

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de ingeniería



**Diseño, construcción y evaluación de un sistema viable de
dosificación de zinc, integrado a una unidad filtrante de agua**

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por
Michelle Marie Arias Castillo,
Leonel Eduardo Corado Archila,
Alejandra López Rodríguez y
Ana Sofía Alvarado Aguilar
para optar al grado académico de Licenciados en Ciencias de los Alimentos;
Gladys Lilian de la Roca Herrera
Jose Eduardo Montano Soto
para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Industrial

Guatemala,
2019

Diseño, construcción y evaluación de un sistema viable de dosificación de zinc, integrado a una unidad filtrante de agua

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de ingeniería



**Diseño, construcción y evaluación de un sistema viable de
dosificación de zinc, integrado a una unidad filtrante de agua**

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por
Gladys Lilian de la Roca Herrera y
Jose Eduardo Montano Soto
Para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Industrial

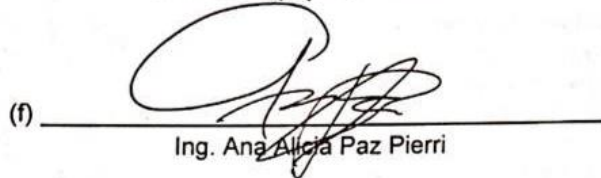
Guatemala,
2019

Vo. Bo.

(f) 
Ing. Estuardo Sierra Arias

(f) 
Lic. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(f) 
Lic. Gonzalo E. Mejía Retana - MBA

(f) 
Ing. Ana Alicia Paz Pierri

(f) 
Ing. Cristián Rossi Sosa

(f) 
Ing. Guillermo Callén Álvarez

(f) 
MSC. Adilia Blandon

(f) 
MTR. Mariana Pereira Cabrera

Agradecimientos

El presente trabajo de graduación fue elaborado para revisar los problemas nutricionales más importantes que afectan a Guatemala y sugerir un programa complementario para abordarlos de la mejor manera. Una buena nutrición para toda la humanidad es un derecho humano fundamental. Esto exige seguridad alimentaria, buena salud y cuidados adecuados. Puedo dar crédito en forma general a los muchos cientos de libros, artículos de revistas, informes y folletos que hemos consultado o aquellas publicaciones que han contribuido al total de conocimientos que han hecho posible la preparación de un trabajo como éste.

Quisiéramos agradecer en primer lugar el apoyo de la Universidad del Valle de Guatemala por brindarnos las instalaciones y equipo para poder llevar a cabo este trabajo. A la empresa fabricante de las unidades filtrantes por darnos la oportunidad y el apoyo para realizar nuestros análisis haciendo uso de sus filtros e instalaciones.

A nuestros asesores, quienes nos dieron de su tiempo, experiencia y conocimiento durante esta etapa, y a nuestras familias, quienes nos han brindado apoyo incondicional y nos han motivado a dar lo mejor de nosotros.

Agradecimientos	III
Lista de figuras	XVI
Lista de cuadros	XX
Resumen	XXI
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	7
4. Objetivos	9
4.1. Objetivos generales del Megaproyecto	9
4.2. Objetivos específicos por Módulo	9
4.2.1. Determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortifica- ción de agua integrado a una unidad filtrante en un sistema viable de dosificación de zinc	9
4.2.2. Módulo de desarrollo de una membrana a base de quitosano que per- mita la dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua	10
4.2.3. Módulo de evaluación comparativa de un hidrogel de liberación con- trolada y una capa de zinc, como matriz de fortificación de zinc	10
4.2.4. Módulo de evaluación de dosificación, vida útil y absorción fisiológica de zinc del sistema de fortificación	10
4.2.5. Módulo de diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de una unidad filtrante de agua	11
4.2.6. Estudio de la factibilidad financiera de la aplicación de un sistema dosificador de zinc a equipos de purificación de agua dirigido a una empresa dedicada a la producción de unidades filtrantes de agua	11

5. Determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante en un sistema viable de dosificación de zinc	13
5.1. Resumen	13
5.2. Introducción	14
5.3. Antecedentes	15
5.4. Justificación	18
5.5. Marco teórico	20
5.5.1. Fortificación de alimentos	20
5.5.2. Tipos de fortificación	20
5.5.3. Alimento vehículo para la fortificación	21
5.5.4. Selección de nutrientes	22
5.5.5. Zinc	22
5.5.6. Evaluación sensorial	24
5.5.7. Panel sensorial	24
5.5.8. Umbral	25
5.5.9. Pruebas discriminativas	28
5.6. Metodología	30
5.6.1. Prueba sensorial de umbral	30
5.6.2. Lugar de realización de las pruebas sensoriales	30
5.6.3. Población y muestra	30
5.6.4. Materiales empleados	30
5.6.5. Metodología experimental	31
5.6.6. Prueba sensorial de triángulo	32
5.6.7. Lugar de realización de las pruebas sensoriales	32
5.6.8. Población y muestra	33
5.6.9. Materiales empleados	33
5.6.10. Metodología experimental	34
5.6.11. Prueba sensorial de diferencia simple	35
5.6.12. Lugar de realización de las pruebas sensoriales	35
5.6.13. Población y muestra	35
5.6.14. Materiales empleados	35
5.6.15. Metodología experimental	36
5.6.16. Consideraciones legales	37
5.6.17. Producto fortificado	37
5.7. Resultados	38
5.7.1. Descripción de la población	38
5.7.2. Rango de edad	43
5.7.3. Estudio 1. Análisis sensorial para establecer el umbral de detección de tres solutos de zinc	50
5.7.4. Estudio 2. Prueba triangular para elegir la matriz que no tenga diferencia sensorial con el agua original de la unidad filtrante	56
5.7.5. Segunda etapa: Evaluación con 100 panelistas	59
5.7.6. Estudio 3. Prueba de diferencia simple entre agua regular y agua fortificada con zinc de la unidad filtrante de agua integrado al sistema de dosificación de zinc para observar si consumidores de una comunidad detectan la presencia del soluto	61

