación y dedicación, esta etapa de mi vida no hubiera sido posible sin ustedes. Un éxito mío, es también suyo siempre.

A mis familiares y amigos que estuvieron conmigo estos dos años, su apoyo es muy importante para mí, gracias por compartir momentos inolvidables a mi lado.

A mis profesores y compañeros, todas sus aportaciones se ven reflejadas aquí, colaboraron en mi crecimiento profesional y personal.

A todas las personas que me apoyaron de cierta forma durante mis estudios de maestría, este proyecto es también de ustedes.

Con Cariño

S.P.V.S.

AGRADECIMIENTO A CONACyT

Este proyecto se realizó en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, bajo la asesoría de la Dra. Martha Lilia Domínguez Patiño y con la co-asesoría del Dr. Joel Vargas Ortega en el Instituto de Investigación en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México-Campus Morelia, con el apoyo financiero del Programa de Becas Nacionales de Posgrado, de la misma forma, en la Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos del Departamento de Energía del Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambientales y Tecnológicas en Madrid, España con el apoyo financiero del Programa de Becas Mixtas al extranjero, apoyos otorgados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, por permitirme estudiar la maestría y facilitar sus instalaciones para la elaboración del proyecto.

Gracias al comité revisor de Tesis; Dra. Martha Lilia Domínguez Patiño, Dr. Joel Vargas Ortega, Dr. Israel Herrera Orozco, Dr. Mario Alfonso Murillo Tovar y Dr. Álvaro Torres Islas, por su apoyo incondicional, tiempo, consejos, acciones, conocimientos brindados, y darme la oportunidad de ser dirigida por ustedes, ha sido un placer trabajar a su lado.

Agradezco a las Instituciones que colaboraron en las distintas etapas de este proyecto; Escuela Nacional de Estudios Superiores de la Universidad Nacional Autónoma de México-Campus Morelia, Universidad Michoacana, Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambientales y Tecnológicas.

A mis profesores y compañeros, sus consejos, comentarios y conocimientos forman parte de este trabajo.

Familia y amigos: Gracias por estar siempre para mí, su apoyo hizo posible que yo concluyera esta etapa.

A mi madre, siempre estaré agradecida por las oportunidades que me has dado, gracias por ayudarme a cumplir cada sueño y etapa de mi vida.

COMITÉ REVISOR DE TESIS

Dra. Martha Lilia Domínguez Patiño

ASESOR

Dr. Joel Vargas Ortega

CO-ASESOR

Dr. Israel Herrera Orozco

Dr. Mario Alfonso Murillo Tovar

Dr. Álvaro Torres Islas

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
ABREVIATURAS.....	11
RESUMEN	13
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
1 CAPÍTULO 1	15
1.1 ANTECEDENTES	15
1.2 MARCO TEÓRICO.....	18
1.2.1 Uso del agua en la agricultura.....	18
1.2.2 Hidroponía.....	18
1.2.3 Elaboración de espumas.....	21
1.2.4 Caracterización.....	23
1.2.5 Impacto Ambiental	25
1.2.6 Análisis de Ciclo de Vida	25
2 CAPÍTULO 2	28
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	28
2.2 JUSTIFICACIÓN	30
2.3 OBJETIVO GENERAL.....	30
2.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
3 CAPÍTULO 3	31
3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	31
3.1.1 Tamaño de poro.....	31
3.1.2 Absorción	35
3.2 ESTRATEGIA EXPERIMENTAL	38
3.3 MATERIAL Y MÉTODOS	39
3.3.1 Elaboración de espuma de poliol	39
3.3.2 Caracterización de espuma.....	44
3.3.3 Análisis de Impacto ambiental a través del Análisis de Ciclo de Vida.....	44
4 CAPÍTULO 4	47
4.1 RESULTADOS	47
4.1.1 Elaboración de espuma de poliol	47
4.1.2 Caracterización de espumas	56
4.1.3 Análisis de Impacto Ambiental a partir de un Análisis de Ciclo de Vida.....	80
4.2 DISCUSIÓN.....	93
5 CAPÍTULO 5	96
5.1 CONCLUSIONES	96
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	97
6 ANEXOS	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de uso de agua en México.	17
Figura 2. Espuma fenólica enraizada y lista para trasplante.	19
Figura 3. Reacciones la polimerización de la resina tipo Resol.	20
Figura 4. Condiciones de preparación y propiedades de resol (Iwasaki, 1990).	21
Figura 5. Composición para la elaboración de espuma fenólica (floral) (Pilato, 1979).	21
Figura 6. Reacción general de polimerización de poliuretano.	22
Figura 7. Composición de una espuma de poliuretano.	22
Figura 8. Espectrómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier	23
Figura 9. Microscopio Electrónico de Barrido	24
Figura 10. Fases de ACV.	25
Figura 11. Áreas de preocupación para una Agricultura Sustentable.	27
Figura 12. Gráfica de residuales vs frecuencia acumulada.	33
Figura 13. Gráfica de Residuales vs frecuencia acumulada.	36
Figura 14. Diagrama de flujo del proyecto.	37
Figura 15. Fases del proyecto.	38
Figura 16. a) Prepolímeros de uretano-di-isocianato B b) colorante.	39
Figura 17. a) molde estrella b) molde cuadrangular.	39
Figura 18. Diagrama general de elaboración de espumas poliólicas.	40
Figura 19. Elaboración de espuma.	40
Figura 20. Pesado en balanza analítica del componente.	40
Figura 21. Agitación de la mezcla en el molde.	41
Figura 22. Diagrama general de elaboración de espumas fenólicas.	44
Figura 23. Espuma sin colorante A) mezcla con colorante B) mezcla después de agitación C) espuma formada.	46
Figura 24. Espuma con colorante A) mezcla con colorante B) mezcla después de agitación C) espuma formada.	46
Figura 25. Comparación de espuma sin colorante y con colorante.	47
Figura 26. Espuma A- a) pesado de componentes b) mezcla A-B c) mezcla despues de agitación d) Espuma.	47
Figura 27. Espuma B- a) pesado de componentes b) agitación mezcla A-B c) mezcla despues de agitación d) Espuma.	47
Figura 28. Espuma C - a) mezcla A-B-colorante b) mezcla despues de agitación c) Espuma.	48
Figura 29. Comparación de las espumas A,B y C con una misma composición.	48
Figura 30. Espumas A,B y C.	48
Figura 31. Espuma D: a) pesado de componentes, b)cremado y c) espumado.	49
Figura 32. Espuma E: a) pesado de componentes, b)cremado y c) espumado.	49
Figura 33. Espuma F: a) pesado de componentes, b)cremado y c) espumado.	50
Figura 34. Espumas D,F,E.	50
Figura 35. Espuma G: a) pesado de los componentes b) cremado c) espumado.	51
Figura 36. Espuma H: a) pesado de los componentes b) cremado c) espumado	51
Figura 37. Espuma I: a) pesado de los componentes b) cremado c) espumado.	52
Figura 38. Espumas G, H, I.	52
Figura 39. Espumas A, B, C, D, E, F, G, H, I.	53
Figura 40. Comparativa de las espumas A-I.	53
Figura 41. Polímeros vistos con lámpara de luz UV a) Espuma sin colorante b) espuma con colorante.	55
Figura 42. Espuma en luz UV.	55

Figura 43. Principales compuestos encontrados.	56
Figura 44. FTIR espuma A.	56
Figura 45. Grupos funcionales encontrados en espuma A (FTIR).	57
Figura 46. FTIR espuma B.	57
Figura 47. Grupos funcionales encontrados en espuma B (FTIR).	58
Figura 48. FTIR espuma C.	58
Figura 49. Grupos funcionales encontrados en espuma C (FTIR).	59
Figura 50. FTIR espuma D.	59
Figura 51. Grupos funcionales encontrados en espuma D (FTIR).	60
Figura 52. FTIR espuma E.	60
Figura 53. Grupos funcionales encontrados en espuma E (FTIR).	61
Figura 54. FTIR espuma F.	61
Figura 55. Grupos funcionales encontrados en espuma F (FTIR).	62
Figura 56. FTIR espuma G.	62
Figura 57. Grupos funcionales encontrados en espuma G(FTIR).	63
Figura 58. FTIR espuma H.	63
Figura 59. Grupos funcionales encontrados en espuma H (FTIR).	64
Figura 60. FTIR espuma I.	64
Figura 61. Grupos funcionales encontrados en espuma I (FTIR).	65
Figura 62. Difractogramas de las espumas A, B, C, D, E, F, G, H, e I.	66
Figura 63. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma A, Forma de celdas.	68
Figura 64. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma A, Forma de celdas-ruptura.	68
Figura 65. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma A, tamaño de celdas.	68
Figura 66. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma B, Forma de celdas-ruptura.	69
Figura 67. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma B, Forma de celdas-ruptura.	69
Figura 68. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma B, Tamaño de celdas.	69
Figura 69. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma B, Canales.	70
Figura 70. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma C, Forma de celdas-ruptura.	70
Figura 71. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma C, Forma de celdas-ruptura.	70
Figura 72. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma C, partículas en la estructura.	71
Figura 73. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma C, partículas observadas en los canales.	71
Figura 74. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma C, tamaño de celdas.	71
Figura 75. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma D, Forma de celdas-ruptura.	72
Figura 76. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma D, Forma de celdas-ruptura.	72
Figura 77. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma D, Tamaño de celdas.	72
Figura 78. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma D, Canales.	73
Figura 79. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma E, Forma de celdas-ruptura.	73
Figura 80. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma E, Forma deformación.	73
Figura 81. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma E, deformación.	74
Figura 82. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma E, tamaño de celdas.	74
Figura 83. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma F, Forma de celdas.	74
Figura 84. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma F, Forma de celdas acercamiento.	75
Figura 85. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma F, tamaño de celdas.	75
Figura 86. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma G, Forma de celdas.	75
Figura 87. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma G, Forma de celdas acercamiento.	76
Figura 88. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma G, tamaño de celdas.	76
Figura 89. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma H, Forma de celdas.	77
Figura 90. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma H, Forma de celdas acercamiento.	77

Figura 91. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma H, tamaño de celdas.	77
Figura 92. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma I, Forma de celdas.	78
Figura 93. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma I, Forma de celdas acercamiento.	78
Figura 94. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma I, tamaño de celdas.	78
Figura 95. Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC-11 eq).	82
Figura 96. Calentamiento global (kg CO ₂ eq).	82
Figura 97. Eutrofización (kg N eq).	83
Figura 98. Acidificación (kg SO ₂ eq).	84
Figura 99. Ecotoxicidad (CTUe).	84
Figura 100. Agotamiento de combustibles fósiles (MJ surplus).	85
Figura 101. Categorías de Impacto.	87
Figura 102. Agotamiento de la capa de ozono kg CFC-11eq.	89
Figura 103. Calentamiento global kg CO ₂ eq.	89
Figura 104. Acidificación kg SO ₂ eq.	90
Figura 105. Eutrofización kg N eq.	90
Figura 106. Ecotoxicidad CTUe.	91
Figura 107. Agotamiento de combustibles fósiles MJ surplus.	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales categorías de impacto ambiental.	26
Tabla 2. Factores estadísticos del Diseño Experimental para la síntesis de la Espuma.	30
Tabla 3. Tamaño de poro de espumas a diferentes concentraciones.	30
Tabla 4. Análisis de Varianza.	31
Tabla 5. Residuales vs Frecuencia acumulada	33
Tabla 6. Absorción de espumas a diferentes concentraciones (%masa).	34
Tabla 7. Análisis de Varianza.	35
Tabla 8. Residuales vs Frecuencia acumulada	35
Tabla 9. Composición de elaboración espuma a partir de polioles.	42
Tabla 10. Componentes de espuma de fenol.	44
Tabla 11. Componentes de espuma de polioliol.	45
Tabla 12. Resultados de las 9 espumas poliólicas elaboradas.	54
Tabla 13. Entradas y Salidas Espumas Fenólicas.	79
Tabla 14. Entradas y Salidas Espumas Polioliol.	80
Tabla 15. Categorías de Impacto.	81
Tabla 16. Entradas y salidas de la elaboración de espumas de polioliol en laboratorio.	86
Tabla 17. Categorías de Impacto.	88

ABREVIATURAS

ACV- Análisis de de Ciclo de Vida

ANOVA-Análisis de varianza

ASTM- American Society for Testing and Materials

CFC- cloro-fluorocarbono

Ciemat- Centro de investigaciones energéticas, medio ambientales y tecnológicas

CLAR- cromatografía líquida de alta resolución

CO- Castor Oil- Aceite de Castor

CO₂- dióxido de carbono

CTU- comparative toxicity unit- unidad comparativa de toxicidad

ED- Energy demand- demanda de energía

EPE- espuma de poliestireno

ERP- espumas rígidas de poliuretano

FD- fossil depletion- agotamiento de combustibles fósiles

FTIR- infrarrojo por transformada de fourier

GEI- gases de efecto invernadero

GWP- Global warming potential- potencial de calentamiento global

IIM- Instituto de Investigación en Materiales

IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change- Panel Intergubernamental de Cambio Climático

ISO- International Organization for Standarization

MACO- aceite de castor maleinizado

MDI- Metilendiisocianato

N- nitrógeno

PEG- polietilenglicol

PG- poliglicerol

SEM- Scanning Electron Microscope- Microscopía Electrónica de Barrido

SO₂- dióxido de azufre

TDI- Diisocianato de tolueno

Td1- temperatura inicial de descomposición

UAEM- Universidad Autónoma del Estado de Morelos

UMICH- Universidad Michoacana

UNAM- Universidad Nacional Autónoma de México

UV- ultravioleta

WD- water depletion- agotamiento de agua

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como propósito la elaboración de una espuma para su empleo como sustrato hidropónico, se caracterizó mediante diversas técnicas y por último se realizó un Análisis de Ciclo de Vida para determinar los posibles impactos ambientales asociados a su elaboración.

Se elaboraron en laboratorio 9 espumas a partir de polioliol, variando las concentraciones de resina y polioliol.

Las espumas elaboradas se caracterizaron mediante Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier, Rayos X, y Microscopía Electrónica de Barrido, y se determinó que las espumas presentaron celdas de 4 y 5 lados, con un diámetro aproximado de 500 micrómetros, y un porcentaje de humedad de 15%, con base en estos resultados se determinó que es una alternativa para uso como sustrato hidropónico.

Se elaboró un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para conocer el posible impacto generado por la elaboración de espumas, se evaluó mediante un Análisis de Ciclo de Vida siguiendo las 4 etapas propuestas por ISO 14040- ISO 14044, y con el del software SimaPro se seleccionaron 6 categorías de impacto ambiental; agotamiento de la capa de ozono, acidificación, eutrofización, calentamiento global, agotamiento de combustibles fósiles y ecotoxicidad. En el ACV realizado a las espumas elaboradas en laboratorio, se observó que el mayor impacto ambiental se obtuvo en la categoría de agotamiento de combustibles fósiles (hasta 0.25 MJ). Se realizó un ACV comparativo de las espumas de fenol y las espumas de polioliol y se concluye que las espumas de polioliol generan un menor impacto ambiental.

ABSTRACT

The aim of this work was to make a foam to be used as a hydroponic substrate, the structural foam characterization was performed by several techniques, and finally a Life Cycle Analysis was carried out to determine the possible environmental impacts associated with foam's elaboration.

Nine foams were made in the laboratory from polyol, varying concentrations of resin and polyol.

The foams were characterized by Fourier Transform Infrared Spectroscopy, X-Rays, and Scanning Electron Microscopy, it was determined that the foams had cells of 4 and 5 sides, with an approximate diameter of 500 micrometers, and a humidity percentage of 15%, this characteristics carried out that polyol foams are an alternative for use as a hydroponic substrate.

A Life Cycle Analysis (LCA) was performed to know the potential potential impacts generated by the elaboration of foams, following the 4 stages proposed by ISO 14040- ISO 14044, and with the use of SimaPro software, 6 environmental impact categories were selected to evaluate; Ozone depletion, acidification, eutrophication, global warming, depletion of fossil fuels and ecotoxicity. With the LCA carried out of the foams elaborated in the laboratory, it was observed that the greatest environmental impact was obtained in the category of fossil fuel depletion (up to 0.25 MJ). A comparative LCA of the phenol foams and the polyol foams was carried out and it is concluded that the polyol foams generate a lower environmental impact.

INTRODUCCIÓN

El gran problema del Impacto Ambiental generado al planeta lleva a la búsqueda de nuevos procesos amigables con el ambiente. En la actualidad es necesario obtener productos de alta calidad, pero que sean totalmente sustentables. La sustentabilidad se define como “Satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer las necesidades del futuro”, dicho lo anterior, es importante encontrar alternativas que impacten menos al ambiente. Una actividad imprescindible para el hombre es la agricultura, ya que lo provee de alimentos y cultivos. Sin embargo, es necesario buscar opciones que impacten menos al planeta al desarrollar las actividades agrícolas.

Una de las opciones es el uso de cultivos hidropónicos, esta tecnología permite el cultivo de plantas, flores, vegetales, frutas y hortalizas utilizando un sustrato y una solución nutritiva para administrar los nutrientes necesarios para el crecimiento del producto, disminuyendo el uso excesivo de agua y el uso de suelo.

Actualmente, se utilizan distintos tipos de sustrato en la agricultura, un ejemplo de esto, son los polímeros, entre estos, se ha incrementado el uso de las espumas fenólicas, ya que cuentan con una buena retención de humedad, buena aireación, buen soporte para la planta y son degradables, lo que genera un menor impacto ambiental.

En México, la mayoría de las espumas utilizadas en la agricultura son importadas, por lo que no existe un Análisis del Impacto Ambiental generado por el uso de las mismas, y una caracterización de dichos materiales, ya que su demanda va en aumento, se tiene un área de oportunidad en la producción de un polímero que cumpla con las características necesarias para ser un buen sustrato.

En el presente trabajo, se elaboraron espumas para su uso como sustrato hidropónico, las espumas fueron caracterizadas mediante diversas técnicas, y por último, se evaluó el impacto ambiental generado por su elaboración mediante un Análisis de Ciclo de Vida.

1 CAPÍTULO 1

1.1 ANTECEDENTES

La hidroponía deriva del griego “hidro” (agua) y “ponos” (labor), define a la producción de cultivos sin suelo, la palabra fue inventada por W.F. Gericke, en la revista científica (Science, Feb 178:1) publicada en 1937^[1], sin embargo, el cultivo de plantas utilizando hidroponía ha sido practicado desde hace siglos, como por ejemplo, los jardines colgantes de babilonia, jardines flotantes de los aztecas en México y los de China Imperial^[2]. El uso de sustratos como parte de la hidroponía es muy variado, desde materiales arcillosos, poliméricos entre otros.

De acuerdo a la Revista “Media Fertilizer”^[3] existen diversas alternativas de sustratos hidropónicos, en donde se menciona el uso de Espumas Fenólicas, la espuma que mencionan es comercial de la marca Oasis® y la describen de la siguiente forma: son piezas de espuma rígidas, de celdas abiertas y absorbentes de agua diseñadas específicamente para un callo óptimo y una rápida formación de raíces. Hecho de espuma fenólica, los cubos de Oasis® son más utilizados como medio de enraizamiento en la floricultura comercial y hacen un gran medio para iniciar semillas y esquejes en la producción hidropónica. Los cubos de la espuma retienen más de 40 veces su peso en agua y cuentan capilaridad que atrae el agua a la parte superior de la espuma. Tienen un pH neutro y se pueden trasplantar fácilmente en prácticamente cualquier tipo de sistema hidropónico o medio de cultivo.

En Ecuador se realizó un trabajo de tesis^[4] en donde se sintetizó una espuma floral que incorporaba nutrientes y bactericidas para la generación de plantas in vitro. Se utilizaron cinco tratamientos para determinar la mejor composición, que cumplía con las características de las espumas florales existentes. La espuma floral contenía 44.95 partes de resina fenol-formaldehído, componente principal, 11.23 partes de éter de petróleo, 22.48 partes de ácido sulfónico, 2.24 partes de texapon, 7.86 partes de tween, 4.5 partes de urea y 6.75 partes de tintura verde. A la composición se le adicionó 0.0002 g- de sustancias inhibidoras de etileno (Nitrato de plata), 0.0169 g- de preservantes (Citrato de sodio y ácido cítrico), 0.6332 g- de nutrientes (Sulfato de zinc, sulfato de magnesio, fosfato de potasio, sulfato de hierro, sulfato de manganeso, nitrato de calcio y sacarosa), y 0.0665 g- de bactericidas (Sulfato de aluminio y Phyton) por gramo de espuma. La espuma obtenida tiene una capacidad de absorción de 20 veces su peso en agua, presenta un pH de 6.79 y una densidad de 0.0255 g/cm³. Al final del trabajo se observó que no existía una diferencia significativa entre la EF sintetizada y la espuma comercial Oasis®, al realizar una comparación basada en el crecimiento de las plantas con ambas EF.

Se han formulado resinas con adición de materiales en cierta proporción para disminuir la cantidad de fenol utilizado en la producción, algunos de estos materiales pueden provenir de fuentes renovables pero cumpliendo el mismo rendimiento. En 2014 se realizó un estudio en donde se le añadieron taninos de castañas a la resina para formar un copolímero^[5]. En este trabajo se realizaron 3 resinas diferentes, la primera fue la síntesis común, la segunda y la tercera con un contenido diferente de taninos. Se realizó la caracterización de las resinas a través de la medición de viscosidad, y comportamiento exotérmico. Posteriormente se elaboraron las espumas fenólicas y se caracterizaron mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM por sus siglas en inglés), Resistencia mecánica por compresión, conductividad térmica y absorción de humedad. Se concluyó que se pueden elaborar esos copolímeros que poseen mayor resistencia mecánica, conductividad térmica pero menos capacidad de absorción de

humedad, también se observó que las espumas curadas a 80°C con metilen-diisocianato (MDI) son más densas, y la coloración depende del surfactante.

En el año 2014 se realizó un ACV a la producción de espumas fenólicas como material de construcción aislante^[6], y se utilizó el Software SimaPro 7. En este trabajo realizado por la “University of Sheffield” en Reino Unido no se tomó en cuenta la transportación del material químico para la realización de la síntesis, debido a el difícil acceso de información de la fuente de origen de los productos químicos. A través del análisis de los gráficos arrojados por el software se concluyó que el proceso productivo generaba un mayor Impacto Ambiental en dos categorías: agotamiento de agua y ecotoxicidad en cuerpos de agua, por lo que se concluyó que existe un área de oportunidad de mejora en este aspecto, y son categorías que impactan a largo plazo.

Posteriormente, se llevó a cabo la síntesis de espumas rígidas de poliuretano utilizando un macropoliol sintetizado a partir de aceite de castor y poliglicerol, se optimizó mediante un análisis de superficie de respuesta, empleando un diseño factorial 3^2 , los factores evaluados fueron: cantidad de agua y de ácido tartárico, el cual actúa como agente entrecruzante y catalizador; se evaluaron las propiedades mecánicas de las espumas. El macropoliol fue obtenido desde fuentes renovables, mediante la transesterificación de Aceite de Castor (CO) ó Aceite de Castor Maleinizado (MACO) con Poliglicerol (PG). Se evaluó el efecto de las microondas en las reacciones, donde se encuentra una disminución del tiempo; el seguimiento y la caracterización de los productos intermedios se realiza mediante la cuantificación de valor ácido por titulación (ASTM D4662-03) y número de hidroxilos (ASTM D4274-05).^[7]

Para comprobar la efectiva sustitución parcial de los reactivos de uso común en la elaboración de espuma rígidas de poliuretanos (ERP), se elaboraron ERP provenientes de los residuos de la agroindustria azucarera como la melaza de caña de azúcar. La melaza fue utilizada para sustituir parcialmente el polietilén glicol (PEG-300) que es uno de los reactivos comerciales utilizados tradicionalmente para la obtención de espumas de poliuretano. Este sub-producto presentó 4% de humedad. Mediante cromatografía líquida de alta resolución (CLAR) se determinaron los porcentajes de los principales azúcares presentes en la melaza, los cuales fueron de 30.6, 8.4 y 8.2% de sacarosa, glucosa y fructosa, respectivamente. Las espumas sintetizadas con la melaza de caña de azúcar fueron caracterizadas mediante la determinación de la densidad y análisis térmicos y mecánicos. De igual forma se sintetizó una espuma de referencia, la cual contenía todos los materiales de partida excepto la melaza de la caña de azúcar. Los resultados obtenidos indican que la espuma (ERP) que presenta la menor densidad es aquella que contiene un 70% de melaza de la mezcla PEG-Melaza. Asimismo, las pruebas térmicas realizadas indican una tendencia a la disminución de la temperatura inicial de descomposición (Td1) comparada con la espuma de referencia y conforme aumenta la cantidad de melaza utilizada en la preparación del ERP. En general, las pruebas mecánicas de compresión presentan una tendencia a aumentar el esfuerzo a la compresión, conforme se incrementa el porcentaje de melaza en las espumas sintetizadas.^[8]

En la elaboración de espumas cada sustancia tiene un propósito, se realizó un ACV a 3 agentes de soplado utilizados para elaborar espuma de poliuretano; HFC-141b, HFC-245fa, FEA-1100, y basados en la metodología planteada por la ISO 14044, se midió solamente el Potencial de cambio climático (GWP) basado en el IPCC, la unidad funcional utilizada fue de 1ft² de espuma haciendo un análisis del tipo

Cuna-puerta, los resultados obtenidos (GWP) fueron: HFC-141b= 725g CO₂eq, HFC-245fa=1030 gCO₂eq, FEA-11009.4 gCO₂eq. Se utilizaron diversas bases de datos como USLCI, Plastics Europe y EcoInvent y se concluyó que cada agente de soplado en la elaboración de espumas impacta al cambio climático de manera distinta.^[9]

Con base en la normatividad para realizar ACV (ISO 14040-14044:2006), se realizó una comparativa de distintos materiales; Espuma rígida de poliuretano (ERP), y Espuma de poliestireno (EPE), el análisis incluyó los resultados en 3 categorías, Demanda de energía, Demanda de agua y Potencial de Calentamiento global, la unidad funcional fue de 1Kg de material y se utilizó el software SimaPro v7.1.8 con la base de datos Ecoinvent v2.0 (2007), para la ERP los valores fueron: ED=103.782MJeq/Kg, GWP=6.788KgCO₂eq/Kg, WD=350.982 L/Kg, mientras que para el EPE ED=105.486MJeq/Kg, GWP=7.336 KgCO₂eq/Kg, WD=192.729 L/Kg, observándose un mayor impacto en las 3 categorías de la EPE.^[10]

Los polioles se pueden producir de diferente manera, por lo que se han estudiado los efectos de dos tipos de polioles producidos de manera distinta, el primero era un polioliol derivado de poliéter convencional y el segundo de polioliol de poliétercarbonato, al cual, se le asigna una cantidad en %peso (20, 30,40), y se captura el CO₂ y se reutiliza en el proceso. Las categorías evaluadas en el ACV fueron, Calentamiento Global (GWP) Kg (CO₂eq/Kg polioliol) y agotamiento de petróleo (FD) Kgaceite equiv/ (1Kg polioliol); para polioliol convencional GWP=3.57, FD=1.94, Para polioliol-20% W: GWP=3.03, FD=1.87, Para polioliol 30% W GWP=3.01 FD=1.67, polioliol 40% W GW=2.96 FD=1.51, se observó que la producción de polioles de poliétercarbonato genera un menor impacto en ambas categorías a mayor %peso.^[11]

Las espumas son un material que ha sido analizado como tal, pero principalmente como material de construcción o aislante. Se hizo un ACV para prevenir o disminuir el impacto ambiental de diversos productos utilizados en la construcción, comparando 3 tipos de espumas diferentes, en los resultados obtenidos para cambio GWP se obtuvo: Espuma de poliuretano de alta densidad= 4.04 Kg CO₂eq/Kg de material, Espuma de poliestireno 3.36 Kg de CO₂ eq/Kg de material y espuma de urea-formaldehído (fenólica)= 2.71-2.85 Kg CO₂eq/Kg de material. Se concluye que la espuma elaborada a partir de polioles tiene un mayor impacto en la categoría de cambio climático.^[12]

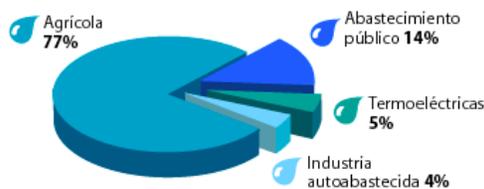
Con base en los antecedentes analizados se concluye que aunque existen las espumas comerciales para cultivos hidropónicos, no cuentan con análisis de impacto ambiental producido por su elaboración. Las espumas que han sido analizadas anteriormente, han sido para uso en construcción, por lo que es una oportunidad el elaborar una espuma que se utilice como sustrato hidropónico y determinar el impacto ambiental que genera su elaboración.

1.2 MARCO TEÓRICO

La agricultura es una actividad que se encarga de producir alimentos, vegetales, flores y frutos para fines alimenticios, estéticos o medicinales, sin embargo, se ha ido transformando poco a poco, optimizando espacios, y la utilización de recursos. Uno de los recursos imprescindibles es el agua, pero al haber tenido una explotación importante, es importante buscar una alternativa para la reducción del consumo del agua en la producción de cultivos.

1.2.1 Uso del agua en la agricultura

La utilización del agua en distintas actividades humanas, la explotación de la misma y el uso irracional, ha ido agotando este recurso de vital importancia para la sobrevivencia de los seres vivos. En México, 77% del agua se utiliza en la agricultura; 14%, en el abastecimiento público; 5%, en las termoeléctricas y 4%, en la industria (Figura 1). [13]



FUENTE: SEMARNAT. Estadísticas del agua en México 2011.

Figura 1. Distribución de uso de agua en México.

La agricultura es una de las actividades que más agua consume a nivel mundial, a nivel nacional es también una de las actividades que más empleos genera. La agricultura es una manera de sobrevivir de los humanos desde hace mucho tiempo. Ha ido madurando de los simples cultivos a prácticas sofisticadas. Colectivamente, esta situación compleja da como resultado el dilema de una agricultura sustentable hoy en día. [2]

1.2.2 Hidroponía

La Hidroponía es una técnica empleada para disminuir el consumo excesivo de agua, al suministrar los nutrientes necesarios, además de prevenir la erosión del suelo al permitir el crecimiento de las plantas sin uso de suelo. La palabra hidroponía se deriva del griego “hidro” (agua) y “ponos” (trabajo, labor) significa trabajo en agua [1].

La Hidroponía es una técnica que utiliza un sustrato y una solución nutritiva para el crecimiento óptimo de los productos. El sustrato es un medio sólido inerte, que tiene una doble función: la primera, anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles la respiración y la segunda, contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan. El empleo de sustratos sólidos por los cuales circula la solución nutritiva, es la base del Cultivo Hidropónico en América Latina.