6. Desarrollo de una membrana a base de quitosano que permita la dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua	63
6.1. Resumen	63
6.2. Introducción	63
6.3. Antecedentes	64
6.4. Justificación	66
6.5. Marco teórico	67
6.5.1. Técnicas de separación	67
6.5.2. Filtración	67
6.5.3. Microorganismos presentes en agua	68
6.5.4. Microorganismos comunes en agua en Guatemala	68
6.5.5. Coliformes totales	68
6.5.6. <i>Escherichia Coli</i>	69
6.5.7. Mecanismos de remoción de bacterias	69
6.5.8. Sistema de fortificación de alimentos	70
6.5.9. Alimentos vehículos para fortificación de alimentos	71
6.5.10. Agua como vehículo fortificante	71
6.5.11. Micronutrientes	72
6.5.12. Zinc	73
6.5.13. Matrices solubles en agua	75
6.5.14. Polímeros naturales solubles en agua	75
6.5.15. Quitina y quitosano	76
6.5.16. Éteres de celulosa	77
6.6. Metodología	78
6.6.1. Análisis	78
6.6.2. Análisis de muestras	79
6.6.3. Análisis estadístico	79
6.7. Resultados	81
7. Evaluación comparativa de un sistema de hidrogel polimérico de liberación controlada y una capa de zinc, como matriz de fortificación de zinc en un sistema de filtración de agua	87
7.1. Resumen	87
7.2. Introducción	87
7.3. Antecedentes	88
7.4. Justificación	91
7.5. Marco teórico	92
7.5.1. General	92
7.5.2. Zinc	93
7.5.3. Hidrogel	93
7.5.4. Tecnología de liberación controlada	94
7.5.5. Alginato	95
7.5.6. Cobertura	96
7.5.7. Espectroscopía de absorción atómica de llama	96
7.5.8. Análisis de varianza	96
7.6. Metodología	96
7.6.1. Materiales y equipo (Ver anexos para especificaciones)	96
7.6.2. Determinación estabilidad entre plata coloidal y zinc	97

7.6.3.	Hidrogel	97
7.6.4.	Cobertura	100
7.7.	Resultados	101
8.	Evaluación de la dosificación, vida útil y absorción fisiológica de zinc del sistema de fortificación integrado a la unidad filtrante elaborada artesanalmente	117
8.1.	Resumen	117
8.2.	Introducción	118
8.3.	Antecedentes	119
8.4.	Justificación	123
8.5.	Marco teórico	125
8.5.1.	Zinc	125
8.5.2.	Medición de la concentración de zinc	126
8.5.3.	Condiciones de uso	128
8.5.4.	Análisis de vida útil	128
8.5.5.	Fortificación	129
8.5.6.	Biodisponibilidad	131
8.5.7.	Métodos de análisis de validación estadísticos	134
8.6.	Metodología	135
8.6.1.	Validación del método de biodisponibilidad de zinc	135
8.6.2.	Biodisponibilidad de zinc	135
8.6.3.	Dosificación de zinc en agua filtrada	137
8.6.4.	Vida útil	138
8.7.	Resultados	138
9.	Diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de una unidad filtrante de agua	151
9.1.	Resumen	151
9.2.	Introducción	151
9.3.	Antecedentes	152
9.3.1.	Caso Fleetguard	152
9.3.2.	Caso Dirona	153
9.3.3.	Caso Blount	153
9.4.	Justificación	154
9.5.	Marco teórico	154
9.5.1.	Taylorismo	154
9.5.2.	Análisis de proceso	155
9.5.3.	DOP	155
9.5.4.	Lote de transferencia y lote de proceso	155
9.5.5.	Cuello de botella	157
9.5.6.	Estudio de tiempos	157
9.5.7.	Layout	157
9.5.8.	Automatización	158
9.5.9.	Integración de procesos	159
9.5.10.	Simio	159
9.5.11.	Estudio de factibilidad	160

9.6.	Metodología	161
9.6.1.	Evaluación del proceso actual de producción del sistema purificador de agua	161
9.6.2.	Diseño del sistema de dosificación de zinc, para su implementación a la línea actual	161
9.6.3.	Integración de ambos procesos	161
9.7.	Resultados	162
9.7.1.	Análisis del proceso de producción actual de las unidades filtrantes	162
9.7.2.	Recomendaciones para el proceso de producción de las unidades filtrantes	172
9.7.3.	Análisis del proceso de producción de dosificador de zinc por método de pastilla	178
9.7.4.	Análisis del proceso de producción de dosificador de zinc por método de cobertura	183
9.7.5.	Integración del proceso de producción del dosificador de zinc por método de cobertura al proceso de producción de las unidades filtrantes de agua	186
10.	Estudio de la factibilidad financiera de la aplicación de un sistema dosificador de zinc a equipos de purificación de agua dirigido a una empresa dedicada a la producción de unidades filtrantes de agua	191
10.1.	Resumen	191
10.2.	Introducción	192
10.3.	Antecedentes	192
10.4.	Justificación	192
10.5.	Marco teórico	193
10.5.1.	¿Qué es un análisis financiero?	193
10.5.2.	Aspectos de la rentabilidad	196
10.6.	Metodología	203
10.6.1.	Razones financieras	204
10.6.2.	Inversión inicial	204
10.6.3.	Pronóstico de la demanda	205
10.6.4.	Ingresos	207
10.6.5.	Cotización de nuevos materiales	208
10.6.6.	Egresos	209
10.6.7.	Estado de resultados y análisis VPN	211
10.6.8.	Análisis de sensibilidad	212
10.6.9.	Análisis de escenarios	213
10.7.	Resultados	213
10.7.1.	Razones financieras	213
10.7.2.	Inversión inicial	215
10.7.3.	Pronóstico de la demanda	217
10.7.4.	Cotizaciones	220
10.7.5.	Egresos	224
10.7.6.	Ingresos	227
10.7.7.	Estado de resultados y análisis VPN	229
10.7.8.	Análisis de sensibilidad	235
10.7.9.	Análisis de escenarios para precio de pastilla	237

11. Conclusiones	239
11.1. Conclusiones generales	239
11.2. Módulo determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante	239
11.3. Módulo de desarrollo de una membrana a base de quitosano que permita la dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua	240
11.4. Módulo de evaluación comparativa de un hidrogel de liberación controlada y una capa de zinc, como matriz de fortificación de zinc	240
11.5. Módulo de evaluación de dosificación, vida útil y absorción fisiológica de zinc del sistema de fortificación	241
11.6. Módulo de diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de una unidad filtrante de agua	241
11.7. Módulo de estudio de la factibilidad financiera de la aplicación de un sistema dosificador de zinc a equipos de purificación de agua dirigido a una empresa dedicada a la producción de unidades filtrantes de agua	242
12. Recomendaciones	243
12.1. Recomendaciones generales	243
12.2. Módulo de determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante en un sistema viable de dosificación de zinc	243
12.3. Módulo de desarrollo de una membrana a base de quitosano que permita la dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua	244
12.4. Módulo de evaluación comparativa de un hidrogel de liberación controlada y una capa de zinc, como matriz de fortificación de zinc	244
12.5. Módulo de evaluación de dosificación, vida útil y absorción fisiológica de zinc del sistema de fortificación	245
12.6. Módulo de diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de una unidad filtrante de agua	246
12.7. Módulo de estudio de la factibilidad financiera de la aplicación de un sistema dosificador de zinc a equipos de purificación de agua dirigido a una empresa dedicada a la producción de unidades filtrantes de agua	246
13. Bibliografía	247
14. Anexos	257
14.1. Cálculos	257
14.1.1. Media geométrica para las pruebas de umbral de cada soluto de zinc	257
14.1.2. Número mínimo de respuestas correctas para la prueba triangular	257
14.1.3. Prueba chi-cuadrado para la prueba de diferencia simple	258
14.2. Sección tablas	259
14.2.1. Chi-cuadrado	259
14.2.2. Hoja maestra para la evaluación sensorial de umbral	259
14.2.3. Hoja maestra para la evaluación sensorial prueba de triángulo	267
14.2.4. Hoja maestra para la evaluación sensorial prueba de diferencia simple	268
14.3. Cuestionarios	270

14.3.1. Umbral	270
14.3.2. Triángulo	271
14.3.3. Diferencia simple	272
14.4. Figuras	273
14.4.1. Cabina de prueba temporal portátil	273
14.4.2. Propaganda para el reclutamiento de panelistas	274
14.5. Datos originales	275
14.5.1. Umbrales de los solutos de zinc	275
14.5.2. Pruebas triangulares	282
14.5.3. Prueba de diferencia simple	292
14.6. Imágenes	294
14.6.1. Universidad del Valle de Guatemala	294
14.6.2. Centro Educativo San Judas Tadeo	297
14.7. Imágenes del proceso de elaboración de membrana	301
14.8. Curvas de calibración de análisis de absorción atómica	310
14.9. Datos originales	314
14.10. Análisis de varianza con Excel	314
14.11. Pruebas realizadas	315
14.12. Matrices en unidad filtrante	318
14.13. Mediciones	322
14.14. Datos originales	326
14.15. Fichas técnicas	327
14.16. Cálculo de biodisponibilidad de zinc en agua potable	333
14.16.1. Biodisponibilidad de zinc	333
14.16.2. Determinación de la dosificación mínima de zinc	333
14.16.3. Determinación del porcentaje de cumplimiento del requerimiento diario	333
14.17. Resultados obtenidos de dosificación diaria de zinc	334
14.18. Planos de distribución de planta	337
14.18.1. Área de bodega	337
14.18.2. Área de primer secado	337
14.19. Planificación de los requerimientos de material para pastilla clasificado por proveedor	338
14.19.1. PROVEEDOR DE CHINA	338
14.19.2. Proveedor MERCK	339
14.19.3. Proveedor Quirsa	339
14.19.4. Proveedor Quimiprova	340
14.19.5. Proveedor Solmer	340
14.19.6. Empresa Grupo Génesis	341
14.19.7. Empresa Brenntag	341
14.20. Planificación de los requerimientos de material para cobertura clasificado por proveedor	341
14.20.1. Proveedor China	341
14.20.2. Proveedor Quirsa	342
14.20.3. Proveedor MERCK	342
14.21. Distribuciones de las operaciones	342
14.21.1. Proceso de producción de unidades filtrantes	342
14.21.2. Proceso de producción de dosificadores de Zinc por el método de pastilla	343