El cultivo de plantas utilizando soluciones ricas en nutrientes ha sido practicado desde hace siglos. En el año 1600 se inició con el estudio de los constituyentes de las plantas, sin embargo las plantas fueron cultivadas sin tierra tiempo antes de eso. Ejemplos claros de esto, fueron los Jardines Colgantes de

Babilonia y los jardines flotantes de los aztecas en México, y los de China imperial. Existen también jeroglíficos egipcios fechados cientos de años antes de Cristo que describen el cultivo de plantas en agua.

La primera noticia científica escrita, próxima al descubrimiento de los constituyentes de las plantas, data de 1600, cuando el belga Jan Van Helmont mostró en su experiencia que las plantas obtienen sustancias a partir del agua; plantó un tallo de sauce de 5 libras en un tubo con 200 libras de suelo seco al que cubrió para evitar el polvo. Después de regarlo durante 5 años había aumentado 160 libras su peso, mientras que el suelo había perdido apenas 2 onzas; concluyendo que las plantas obtienen del agua la sustancia para su crecimiento, omitiendo que también necesitan dióxido de carbono y oxígeno presentes en el aire.

En 1699 John Woodward, cultivó plantas en agua conteniendo diversos tipos de suelo, y encontró que el mayor desarrollo correspondía a aquellas que contenían la mayor cantidad de suelo; concluyendo que el crecimiento de las plantas es el resultado de ciertas sustancias en el agua, obtenidas del suelo. ^[1]

En 1804 (ya con el apoyo de la química), De Saussure expuso que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, suelo y aire.

La cultura del uso de hidroponía fue popularizada en los años treinta debido a una serie de publicaciones por un científico californiano (Gericke, 1929, 1937, 1940).

Durante la Segunda Guerra Mundial, la armada de los Estados Unidos, estableció jardines hidropónicos en varias islas del Pacífico occidental, para proveer vegetales frescos a sus tropas que operaban en el área (Eastwood, 1947). Desde la década de los ochenta, la hidroponía cobró gran valor comercial en cuanto a la producción de vegetales y flores.

En México el ejemplo más claro de uso de cultivos hidropónicos fueron el uso de las chinampas. Una chinampa (del náhuatl chinamitl, seto o cerca de cañas) es un método mesoamericano antiguo de agricultura y expansión territorial que, a través de una especie de balsas cubiertas con tierra, sirvieron para cultivar flores y verduras, así como para ampliar el territorio en la superficie de lagos y lagunas del Valle de México; haciendo a México-Tenochtitlan una ciudad flotante. Las utilizaban para la agricultura y adueñarse de los otros terrenos^[2].

La técnica hidropónica se fue sofisticando con el tiempo, hasta obtener diferentes técnicas de riego, sustratos y soluciones nutritivas disponibles hoy en día.

El sustrato es un material sólido que sirve de soporte a las raíces y que debe cumplir varias funciones como son:

- Ser físicamente adecuados
- Deben ser livianos
- Retener buena humedad
- Permitir una correcta aireación
- No debe degradarse fácilmente

- Ser químicamente inertes
- El sustrato no debe absorber ni suministrar ningún elemento nutritivo, puesto que esto representaría una alteración en la solución nutritiva.
- Ser biológicamente inertes
- El sustrato debe estar libre de plagas y enfermedades. Es peligroso utilizar cualquier material que contenga tierra, especialmente compost o materiales arcillosos, pues los riesgos de infección pueden dañar totalmente un cultivo.

Ejemplos de sustratos poliméricos utilizados en hidroponía son los hidrogeles y las espumas fenólicas, aunque sus fines específicos son diferentes, ya que por ejemplo, en el caso de los hidrogeles se busca alargar el tiempo de irrigación en las plantas, y en el caso de las espumas se busca dar un buen soporte para la producción de plántulas.

El primer hidrogel superabsorbente fue reportado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América y lo aplicaron en la retención de humedad y en la liberación de sustancias nutritivas (abonos). Los hidrogeles se han empleado en agricultura para realizar estudios de crecimiento de plantas en el laboratorio, para el trasplante en terrenos "sin tierra" y también para analizar su efecto sobre el consumo de agua y nutrientes en suelos cuidadosamente mantenidos. En esta última aplicación se han empleado para analizar el efecto de la frecuencia de riego y el suministro de nutrientes, observando características del material como la capacidad de retención de agua tanto destilada como con altos contenidos de sales.^[14]

Las espumas florales han sido usadas por largo tiempo como soportes para flores cortadas y transportación de estas, pero hoy en día su uso se ha extendido en la técnica de hidroponía. La espuma es usada como soporte para sostener y fijar flores o plantas, las cuales pueden absorber agua y mantenerse vivas por un tiempo determinado. La espuma fenólica (Figura 2) posee celdas celulares las cuales presentan paredes celulares perforadas o rotas, las cuales permiten la absorción de agua, característica fundamental para tener una buena retención de humedad, y poder alargar el intervalo de irrigación de los cultivos.



Figura 2. Espuma fenólica enraizada lista para trasplante.^[15]

1.2.3 Elaboración de espumas

La espuma fenólica se sintetiza a partir de una reacción entre fenol y formaldehído (Figura 3). Si se utiliza un catalizador ácido para la síntesis de la resina se obtendrá una resina tipo Novolac, si se utiliza un catalizador básico se obtendrá una resina tipo Resol. Es importante conocer el tipo de resina que se seleccionará, una característica que se busca en las espumas fenólicas para uso hidropónico es la retención de humedad, por lo que se utilizará una resina tipo Resol que permitirá tener esta propiedad, gracias a la formación de celdas abiertas.

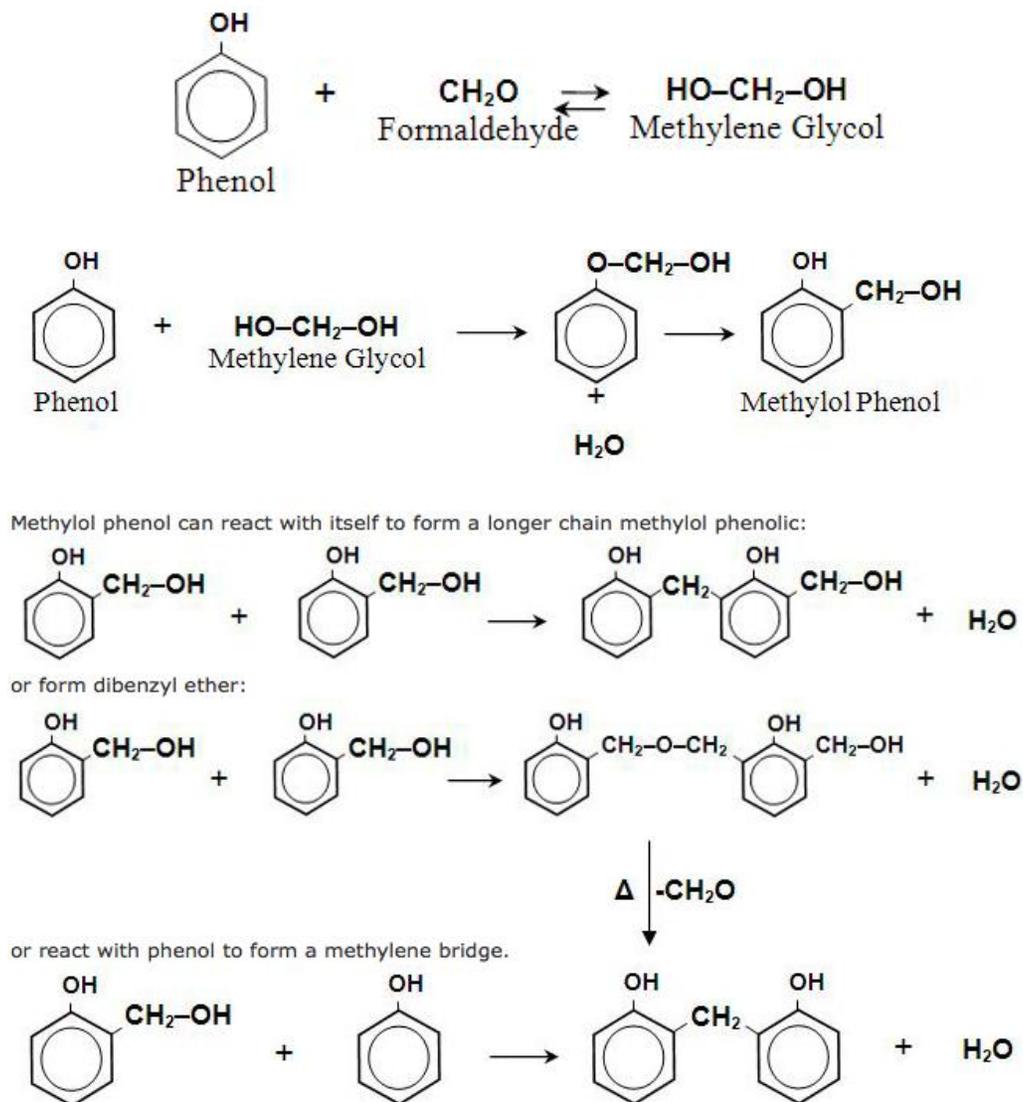


Figura 3. Reacciones que ocurren para llevar a cabo la polimerización de la resina tipo Resol^[16]

Posteriormente la resina pasa al proceso de espumado, curado y secado a temperatura ambiente en un molde. Y se obtiene la espuma fenólica que debe ser inocua y contar con buena aireación y retención de humedad.

Ítems		Valor
<u>Condiciones</u>		
Componentes	Fenol	1
(moles)	Formaldehído 37%	1 a 3 (Preferentemente 1.5 a 2)
	Catalizador alcalino	0.005 a 0.1 (Preferentemente 0.01 a 0.05)
Temperatura		Menor a 100°C.
Tiempo		Aproximadamente 3 horas.
<u>Propiedades</u>		
	Contenido no volátil	70 a 90
	Viscosidad (Cp/25°C)	3000 a 10000
	pH	6.8 a 7.2
	Fenol libre (%)	Menor a 5
	Formaldehído libre (%)	Menor a 5

Figura 4. Condiciones de preparación y propiedades de resol (Iwasaki, 1990).

<u>Componentes</u>	<u>Composición</u>
Resina Fenol – Formaldehído	76 – 83
Surfactante	3 – 4
Agente de Humectación	3 – 4
Agente de soplado	4 – 5
Urea	1
Catalizador acido fenol – sulfónico	4 – 5
Color	0.5

Figura 5. Composición para la elaboración de espuma fenólica (floral) (Pilato, 1979).

Las espumas de poliuretano surgen de la reacción de un polioli e isocianato (Figura 6), y tienen diversas aplicaciones. La formulación depende de la aplicación final para el cual será empleado el polímero, por ejemplo: colchones, material aislante, juguetes, relleno de almohadas o sillones, embalaje, etc..

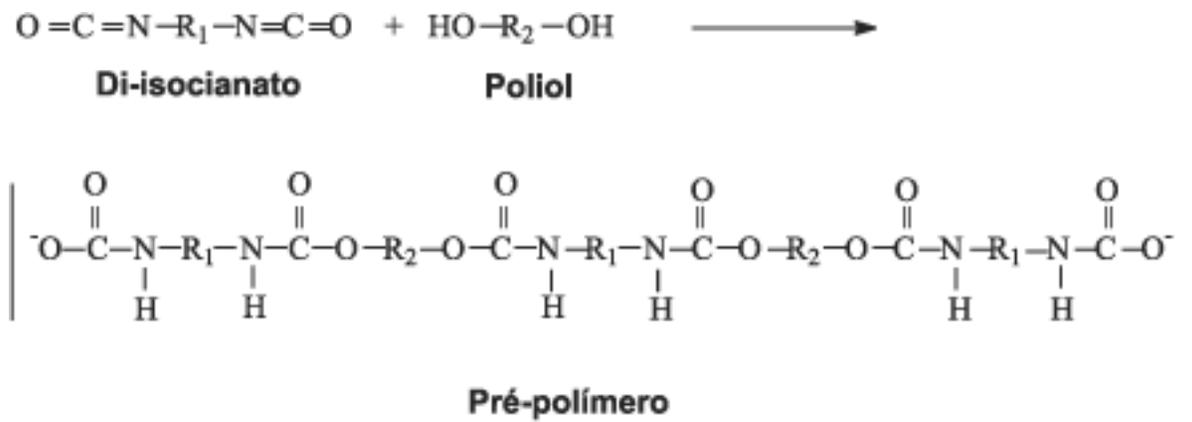


Figura 6. Reacción general de polimerización de poliuretano.

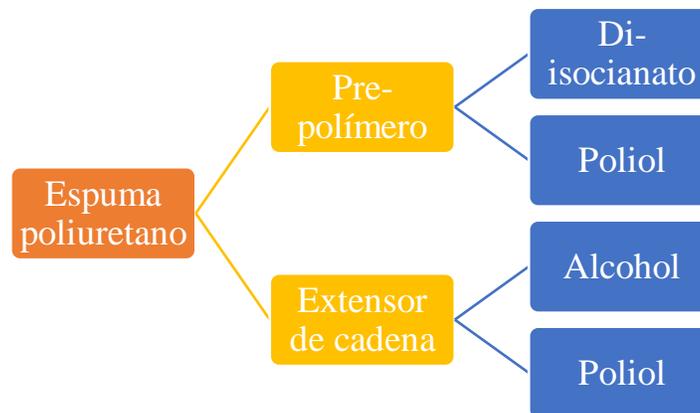


Figura 7. Composición de una espuma de poliuretano.

La formulación de espumas se basa en polioles de bajo número de hidroxilo combinado con isocianatos de bajo contenido en grupos funcionales. El isocianato y el polioli mezclados ocasionan una serie de reacciones químicas que conducen a la polimerización (unión de varios monómeros), esta reacción es exotérmica y genera CO₂ que provoca la expansión de la mezcla^[17], así como la formación de las pequeñas celdas en el momento del cremado de la espuma. La importancia de las celdas obtenidas definen la utilización que se le dará a la espuma.

1.2.4 Caracterización

Para determinar las características de un material o producto se pueden llevar a cabo diversas técnicas a partir del estudio de propiedades químicas, físicas, estructurales, entre otras, a esto, se le conoce como caracterización.

1.2.4.1 Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)

Esta técnica proporciona un espectro de reflexión de las bandas de los grupos funcionales de las sustancias inorgánicas y orgánicas, por lo cual es posible realizar una identificación de los materiales. El

equipo dotado de una sonda con fibra óptica permite el análisis directo de la superficie del objeto de estudio (Figura 8).^[18]

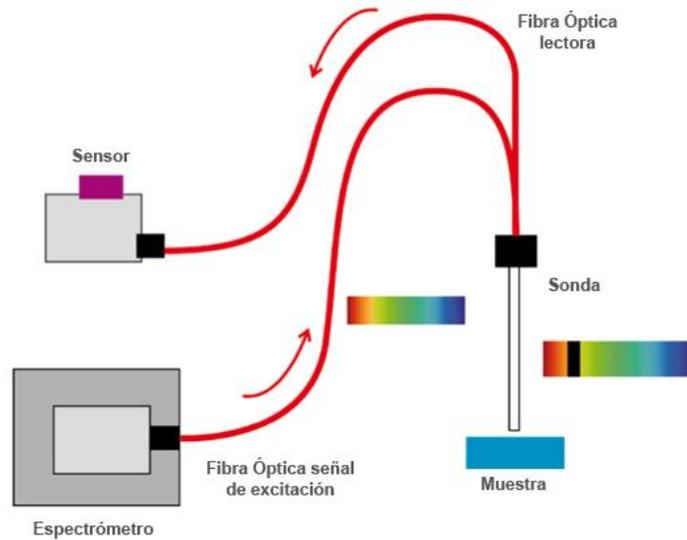


Figura 8. Espectrómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR)^[18]

1.2.4.2 Rayos X

La difracción de rayos X es una técnica de análisis instrumental que se basa en la capacidad de la materia de dispersar o desviar la energía en forma de rayos X que impacta sobre ella. Los difractogramas de los materiales poliméricos presentan picos cristalinos más anchos que los de sustancias sencillas.^[19]

1.2.4.3 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-Scanning Electron Microscopy)

En un microscopio electrónico de barrido la imagen se obtiene a partir de las señales emitidas por la muestra y se va formando a medida que el haz de electrones se desplaza sobre una porción de su superficie (Figura 9). Este barrido (*scanning*) se realiza línea por línea sobre una pequeña zona de forma rectangular (*raster*). Esta zona es la que se visualiza ampliada en la imagen final. A medida que el haz explora la muestra de esta manera la intensidad de la señal generada varía según el punto particular analizado en cada instante. La señal detectada puede ser entonces analizada y amplificada, tanto en su forma analógica como digital, y finalmente procesada convenientemente.^[20]

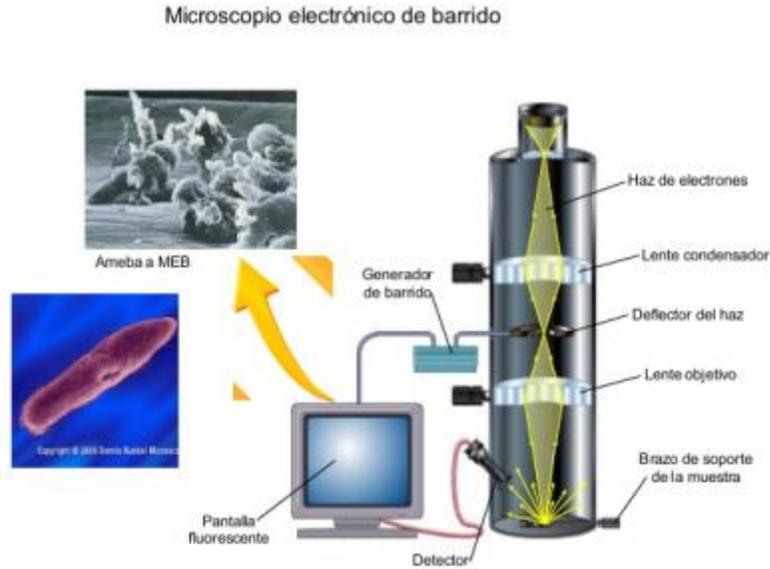


Figura 9. Microscopio Electrónico de Barrido ^[21]

1.2.5 Impacto Ambiental

El impacto ambiental se define como “Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o la naturaleza” de acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Una cuestión importante con respecto al Impacto Ambiental, es la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el CO₂, los cuales están provocando el Cambio Climático. Cada proceso o actividad genera estos gases, por lo cual es importante medirlos y buscar alternativas para minimizar sus emisiones. Una forma de hacerlos es realizando un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del producto o proceso.

1.2.6 Análisis de Ciclo de Vida

El ACV de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de dicho producto. ^[22]La norma ISO 14040:1997 establece que “el ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto, lo cual se efectúa recopilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”. ^[23]

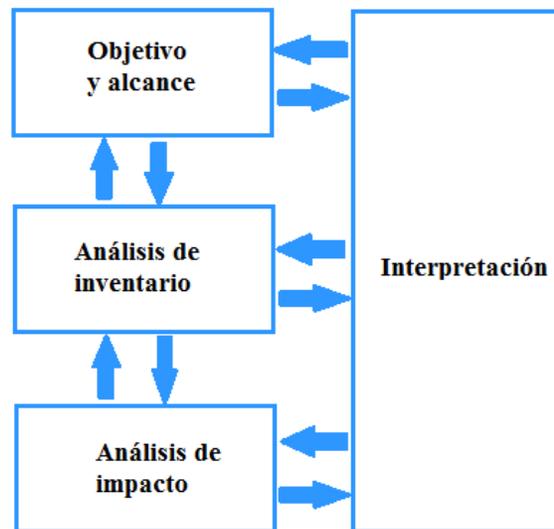


Figura 10. Fases de ACV ^[24]

1.2.6.1 Fases del Análisis de Ciclo de Vida.

- a) Definición de objetivos y alcance: Se deben precisar los objetivos que motivan el estudio, así como los límites del sistema a analizar e identificar los componentes del ciclo de vida.
- b) Análisis de inventario: se desarrollan aquí los balances de materia y energía a través de los diferentes componentes del ciclo de vida.
- c) Evaluación de los impactos ambientales potenciales: debe considerar la salud y seguridad de las personas, y las cargas ambientales. Se debe identificar y caracterizar, previamente, los compartimentos ambientales a incluir en el análisis y su relación con las etapas del ciclo de vida del producto.
- d) Interpretación: con base en el análisis anterior, se debe identificar y evaluar medidas de mejoramiento que permitan reducir aquellos impactos de mayor relevancia. ^[24]

1.2.6.2 Categorías de Impacto

Existen diversas categorías de impacto analizables en un ACV, por ejemplo: Calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad humana carcinogénico y no carcinogénicos, efectos respiratorios, radiación, ecosistemas, formación de ozono fotoquímico, acidificación, eutrofización, ecotoxicidad, uso de suelo, agotamiento de recursos hídricos, agotamientos de recursos minerales, combustibles fósiles y recursos renovables, entre otros (Tabla 1). La selección de las categorías a analizar depende el tipo de proyecto, así como el *software* utilizado.

Tabla 1. Principales categorías de impacto ambiental.

Categoría de impacto	Unidades	Descripción
Calentamiento global	Kg CO ₂ eq	Gases de efecto invernadero que ocasionan el calentamiento global, utiliza potenciales de calentamiento global del reporte del IPCC (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático) 2007, en una proyección de 100 años.
Agotamiento de la capa de ozono	Kg CFC-11 eq	Potenciales de agotamiento de la capa de ozono obtenidos de la WMO (Organización Meteorológica Mundial) usada para convertir los gases a equivalentes de CFC-11.
Carcinogénicos	CTUh	Utiliza Unidades Comparativas de Toxicidad, incluye inhalaciones en exteriores, ingesta de agua e ingesta indirecta de toxinas.
No carcinogénicos	CTUh	Utiliza Unidades Comparativas de Toxicidad, incluye inhalaciones en exteriores, ingesta de agua e ingesta indirecta de toxinas.
Material particulado	Kg PM 2.5 eq	Fracción tomada de partículas finas estimadas a través de emisiones de las mismas.
Radiación ionizante – humanos	Kg U235 eq	Incluye transferencia de contaminantes al ambiente y el potencial a la exposición. Se puede asociar también a varios materiales radioactivos de larga y media vida.
Radiación ionizante – ecosistema	CTUe	Utiliza Unidades Comparativas de Toxicidad para los ecosistemas utilizados, el modelo actual se enfoca en los efectos en el agua.
Formación de ozono fotoquímico	Kg NMVOC eq	Emisiones que causan el incremento de la concentración de ozono en la tropósfera y se caracteriza por compuestos orgánicos volátiles (no metano), debido a que causan daño a la vegetación y a la salud.
Acidificación	Kg SO ₂ eq	Basado en la acumulación excesiva, esto incluye la deposición y transportación de emisiones a la atmósfera.
Eutrofización suelo-marina	Kg N eq	Basado en la acumulación excesiva, un análisis del suelo y condiciones atmosféricas, toma en cuenta la sensibilidad de la biodiversidad en distintas áreas.
Eutrofización agua	Kg P eq	Estima la concentración de nutrientes que han sido transferidos al agua, enfocándose al Fósforo (P)
Ecotoxicidad	CTUe	Utiliza Unidades Comparativas de Toxicidad en el ecosistema, tomando en cuenta el transporte, la exposición y los efectos.
Uso de suelo	Kg C deficit	Analiza la calidad del suelo utilizado, utiliza como indicador la materia orgánica.
Agotamiento de agua	m ³ agua eq	Considera el uso de agua y lo relaciona a la escasez local.
Agotamiento de combustibles fósiles	MJ- Kg Sb eq	Utiliza el potencial de agotamiento abiótico, un ratio entre la extracción anual del recurso y las reservas disponibles.

2 CAPÍTULO 2

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

La agricultura es una actividad indispensable para la sobrevivencia del ser humano, pero esta actividad genera un impacto ambiental derivado de: la utilización excesiva de agua, explotación de suelos, utilización de químicos. Dicho lo anterior se deben buscar alternativas para disminuir este impacto ambiental. Una alternativa en la disminución de uso de suelos es mediante la utilización de técnicas hidropónicas, haciendo uso de un sustrato que sustituya y cumpla la función de los suelos. La protección del suelo es esencial para mantener una producción potencial y asegurar una buena calidad en los productos de cultivo. En la actualidad se requieren prácticas en las que se deben conservar los recursos naturales, como es el caso del suelo y agua. Se deben adoptar alternativas buscando llegar a una Agricultura Sustentable. Existen áreas de preocupación para lograr una Agricultura Sustentable que se describen en la Figura 11.

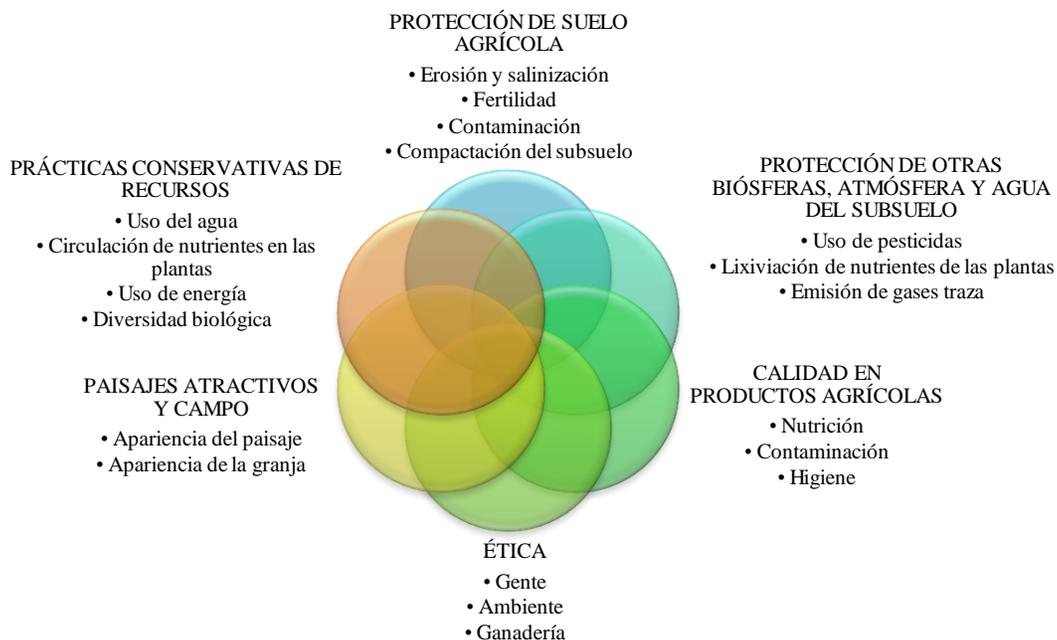


Figura 11. Áreas de preocupación para una Agricultura Sustentable. [2]

Con base en la Figura 11, y enfocándose en la protección del suelo y agua se puede implementar la hidroponía.

La Hidroponía es una técnica que se preocupa por la Sustentabilidad Agrícola, a través de la reducción del uso de agua y suelos. Ésta técnica, lo logra mediante la adición de la solución nutritiva a un sustrato. La técnica hidropónica ha ido incrementando considerablemente con el tiempo, ya que no usa plaguicidas, y actualmente ya se pueden adquirir productos hidropónicos en supermercados.

La espuma es un sustrato utilizado en Hidroponía, mayormente para la obtención de plántulas, gracias a su buena retención de humedad, soporte y buena aireación, características importantes para la selección de un sustrato hidropónico. Existen empresas dedicadas a su fabricación, y se logran excelentes cultivos mediante su utilización. Actualmente en México las espumas son importadas, y no se cuenta con la información del impacto ambiental generado por su uso y producción, así como las características de una espuma hecha en México, debido a esto es importante conocer dicho impacto a través de la estimación de GEI emitidos durante el proceso productivo de las espumas fenólicas o de otra espuma que cuente con las características adecuadas para su uso como sustrato en cultivos hidropónicos.

2.2 JUSTIFICACIÓN

Al ser la agricultura la actividad productiva que más agua consume y una causante de erosión de suelos, es importante encontrar técnicas agrícolas que afecten menos al planeta. Es importante buscar la sustentabilidad agrícola ya que es una actividad indispensable para la vida humana.

La producción de cultivos a partir de las técnicas hidropónicas, ha ido creciendo con el tiempo. Ésta técnica es importante ya que disminuye el uso de agua y suelos. Actualmente existen diversas técnicas hidropónicas en donde varía el sustrato utilizado. Un sustrato debe ser aquella sustancia inerte capaz de retener humedad y mantener aireación para obtener cultivos en condiciones óptimas. El uso de Espumas como sustrato hidropónico va incrementando en México, y se utilizan principalmente para la producción de esquejes para posterior trasplante. Las Espumas son inocuas, permiten el crecimiento de plántulas evitando utilizar el suelo y disminuyen el consumo excesivo de agua al poseer retención de humedad y la capacidad de suministrar los nutrientes necesarios, además de que se degradan fácilmente.

Es imprescindible conocer el daño que se está generando al planeta a través de la utilización de un producto o servicio. Es por esto, que se pretende utilizar una técnica capaz de medir las emisiones de GEI derivados del proceso de producción de una Espuma, que es el Análisis de Ciclo de Vida. Y así tener una estimación del Impacto Ambiental generado por la utilización de este polímero en la técnica hidropónica.

2.3 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una espuma para uso como sustrato hidropónico.

2.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sintetizar una Espuma con las características necesarias para su uso en cultivos hidropónicos.
- Caracterizar la Espuma obtenida para definir sus características y propiedades.
- Realizar un Análisis de Ciclo de Vida a la Espuma para uso agrícola.

3 CAPÍTULO 3

3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental seleccionado para el proyecto se basa en tomar en cuenta si la concentración A:B de las espumas no afecta las propiedades de la misma al considerarse iguales, por lo que se selecciona un diseño experimental de un solo factor.

Tabla 2. Factores estadísticos del Diseño Experimental para la síntesis de la Espuma.

Espuma (Concentración A:B)	Variable de respuesta			Unidad Experimental
	1.Tamaño de poro (micrómetro) 2.% masa de Absorción			Espuma
1:1				
1:1.5				
1.5:1				

Se decide realizar el diseño con 2 variables seleccionadas debido a la importancia que tienen en la caracterización de la espuma.

HIPÓTESIS

“La concentración A:B de las espumas no afecta el tamaño de poro y el porcentaje de absorción ya que es igual en todas las espumas”.