14.21.3	Proceso de producción de dosificadores de zinc por el método de cobertura	343
14.22	Presentación de egresos	344

Lista de figuras

1. Prevalencia de desnutrición crónica por quintil de ingreso en niños de 6 a 59 meses	3
2. Situación Alimentaria y Nutricional en Guatemala. Extraído de [7].	65
3. Prevalencia de anemia en niños de 6 a 74 meses de guarderías en Belo Horizonte, Minas Geiras, Brasil, antes y después de recibir agua fortificada con hierro y vitamina C. Extraído de [40].	65
4. Presencia de zinc en distintos alimentos. Extraído de [55].	73
5. Circulación entero-pancreática del zinc. Extraído de [55].	74
6. Estructura del sulfato de zinc. Extraído de [54].	74
7. Estructura del óxido de zinc. Extraído de [56].	74
8. Estructura del cloruro de zinc. Extraído de [57].	75
9. Estructura química de la quitina (izquierda) y quitosano (derecho). Extraído de [59].	76
10. Estructura molecular de la celulosa (izquierda) y de la CMC (derecha). Extraído de [61].	78
11. Diagrama de flujo de la elaboración de membranas para la fortificación de agua con zinc. Fase pre-experimental (1).	80
12. Comparación de liberación de zinc entre diferentes membranas.	81
13. Comparación entre diferentes compuestos químicos de zinc.	83
14. Comparación entre diferentes concentraciones de sulfato de zinc	84
15. Evaluación de la interacción entre la membrana final en contacto con agua.	86
16. Procesamiento elaboración hidrogel	102
17. Procesamiento elaboración cobertura con HCl	103
18. Procesamiento elaboración cobertura sin HCl	104
19. Proceso estandarizado de elaboración matriz seleccionada para implementación industrial	105
20. Tiempo de gelificación de hidrogeles a temperatura ambiente	106
21. Curva de pérdida de agua de muestras de hidrogeles durante 15 días	107
22. Curva de hinchazón de muestras de hidrogeles durante 15 días	108
23. Mediciones iniciales de zinc en agua del hidrogel en contacto directo con el agua	109

24.	Mediciones de zinc en agua del hidrogel colocado en unidad filtrante	110
25.	Mediciones de zinc en agua de cobertura con HCl colocada en unidad filtrante	111
26.	Mediciones de zinc en agua de cobertura sin HCl colocada en unidad filtrante	111
27.	Resultados análisis de varianza de liberación de zinc en cobertura con HCl y sin HCl	112
28.	Mediciones finales diarias de zinc en agua del hidrogel en unidad filtrante . .	113
29.	Mediciones finales diarias de zinc en agua de cobertura en unidad filtrante . .	114
30.	Resultados de análisis de varianza de mediciones finales de zinc en hidrogel y cobertura	114
31.	Requerimientos fisiológicos estimados para zinc absorbido por edad y sexo . .	119
32.	Requerimientos promedios estimados (EAR´s) para zinc absorbido por edad y sexo, y durante embarazo y lactancia	120
33.	Limites superiores para ingesta de zinc por edad	120
34.	Contribución de zinc de mezclas de harina fortificada y otras formulaciones, para niños de 1 a 3 años de edad	121
35.	Información del equipo	127
36.	Diagrama de flujo de la evaluación de biodisponibilidad	137
37.	Evaluación de la dosificación diaria de zinc de la matriz denominada recubri- miento"	141
38.	Altura del agua filtrada dentro del contenedor	142
39.	Evaluación de la dosificación diaria de zinc de la matriz denominada "hidrogel"	142
40.	Evaluación de la dosificación diaria de zinc de la matriz denominada "pastilla"	143
41.	Comparación de la dosificación diaria de zinc para el patrón de uso de 2 litros	144
42.	Comparación de la dosificación diaria de zinc para el patrón de uso de 3.5 litros	145
43.	Comparación de la dosificación diaria de zinc para el patrón de uso de 5 litros	146
44.	Comparación de la vida útil según la concentración de zinc	147
45.	Simbología de un DOP	156
46.	Estructura interna de la unidad filtrante de agua	162
47.	Patio de secado de barro	163
48.	Pulverizadora de barro	163
49.	Tamiz de aserrín	164
50.	Mezcladora y extrusora	164
51.	Macetas extraídas de extrusora	165
52.	Macetas extraídas de extrusora	165
53.	Horno de macetas	166
54.	Área de Control de Calidad	166
55.	Área de aplicación de plata coloidal	167
56.	Diagrama de secuencia de actividades	167
57.	Diagrama de operaciones de las unidades filtrantes	168
58.	Layout general del proceso actual	171
59.	Diagrama de operaciones de las unidades filtrantes	172
60.	Secador industrial de barro	175
61.	Perfil de puesto para trabajador uno, dos y tres	176
62.	Perfil de puesto para trabajador cuatro	176
63.	Layout general del proceso recomendado	177
64.	Diagrama de operaciones método de pastilla parte 1	179

65.	Diagrama de operaciones método de pastilla parte 2	180
66.	Diagrama de operaciones método de cobertura	184
67.	Diagrama de secuencia de las operaciones	186
68.	Diagrama de operaciones proceso implementado parte 1	187
69.	Diagrama de operaciones proceso implementado parte 2	188
70.	Layout de proceso implementado	189
71.	Triángulo de rentabilidad, liquidez y riesgo.	195
72.	Ciclo de vida de un producto	198
73.	Ventas mensuales reales 2017-2019	217
74.	Distribución de la demanda 2017-2019	217
75.	Variaciones en la demanda 2017	217
76.	Variaciones en la demanda 2018	218
77.	Variaciones en la demanda 2019	218
78.	Ventas mensuales modificadas 2017-2019	219
79.	Porcentaje de entregas por tipo de filtro	227
80.	Porcentaje de ventas de filtros por canal	227
81.	Análisis de sensibilidad general para cobertura	235
82.	Análisis de sensibilidad de egresos para cobertura	235
83.	Análisis de sensibilidad de precios de filtro para cobertura	236
84.	Análisis de sensibilidad general para pastilla	236
85.	Análisis de sensibilidad de egresos para pastilla	237
86.	Análisis de sensibilidad de precios de filtro y pastilla	237
87.	Distribución chi-cuadrado.	259
88.	Cuestionario para la prueba sensorial de umbral.	270
89.	Cuestionario para la prueba sensorial triangular.	271
90.	Cuestionario para la prueba sensorial de diferencia simple.	272
91.	Cabina de prueba temporal portátil estándar.	273
92.	Presentación de las muestras para el panel sensorial elaborado en la Universidad del Valle de Guatemala en la prueba sensorial triangular.	294
93.	Panel sensorial en la Universidad del Valle de Guatemala.	296
94.	Cabina de prueba portátil utilizada en el Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, zona 13.	297
95.	Panel Sensorial con la cabina de prueba portátil en el Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, zona 13.	300
96.	Primera prueba fallida de membrana. Nunca llegó a gelificar.	301
97.	Segunda prueba fallida de membrana. Nunca llegó a gelificar.	301
98.	Tercera prueba fallida de membrana. Gelificación leve, pero imposible de manipular.	302
99.	Cuarta prueba fallida de membrana. Gelificación más uniforme, pero aún imposible de manipular.	303
100.	Quinta prueba fallida de membrana. Rompimiento de cadenas de quitosano, debido a la adición de NaOH con agitación.	304
101.	Quitosano disuelto en ácido cítrico 0.5M.	305
102.	Carboximetilcelulosa disuelta en agua.	306
103.	Estándares de zinc para la elaboración de la curva de calibración.	307
104.	Espectrofotómetro de absorción atómica.	307

105. Filtración de muestras antes de ser evaluadas por absorción atómica	308
106. Membrana final.	309
107. Curva de calibración de zinc para diferencia de membranas día 4.	310
108. Curva de calibración de zinc para diferencia de membranas día 8 y 12.	311
109. Curva de calibración de zinc para diferencia de compuestos químicos día 4.	312
110. Curva de calibración de zinc para diferencia de compuestos químicos día 8 y 12.	313
111. Comportamiento sulfato de zinc con solución de plata coloidal	315
112. Apariencia hidrogel con pH de 3, 5.6 y 7	315
113. Hidrogel luego de gelificar	316
114. Hidrogel sumergido en agua destilada para análisis inicial de liberación de zinc	317
115. Apariencia hidrogel en unidad filtrante previo y posterior a su hidratación . . .	318
116. Distribución hidrogel en unidad filtrante previo y posterior a su absorción . . .	319
117. Proceso de cubrimiento de unidad filtrante	320
118. Recomendación área de recubrimiento para implementación industrial	321
119. Equipo de espectroscopía de absorción atómica utilizado	322
120. Curva de calibración para mediciones iniciales de zinc en agua	323
121. Curva de calibración para mediciones iniciales de zinc en agua en unidad filtrante	324
122. Curva de calibración para mediciones finales de zinc en agua de matriz selec- cionada en unidad filtrante	325
123. Sulfato de zinc grado reactivo marca Químicos Ferkica	327
124. Ficha técnica del aditivo alimenticio D-(+)-Glucono-delta-lactone (GDL)	328
125. Ficha técnica Carbonato de Calcio marca Merck	329
126. Ficha técnica ácido clorhídrico 37% marca Merck	330
127. Especificaciones potenciómetro HANNA	331
128. Especificaciones espectrofotómetro de absorción atómica PerkinElmer PinAA- cle 900F	331
129. Especificaciones balanza analítica marca METTLER TOLEDO modelo ME2043	332
130. Curva de calibración para estudio de muestras en AAS	336
131. Layout área de bodega	337
132. Layout área de primer secado	337