3.1.1 Tamaño de poro

Para la determinación de si la concentración A:B de la Espuma no afecta al tamaño de poro debido a que todas sus medias son iguales se utilizará un diseño experimental de un solo factor para tres concentraciones. Los tratamientos son las concentraciones de las mezclas A:B, en donde: el componente A (prepolímeros de uretano: polioli-TDI) y componente B (diisocianato polimérico-diisocianato de difenil metano-Resina poliéster) respectivamente.

Tabla 3. Tamaño de poro de espumas a diferentes concentraciones.

Espuma (Concentración A:B)	Variable		
	Tamaño de poro (micrómetro)		
1:1	450	550	450
1:1.5	380	400	400
1.5:1	475	750	730

HIPÓTESIS

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3$$

$$H_1 = \tau_i \neq 0$$

El problema se considera como análisis de un solo factor

ESTADÍSTICO DE PRUEBA

$$F_0 = \frac{MS_{trat}}{MS_{error}}$$

CRITERIO DE RECHAZO

$$|F_0| > F_{tablas}$$

Tabla 4. Análisis de Varianza.

Tabla ANOVA					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F ₀	F _{tablas}
Concentración	103,172.21	2	51,586.11	5.74	F _(0.05,2,6) =5.14
Error	53,950.01	6	8911.67		
Total	157,122.22	8			

► Como:

$$|F_0| > F_{tablas} = 25.74 > 5.14$$

H₀ se rechaza, se concluye que existe diferencia entre las 3 concentraciones de espuma.

Para realizar una comprobación se realizan pruebas de comparación múltiple.

Ordenando medias

$$\bar{y}_2, \bar{y}_1, \bar{y}_3.$$

Prueba Fisher

$$LSD=189.44$$

$|\bar{y}_2. - \bar{y}_3.| = 258.34 > 189.44$ por lo tanto, las medias son diferentes

$|\bar{y}_2. - \bar{y}_1.| = 90 < 189.44$ por lo tanto, las medias son iguales

$|\bar{y}_1. - \bar{y}_3.| = 168.34 < 189.44$ por lo tanto, las medias son iguales

$\bar{y}_2. \bar{y}_1. \bar{y}_3.$

Prueba Tukey

$T_{0.05}=238.30$

$|\bar{y}_2. - \bar{y}_3.| = 258.34 > 238.30$ por lo tanto, las medias son diferentes

$|\bar{y}_2. - \bar{y}_1.| = 90 < 238.30$ por lo tanto, las medias son iguales

$|\bar{y}_1. - \bar{y}_3.| = 168.34 < 238.30$ por lo tanto, las medias son iguales

$\bar{y}_2. \bar{y}_1. \bar{y}_3.$

Prueba Duncan

$R_3=189.44$

$R_2=196.01$

$|\bar{y}_2. - \bar{y}_3.| = 258.34 > 189.44$ por lo tanto, las medias son diferentes

$|\bar{y}_2. - \bar{y}_1.| = 90 < 196.01$ por lo tanto, las medias son iguales

$|\bar{y}_1. - \bar{y}_3.| = 168.34 < 196.01$ por lo tanto, las medias son iguales

$\bar{y}_2. \bar{y}_1. \bar{y}_3.$

Prueba Newman-keuls

$K_3=189.44$

$K_2=237.62$

$|\bar{y}_2. - \bar{y}_3.| = 258.34 > 189.44$ por lo tanto, las medias son diferentes

$|\bar{y}_2. - \bar{y}_1.| = 90 < 237.62$ por lo tanto, las medias son iguales

$|\bar{y}_1 - \bar{y}_3| = 168.34 < 237.62$ por lo tanto, las medias son iguales

$\bar{y}_2, \bar{y}_1, \bar{y}_3.$

Validación del supuesto de Normalidad

- ▶ Para realizar el supuesto de normalidad se debe efectuar el cálculo de la frecuencia acumulada mediante la siguiente fórmula:

$$f.a. = \frac{j - 0.5}{n}$$

- ▶ Y se calculan los residuales con la fórmula:

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij}$$

Tabla 5. Residuales vs Frecuencia acumulada

j	e_{ij}	Frecuencia acumulada (f.a.)
1	-176.66	0.06
2	-33.33	0.23
3	-13.33	0.39
4	6.67	0.56
5	66.67	0.72
6	78.33	0.83
7	98.33	0.94

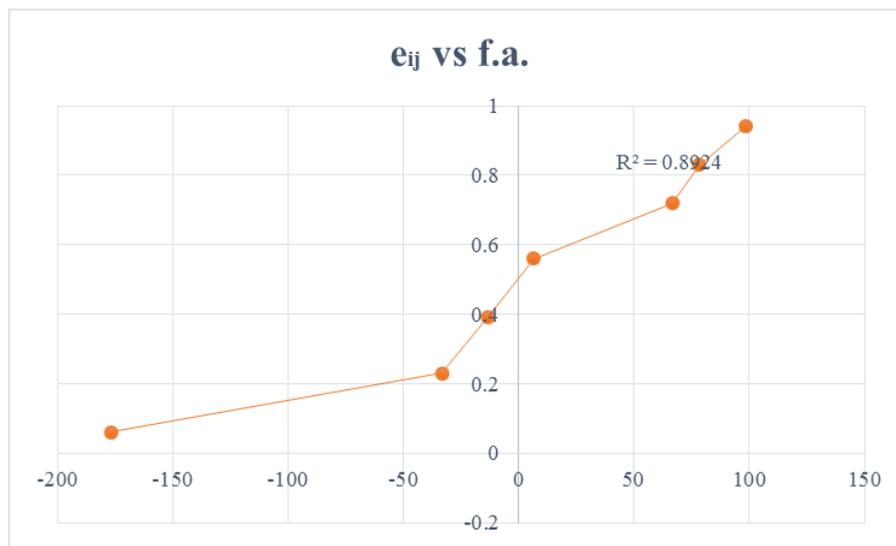


Figura 12. Gráfica de residuales vs frecuencia acumulada.

Por lo tanto: H_0 se rechaza y el tamaño de poro de las distintas concentraciones es diferente.

3.1.2 Absorción

Para la determinación de si la concentración A:B de la Espuma afecta la absorción debido a que todas sus medias son iguales se utilizará un diseño experimental de un solo factor para tres concentraciones. Los tratamientos son las concentraciones de las mezclas A:B, en donde: el componente A (prepolímeros de uretano: polioli-TDI) y componente B (diisocianato polimérico-diisocianato de difenil metano-Resina poliéster) respectivamente.

Tabla 6. Absorción de espumas a diferentes concentraciones (%masa).

Espuma (Concentración A:B)	Variable		
	Absorción (% masa)		
1:1	15.12	15.58	16.16
1:1.5	12.41	11.98	12.07
1.5:1	13.76	14.01	14.25

HIPÓTESIS

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3$$

$$H_1 = \tau_i \neq 0$$

El problema se considera como análisis de un solo factor

ESTADÍSTICO DE PRUEBA

$$F_0 = \frac{MS_{trat}}{S_{error}}$$

CRITERIO DE RECHAZO

$$|F_0| > F_{tablas}$$

Tabla 7. Análisis de Varianza.

Tabla ANOVA					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F ₀	F _{tablas}
Concentración	18.05	2	9.025	69.42	F _(0.05,2,6) =5.14
Error	0.77	6	0.13		
Total	18.82	8			

► Como:

$$|F_0| > F_{tablas} = 69.42 > 5.14$$

H₀ se rechaza, se concluye que existe diferencia en al menos 1 de las 3 concentraciones de espuma.

Para realizar una comprobación se realizan pruebas de comparación múltiple.

Ordenando medias:

$$\bar{y}_2. \bar{y}_3. \bar{y}_1.$$

Al realizar las pruebas Fisher, Tukey, Duncan y Newman-Keuls, se obtiene como resultados que todas las medias son diferentes.

Validación del supuesto de Normalidad

► Para realizar el supuesto de normalidad se debe efectuar el cálculo de la frecuencia acumulada mediante la siguiente formula:

$$f. a. = \frac{j - 0.5}{n}$$

► Y se calculan los residuales con la fórmula:

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij}$$

Tabla 8. Residuales vs Frecuencia acumulada

j	e _{ij}	Frecuencia acumulada (f.a.)
1	-0.5	0.06
2	-0.25	0.17
3	-0.17	0.28
4	-0.09	0.39
5	-0.04	0.50
6	0	0.61
7	0.25	0.72
8	0.26	0.83
9	0.54	0.94

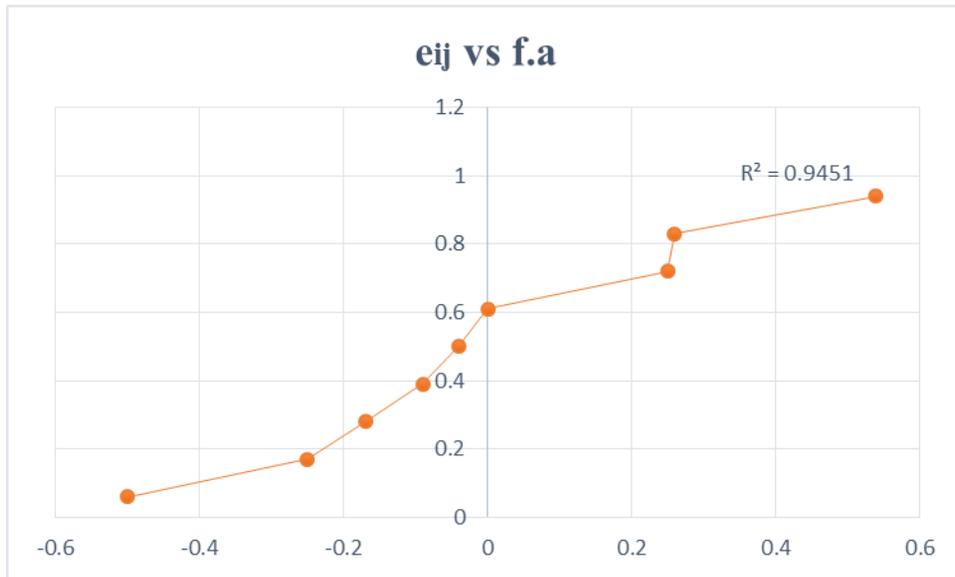


Figura 13. Gráfica de Residuales vs frecuencia acumulada.

Por lo tanto: H_0 se rechaza y la absorción de las distintas concentraciones es diferente.

3.2 ESTRATEGIA EXPERIMENTAL

El experimento sigue el Diagrama de flujo mostrado en la Figura 14.

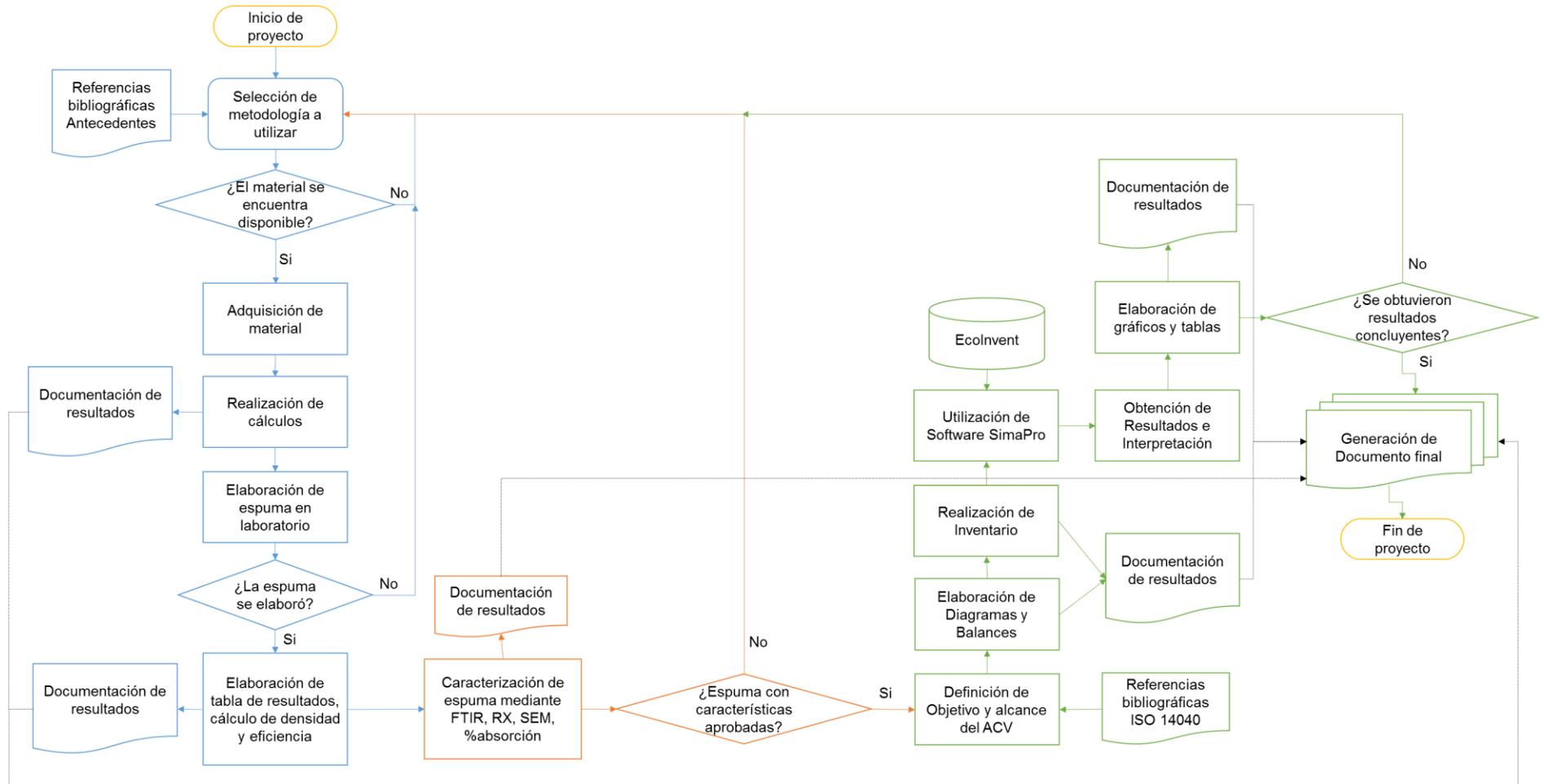


Figura 14. Diagrama de flujo del proyecto.

Se llevó a cabo el proyecto en 3 partes:

1. Elaboración en laboratorio de espumas.
2. Caracterización de espumas.
3. Análisis de Impacto ambiental a través de la metodología Análisis de Ciclo de Vida.

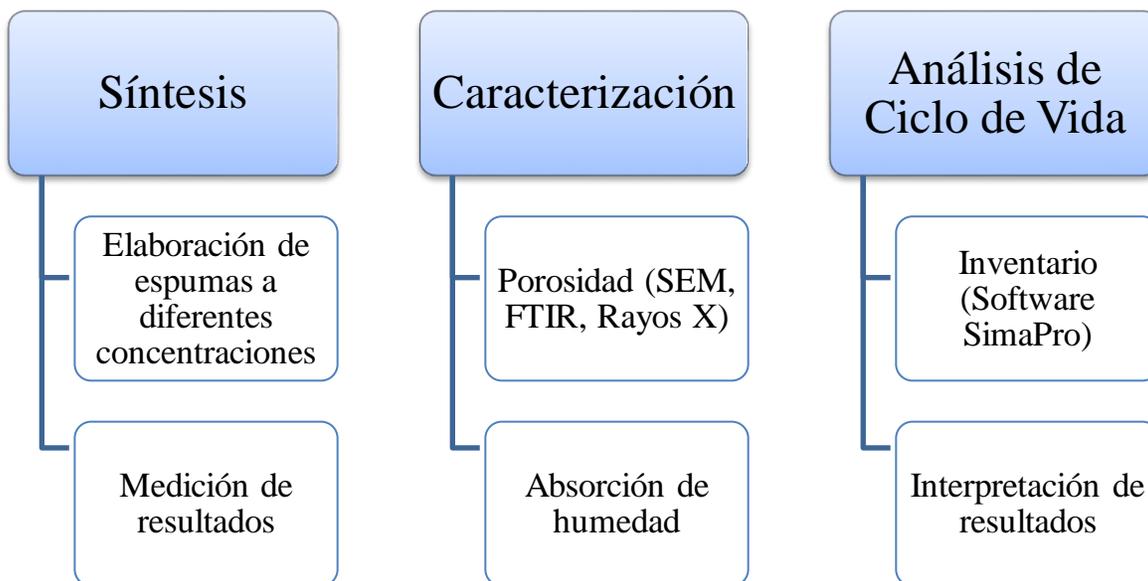


Figura 15. Fases del proyecto.

Para la primera parte del proyecto denominado Síntesis, primero se llevó a cabo la investigación de las espumas, así como antecedentes, y se siguió el diagrama de flujo de la Figura 14, la parte de caracterización se llevó a cabo una parte en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y otra parte en la Universidad Nacional Autónoma de México, por último, el Análisis de Ciclo de Vida se realizó en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambientales y Tecnológicas en España.

3.3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.3.1 Elaboración de espuma de polioliol

- Colorante azul
- Diisocianato de Tolueno (TDI)
- Polioliol de poliéter
- 4,4 diisocianato de difenil metano (MDI)
- Diisocianato polimérico
- Resina poliéster
- Agitador de vidrio
- Molde de poliestireno
- Balanza Analítica



Figura 16. a) Prepolímeros de uretano-di-isocianato b) colorante.



Figura 17. a) molde estrella b) molde cuadrangular.

Las espumas de poliuretano o poliúricas surgen de la reacción de un poliol+isocianato, y tienen diversas aplicaciones. Se elaboraron en laboratorio 9 espumas, utilizando diferentes concentraciones de acuerdo al diagrama mostrado en la Figura 18.

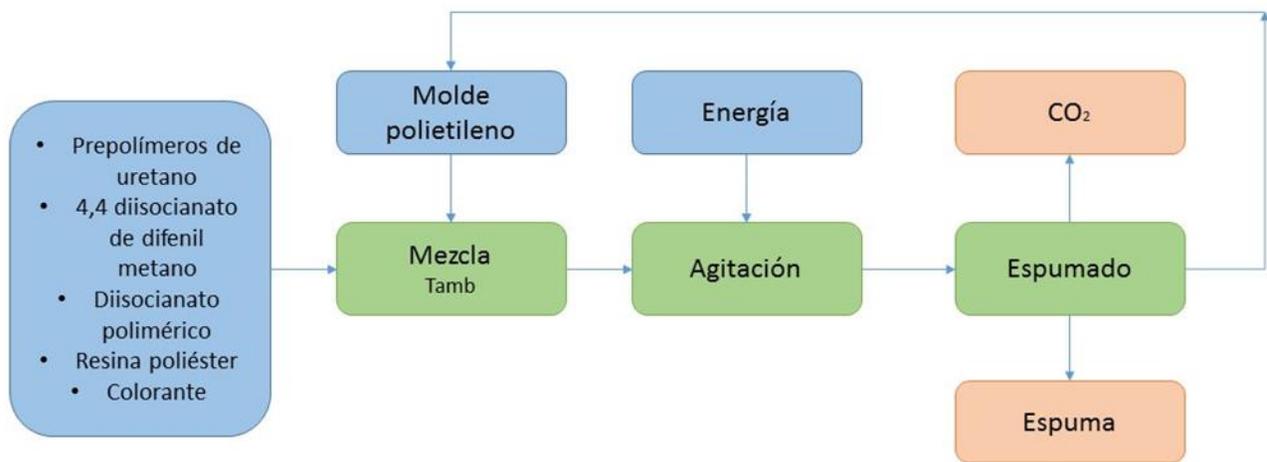


Figura 18. Diagrama general de elaboración de espumas poliédicas.

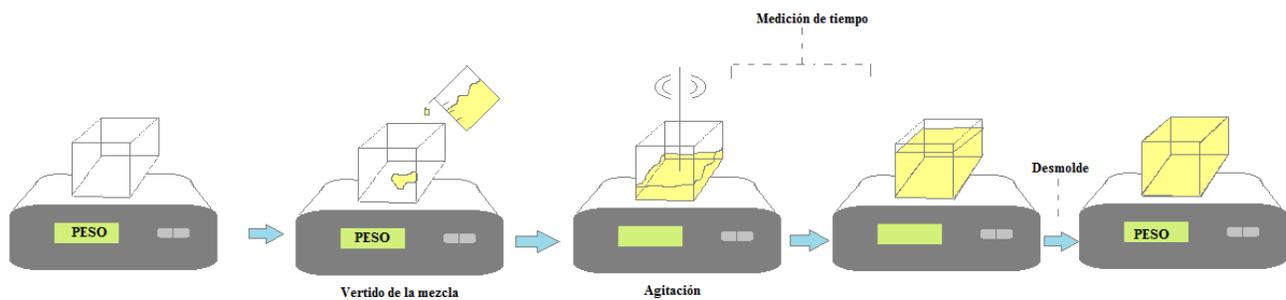


Figura 19. Elaboración de espuma.

La Figura 19 muestra el proceso de elaboración de espuma en laboratorio, primero se pesa el molde (Figura 20), después se agrega la mezcla previamente calculada (Tabla 9) y se agita (Figura 21), se desmolda y se obtiene la espuma y se pesa. Durante la agitación y el proceso de espumado se mide el tiempo en que comienza a hacer reacción (cremado) y el tiempo final (espumado) (Tabla 12).



Figura 20. Pesado en balanza analítica del componente.

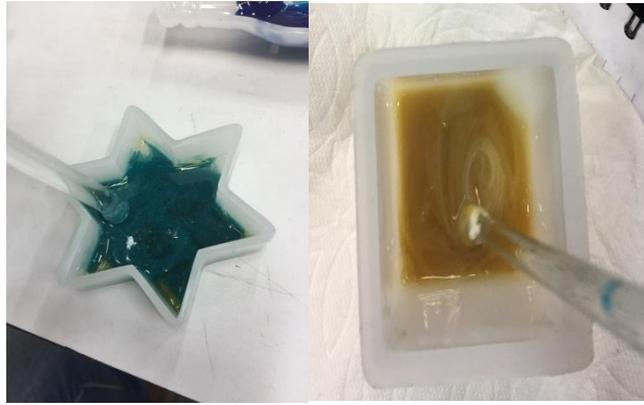


Figura 21. Agitación de la mezcla en el molde.

Tabla 9. Composición de elaboración espuma a partir de poliols.

Nombre	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Composición teórica A:B		1.0:1.0			1.0:1.5			1.5:1.0	
A/B	1.0082	0.9716	0.9669	1.4129	1.5014	1.3437	1.5592	1.4854	1.5634
Composición real A:B	1.0082:1.0	0.9716:1.0	0.9669:1.0	1.0:1.4129	1.0:1.5014	1.0:1.3437	1.5592:1.0	1.4854:1.0	1.5634:1.0
Masa A (g)	3.1608	3.5791	3.0106	3.2997	2.5092	2.9737	4.0752	3.7271	4.0773
Masa B (g)	3.1350	3.6839	3.1137	4.6622	3.7672	3.9958	2.6137	2.5091	2.6079
Prepolímeros de uretanos (%)		60.0			60.0			70.0	
4,4 diisocianato de difenil metano (%)		10.0			5.0			5.0	
Diisocianato polimérico (%)		10.0			5.0			5.0	
Resina poliester (%)		20.0			30.0			20.0	
Prepolímeros de uretanos (g)	3.5215	4.0820	3.5789	4.6191	3.6161	4.0231	4.4304	4.1487	4.4834
4,4 diisocianato de difenil metano (g)	0.5869	0.6803	0.5965	0.3849	0.3013	0.3353	0.3165	0.2963	0.3202
Diisocianato polimérico (g)	0.5869	0.6803	0.5965	0.3849	0.3013	0.3353	0.3165	0.2963	0.3202
Resina poliester (g)	1.1738	1.3607	1.1930	2.3096	1.8081	2.0116	1.2658	1.1853	1.2810
Colorante (g)	0.0000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000	0.1000

3.3.2 Caracterización de espuma

Para la caracterización se utilizaron los siguientes equipos:

- Microscopio Electrónico de Barrido de JSM-IT300 JEOL
- Microscopio Electrónico de Barrido de JSM-6400
- Infrarrojo NICOLET 510P, NIC-PLAN
- Rayos X - Espectroscopio por dispersión de rayos X (EDS) 2 Detectores
- Balanza analítica Ainsworth AA-250

3.3.3 Análisis de Impacto ambiental a través del Análisis de Ciclo de Vida

Se llevo a cabo un Análisis de Ciclo de Vida comparativo entre la espuma polioliol-fenol para definir cual espuma genera un mayor impacto al medio ambiente. El análisis se llevó a cabo basado en la normatividad ISO 14040 (ISO, 2006) los estándares ISO 14044 (ISO, 2006), de acuerdo a la familia de estándares ISO [26,27]:

UNE EN ISO 14040: 2006: Environmental management. Life Cycle Assessment. Principles and frame of reference.

UNE EN ISO 14044: 2006: Environmental management. Life Cycle Assessment.

La metodología ACV se realizó en 4 fases:

- a) Definición de objetivos y alcance: Se precisaron los objetivos que motivaron el estudio, así como los límites del sistema analizado y se identificaron los componentes del ciclo de vida.
- b) Análisis de inventario: se desarrollaron balances de materia y energía (Tabla 10 y 11) a través de los diferentes componentes del ciclo de vida y se elaboró un diagrama general (Figura 22 y 18).
- c) Evaluación de los impactos ambientales potenciales: se utilizó el *software* SimaPro® y la base de datos EcoInvent® y se obtuvieron resultados en las categorías de Agotamiento de la capa de ozono, Calentamiento Global, Acidificación, Eutrofización, Eco-toxicidad y agotamiento de los combustibles fósiles, posteriormente se llevaron a cabo gráficos comparativos para cada categoría.
- d) Interpretación: basándose en el análisis anterior, se evaluaron las posibles causas de los impactos potenciales generados, y se generaron recomendaciones.

3.3.3.1 Comparación entre espuma fenol y espuma polioliol

Para poder comparar una espuma comercial conocida como fenólica y la espuma sintetizada en laboratorio poliólica, se realizaron los cálculos correspondientes, para estimar la elaboración de una espuma de dimensiones 20cmx15cmx10cm (volumen 3000cm³) el doble del tamaño a algunas espumas en el mercado (1500cm³) que abarcaría el mercado de plantas con mayor dimensión, en el caso de espuma de fenol se realizaron las estimaciones para 4 espumas, y en cuanto a las espumas de polioliol, se tomaron en cuenta 6 espumas de las elaboradas en laboratorio, pero llevadas a un mismo volumen.

3.3.3.2 Estimación de elaboración de espuma de fenol

La espuma fenólica se sintetiza a partir de una reacción entre fenol y formaldehído. Es importante conocer el tipo de resina que se busca, como una característica que se busca en las espumas fenólicas para uso hidropónico es la retención de humedad, se utilizará una resina tipo Resol que permitirá tener esta propiedad, gracias a la formación de celdas abiertas.

Posteriormente la resina pasa al proceso de espumado, curado y secado a temperatura ambiente en un molde. Y se obtiene la espuma fenólica que debe ser inocua y contar con buena aireación y retención de humedad.

En el presente trabajo se toma en cuenta la elaboración de 4 espumas fenólicas A, B, C y D, las espumas A, B y C han sido estimadas a partir de las recomendaciones de *Pilato (1979)*,^[25] variando concentraciones, y la espuma D se estimó a partir del trabajo de *Espinoza (2010)*.^[4]

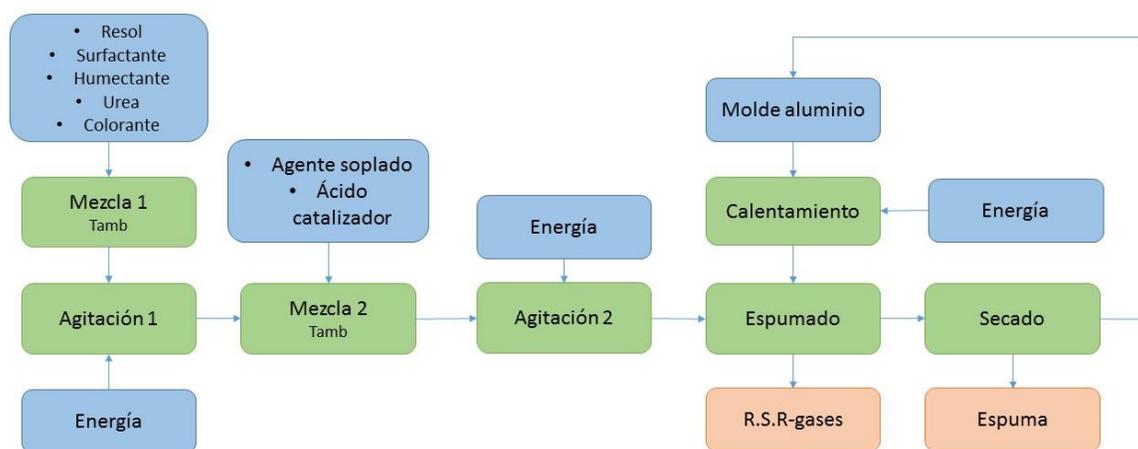


Figura 22. Diagrama general de elaboración de espumas fenólicas.

Tabla 10. Componentes de espuma de fenol.

Reactivo/espuma	A	B	C	D
Resol (g)	76	83	79.5	44.95
Surfactante (g)	3	4	3.5	7.86
Ag. Humectante (g)	3	4	3.5	2.24
Ag. Soplado (g)	4	5	4.5	11.25
Urea (g)	1	1	1	4.5
Cat. Ac.-fenol-sulfónico (g)	4	5	4.5	22.48
Colorante (g)	0.5	0.5	0.5	5.72

3.3.3.3 Estimación de elaboración de espumas de polioli

La estimación se realizó a partir de las espumas elaboradas previamente, con la metodología propuesta en la Figura 18, pero llevadas a un volumen igual al de las fenólicas para poder ser comparables.

Tabla 11. Componentes de espuma de polioli.

Entradas/Espuma	1	1C	2	2C	3	3C
Prepolímeros de uretanos (g)	3.80172	3.57894	4.11762	4.02312	4.289565	4.48336
4,4 diisocianato de difenil metano (g)	0.63362	0.59649	0.343135	0.33526	0.3063975	0.32024
Diisocianato polimérico (g)	0.63362	0.59649	0.343135	0.33526	0.3063975	0.32024
Resina poliester (g)	1.26724	1.19298	2.05881	2.01156	1.22559	1.28096
Colorante (g)	0	0.1	0	0.1	0	0.1

4 CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Elaboración de espuma de polioli

4.1.1.1 Selección de molde

Se llevó a cabo la elaboración de la espuma.