Lista de cuadros

1.	Determinación de los umbrales grupales de detección de cada uno de los so-	
	lutos de zinc	55
2.	Valores de chi-cuadrado obtenidos por la prueba de diferencia simple	61
3.	Calidad microbiológica del agua según la norma COGUANOR-NTG-29001.	70
4.	Cantidad de coliformes totales en agua envasada para el consumo humano	
	según la norma COGUANOR-NTO-29005. *Recuento de coliformes por el	
	método del número más probable.	70
5.	Principales padecimientos derivados de las deficiencias en micronutrientes.	
	Extraído de [50]	72
6.	Conjugados de quitosano en función del medio ácido. Extraído de [59].	76
7.	Estándares de zinc.	79
8.	Análisis de varianza de la liberación de zinc entre las distintas formulaciones	
	de membranas elaboradas.	82
9.	Comparación de características principales entre membranas con distinta for-	
	mulación de quitosano y CMC	82
10.	Análisis de varianza de la liberación de zinc entre los distintos compuestos	
	químicos de zinc.	83
11.	Comparación de características principales entre membranas con distinto com-	
	puesto químico de zinc.	84
12.	Análisis de varianza de la liberación de zinc entre los distintas concentraciones	
	de sulfato de zinc.	85
13.	Comparación de características principales entre membranas con mismo com-	
	puesto químico de zinc a distintas concentraciones.	85
14.	Estándares de zinc utilizados para curva de calibración	101
15.	Porcentaje de aumento y pérdida de masa del hidrogel durante 15 días	108
16.	Definición de biodisponibilidad, bioaccesibilidad y bioactividad y sus posibles	
	metodologías de evaluación	131
17.	Comparación de métodos in vitro para determinar la bioaccesibilidad de ca-	
	rotenoides	133

18.	Comparación de métodos in vitro para determinar la bioaccesibilidad de vitamina E	134
19.	Resumen de la metodología empleada para evaluar la biodisponibilidad del zinc	139
20.	Biodisponibilidad de zinc en cada uno de los sistemas de fortificación desarrollados	140
21.	Tinción del agua filtrada con el acoplamiento de la matriz "pastilla" durante los primeros tres días	144
22.	Alcance de la fortificación por medio de los sistemas desarrollados	147
23.	Resumen de operaciones, secuencia y tiempo unitario	169
24.	Resumen de operaciones, secuencia y tiempo unitario	169
25.	Resultados de simulación	170
26.	Resumen, secuencia y tiempo unitario	173
27.	Estaciones y tiempo de ocio	173
28.	Requerimiento de material por año	174
29.	Resultados de simulación	174
30.	Resumen de operaciones, secuencia y tiempo unitario	181
31.	Resumen de operaciones, secuencia y tiempo unitario	181
32.	Resultados de simulación	182
33.	Requerimiento de material por lote	182
34.	Requerimiento de material por año	182
35.	Resumen de operaciones, secuencia y tiempo unitario	185
36.	Estaciones y tiempo de ocio	185
37.	Resultados de simulación	185
38.	Requerimientos de material por lote	186
39.	Requerimientos de material por año	186
40.	Resultados de simulación	189
41.	Resultados razones financieras	204
42.	Cantidades unitarias de materiales para dosificaciones de zinc	209
43.	Resultados de razones financieras	214
44.	Inversión inicial para escenario de cobertura	215
45.	Inversión inicial para escenario de pastilla	216
46.	Variación mensual porcentual con demanda modificada	219
47.	Pronóstico de la demanda para los siguientes 5 años	220
48.	Cantidad y costo anual de suavizadores, sin inflación	221
49.	Requerimiento de sulfato de zinc para cobertura	221
50.	Costos de sulfato de zinc por proveedor para cobertura	221
51.	Requerimiento de materiales para pastilla	222
52.	Costos de quitosano por proveedor para pastilla	222
53.	Costos de carboximetilcelulosa por proveedor para pastilla	223
54.	Costos de sulfato de zinc por proveedor para pastilla	223
55.	Costos de ácido cítrico por proveedor para pastilla	223
56.	Costos de hidróxido de sodio por proveedor para pastilla	224
57.	Egresos totales para cobertura de zinc	226
58.	Egresos totales para pastilla de zinc	226
59.	Ingresos proyectados con cobertura de zinc 2020-2024	228
60.	Ingresos proyectados con pastilla de zinc 2020-2024	229