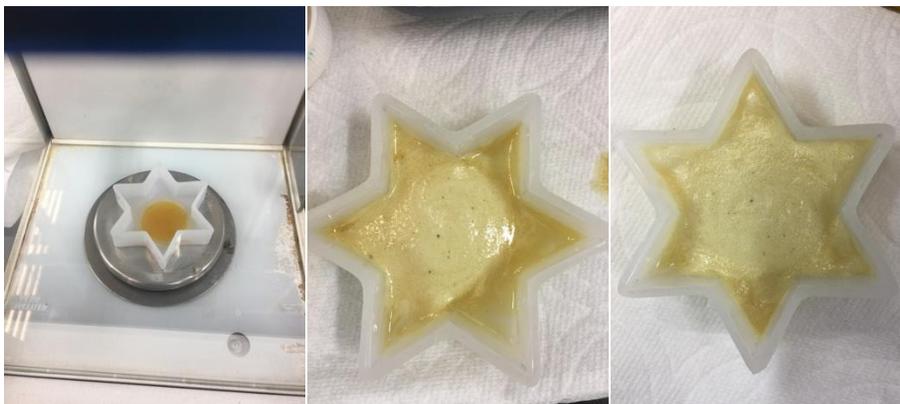


Figura 23. Espuma sin colorante A) mezcla con colorante B) mezcla después de agitación C) espuma formada.

En la Figura 23 se puede observar una coloración distinta en las orillas del molde, esto debido a que la agitación no se puede realizar de manera uniforme derivado de la forma del molde.

Posteriormente se llevó a cabo la síntesis de la espuma utilizando colorante (Figura 24).

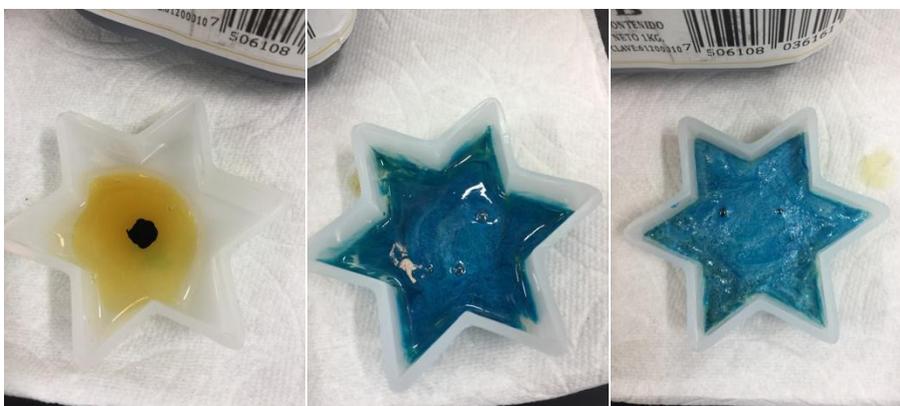


Figura 24. Espuma con colorante A) mezcla con colorante B) mezcla después de agitación C) espuma formada.

Como se puede observar en la Figura 25, en los bordes se observa una pigmentación no uniforme, debido a la forma del molde, es difícil llevar a cabo un mezclado correcto. Así mismo se observa la formación de burbujas.



Figura 25. Comparación de espuma sin colorante y con colorante.

Se observan en ambos moldes bordes irregulares, por lo que se decide cambiar el molde a cuadrangular.

4.1.1.2 Elaboración de espumas de poliol

4.1.1.2.1 Espumas con concentración 1.0:1.0 A:B.

Primero se elabora una espuma sin colorante denominada espuma A (Figura 26).



Figura 26. Espuma A- a) pesado de componentes mezcla A-B b) mezcla despues de agitación c) Espuma.

Se elabora la Espuma B, de la misma forma que la anterior (Figura 27).



Figura 27. Espuma B- a) pesado de componentes mezcla A-B b) mezcla despues de agitación c) Espuma.

Se elabora la espuma C con la diferencia de que se le añade una gota de colorante a la mezcla A-B (Figura 28).



Figura 28. Espuma C - a) mezcla A-B-colorante b) mezcla despues de agitación c) Espuma.



Figura 29. Comparación de las espumas A,B y C con una misma composición.



Figura 30. Espumas A,B y C.

Las 3 espumas obtenidas A,B, y C, parecen similares visualmente (Figura 30).

4.1.1.2.2 Espumas con concentración 1:1.5 A:B

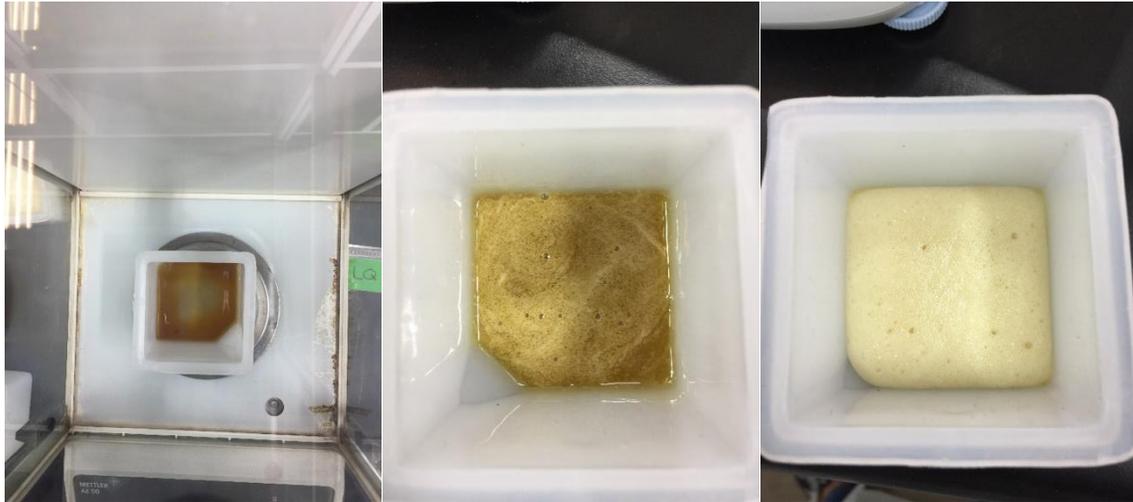


Figura 31. Espuma D: a) pesado de componentes, b) cremado y c) espumado.

En la Figura 31 se observa que la espuma D obtuvo un volumen menor a las espumas A,B,C.

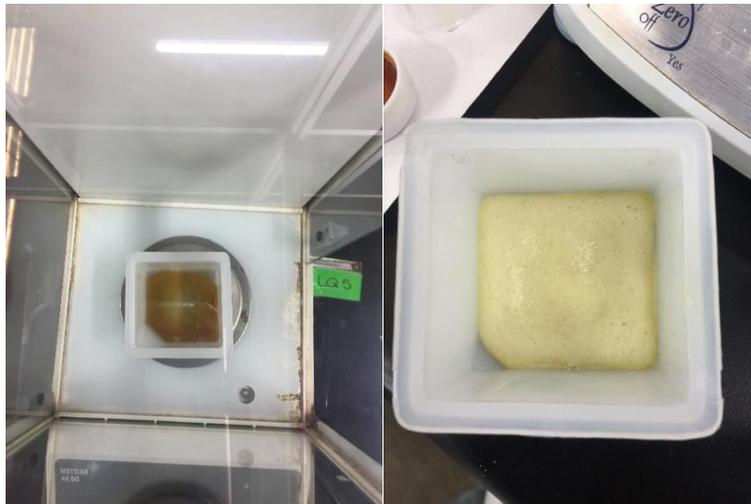


Figura 32. Espuma E: a) pesado de componentes, b) cremado y c) espumado.

La espuma E también es de volumen menor comparado a las espumas A,B,C (Figura 32).

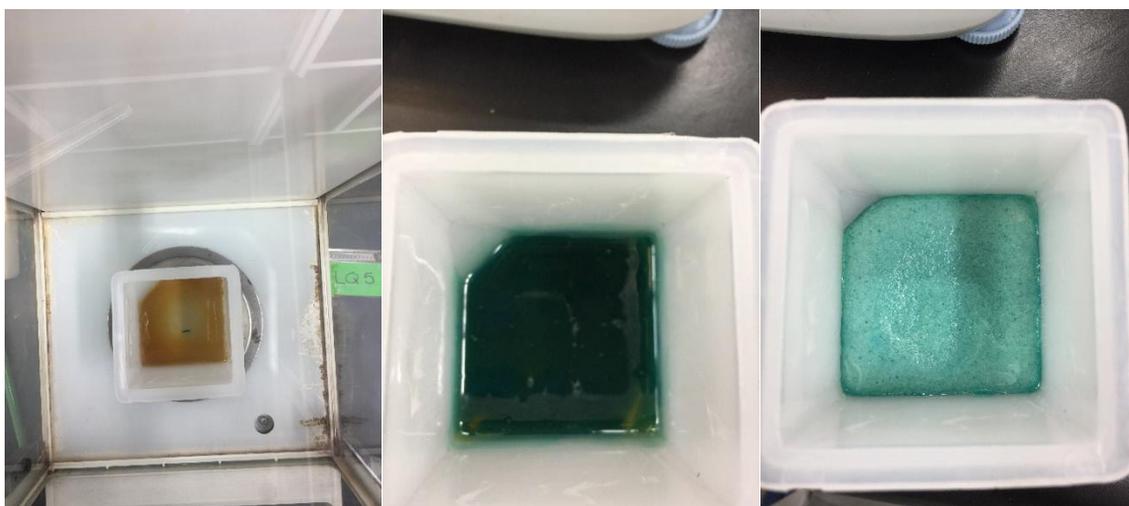


Figura 33. Espuma F: a) pesado de componentes, b) cremado y c) espumado.



Figura 34. Espumas D,F,E.

Con las espumas D, E y F mostradas en las figuras 31-34, se observa que el volumen es menor.

4.1.1.2.3 Espumas con concentración 1.5:1 (A:B)

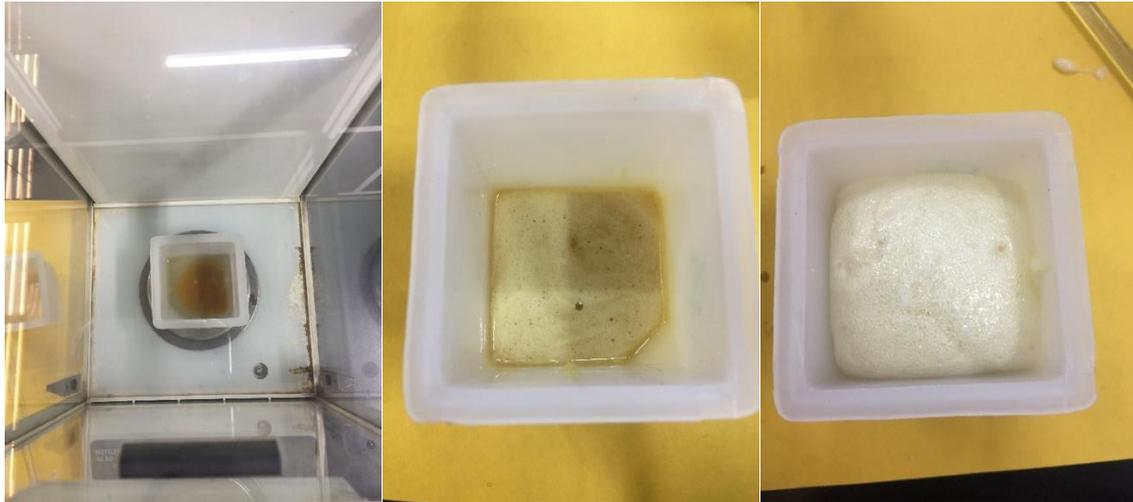


Figura 35. Espuma G: a) pesado de los componentes b) cremado c) espumado.

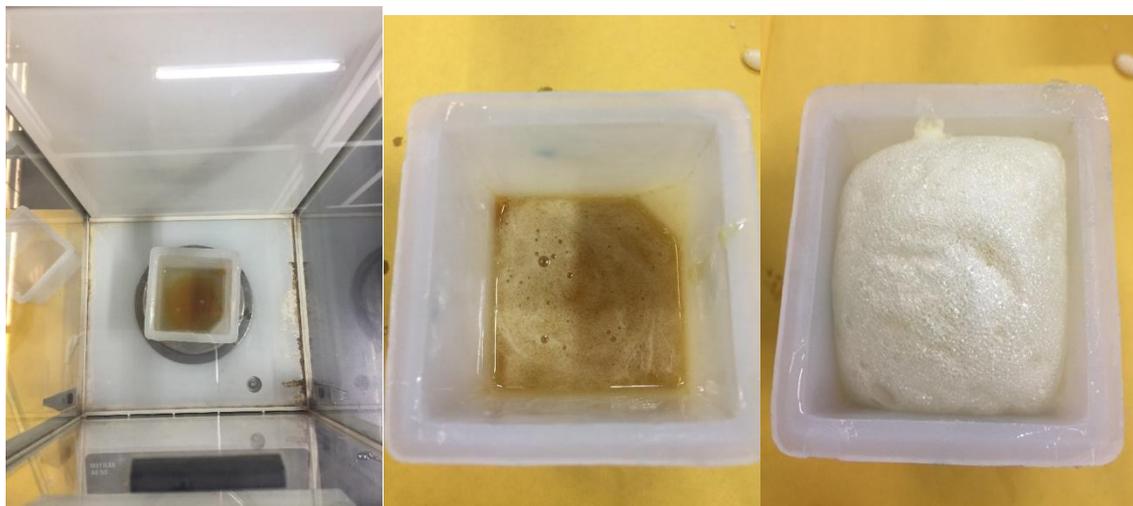


Figura 36. Espuma H: a) pesado de los componentes b) cremado c) espumado

En las Figuras 35 y 36 se pueden apreciar importantes deformaciones que no fueron observadas en las espumas anteriores y se observa un mayor volumen.

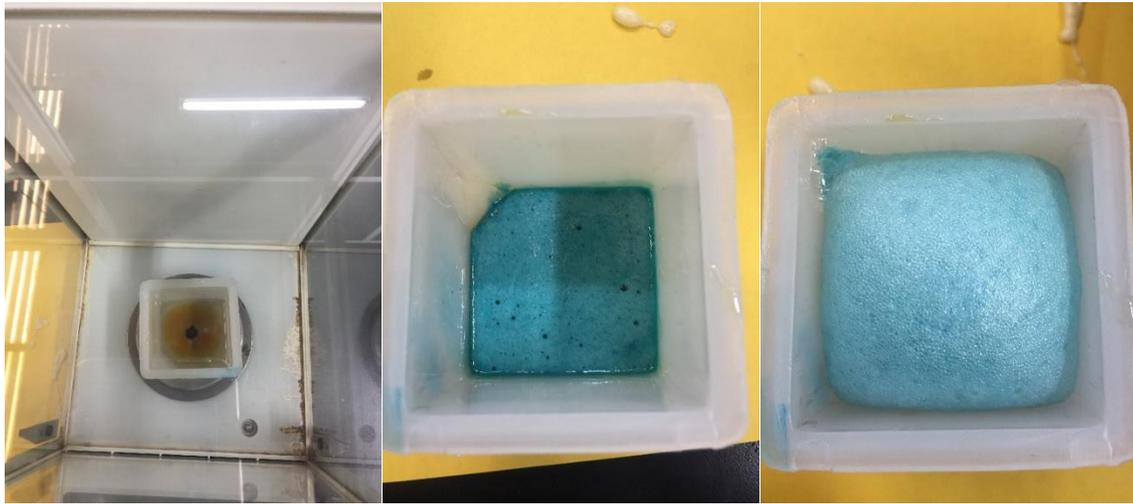


Figura 37. Espuma I: a) pesado de los componentes b) cremado c) espumado.

Figura 38. Espumas G, H, I.



A pesar de que las espumas G y H mostraron deformaciones, la espuma I no muestra las deformaciones vistas en las otras dos espumas de misma concentración (Figura 38), esto se podría deber al uso de colorante. colorante.



Figura 39. Espumas A, B, C, D, E, F, G, H, I.



Figura 40. Comparativa de las espumas A-I.

Las espumas G,H,I presentaron mayor deformación (Figura 39), por lo que se concluye que puede deberse a la mayor concentración de polirol.

Tabla 12. Resultados de las 9 espumas poliólicas elaboradas.

Espuma	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Composición A:B		1.0:1.0			1.0:1.5			1.5:1.0	
Peso espuma (g)	5.8691	6.8033	5.9649	7.6985	6.0269	6.7052	6.3292	5.9267	6.4048
Eficiencia de reacción (%)	93.22	93.67	97.39	96.69	96.02	96.20	94.62	95.03	95.80
Volumen (cm ³)	88.872	88.872	86.576	58.725	70.875	68.850	99.264	121.495	110.45
Densidad (g/cm ³)	0.066	0.076	0.068	0.131	0.085	0.097	0.063	0.047	0.058
Tiempo reacción (s)	19.54	18.43	24.17	23.87	24.32	31.24	31.42	35.03	28.68
Tiempo espumado (s)	79.07	83.04	98.06	88.58	92.92	121.29	93.02	95.42	87.78
Absorción de humedad (% peso)	15.13	15.58	16.16	12.41	11.98	12.07	13.76	14.01	14.25
Tamaño de poro (µm)	450	550	450	380	400	400	475	750	730
Forma de celda	4-5 lados rectangular	4-5 lados rectangular	4-5 lados rectangular partículas en canales	4-5 lados (redonda) canales anchos	4-5 lados (redonda) canales anchos rupturas	4-5 lados (redonda) canales anchos	5 lados (rupturas)	Amorfo (rupturas)	5-6 lados
Rayos X	Int-2θ	Int-2θ	Int-2θ	Int-2θ	Int-2θ	Int-2θ	Int-2θ	Int-2θ	Int-2θ
	2000-20	2500-20	2250-20	2200-20	2600-20	2700-20	3100-20	2800-20	2300-20
	700-45	850-45	500-50	750-45	750-45	750-45	900-45	750-45	500-45
FTIR (grupos identificados)	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano
	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI
	MDI	MDI	MDI	MDI	MDI	MDI	MDI	MDI	MDI
			Urea Uretano	Urea Uretano					

4.1.2 Caracterización de espumas

Para la caracterización de la espuma, se observaron ambas pruebas iniciales con la ayuda de una lámpara de luz UV.



Figura 41. Polímeros vistos con lámpara de luz UV a) Espuma sin colorante b) espuma con colorante.

Se observaron pliegues derivados de la diferente coloración en la espuma; Figura 41b.

Se realizó un corte a la espuma sin colorante y los resultados fueron los siguientes:

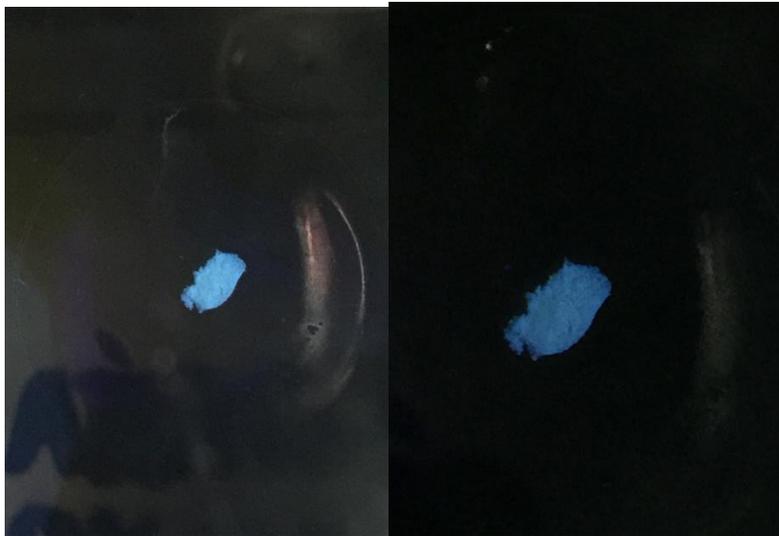


Figura 42. Espuma en luz UV.

En la espuma sin colorante se observa una uniformidad en su estructura (Figura 42).

4.1.2.1 Espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR).

En la elaboración de espumas de poliuretano, los compuestos esperados a encontrar mediante FTIR son: uretano, poliuretano, isocianato, urea y alofanato (Figura 43), sin embargo, mediante la detección de grupos funcionales por FTIR^[17,18], se encontraron también TDI y MDI (Figura 43).

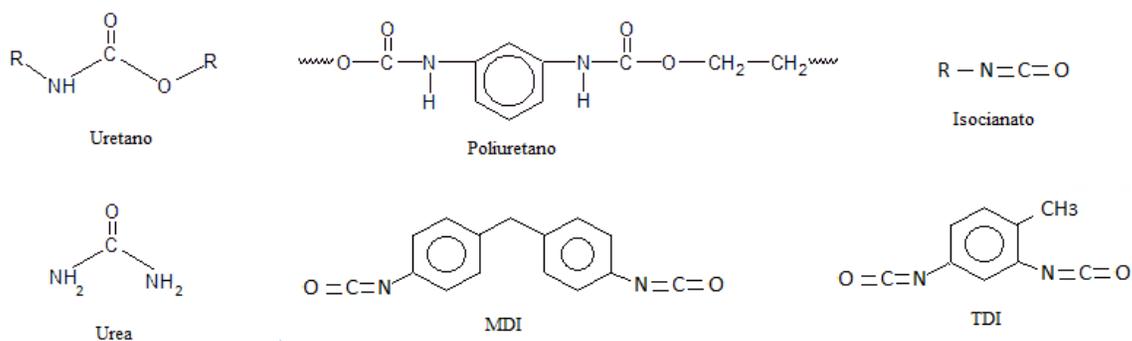


Figura 43. Principales compuestos encontrados.

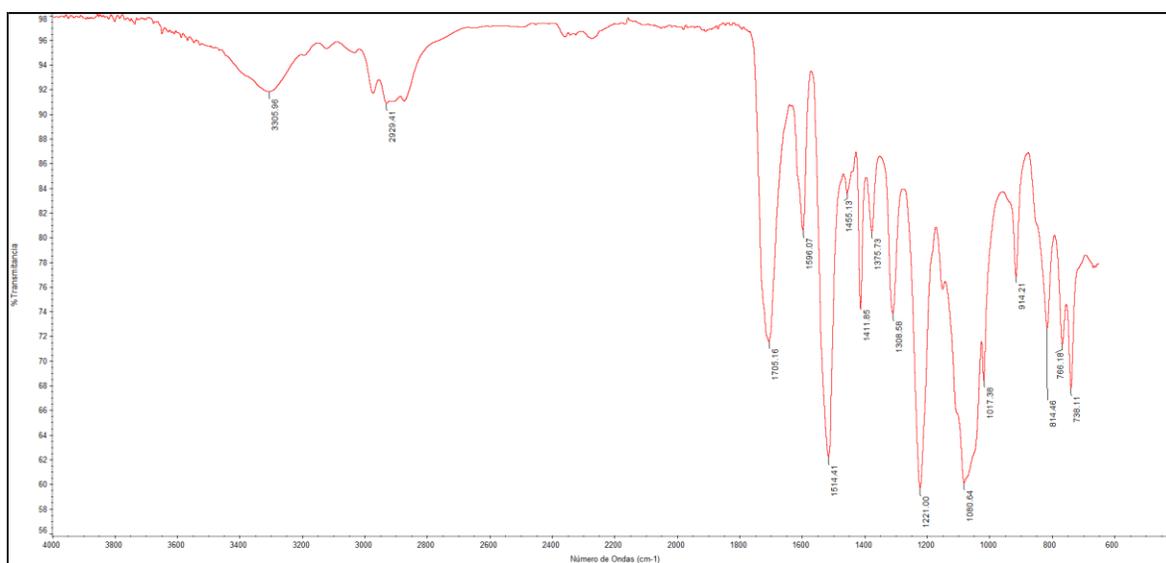


Figura 44. FTIR espuma A.

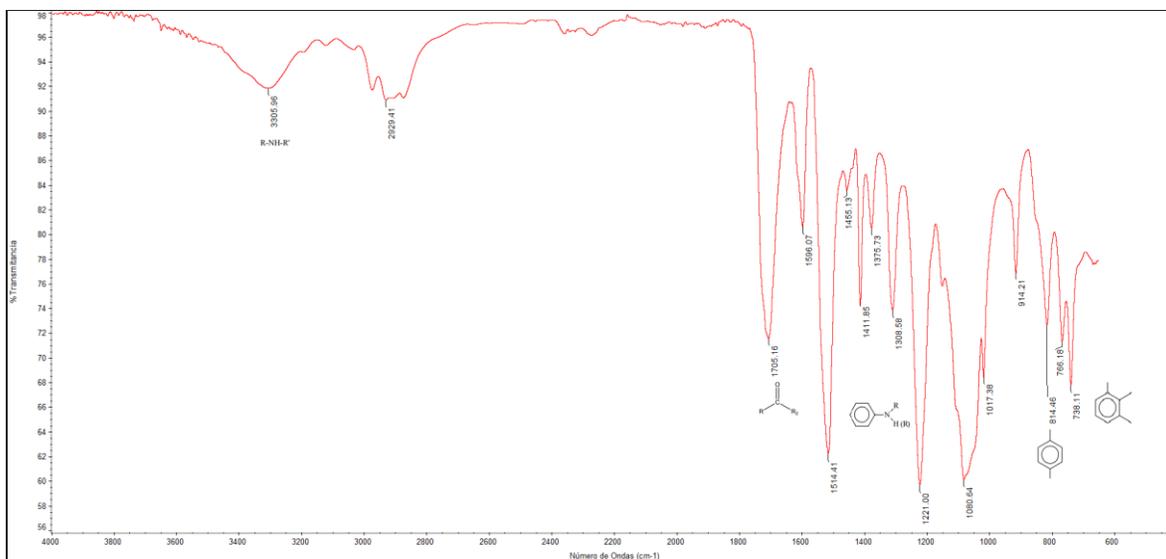


Figura 45. Grupos funcionales encontrados en espuma A (FTIR).

En la Figura 45 se muestran de izquierda a derecha los compuestos encontrados en la espuma A, basándose en la intensidad que indica los grupos funcionales presentes en los compuestos esperados a encontrar en las espumas, los compuestos encontrados a partir de FTIR son: poliuretano-MDI-TDI.

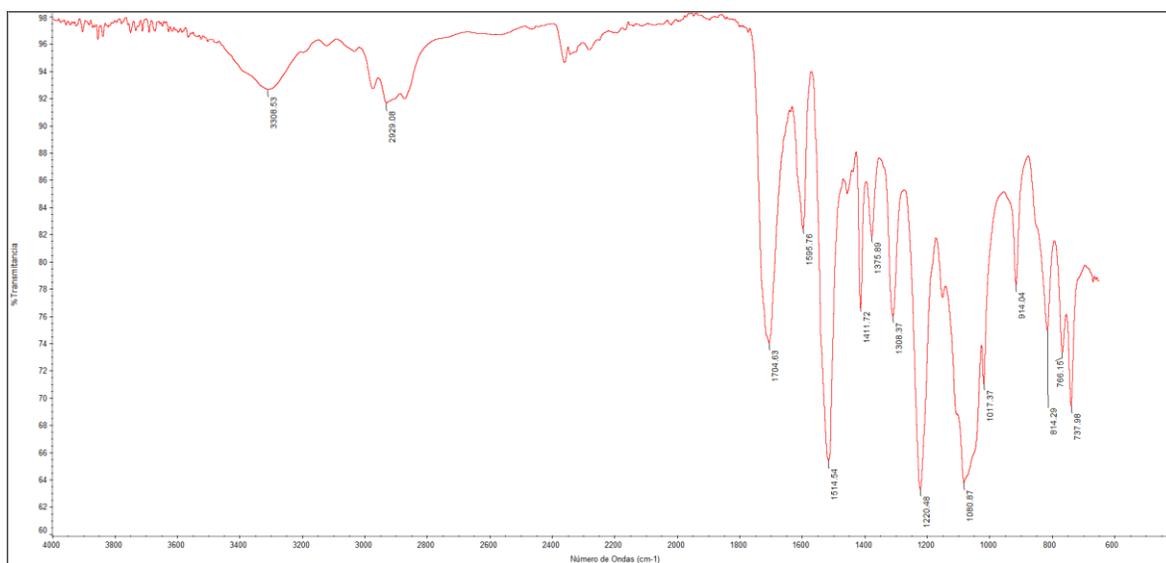


Figura 46. FTIR espuma B.

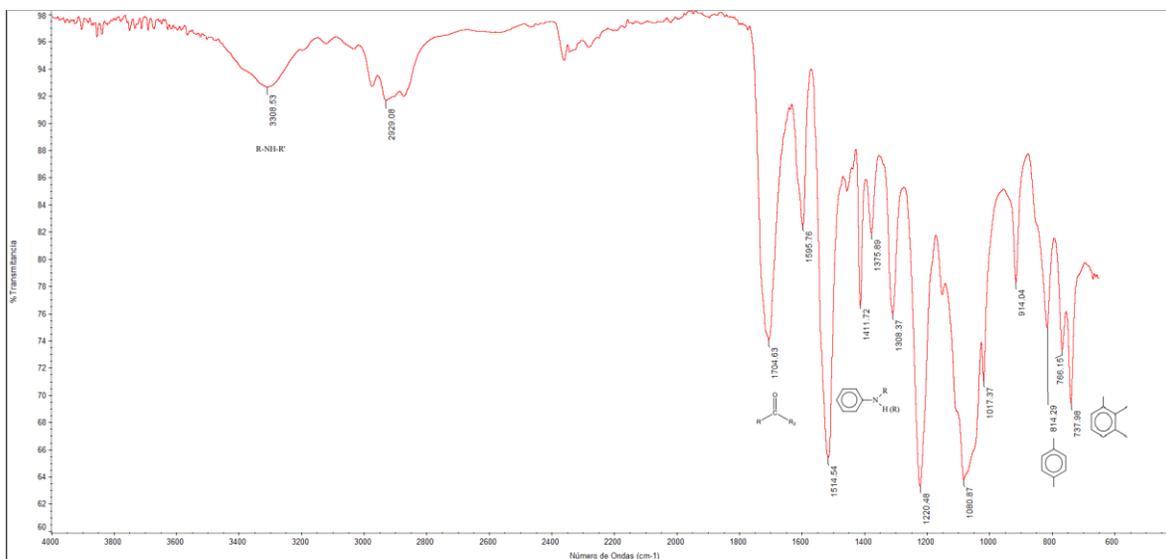


Figura 47. Grupos funcionales encontrados en espuma B (FTIR).

En la Figura 47 se muestran de izquierda a derecha los compuestos encontrados en la espuma B, a continuación se mencionan en el orden anterior poliuretano-MDI-TDI.

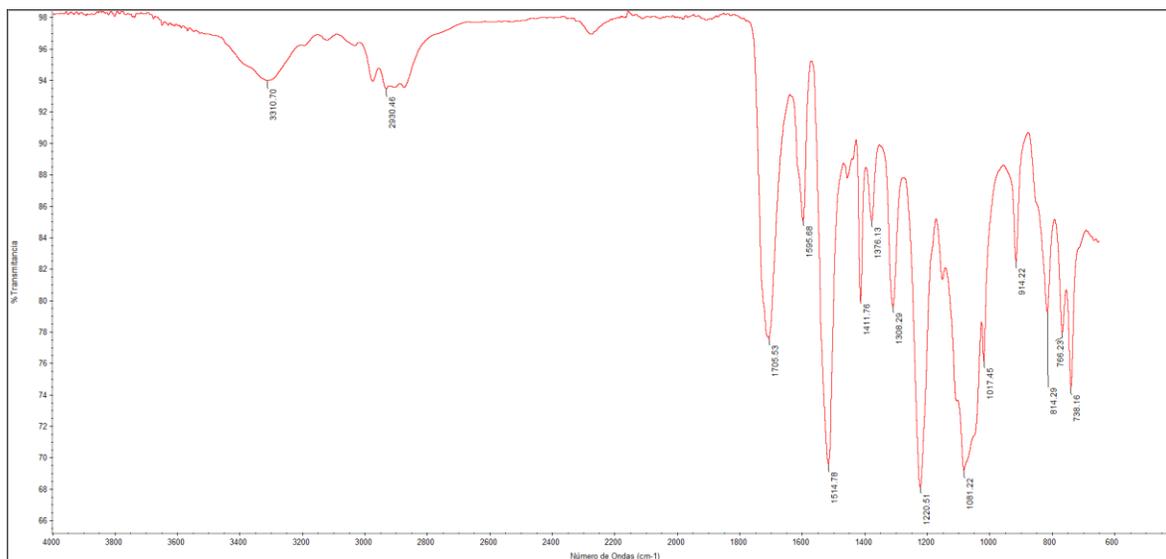


Figura 48. FTIR espuma C.

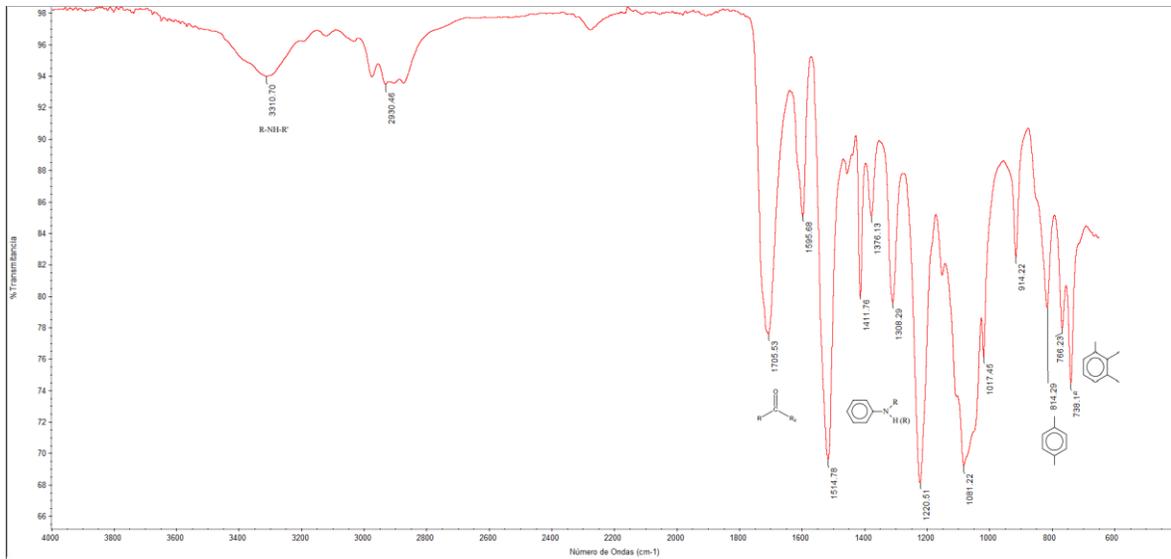


Figura 49. Grupos funcionales encontrados en espuma C (FTIR).

En la Figura 49 se muestran de izquierda a derecha los compuestos encontrados en la espuma C, a continuación se mencionan en el orden anterior uretano-urea-poliuretano-MDI-TDI.

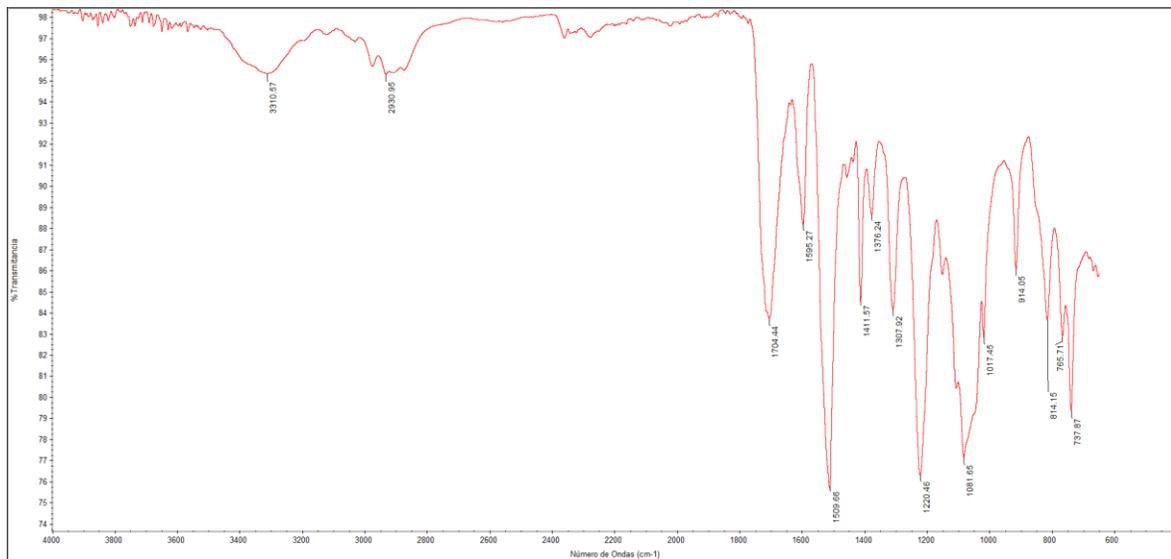


Figura 50. FTIR espuma D.

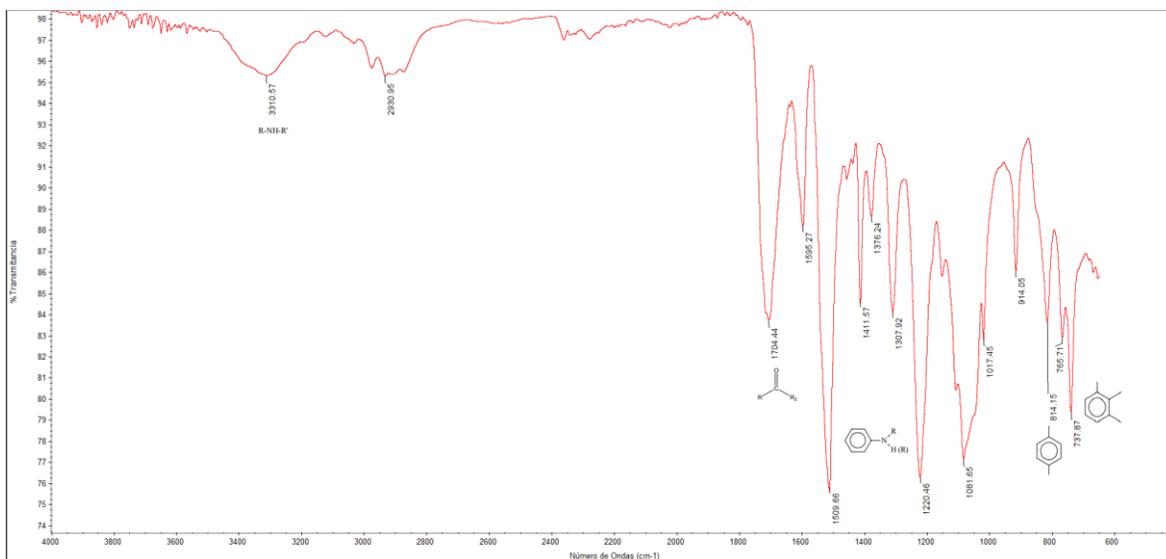


Figura 51. Grupos funcionales encontrados en espuma D (FTIR).

En la Figura 51 se muestran de izquierda a derecha los compuestos encontrados en la espuma D, a continuación se mencionan en el orden anterior uretano-urea-poliuretano-MDI-TDI.

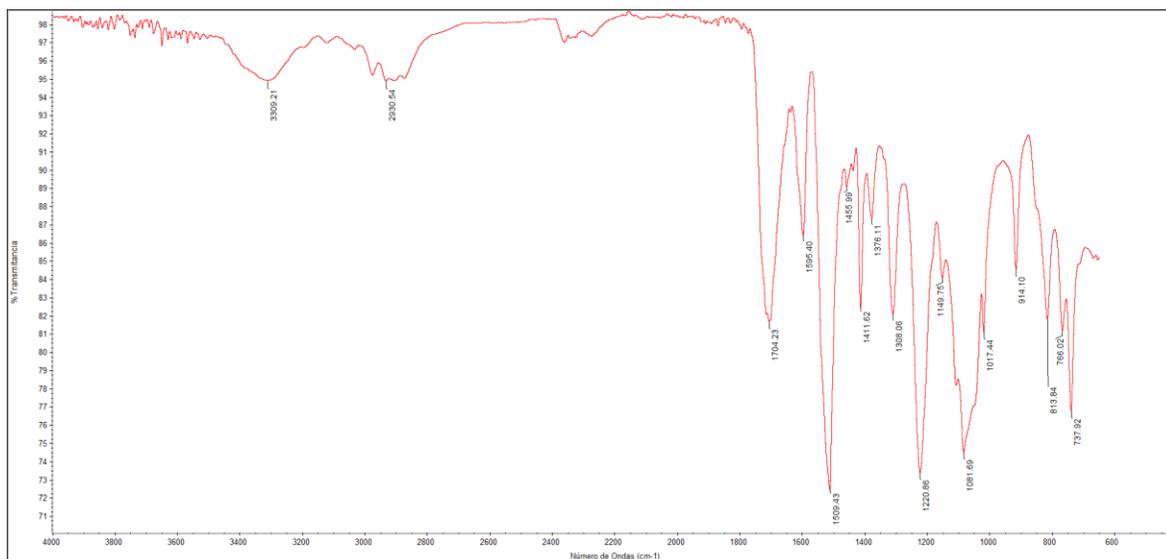


Figura 52. FTIR espuma E.

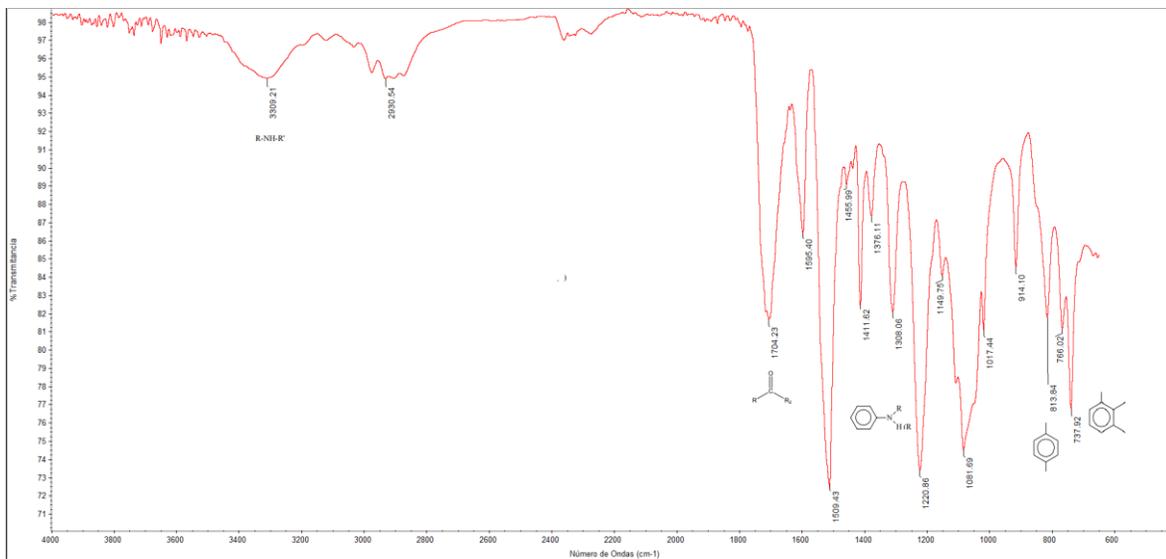


Figura 53. Grupos funcionales encontrados en espuma E (FTIR).

En la Figura 53 se muestran de izquierda a derecha los compuestos encontrados en la espuma E, a continuación se mencionan en el orden anterior poliuretano-MDI-TDI.

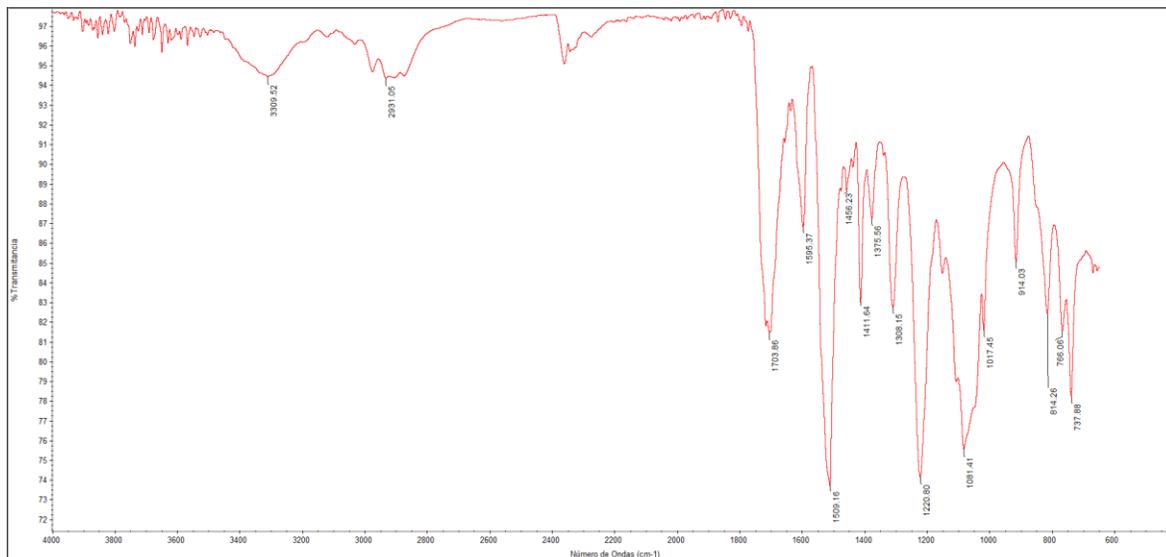


Figura 54. FTIR espuma F.

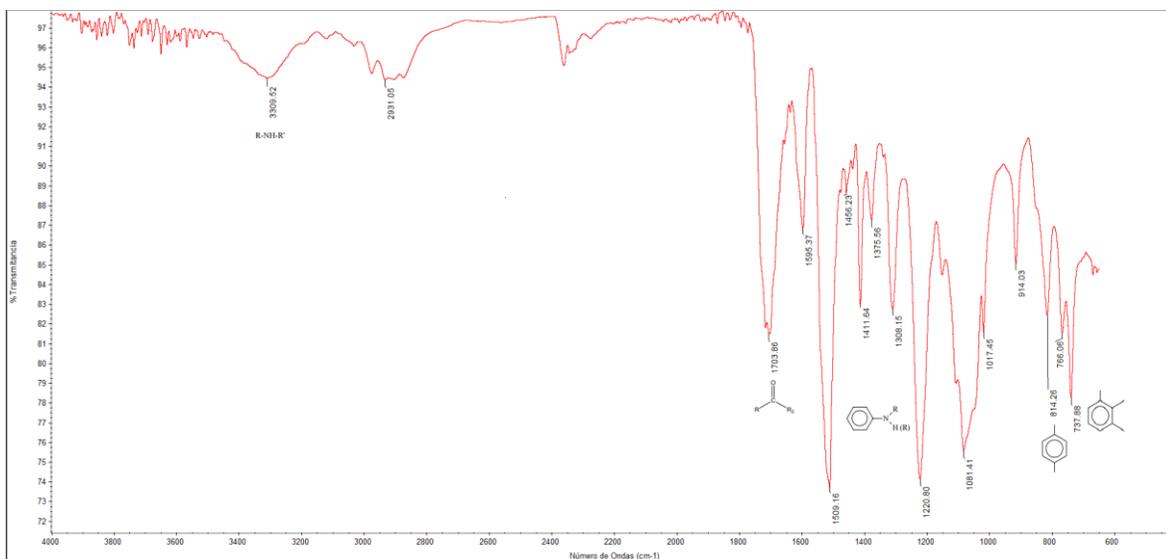


Figura 55. Grupos funcionales encontrados en espuma F (FTIR).

En la Figura 55 se muestran de izquierda a derecha los compuestos encontrados en la espuma F, a continuación se mencionan en el orden anterior poliuretano-MDI-TDI.

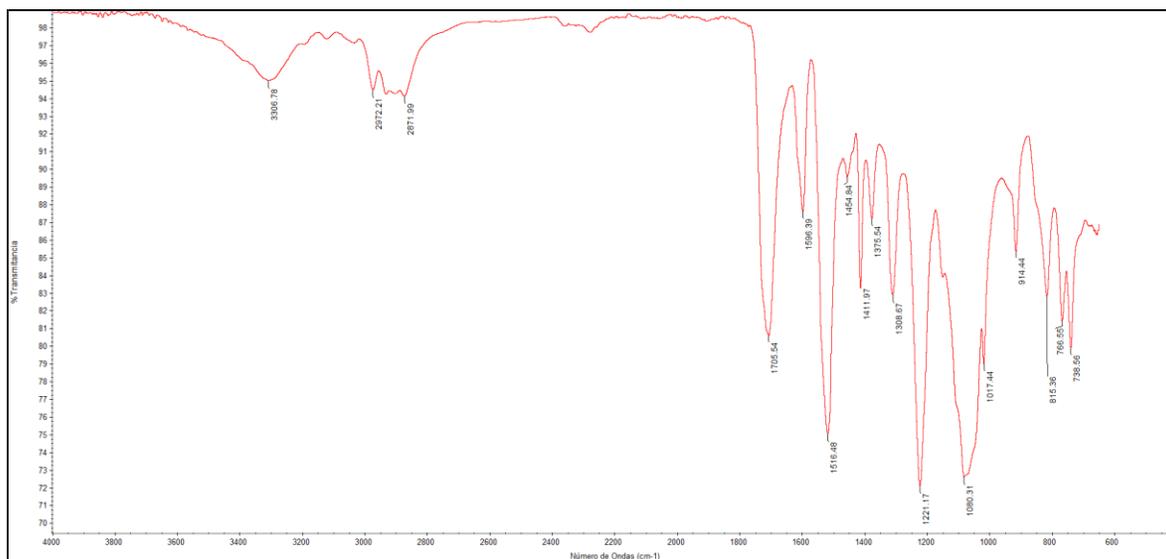


Figura 56. FTIR espuma G.

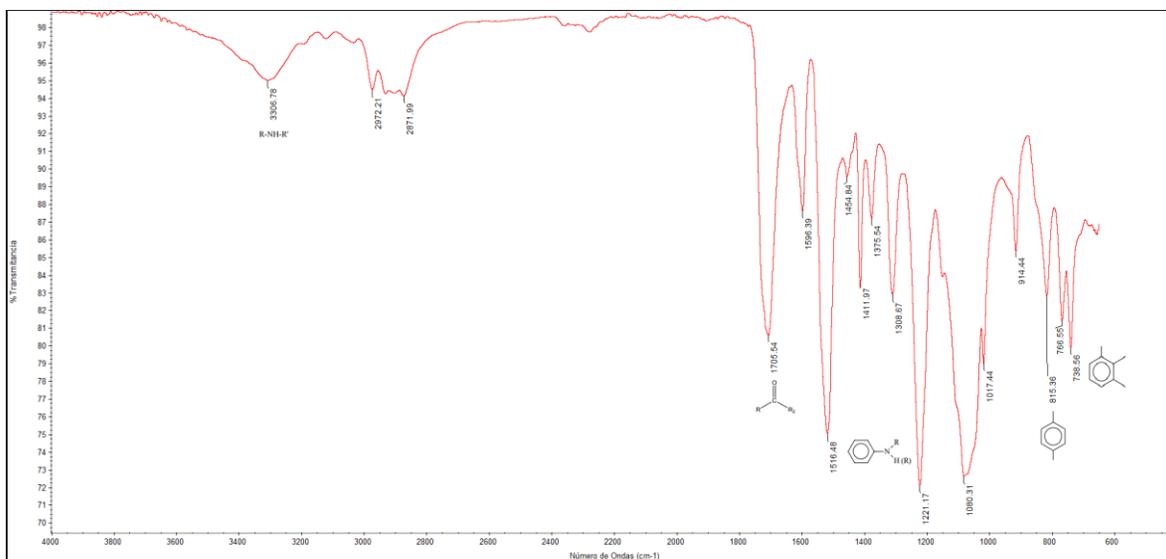


Figura 57. Grupos funcionales encontrados en espuma G(FTIR).

En la Figura 57 se muestran de izquierda a derecha los compuestos encontrados en la espuma G, a continuación se mencionan en el orden anterior poliuretano-MDI-TDI.

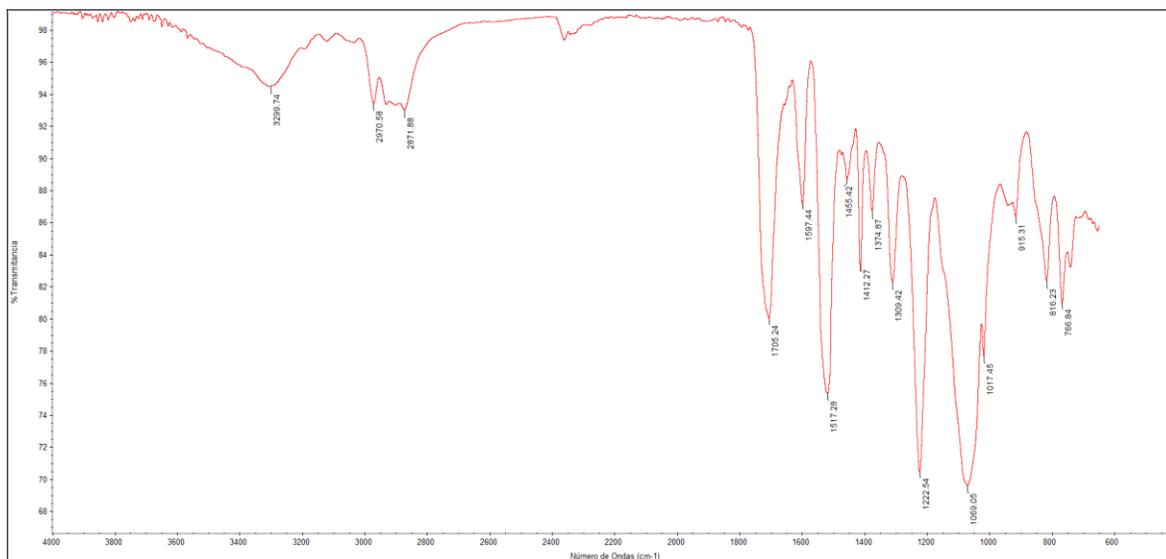


Figura 58. FTIR espuma H.

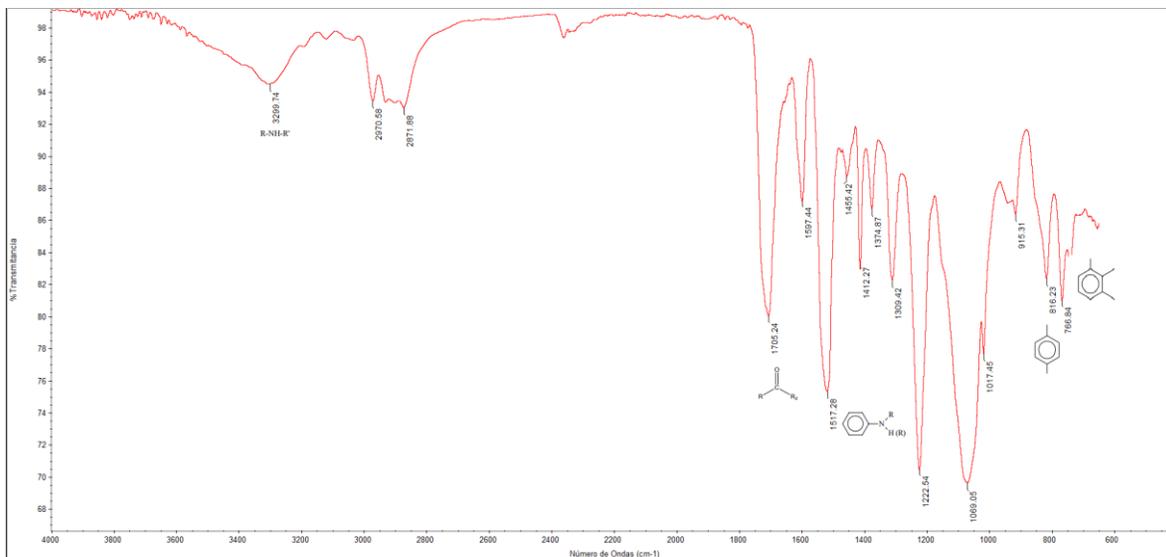


Figura 59. Grupos funcionales encontrados en espuma H (FTIR).

En la Figura 59 se muestran de izquierda a derecha los compuestos encontrados en la espuma H, a continuación se mencionan en el orden anterior poliuretano-MDI-TDI. Sin embargo la intensidad del TDI es menor comparado a las otras espumas.

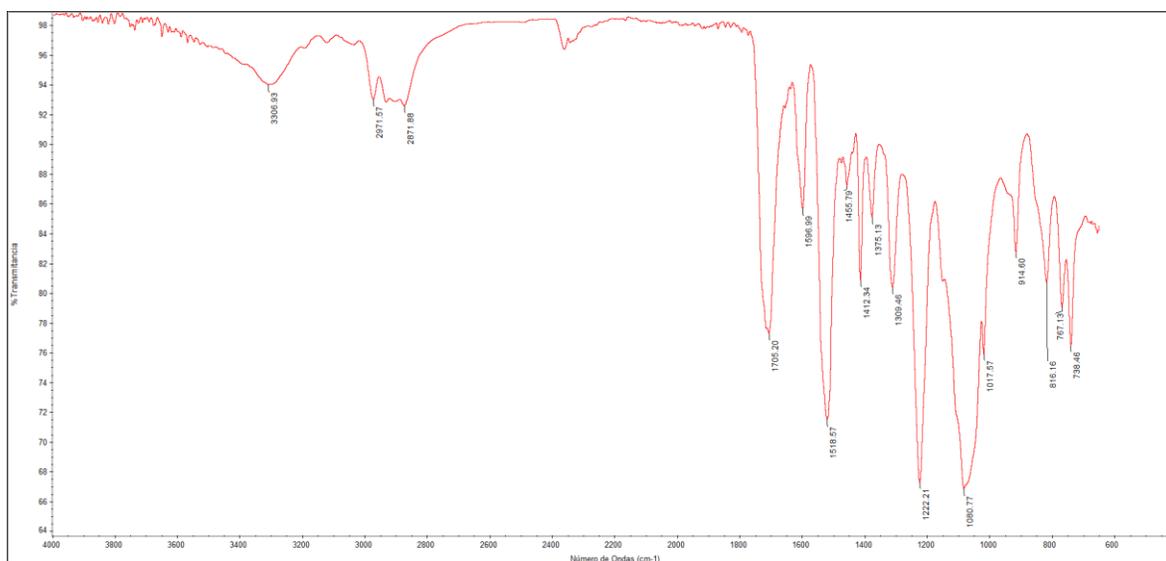


Figura 60. FTIR espuma I.

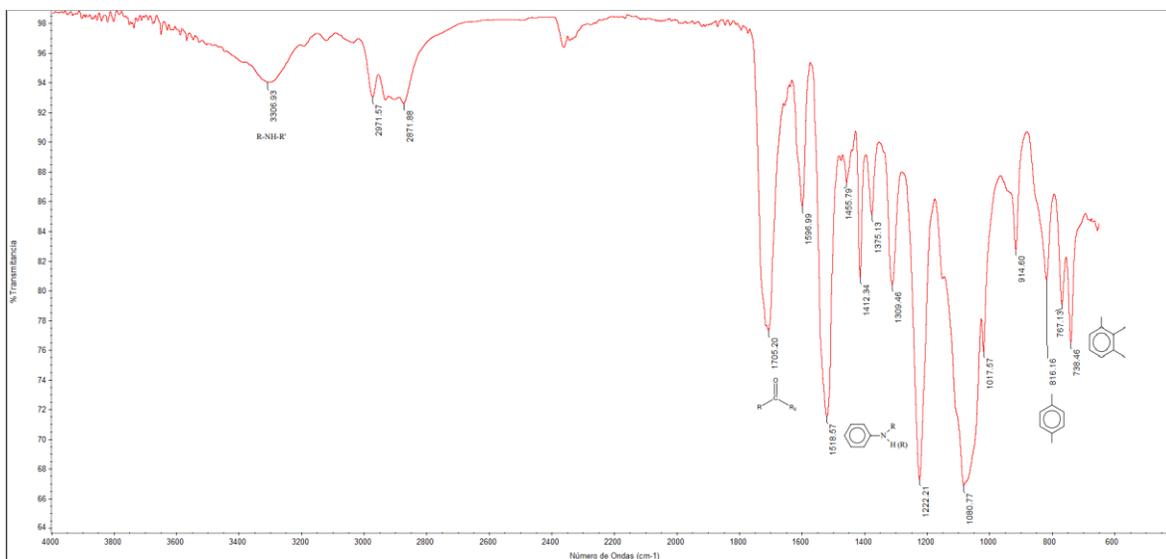


Figura 61. Grupos funcionales encontrados en espuma I (FTIR).

En la Figura 61 se muestran de izquierda a derecha los compuestos encontrados en la espuma I, a continuación se mencionan en el orden anterior poliuretano-MDI-TDI.

4.1.2.2 Rayos X

Para la parte de Rayos X se compararon los difractogramas obtenidos con los trabajos de espumas anteriores^[29] y los difractogramas obtenidos en este proyecto (Figura 62). Se observaron comportamientos similares, observándose en su mayoría dos crestas de mayor intensidad una en 20-2θ y otra en 45-2θ.