61.	Estado de resultados con cobertura de zinc	230
62.	Análisis VPN con pastilla de zinc	232
63.	Comparación costo y precio unitario de pastilla	232
64.	Estado de resultados con pastilla de zinc	233
65.	Análisis de escenarios con precio de pastilla	238
77.	Hoja maestra para la evaluación del primer umbral de óxido de zinc.	267
79.	Hoja maestra para las pruebas triangulares.	268
81.	Hoja maestra para las pruebas de diferencia simple.	269
82.	Respuestas de los panelistas en el umbral No.1 óxido de zinc.	276
83.	Respuestas de los panelistas en el umbral No.2 óxido de zinc.	277
84.	Respuestas de los panelistas en el umbral No.1 cloruro de zinc.	278
85.	Respuestas de los panelistas en el umbral No.2 cloruro de zinc.	279
86.	Respuestas de los panelistas en el umbral No.1 sulfato de zinc.	281
87.	Respuestas de los panelistas en el umbral No.2 sulfato de zinc.	282
88.	Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba triangular del sistema de hidrogel polimérico de liberación controlada.	283
89.	Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba triangular de la cobertura de zinc coloidal.	285
90.	Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba triangular de la cobertura de zinc coloidal modificada.	286
91.	Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba triangular de la membrana de quitosano.	287
92.	Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba triangular de la primera matriz electa: membrana de quitosano.	290
93.	Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba triangular de la segunda matriz electa: cobertura de zinc coloidal modificada.	292
94.	Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba de diferencia simple elaborada con la membrana de quitosano en el Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, zona 13 en la Ciudad de Guatemala.	293
95.	Resultados de liberación de zinc para diferencia de membranas día 4, 8 y 12 por medio de absorción atómica	314
96.	Resultados de liberación de zinc para distintos compuestos químicos de zinc día 4, 8 y 12 por medio de absorción atómica	314
97.	Resultados finales de liberación de zinc en agua del hidrogel en unidad filtrante	326
98.	Resultados finales de liberación de zinc en agua de cobertura aceptada en unidad filtrante	326
99.	Resumen de los datos utilizados para realizar cálculos	333
100.	Concentración de zinc de la matriz “Recubrimiento” para los tres diferentes patrones	334
101.	Concentración de zinc de la matriz “Hidrogel” para los tres diferentes patrones	334
102.	Concentración de zinc de la matriz “Pastilla” para los tres diferentes patrones	335
103.	Concentración de zinc en las matrices a diferentes volúmenes de agua	335
104.	Requerimientos de quitosano en empresa china	338
105.	Requerimientos de carboximetilcelulosa en empresa china	338
106.	Requerimientos de sulfato de zinc en empresa china	338
107.	Requerimientos de ácido cítrico en empresa china	338
108.	Requerimientos de hidróxido de sodio en empresa china	339

109. Requerimientos de carboximetilcelulosa en empresa MERCK	339
110. Requerimientos de sulfato de zinc en empresa MERCK	339
111. Requerimientos de sulfato de zinc en empresa Quirsa	339
112. Requerimientos de ácido cítrico en empresa Quirsa	340
113. Requerimientos de carboximetilcelulosa en empresa Quimiprova	340
114. Requerimientos de ácido cítrico en empresa Quimiprova	340
115. Requerimientos de ácido cítrico en empresa Solmer	340
116. Requerimientos de ácido cítrico en empresa Grupo Génesis	341
117. Requerimientos de hidróxido de sodio en empresa Brenntag	341
118. Requerimientos de sulfato de zinc en empresa china	341
119. Requerimientos de sulfato de zinc en empresa Quirsa	342
120. Requerimientos de sulfato de zinc en empresa MERCK	342
121. Distribuciones por Operación para Unidades Filtrantes	342
122. Distribuciones por operación para método de pastilla	343
123. Distribuciones por operación para método de cobertura	343
124. Presentación de egresos en estado de resultados	344
125. Cálculo de gastos por intereses	344
126. Rubros de egresos completos para cobertura	345
127. Rubros de egresos completos para pastilla	347

La deficiencia de micronutrientes, como el zinc, tiene un impacto desfavorable en la salud, sobre todo durante la Ventana de los Mil Días (de la concepción hasta los 24 meses de edad). Los principales efectos se observan en el crecimiento, desarrollo y la salud en la infancia; pero también juegan un papel importante en el desarrollo de enfermedades crónicas. Guatemala posee programas de fortificación con vitamina A, ácido fólico, hierro y yodo. Sin embargo, no existe una iniciativa para otros micronutrientes clave como el zinc y la vitamina B12. En el país existe un 34.9% de prevalencia de deficiencia de zinc plasmático en niños menores de 5 años, cifra que supera el límite para considerar el problema de salud pública.

Es por ello que en este trabajo se analiza la elaboración e implementación de un sistema de fortificación de zinc acoplado a una unidad filtrante de agua. Se presentan varios estudios concernientes a la evaluación sensorial, la elaboración de las matrices de fortificación, análisis de biodisponibilidad, dosificación y vida útil; así como el diseño, adaptación a la cadena de producción y la factibilidad financiera.

Lo resultados obtenidos indican que es factible la implementación de un sistema de fortificación a una unidad filtrante de agua. En lo que concierne al análisis sensorial se encontró que el cloruro de zinc y sulfato de zinc son los solutos con mayor umbral de detección; y que únicamente la membrana a base de quitosano (pastilla) no presenta una diferencia sensorial con el agua original. En lo que respecta a la biodisponibilidad se obtuvo una media de 45.29% con el método *in vitro*; el cual permite cubrir el 41.71% de la recomendación diaria para infantes, y el 29.08% para adultos. Se estableció que el tiempo de vida útil del sistema de fortificación de zinc del tipo cobertura es de 10 meses, mientras que la de la membrana de quitosano es de 5 meses.