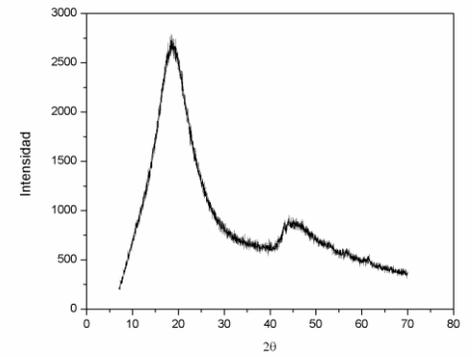
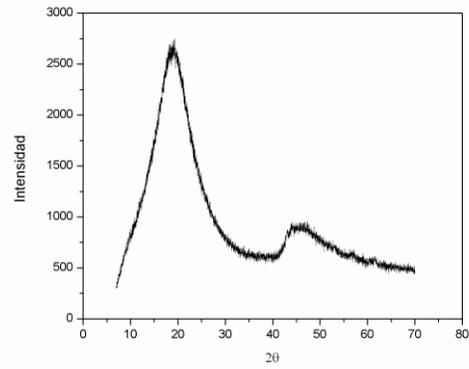
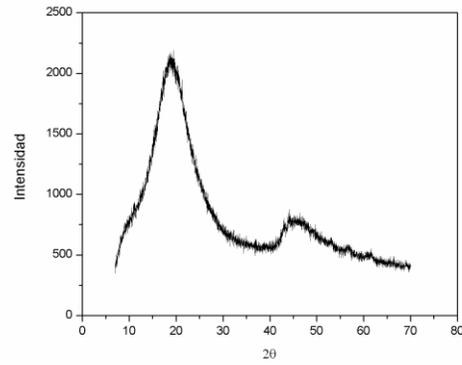
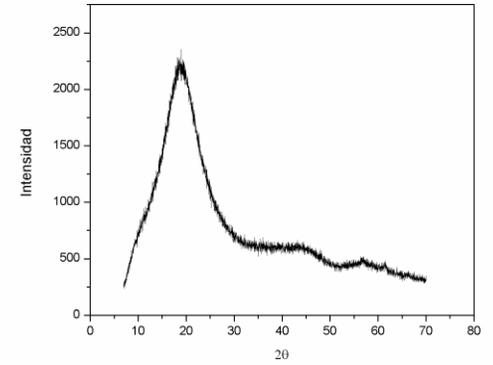
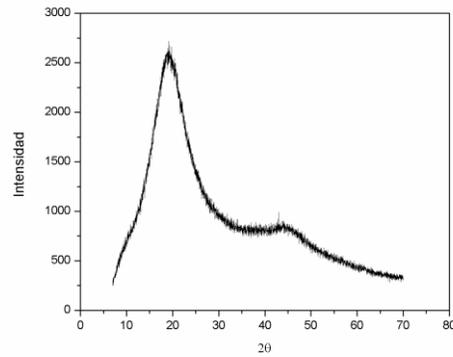
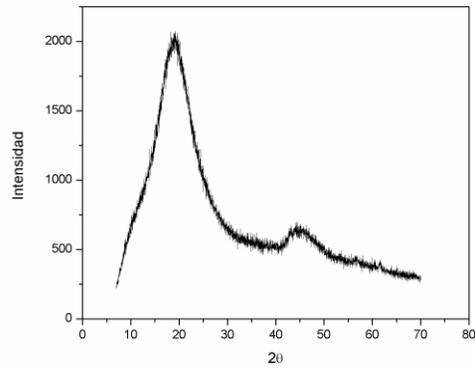


Figura 62. Diffractogramas de espumas A, B, C, D, E, F, G, H, I (orden de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo)

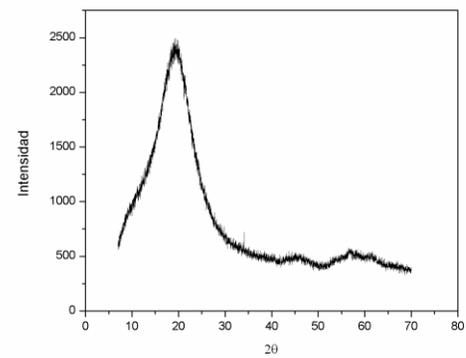
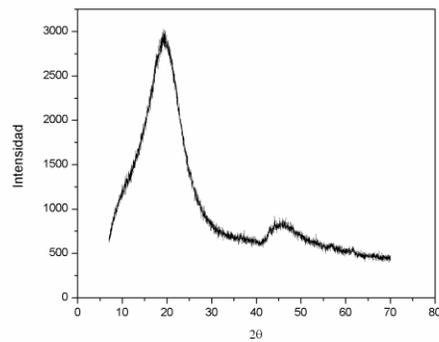
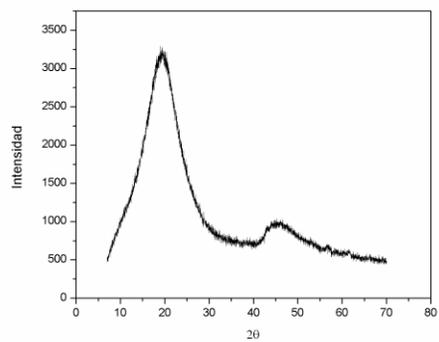


Figura 62. Difractogramas de espumas A, B, C, D, E, F, G, H, I (continuación)

4.1.2.3 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

La técnica se llevo a cabo en el Instituto de Investigación en la Escuela Nacional de Estudios Superiores de la Universidad Nacional Autonoma de México, Campus Morelia. Las muestras A, B, C, D y E no fueron metalizadas, se sometieron a vacío.

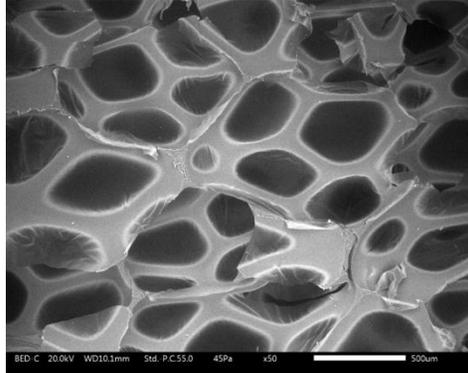


Figura 62. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma A, Forma de celdas.

La forma de las celdas de la espuma A son de 4 a 5 lados (Figura 63), en la Figura 64 se pueden observar rupturas menores en las celdas.

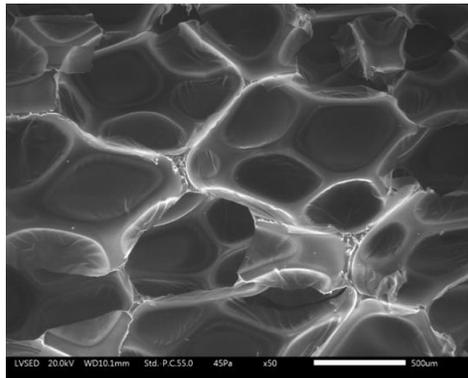


Figura 63. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma A, Forma de celdas-ruptura.

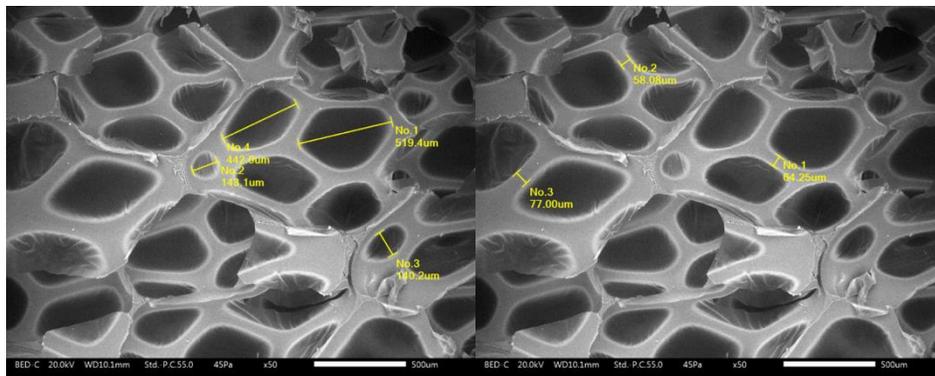


Figura 64. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma A, tamaño de celdas.

En la Figura 65 se observa el tamaño de celda o poro de la Espuma A, que da un promedio de 450 micrómetros.

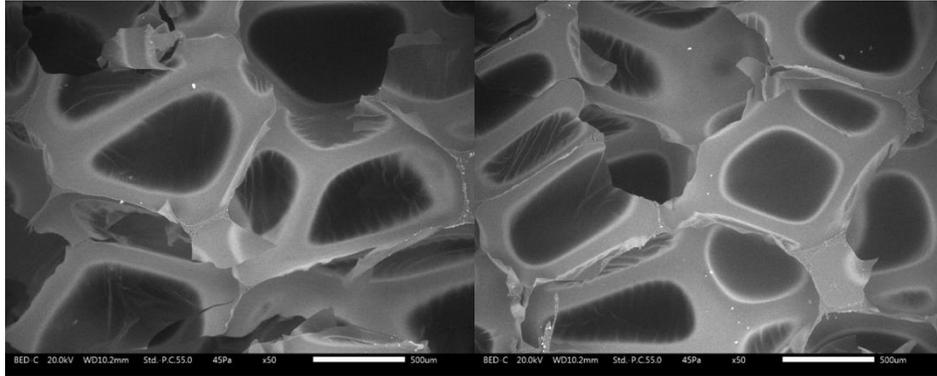


Figura 65. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma B, Forma de celdas..

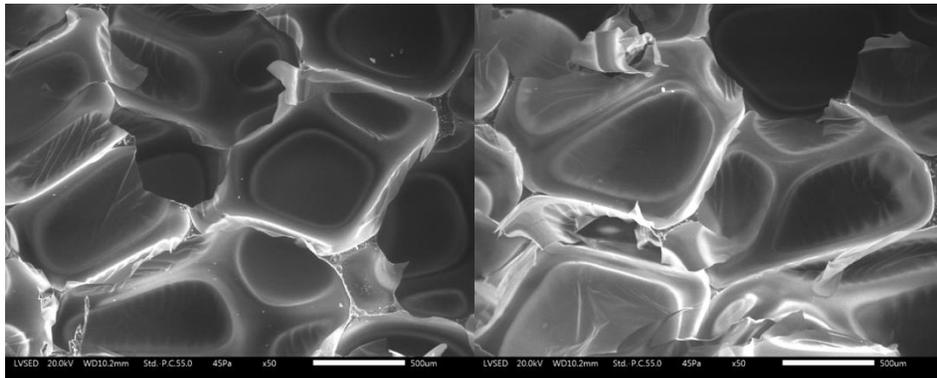


Figura 66. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma B, Forma de celdas-ruptura..

La forma de las celdas de la espuma B son de 4 a 5 lados (Figura 66 y 67), en la Figura 67 se pueden observar rupturas en las celdas.

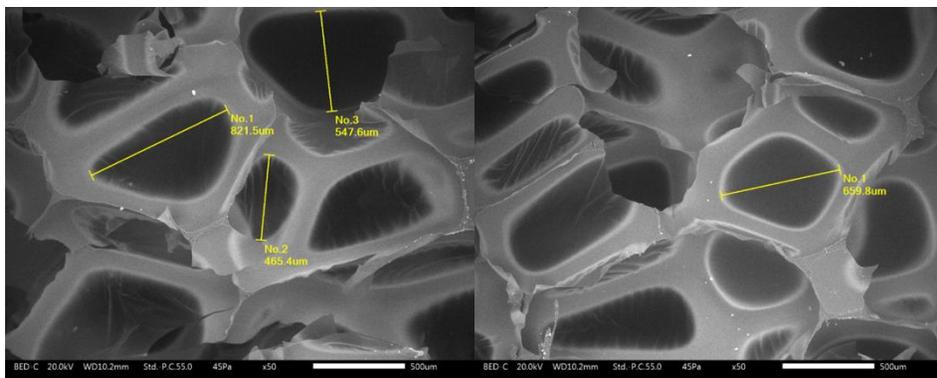


Figura 67. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma B, Tamaño de celdas.

En la Figura 68 se observa el tamaño de celda o poro de la Espuma B, que da un promedio de 550 micrómetros.

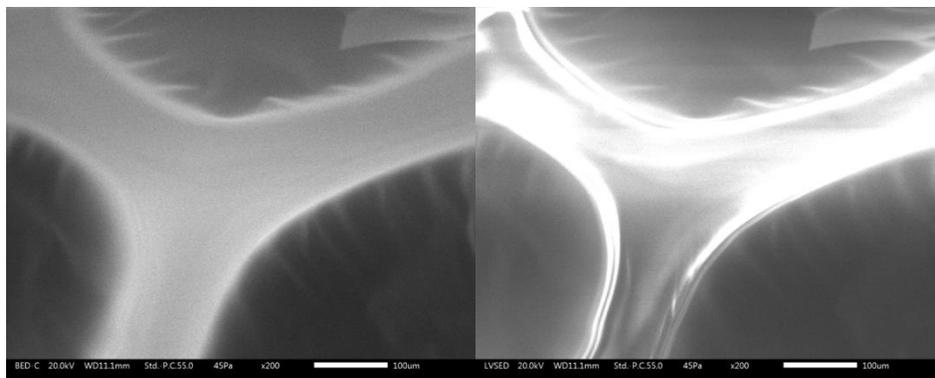


Figura 68. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma B, Canales.

En la Figura 69 se muestran los canales, que es la estructura que separa cada celda.

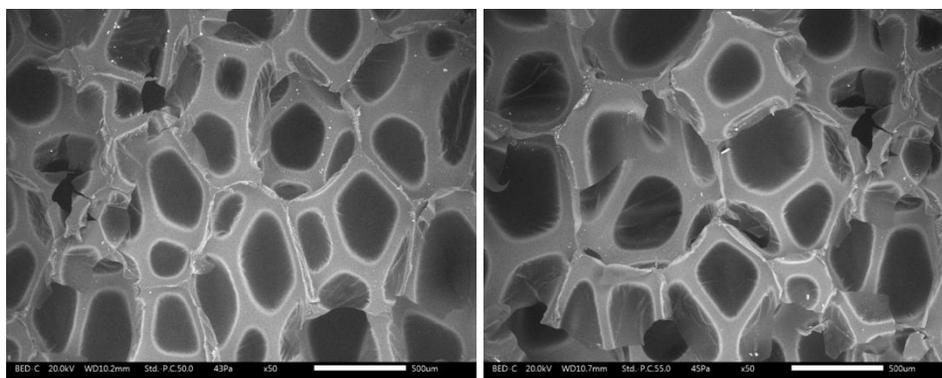


Figura 69. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma C, Forma de celdas..

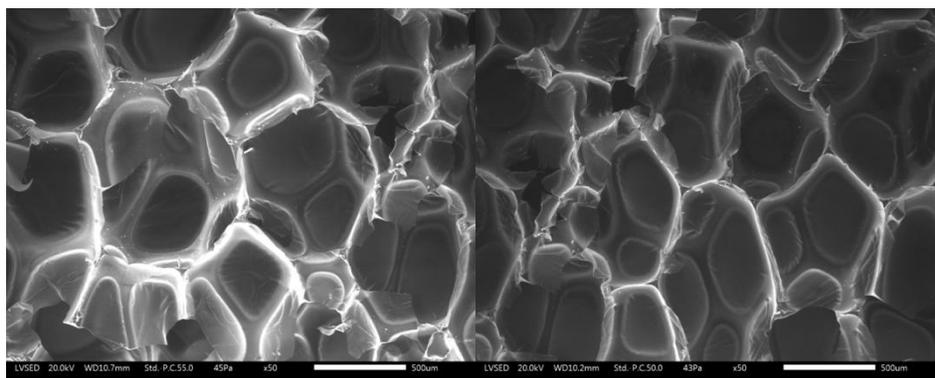


Figura 70. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma C, Forma de celdas-ruptura.

La forma de las celdas de la espuma C son de 4 a 5 lados (Figura 70), en la Figura 71 se pueden observar rupturas en las celdas.

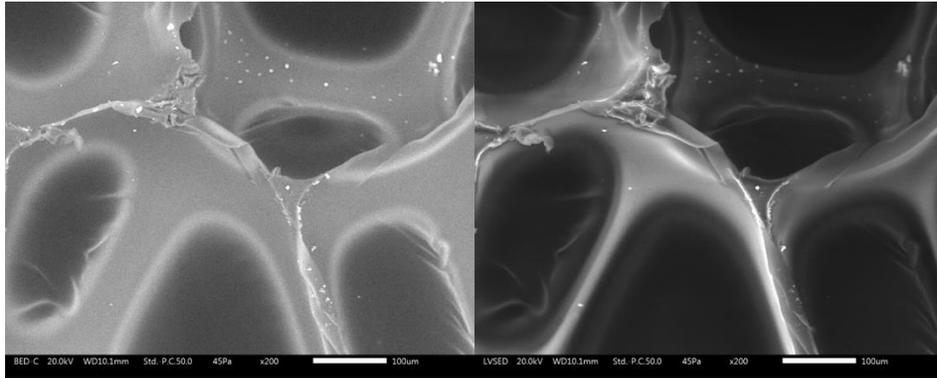


Figura 71. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma C, partículas en la estructura.

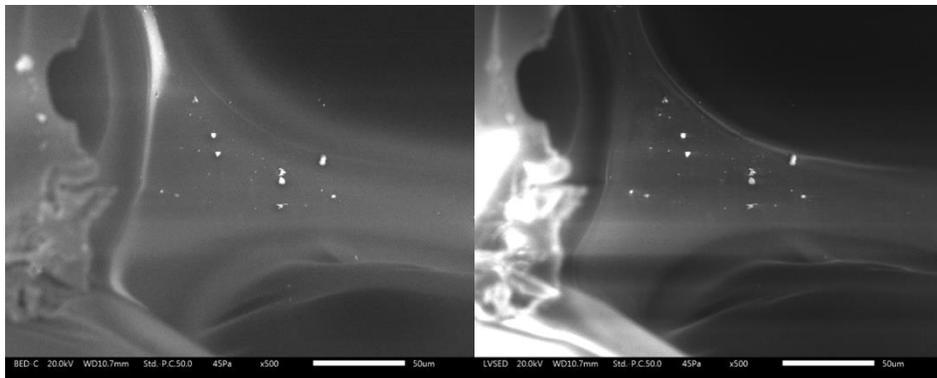


Figura 72. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma C, partículas observadas en los canales.

En las Figuras 72 y 73 se muestran pequeñas partículas en los canales, esto pudo ocurrir debido a una mezcla incorrecta o al colorante.

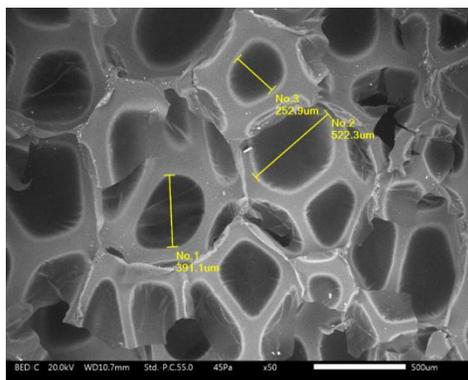


Figura 73. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma C, tamaño de celdas.

En la Figura 74 se observa el tamaño de celda o poro de la Espuma C, que da un promedio de 450 micrómetros.

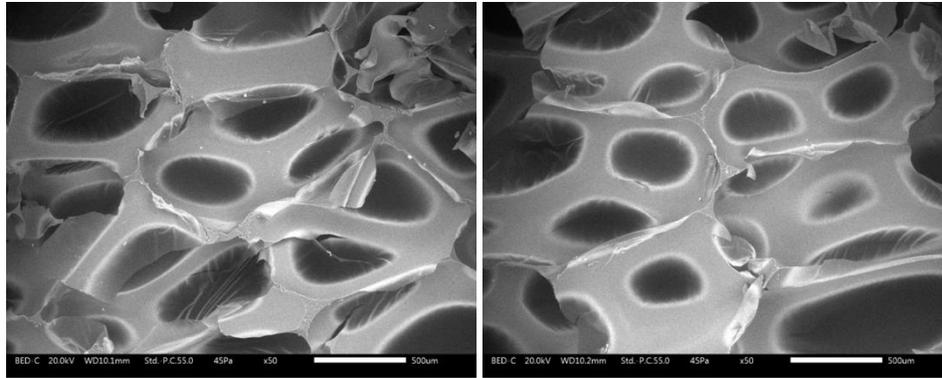


Figura 74. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma D, Forma de celdas-ruptura.

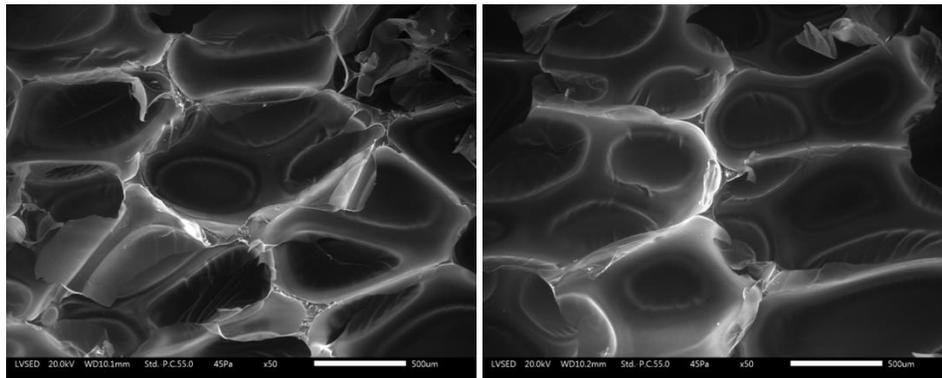


Figura 75. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma D, Forma de celdas-ruptura.

La forma de las celdas de la espuma D son de 4 a 5 lados (Figura 75 y 76), sin embargo son mas redondas que las espumas A,B y C, así como canales más anchos, en la Figura 76 se pueden observar rupturas en las celdas.

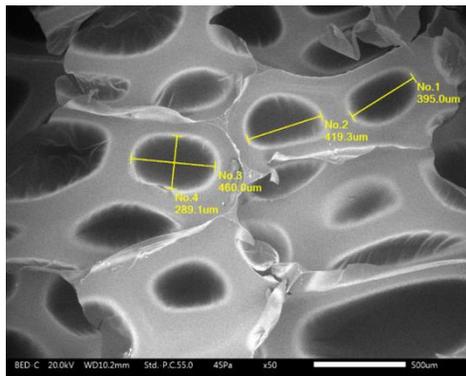


Figura 76. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma D, Tamaño de celdas.

En la Figura 77 se observa el tamaño de celda o poro de la Espuma D, que da un promedio de 380 micrómetros.

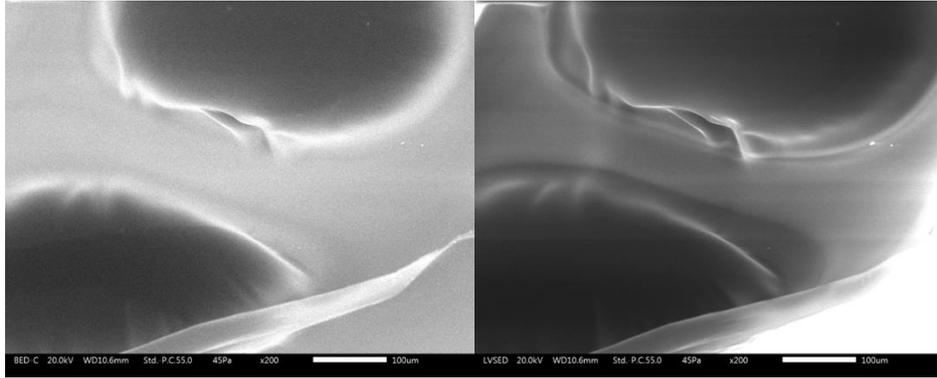


Figura 77. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma D, Canales.

La Figura 78 muestra los canales de la celda de la espuma D.

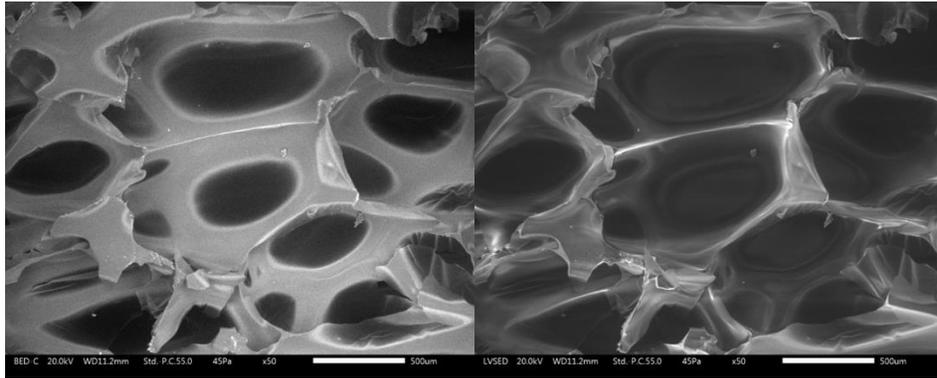


Figura 78. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma E, Forma de celdas-ruptura.

La forma de las celdas de la espuma E son de 4 a 5 lados (Figura 79), sin embargo son mas redondas que las espumas A,B y C, así como canales más anchos, en la Figura 79 también se pueden observar rupturas en las celdas.

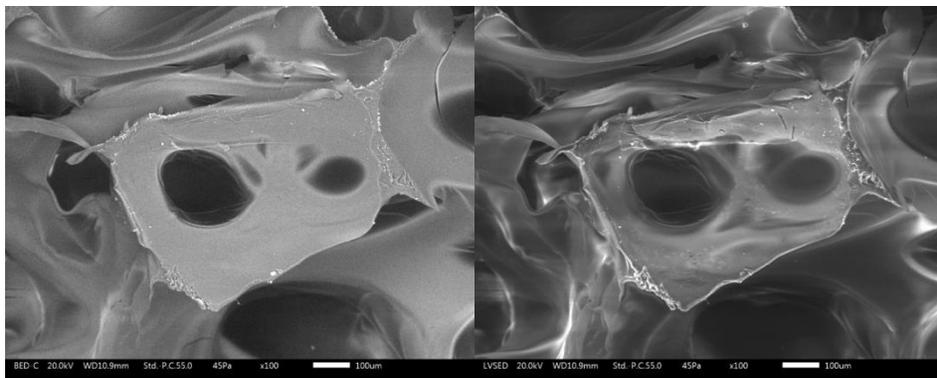


Figura 79. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma E, Forma deformación.

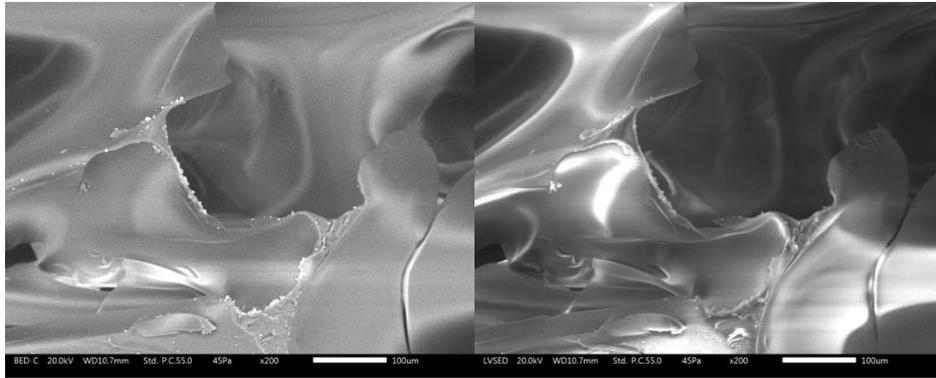


Figura 80. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma E, deformación.

Las Figuras 80 y 81 muestran importantes deformaciones, ya que no se forman celdas, y se obtiene una estructura amorfa.

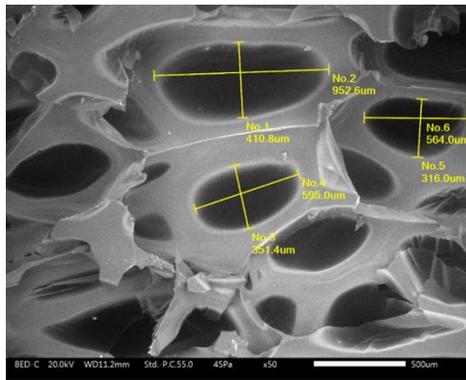


Figura 81. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma E, tamaño de celdas.

En la Figura 82 se observa el tamaño de celda o poro de la Espuma E, que da un promedio de 400 micrómetros.

Las muestras F, G, H, I se metalizaron durante 10 minutos con cobre y se corrieron al vacío en la Universidad Michoacana.

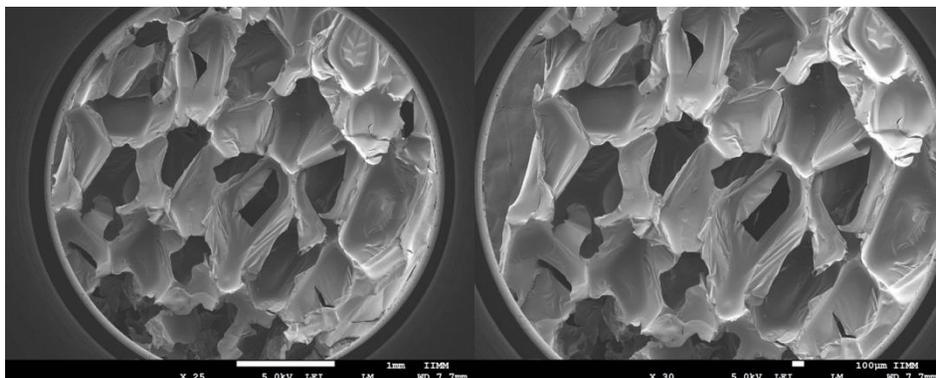


Figura 82. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma F, Forma de celdas.

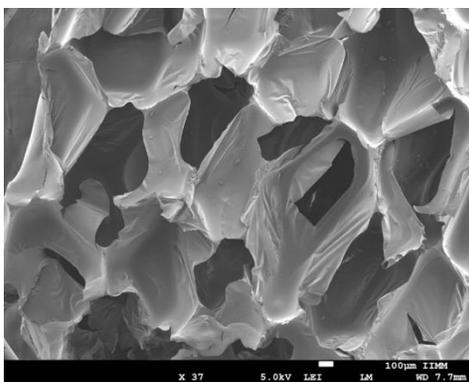


Figura 83. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma F, Forma de celdas acercamiento.

La forma de las celdas de la espuma F son de 5 lados (Figura 83 y 84) y celdas más grandes comparada a las otras espumas.

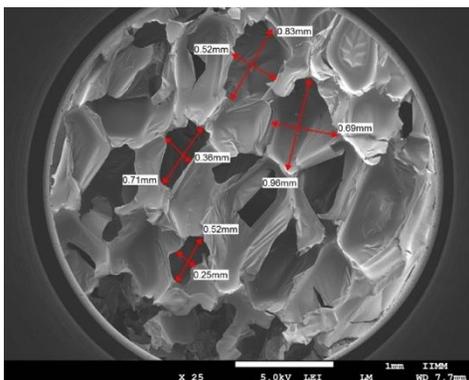


Figura 84. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma F, tamaño de celdas.

En la Figura 85 se observa el tamaño de celda o poro de la Espuma F, que da un promedio de 400 micrómetros.

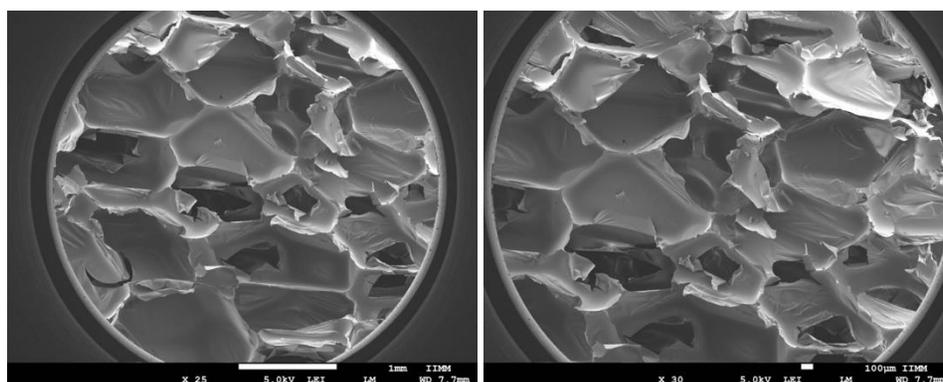


Figura 85. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma G, Forma de celdas.

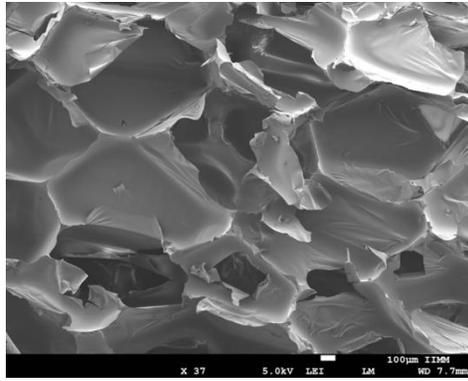


Figura 86. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma G, Forma de celdas acercamiento.

La forma de las celdas de la espuma F son de 5 lados (Figura 8 y 87) y celdas más grandes comparada a las otras espumas con diferente concentración con pequeñas rupturas.

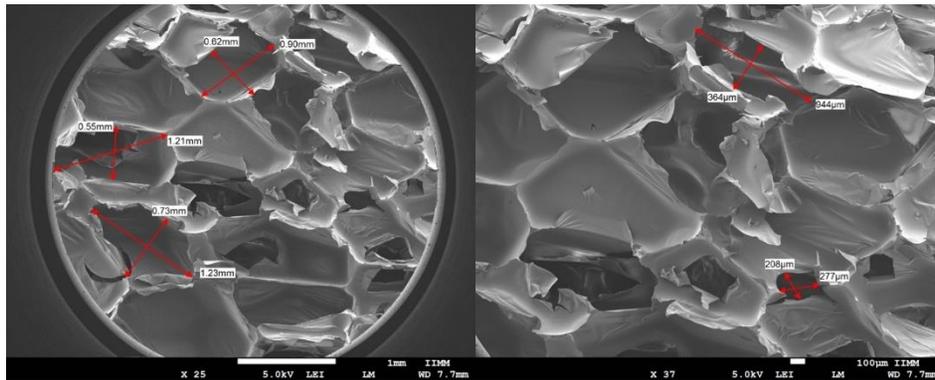


Figura 87. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma G, tamaño de celdas.

En la Figura 88 se observa el tamaño de celda o poro de la Espuma G, que da un promedio de 475 micrómetros.

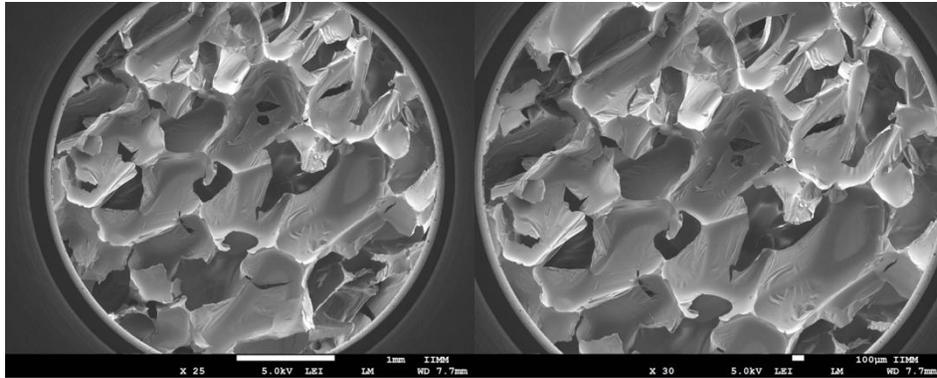


Figura 88. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma H, Forma de celdas.

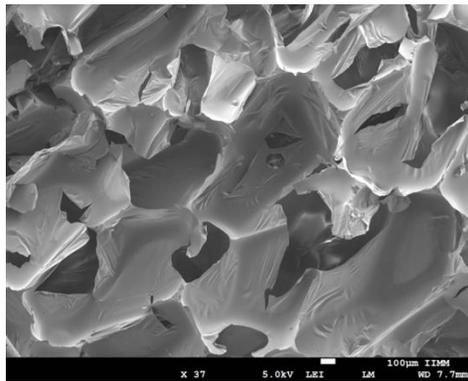


Figura 89. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma H, Forma de celdas acercamiento.

La forma de las celdas de la espuma H son amorfas (Figura 89 y 90) y celdas más grandes comparada a las otras espumas de diferente concentración y rupturas visibles.

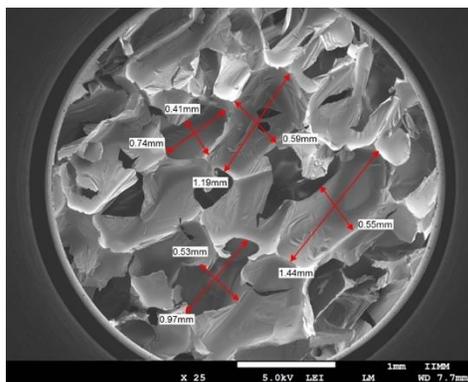


Figura 90. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma H, tamaño de celdas.

En la Figura 91 se observa el tamaño de celda o poro de la Espuma H, que da un promedio de 750 micrómetros.

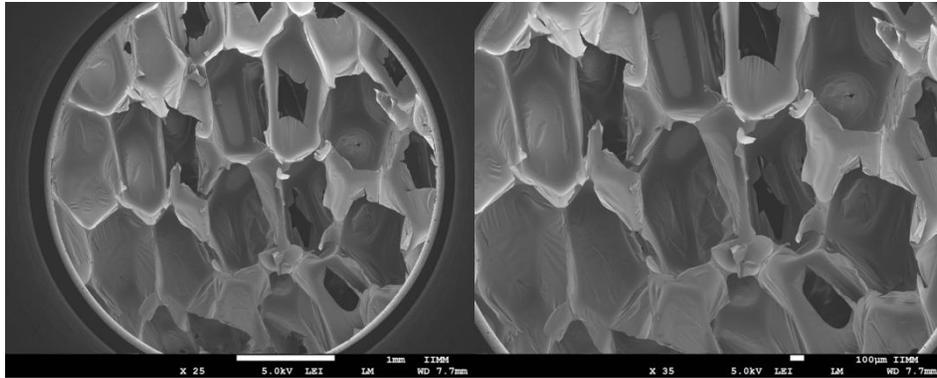


Figura 91. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma I, Forma de celdas.

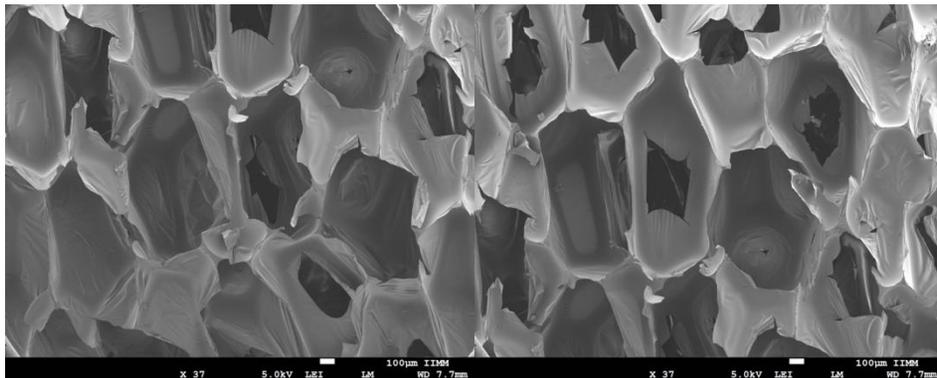


Figura 92. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma I, Forma de celdas acercamiento.

La forma de las celdas de la espuma I son de 5 a 6 lados (Figura 92 y 93) y celdas más grandes comparada a las otras espumas de diferente concentración.

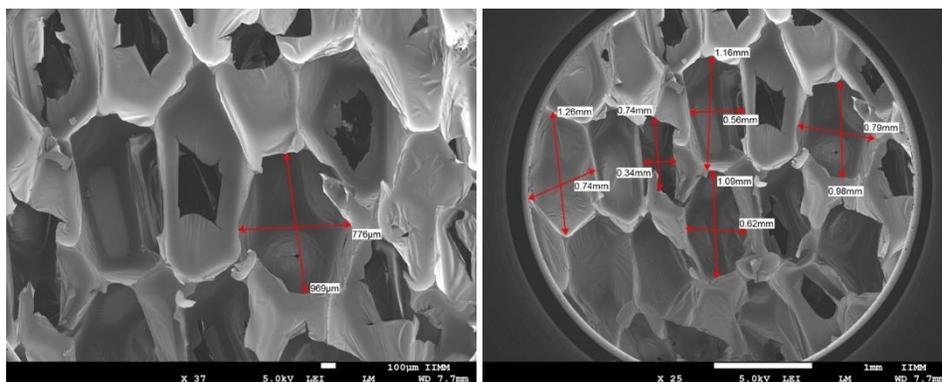


Figura 93. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) Espuma I, tamaño de celdas.

En la Figura 94 se observa el tamaño de celda o poro de la Espuma I, que da un promedio de 730 micrómetros.

Las espumas A,B y C muestran celdas uniformes con 4 o 5 lados, con pocas rupturas o deformaciones, en la espuma C sin embargo se encontraron partículas pequeñas, las espumas D, E y F muestran rupturas, canales mas anchos y amorfos, las celdas son mas circulares, y se encuentran deformaciones estructurales importantes, las espumas G, H, I muestran rupturas, sin embargo se obtienen poros más grandes.

4.1.3 Análisis de Impacto Ambiental a partir de un Análisis de Ciclo de Vida.

4.1.3.1 Análisis de Ciclo de Vida comparativo espuma fenol-espuma poliol.

Objetivos y alcance.

- El análisis realizado fue de la cuna a la tumba, comparativo entre las espumas fenólicas y poliólicas. Se elaboraron 4 escenarios para las espumas fenólicas y 6 para las espumas poliólicas. La unidad funcional fue una espuma de 3000cm³.
- Se obtuvieron los diagramas generales de la elaboración de ambas espumas (Figuras 18 y 22), y se realizó el inventario de ciclo de vida. (Tablas 13 y 14)

Tabla 13. Entradas y Salidas Espumas Fenólicas.

Entradas	A	B	C	D
Resol (g)	76	83	79.5	44.95
Surfactante (g)	3	4	3.5	7.86
Ag. Humectante (g)	3	4	3.5	2.24
Ag. Soplado (g)	4	5	4.5	11.25
Urea (g)	1	1	1	4.5
Cat. Ac.-fenol-sulfónico (g)	4	5	4.5	22.48
Colorante (g)	0.5	0.5	0.5	5.72
Energía KWh	0.85	0.85	0.85	0.85
Salidas	A	B	C	D
Espuma (p)	1	1	1	1
CO ₂ (g)	0.5	0.5	0.5	0.5

Tabla 14. Entradas y Salidas Espumas Polioli.

Entradas/Espuma	1	1C	2	2C	3	3C
Energía (KW/h)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Polietileno (g)	150	150	150	150	150	150
TDI (g)	57.02580	53.6841	61.7643	60.3468	64.343475	67.2504
4,4 diisocianato de difenil metano (g)	19.0086	17.8947	10.29405	10.0578	9.191925	9.6072
Diisocianato polimérico (g)	19.0086	17.8947	10.29405	10.0578	9.191925	9.6072
Resina poliéster (g)	38.0172	35.7894	61.7643	60.3468	36.7677	38.4288
Colorante (g)	0	3	0	3	0	3
Polioli de poliéster (g)	57.02580	53.6841	61.7643	60.3468	64.343475	67.2504
Salidas /espuma	1	1C	2	2C	3	3C
CO ₂ (g)	13.31	4.738	7.52	7.649	9.375	8.199
Espuma (g)	176.75	177.19	198.35	193.49	174.46	186.93

- c) Los Impactos ambientales potenciales, se obtuvieron a partir del software SimaPro (Tabla 15), y se elaboraron los gráficos comparativos correspondientes para el análisis de resultados.

Tabla 15. Categorías de Impacto.

Espuma/categoría		Agotamiento capa de ozono (CFC-11eq)	Calentamiento global (Kg CO ₂ eq)	Smog	Acidificación (Kg SO ₂ eq)	Eutrofización (Kg N eq)	Carcinogénicos (CTUh)	No carcinogénico (CTUh)	Efectos respiratorios (Kg PM 2.5 eq)	Ecotoxicidad (CTUe)	Agotamiento de combustibles fósiles (MJ)
Fenol	A	4.15E-7	2.577	0.139	0.014	0.010	3.54E-7	8.33E-7	4.53E-3	21.073	3.333
	B	5.38E-7	2.945	0.163	0.017	0.012	4.78E-7	1.10 E-6	5.45 E-3	27.102	2.837
	C	4.17E-7	2.595	0.140	0.014	0.010	3.55 E-7	8.35 E-7	4.55 E-3	21.144	3.390
	D	4.22E-7	2.487	0.135	0.014	0.010	3.51 E-7	8.32 E-7	4.45 E-3	20.743	3.070
Poliol	1	4.06E-8	2.342	0.092	9.76E-3	1.51E-3	3.08 E-7	2.25 E-7	6.64 E-4	3.327	4.552
	1C	2.02E-7	1.313	0.089	8.22E-3	1.46E-3	2.97 E-7	1.78 E-7	6.36 E-4	3.183	4.356
	2	5.64E-8	1.422	0.093	9.72E-3	1.87E-3	3.21 E-7	2.23 E-7	7.30 E-4	3.465	4.453
	2C	5.84E-8	1.400	0.092	9.59E-3	1.84E-3	3.15 E-7	2.19 E-7	7.19 E-4	3.395	4.413
	3	4.06E-8	1.297	0.087	9.36E-3	1.51E-3	2.78 E-7	2.08 E-7	6.51 E-4	2.804	4.190
	3C	2.06E-7	1.379	0.090	8.50E-3	1.57E-3	2.95 E-7	1.77 E-7	6.74 E-4	2.879	4.264

- d) Se seleccionaron 6 categorías de impacto para realizar el análisis de resultados; Agotamiento de la capa de ozono, Calentamiento global, Eutrofización, Acidificación, Ecotoxicidad y Agotamiento de combustibles fósiles.

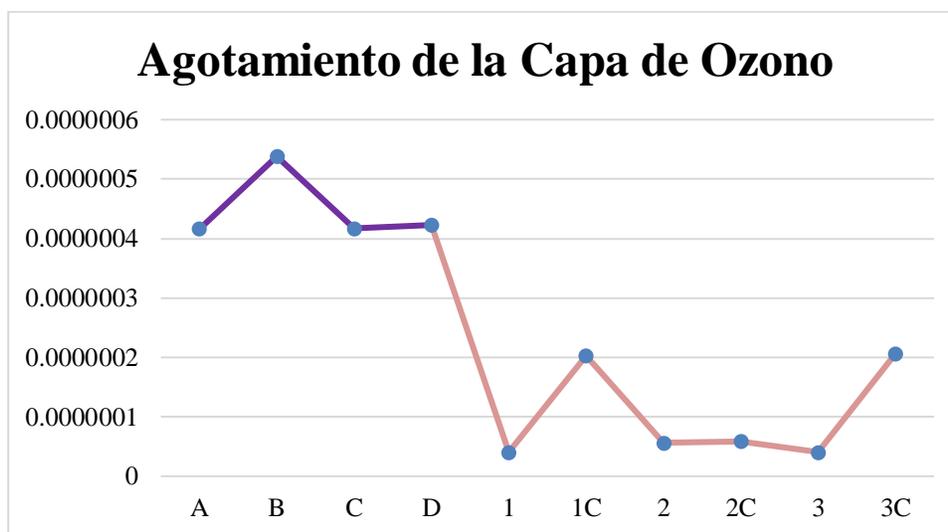


Figura 94. Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC-11 eq).

En el caso del agotamiento de la capa de ozono (Figura 95), se observa que las espumas fenólicas generan una mayor contribución que las espumas a partir de polioles. La espuma fenólica que mayor contribución genera es la espuma B, mientras que la espuma C tiene el menor valor, debido a la mayor composición de monoetanolamina en la espuma B. En las espumas poliólicas el valor más alto se observa en la espuma 3C y el más bajo en la 1. En esta categoría se observa que el uso de colorante en las espumas de polioles ayuda a incrementar el agotamiento de la capa de ozono.

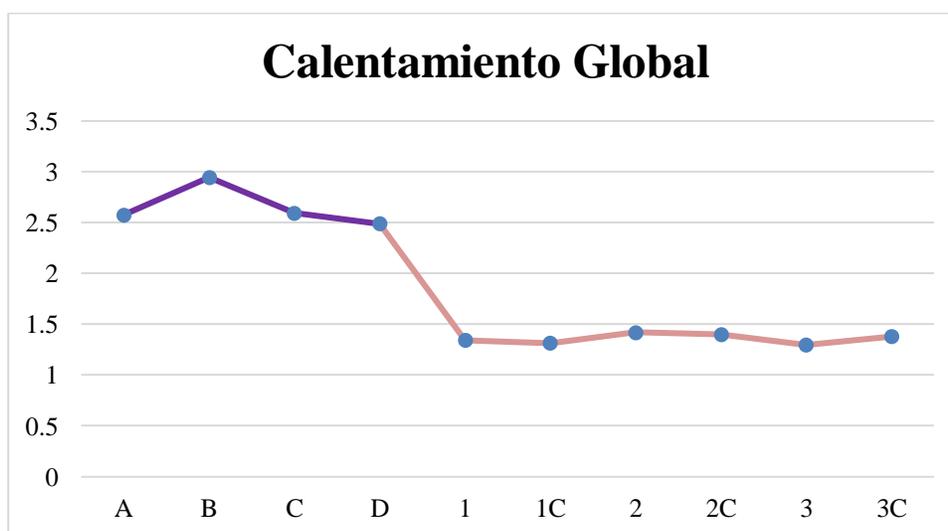


Figura 95. Calentamiento global (kg CO₂ eq).

En el calentamiento global (Figura 96), se observa que las espumas fenólicas generan una mayor contribución que las espumas a partir de polioles. La espuma fenólica que mayor contribución genera es la espuma B, mientras que la espuma D tiene el menor valor. En las espumas poliolicas el valor más alto se observa en la espuma 2 y el más bajo en la 1C.

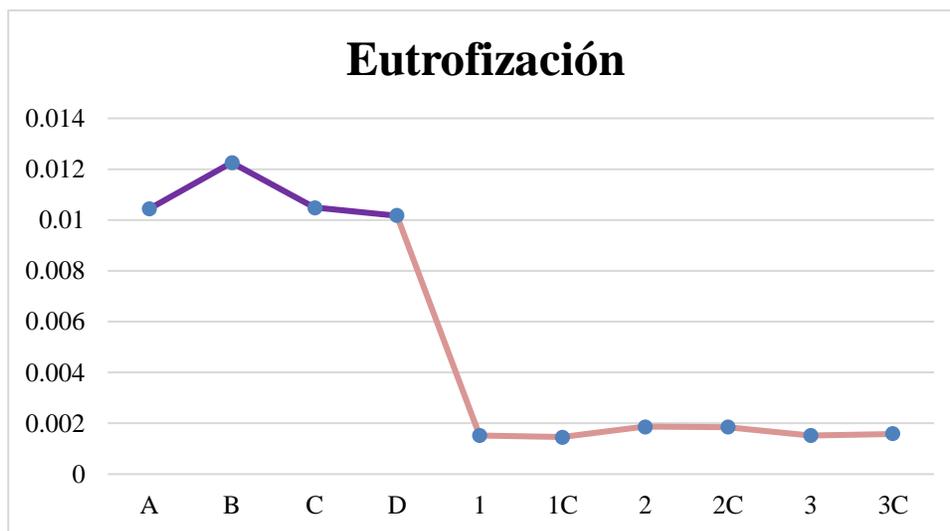


Figura 96. Eutrofización (kg N eq).

En eutrofización (Figura 97), se observa que las espumas fenólicas generan una mayor contribución que las espumas a partir de polioles. La espuma fenólica que mayor contribución genera es la espuma B, mientras que la espuma D tiene el menor valor. En las espumas poliolicas el valor más alto se observa en la espuma 2 y el más bajo en la 3, esto puede ser ocasionado.

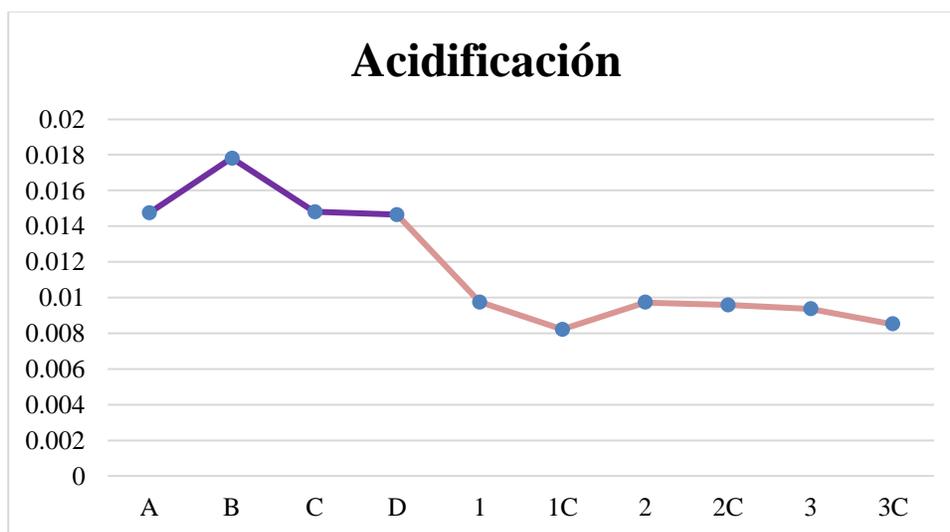


Figura 97. Acidificación (kg SO₂ eq).

En la acidificación (Figura 98), se observa que las espumas fenólicas generan una mayor contribución que las espumas a partir de polioles. La espuma fenólica que mayor contribución genera es la espuma B, mientras que la espuma D tiene el menor valor. En las espumas poliólicas el valor más alto se observa en la espuma 1 y el más bajo en la 1C.

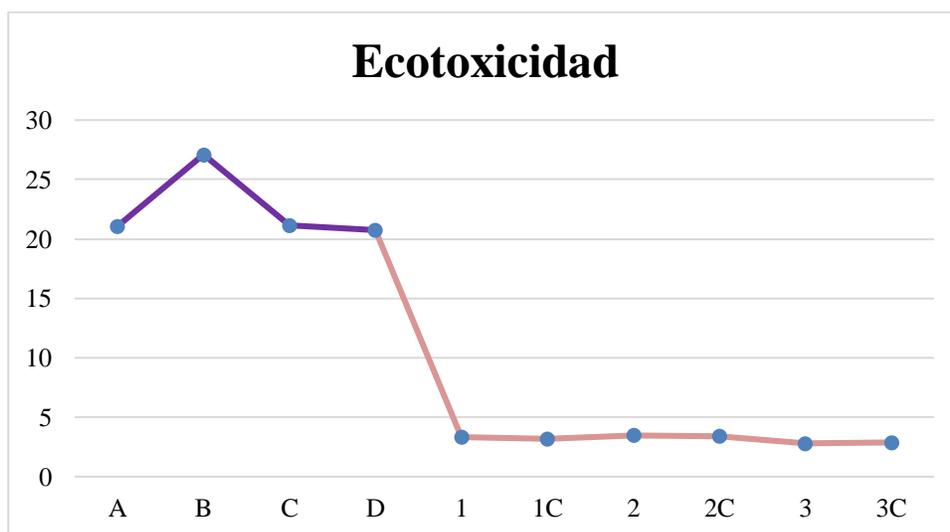


Figura 98. Ecotoxicidad (CTUe).

Los valores de ecotoxicidad (Figura 99) en la elaboración de espumas fenólicas son altos, al igual que en el estudio realizado en la Universidad de Sheffield (2014) ^[6], siendo una categoría que impacta a largo plazo. Sin embargo en el caso de las espumas poliólicas estos

valores disminuyen considerablemente. La espuma fenólica que mayor contribución genera es la espuma B, mientras que la espuma D tiene el menor valor. En las espumas poliólicas el valor más alto se observa en la espuma 2 y el más bajo en la 3.

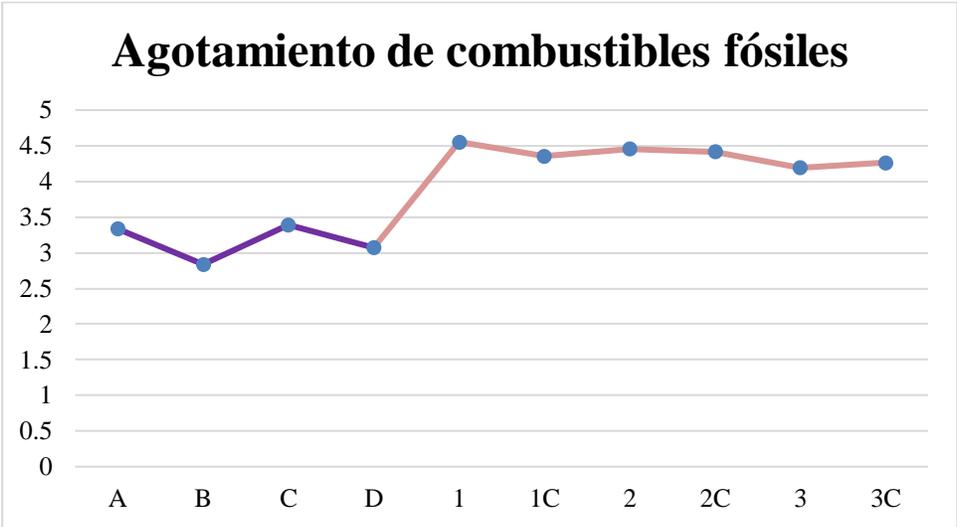


Figura 99. Agotamiento de combustibles fósiles (MJ surplus).

En la categoría de agotamiento de combustibles fósiles (Figura 100) se observa que las espumas poliólicas tienen una mayor contribución comparada a las espumas fenólicas. En las espumas fenólicas la que genera una mayor contribución es la espuma C, mientras que la espuma B es la que menos impacto genera, atribuido a la composición de resina. En las espumas poliólicas, la que mayor impacto genera es la espuma 1, y la que obtuvo el menor impacto es la espuma 3.

4.1.3.2 Análisis de Ciclo de Vida espumas de polioli.

Objetivos y alcance.

- a) El análisis realizado fue de la cuna a la tumba. Se elaboraron 6 escenarios para las espumas de polioli y la unidad funcional fue una espuma.
- b) Al desarrollar el análisis de inventario se elaboró el diagrama general de la elaboración de espumas poliolicas (Figura 18), y las entradas y salidas del sistema. (Tabla 16)

Tabla 16. Entradas y salidas de la elaboración de espumas de polioli en laboratorio.

Espuma		1	1C	2	2C	3	3C
Entradas	Energía (KWh)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
	Polietileno (g)	28.45	28.43	28.38	28.53	28.56	28.47
	TDI (g)	1.900	1.789	2.058	2.011	2.144	2.241
	Polioli de Poliéter(g)	1.900	1.789	2.058	2.011	2.144	2.241
	MDI (g)	0.633	0.596	0.343	0.335	0.306	0.320
	Diisocianato polimérico (g)	0.633	0.596	0.343	0.335	0.306	0.320
	Resina poliéster (g)	1.267	1.192	2.058	2.011	1.225	1.280
	Colorante (g)	0	0.1	0	0.1	0	0.1
Salidas	CO ₂	0.443	0.159	0.256	0.264	0.334	0.280
	Espuma	6.336	5.964	6.862	6.705	6.127	6.404
	Polietileno (g)	28.45	28.43	28.38	28.53	28.56	28.47

- c) Se obtuvieron los resultados de impactos potenciales a partir del software (Tabla 17), y se elaboraron los gráficos comparativos correspondientes (Figura 101).

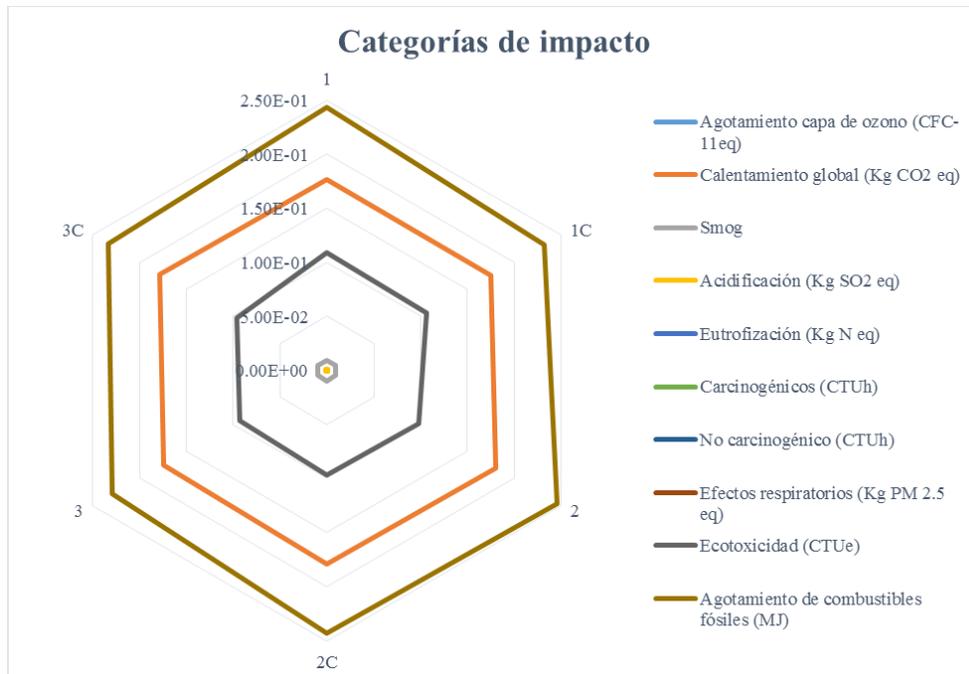


Figura 100. Categorías de Impacto.

En la Figura 101 se observa que las categorías de impacto ambiental en donde se encuentran los valores mayores, son agotamiento de combustibles fósiles, calentamiento global y ecotoxicidad, por lo que se seleccionan las mismas para el presente proyecto, así como agotamiento de la capa de ozono, acidificación y eutrofización. De las categorías anteriores se seleccionaron 6 para realizar el análisis de resultados; Agotamiento de la capa de ozono, Calentamiento global, Eutrofización, Acidificación, Ecotoxicidad y Agotamiento de combustibles fósiles.

Tabla 17. Categorías de Impacto.

Espuma/categoría	Agotamiento capa de ozono (CFC-11eq)	Calentamiento global (Kg CO ₂ eq)	Smog	Acidificación (Kg SO ₂ eq)	Eutrofización (Kg N eq)	Carcinógenos (CTUh)	No carcinógenos (CTUh)	Efectos respiratorios (Kg PM 2.5 eq)	Ecotoxicidad (CTUe)	Agotamiento de combustibles fósiles (MJ)	
Poliol	1	7.107E-9	0.1766	9.48E-3	1.23E-3	1.02E-4	1.1358E-09	1.4519E-08	6.64 E-4	0.1091	0.2433
	1C	1.354E-8	0.1752	9.29E-3	1.16E-3	1.01E-4	1.1317E-09	1.263E-08	6.36 E-4	0.1068	0.2324
	2	7.651E-9	0.1804	9.63E-3	1.24E-3	1.09E-4	1.1073E-09	1.4336E-08	7.30 E-4	0.0980	0.2458
	2C	7.719E-9	0.1794	9.60E-3	1.23E-3	1.09E-4	1.0982E-09	1.4186E-08	7.19 E-4	0.0968	0.2428
	3	7.105E-9	0.1747	9.28E-3	1.21E-3	1.03E-4	1.0585E-09	1.3902E-08	6.51 E-4	0.0930	0.2290
	3C	1.412E-8	0.1783	9.44E-3	1.18E-3	1.04E-4	1.101E-09	1.2612E-08	6.74 E-4	0.0964	0.2340

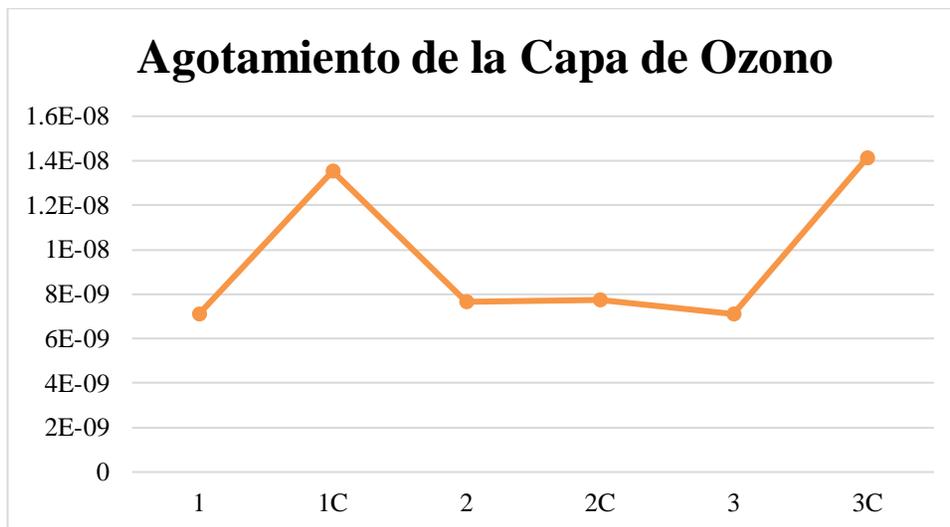


Figura 101. Agotamiento de la capa de ozono kg (CFC-11 eq).

En la Figura 102 se observa que las espumas con colorante generan un mayor agotamiento de la capa de ozono.

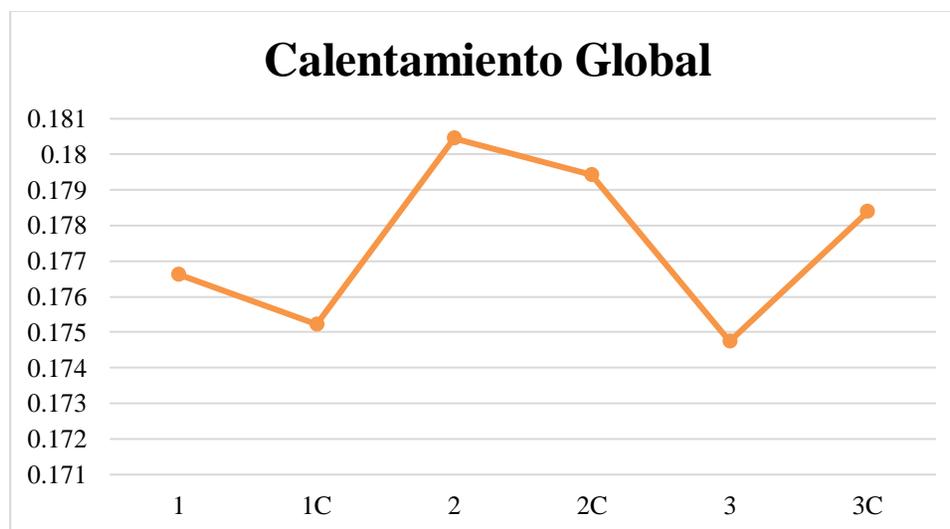


Figura 102. Calentamiento global (kg CO₂ eq).

Con base en la Figura 103 se concluye que las espumas con mayor contenido de resina 2-2C generan una mayor contribución al calentamiento global.

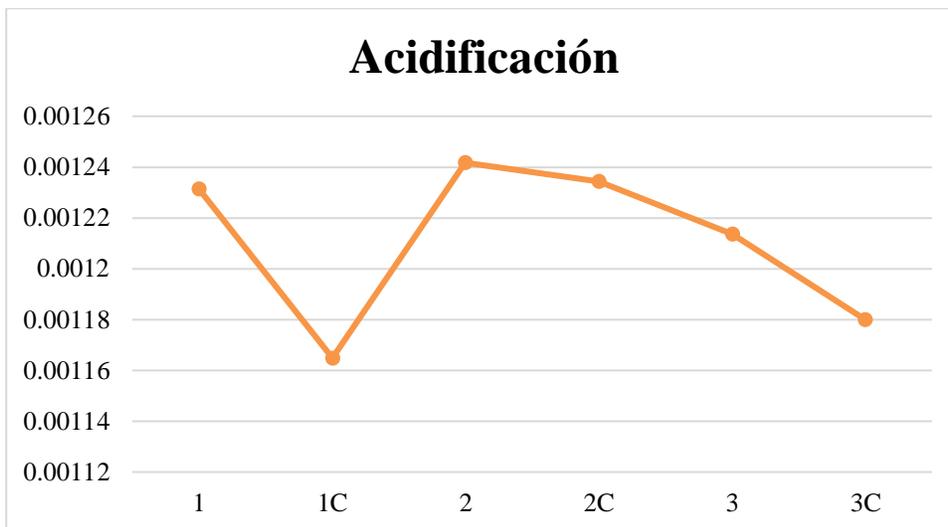


Figura 103. Acidificación (kg SO₂ eq).

En la Figura 104 se observa como la acidificación disminuye con el uso de colorante y el uso de mayor concentración de resina involucra un mayor impacto.

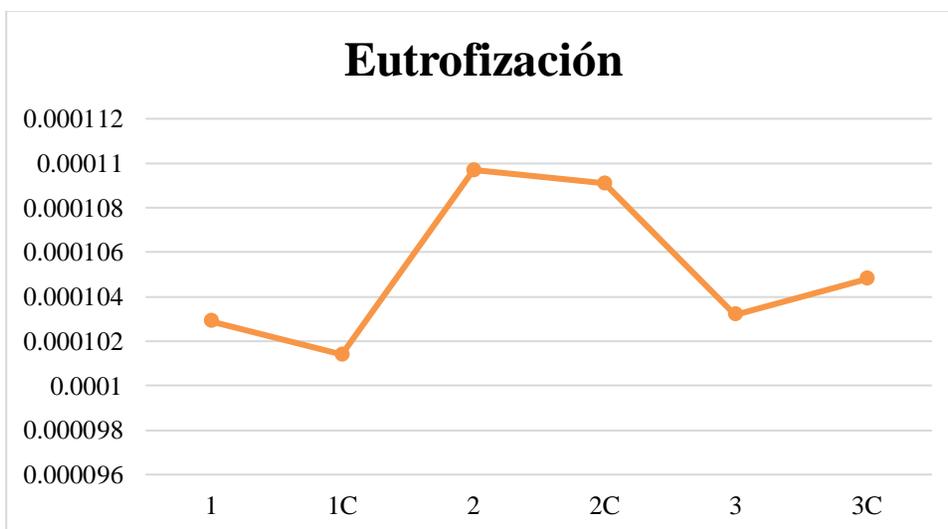


Figura 104. Eutrofización (kg N eq).

La eutrofización (Figura 105) aumenta en el escenario 3C, sin embargo, no se observa el mismo comportamiento en las otras espumas con colorante (1C, 2C).

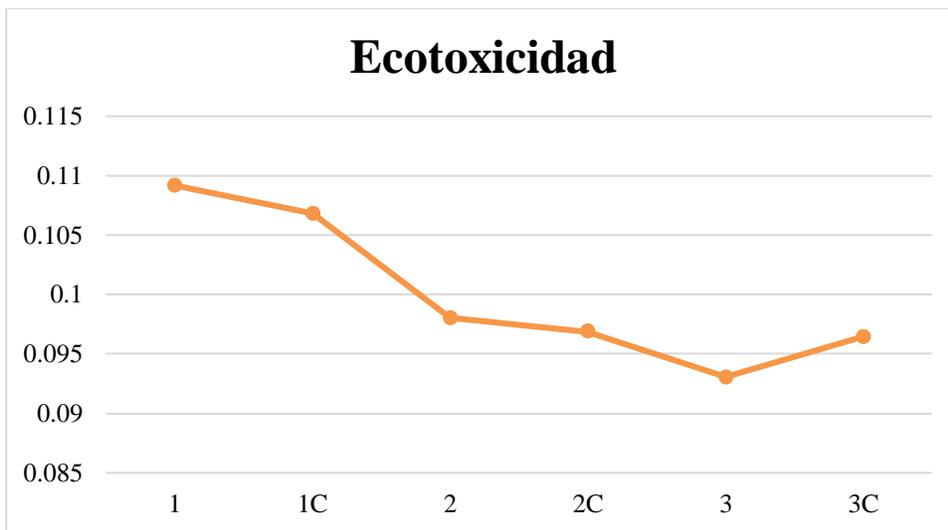


Figura 105. Ecotoxicidad (CTUe).

La ecotoxicidad (Figura 106) al contrario de las otras categorías evaluadas, disminuye gradualmente, por lo que la concentración 1:1 (1,1C) es la que genera un mayor impacto en esta categoría.

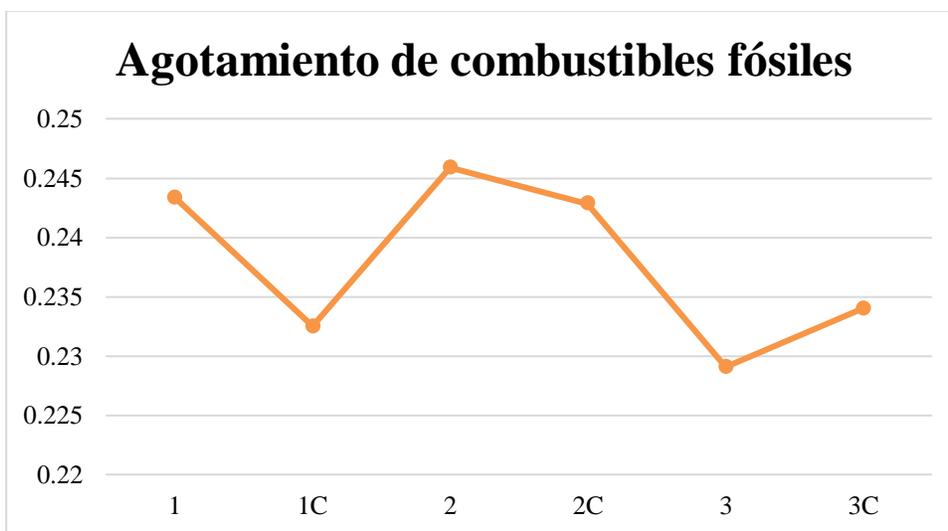


Figura 106. Agotamiento de combustibles fósiles (MJ surplus).

En la Figura 107 se observa que a mayor concentración de resina,(2,2C) mayor es el impacto generado en la categoría de agotamiento de combustibles fósiles.

4.2 DISCUSIÓN

Elaboración de espumas:

Se obtuvieron 9 espumas poliméricas con porosidad como se muestran en las Figuras 39 y 40, característica fundamental de una espuma para sustrato hidropónico. Y a través de la caracterización se obtuvo su absorción de humedad que en promedio fue cercana a 15% (Tabla 12). En la tabla se comparan todos los resultados obtenidos mediante caracterización. Se determinó durante la elaboración que el uso de colorante aumenta el tiempo de reacción total de la espuma (Tabla 12).

Durante la elaboración se seleccionaron dos tipos de moldes, y se seleccionó el cuadrangular por fácil desmolde (Figura 17), se observó que se debe llevar a cabo una agitación uniforme (Figura 21) para lograr integrar el colorante completamente, ya que a través de la observación con lámpara UV (Figuras 41 y 42) y con la Microscopía Electrónica de Barrido (Figuras 63-94), se pudieron observar pequeñas partículas en la estructura o canales de algunas espumas.

Diseño experimental:

Mediante el análisis de un solo factor, para la concentración (A:B), y tomando en cuenta como variable de respuesta el tamaño de poro y la absorción de humedad (Tablas 3 y 6), se obtiene que las espumas son diferentes mediante la realización de pruebas de comparación múltiple, ANOVA (Tablas 4 y 7) y la verificación del supuesto de normalidad (Figuras 12 y 13) y se determina que el experimento cumple con el supuesto.

Caracterización:

El tamaño de poro en las espumas A-G fue de 400 micrómetros aproximadamente, sin embargo el tamaño de poro de las espumas H-I, fue el mayor de todas (700 micrómetros aproximadamente) como se observa en la Tabla 12. El % masa de absorción de las espumas fue entre 12-14% en las espumas D-I, sin embargo, las espumas A-C mostraron una absorción mayor (15% aproximadamente).

ACV

Con los resultados obtenidos por el software en el Análisis de Ciclo de Vida comparativo entre espuma fenol y espuma de polioliol, se puede decir que en el caso de las espumas poliólicas la espuma que menos impacta es la 3, y caso contrario, la espuma 2 es la que más impacto genera, esto contradice a la teoría inicial que las espumas con colorantes, denominadas C, generarían mayores impactos al ambiente, el colorante solo genera una mayor contribución en la categoría de agotamiento de capa de ozono. Al analizar el impacto generado por cada componente del sistema, se determina que la utilización de moldes de polietileno genera una importante contribución en el proceso, sin embargo dichos moldes son reutilizables, en el caso de los componentes químicos, el que mayor contribución ofrece es el TDI, seguido por la resina poliéster y el polioliol, sin embargo el TDI tiene un mayor impacto en la categoría de smog, categoría que no es tomada en cuenta en el caso de estudio.

Para la comparación de ambas espumas, el agotamiento de la capa de ozono (Figura 95), la espuma fenólica que mayor contribución genera es la espuma B, mientras que la espuma C tiene el menor valor, debido a la mayor composición de monoetanolamina en la espuma B. En las espumas poliólicas el valor más alto se observa en la espuma 3C y el más bajo en la 1, esto puede ser ocasionado debido al aumento de la concentración de la resina. En el calentamiento global (Figura 96), la espuma fenólica que mayor contribución genera es la espuma B, mientras que la espuma D tiene el menor valor, debido a la mayor composición de resina en la espuma B. En las espumas poliólicas el valor más alto se observa en la espuma 2 y el más bajo en la 1C, esto puede ser ocasionado debido a que la resina en la espuma 2 genera mayores contribuciones. En eutrofización (Figura 97), la espuma fenólica que mayor contribución genera es la espuma B, mientras que la espuma D tiene el menor valor, debido a la mayor composición de resina en la espuma B. En las espumas poliólicas el valor más alto se observa en la espuma 2 y el más bajo en la 3, esto puede ser ocasionado debido a que la resina en la espuma 2 genera mayores contribuciones. En la acidificación (Figura 98), la espuma fenólica que mayor contribución genera es la espuma B, mientras que la espuma D tiene el menor valor, debido a la mayor composición de resina en la espuma B. En las espumas poliólicas el valor más alto se observa en la espuma 1 y el más bajo en la 1C, esto puede ser ocasionado debido a que la utilización de TDI en la espuma 1 es mayor. Los valores de ecotoxicidad (Figura 99) en la elaboración de espumas fenólicas son altos, al igual que en el estudio realizado en la Universidad de Sheffield (2014) ^[6], siendo una categoría que impacta a largo plazo, la espuma fenólica que mayor contribución genera es la espuma B, mientras que la espuma D tiene el menor valor, debido a la mayor composición de resina en la espuma B. En las espumas poliólicas el valor más alto se observa en la espuma 2 y el más bajo en la 3, esto debido a que la espuma 2 tiene una mayor composición de resina.

En la categoría de agotamiento de combustibles fósiles (Figura 100) se observa que las espumas poliólicas tienen una mayor contribución comparada a las espumas fenólicas, esto se puede deber a que en el proceso de elaboración los moldes utilizados son a partir de polímeros, mientras que en las otras espumas son moldes metálicos. En las espumas poliólicas, la que mayor impacto genera es la espuma 1, y la que obtuvo el menor impacto es la espuma 3, esto se debe a que la espuma 1 tiene una mayor composición de metilendiisocianato.

En las espumas fenólicas se observa que la mejor espuma es la D y la peor es la B. Las mayores cantidades en las categorías de impacto, se atribuyen al molde de aluminio, sin embargo dentro de los químicos empleados, destaca también el uso de la resina fenólica.

Al realizar la comparación de ambos tipos de espumas se concluye que la elaboración de espumas fenólicas genera mayores impactos en las categorías de agotamiento de la capa de ozono, acidificación, eutrofización, calentamiento global y ecotoxicidad, sin embargo en la categoría de agotamiento de combustibles fósiles el resultado es que las espumas poliólicas generan una mayor contribución, debida a la utilización de moldes poliméricos en comparación a los moldes de las espumas fenólicas que son metálicos, sin embargo, en ambos casos se observa que la mayor contribución en las categorías de impacto ambiental es debido a la utilización de resinas.

Se evaluaron las espumas de polioliol y se observó que las mayores contribuciones al impacto ambiental surgieron en las categorías de agotamiento de combustibles fósiles, ecotoxicidad y calentamiento global.

El uso de colorante en la elaboración de espumas tiene una contribución en la categoría de calentamiento global. En la Figura 104 se observa como la acidificación disminuye con el uso de colorante, esto puede ser ocasionado debido a que es una sustancia orgánica, sin embargo, el uso de mayor concentración de resina involucra un mayor impacto. La eutrofización (Figura 105) aumenta en el escenario 3C, sin embargo, no se observa el mismo comportamiento en las otras espumas con colorante (1C, 2C), se concluye que a mayor concentración de resina (2,2C), mayor impacto, lo mismo sucede con una mayor concentración de poliol.

5 CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSIONES

Con el presente proyecto, se logró elaborar una espuma en laboratorio, inocua, que brinda soporte, con aireación y absorción de humedad de hasta 15% su peso, características necesarias para la utilización de espumas como sustrato hidropónico.

Para el diseño experimental del proyecto se realizó el análisis de un solo factor para corroborar si la concentración afectaba: el tamaño de poro y la absorción, mediante la tabla de ANOVA y 4 pruebas de comparación múltiple, en ambos casos, se rechazó la hipótesis, es decir al menos una concentración es diferente; afecta el tamaño de poro y la absorción, como método de comprobación, se realizó el gráfico de residuales vs frecuencia acumulada (Figuras 12 y 13) y se observaron tendencias normales, el valor de R^2 era cercano a 0.9 por lo que cumplió con el supuesto de normalidad.

Durante la elaboración se concluyó que el uso de moldes cuadrados era para facilitar el desmolde posterior, el tiempo de reacción de espuma de poliol es corto y las concentraciones si cambian el aspecto de la espuma.

Las espumas fueron caracterizadas mediante Infrarrojo por Transformada de Fourier, y Rayos X, y se observaron grupos funcionales que dan como resultado la observación de compuestos en la espuma; poliuretano, uretano, urea, TDI y MDI. Mediante Microscopía Electrónica de Barrido se pudieron determinar el tamaño de poros de cada espuma que en promedio fue de 500 micrómetros, la forma de las celdas se encontró entre 4 y 5 lados. Se obtuvieron porcentajes de absorción (masa) de 15%.

Se aplicó la metodología Análisis de Ciclo de Vida a la elaboración de espumas de poliol, siguiendo la normatividad ISO 14040-14045 y utilizando el software SimaPro, observándose el mayor impacto ambiental en las categorías; agotamiento de combustibles fósiles, calentamiento global y ecotoxicidad, sin embargo, la categoría de agotamiento de combustibles fósiles se ve afectada directamente por los moldes con los que se elaboraron la espuma, por lo que existe la oportunidad de buscar otras opciones. Así mismo se realizó un ACV comparativo de las espumas elaboradas en el proyecto, con la estimación de la elaboración de espumas fenólicas, en donde se observó una mayor contribución en posibles impactos ambientales con la elaboración de espumas fenólicas, por lo que se concluye que las espumas de poliol son una buena alternativa de sustrato hidropónico ya que genera menor impacto ambiental en su elaboración.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Resh H.M., *Cultivos hidropónicos- nuevas técnicas de producción*. Quinta edición, Ediciones Mundi-prensa, España.
- [2] Venegas, S.P. (2015). *Química verde en polímeros de uso hidropónico*. Cuernavaca, Morelos. Tesis UAEM
- [3] White, B. (2004), *Alternative Hydroponic Substrates*, Media Fertilizer, GPN.
- [4] Espinoza , D.A. (2010) *Elaboración de espumas florales fenólicas que incorporan nutrientes, sustancias inhibidoras de etileno, preservantes y bactericidas para la conservación prolongada de plantas obtenidas in vitro en el laboratorio de cultivo de tejidos*. Sangolqui, Ecuador. Tesis.
- [5] Lagel M.C., Pizzi A., Giovando S. y Celzard A.(2014), *Development and Characterisation of Phenolic Foams with Phenol-Formaldehyde-Chestnut Tannins Resin*. J. Renew. Mater., Vol. 2, No. 3, Scrivener Publishing LLC.
- [6] Tingley, D., Hathway, Davison y Allwood. (2014), *The environmental impact of phenolic foam insulation boards*. Construction Materials, ICE Publishing, UK.
- [7] Mazo, P., Yarce, O., Rios, L. A.,(2010) *Síntesis de Espumas Rígidas de Poliuretano Obtenidas a partir de Aceite de Castor y Poliglicerol Empleando Calentamiento por Microondas*, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Antioquia.
- [8] Vega-Baudrit, J., Delgado-Montero, K., Sibaja-Ballesteros, M., Alvarado-Aguilar, P. (2007), *Uso alternativo de la melaza de la caña de azúcar residual para la síntesis de espuma rígidas de poliuretano (ERP) de uso industrial*, Tecnología, Ciencia, Educación, vol. 22, núm. 2, pp. 101-107 Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C
- [9] Johnas C., Walter, H., *A Life Cycle Look at Spray Foam Expansion Agents: A Cradle-to-Grave Analysis*, DuPont, Lancaster, Wilmington.
- [10] Zabalza, I., Valero, A., Arnada, A., (2011) *Life Cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*, Building and Environment 46 (2011) 1133-1140 (Elsevier), CIRCE, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España.
- [11] Von der Assen, N., Bardow, A. (2014), *Life cycle assessment of polyols for polyurethane production using CO₂ as feedstock: insights from an industrial case study*, Green Chem.
- [12] Basbagill, J., Flager, F., Lepech, Fischer, M. (2013), *Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts*, Building and Environment 60, pp. 81-92 Elsevier, Stanford University, California, USA.

- [13] <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/usos.aspx?tema=T> (usos de agua INEGI) Consultado el 17/04/17
- [14] Katime, I., *Hidrogeles inteligentes*. Grupo de Nuevos Materiales. Universidad del País Vasco, Campus de Leioa, España.
- [15] <http://hidroponia.mx/principales-beneficios-del-foami-agricola/> Consultado el 15/05/17
- [16] <https://www.plenco.com/phenolic-novolac-resol-resins.htm>
- [17] http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TablasIR_24985.pdf
- [18] http://www.fisica.unam.mx/andrea/tecnicas_equipos/ftir.html
- [19] L. H. Sperling, *Introduction to physical polymer science*, Editorial Wiley, p.207-220
- [20] Ipohorski M. y Bozzano P. (2013), *Microscopía Electrónica de Barrido en la caracterización de materiales*. Ciencia e Investigación, tomo 63 No.3, p. 43-53
- [21] <https://metodosexperimentales.wordpress.com/microscopia-electronica-de-barrido-sem/>
- [22] <http://www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf> Consultado el 07/03/2017
- [23] <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-analisis-ciclo-vida.html> Consultado el 10/04/2017
- [24] https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250504/2013/Analisis%20del%20Ciclo%20de%20Vida.pdf
- [25] Pilato, L. (1979). *Floral Foam product and method of producing the same which incorporates a flower preservative*, Bound Brook, NJ.
- Anastas, P., Warner, J., (1998) *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press, New York.
- Barrioni, Breno & De Oliveira, Agda Aline & L. Oréfice, Rodrigo & Pereira, Marivalda. (2014). *Biodegradable polyurethane films based on hexamethylene diisocyanate and composites obtained by ultrasonic method*.
- Benton, J.,(2005) *Hydroponics- A practical guide for the soilless grower*. Second edition CRC Press U.S.
- Carraher Jr., C., *Polymer chemistry*, 7th Edition, p.430
- Cabrera R., J.; J. C. Alcántara Ñ.; E. Sánchez M.; A. E. Hernández M.; L. Granada C. (2006). *Producción de Belén Impatiens spp. en Morelos*. Folleto técnico número 25. Zacatepec, Morelos, México. 13 p.
- Cheremisinoff, N., *Polymer characterization laboratory techniques and analysis*, Editorial Noyes publications, p. 73-80

Durán, F., *Manual de Cultivos hidropónicos* Editor: Grupo latino editores S.A.S. Primera Edición Colombia

García P., F.; S. Ramírez R.; F de J. Osuna C.; T. Ocampo O. 2009. *Enfermedades de las principales ornamentales en Morelos. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Folleto técnico número 39. Zacatepec, Morelos, México. 30 p.

Lancaster, M., (2010) *Green Chemistry- An introductory text*. Second edition, RSC Publishing

Lopes, M., De Souza Jr., F., Oliveira, G., (2010) *Espumados Magnetizáveis Úteis em Processos de Recuperação Ambiental*, Polímeros, vol. 20, n. especial, p. 359-365

Nelson, W., (2004) *Agricultural applications in green chemistry*, Oxford University Press, USA.

Osuna C., F. de J.; S. Ramírez. R. 2009. *Calidad y acondicionamiento del agua usada en sistemas hidropónicos y de fertirriego en Morelos*. Folleto técnico número 38. SAGARPA-INIFAP. Zacatepec, Morelos, México. 39 p.

Rojas de Gascue, B., M. Ramírez; R. Aguilera; J. L. Prin; C. Torres. 2006. “*Los hidrogeles polímeros como potenciales de reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos*”. Revista Iberoamericana de Polímeros 7(3):199-210.

Steiner, A. A. 1984. *The universal nutrient solution*. pp. 633-649. In: Proceedings of Sixth International Congress on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands.

Villegas T., O. G., C. M. Acosta D., H. Sotelo N., E. Agustín M., M. Andrade R., A. D. Hernández F., S. Moreno L. 2012. *Concentración iónica total de la solución nutritiva y sustratos en la producción de lilis (Lilium sp.) “maru”, en contenedor*. pp. 55-71. In: Acosta D., C. M.; O. G. Villegas T.; I. Alia T.; M. Andrade R.; D. Guillén S.; V. López M. (eds.). Tópicos selectos de horticultura. Trillas-Universidad Autónoma del Estado de Morelos. D. F., México.

https://www.floramundo.com.mx/index.php?route=product/product&product_id=104 (Consultado el 10/10/2017)

<https://sites.google.com/site/cienciasnaturalesunemi/contenidos/ciclo-de-vida-las-plantas> (Consultado el 26/10/2017)

Life Cycle Assessment of Spray Polyurethane Foam Insulation for Residential & Commercial Building Applications, Spray Polyurethane Foam Alliance

<http://www.sprayfoam.org/files/docs/SPFA%20LCA%20Long%20Summary%20New.pdf>

<http://www.simapro.es/> (Consultado el 27/10/2017)

http://www.cegesti.org/ecodiseno/ecodindicadores_a.htm (Consultado el 27/10/2017)

<http://habitat.aq.upm.es/temas/a-analisis-ciclo-vida.html> Consultado el 10/04/2017

<http://www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf> Consultado el 07/03/2017

6 ANEXOS

Tabla . Información sobre los componentes de la espuma de polioli

NOMBRE	#CAS	%EN PESO
Mezcla de prepolimeros de uretanos	No aplica	60-100
4,4-Diisocianato de difenilmetano	101-68-8	5-10
Diisocianato polimérico	9016-87-9	5-10
Resina Poliester	9016-87-9	30-20