Por otro lado, se encontró que la incorporación de la cobertura de zinc al proceso productivo de las unidades filtrantes es factible debido a que no presenta retraso en la producción, ni cuellos de botella. Por su lado, la pastilla no es factible de implementar debido al gran volumen de materiales que se requieren para fabricarla. Se determinó que sí es posible que la empresa opere con normalidad luego de la implementación del sistema de fortificación, principalmente por el incremento de la demanda. En conclusión, se establece en base a costos, facilidad de implementación y vida útil que el sistema más factible para su implementación es el recubrimiento.

CAPÍTULO 1

Introducción

La deficiencia de zinc es uno de los principales problemas de salud pública en países en desarrollo. Este fenómeno provoca que los niños no sean capaces de desarrollarse de manera saludable, debido a que tienen un acceso limitado a alimentos con presencia de este micronutriente en su dieta, así como a los recursos económicos para adquirir dichos alimentos. Una estrategia utilizada para responder a esta problemática es propiciar el mejor aprovechamiento de los nutrientes en los alimentos. Para esto, se han desarrollado técnicas para darle seguimiento a esta estrategia.

Actualmente existen empresas que se dedican a la fabricación de filtros de purificación de agua, los cuales son desarrollados para remover impurezas que se encuentren presentes en el agua para hacerla apta para su consumo. Se identificó la oportunidad para llevar a cabo un proyecto que consiste en la implementación de una matriz de dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua. De esta manera, el agua estaría pasando tanto por un proceso de purificación como de fortificación, agregándole así, valor al producto. Se realizaron diversas pruebas de matrices con distintos reactivos y materiales para determinar la más adecuada, en cuanto a funcionalidad, de implementar en los filtros.

Para llevar a cabo el proyecto se trabajó con una empresa dedicada a la venta de filtros purificadores de agua. Gracias al apoyo de esta empresa, no solo se logró obtener los recursos y medios necesarios para realizar las pruebas de dosificación de zinc, sino que también se logró determinar si es factible la implementación de dicho proyecto, tanto a niveles de producción como económicos.

El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, como parte de sus múltiples estudios, indica que la desnutrición puede ser ocasionada por causas inmediatas, causas subyacentes, y causas básicas. Así mismo, se sabe que la desnutrición crónica en menores de 3 años guarda una estrecha relación con la deficiencia de micronutrientes y la prevalencia de enfermedades como diarreas e infecciones. De acuerdo con el Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil del año 2014 al 2015, la prevalencia de infecciones respiratorias agudas y diarrea fue de 50.4% y 41.9%, respectivamente.

Existen diversas variables que determinan la nutrición de la persona, según un análisis de la relación entre el nivel económico y la prevalencia de desnutrición crónica en niños menores a 5 años, esta enfermedad tiene mayores incidencias en la población más pobre.

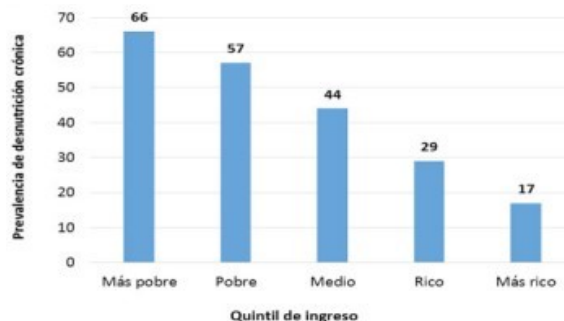


Figura 1: Prevalencia de desnutrición crónica por quintil de ingreso en niños de 6 a 59 meses

La deficiencia de zinc abarca casi al 33% de la población mundial, pero se intensifica en los países subdesarrollados, en áreas rurales y en las poblaciones de escasos recursos. En Guatemala, la Encuesta Nacional de Micronutrientes informa que el 34.9% de los niños padece deficiencia de este micronutriente, y que esta es severa a lo largo de todo el país. La carencia de este mineral afecta a todas las edades, siendo el grupo más impactado el de 36 a 47 meses; representando el 38.6% [1].

Solo se necesitan cantidades muy pequeñas de vitaminas y minerales para la salud humana, pero las deficiencias pueden tener efectos desproporcionadamente grandes, a menudo potencialmente mortales. Las deficiencias de micronutrientes conducen a un círculo vicioso de desnutrición e infección en poblaciones mal alimentadas. La fortificación de alimentos básicos es la forma más barata, más eficiente y más efectiva de suministrar a las grandes poblaciones micronutrientes esenciales.

La importancia del zinc en la salud de los humanos fue explicada por primera vez en los años 60, en estudios que buscaban la relación entre la deficiencia de zinc y el enanismo. A partir de ese momento su impacto sobre otras enfermedades ha sido estudiado. La deficiencia de este elemento ocasiona retraso del crecimiento, enfermedades relacionadas al sistema inmunológico, enfermedades diarreicas, problemas de aprendizaje, entre otros. Las causas de esta carencia de zinc pueden ser ocasionadas por bajos niveles de ingesta en la dieta diaria, o bien, deficiencias en la absorción de este. La primera de las causas indicadas es la más común en poblaciones de bajos ingresos ya que las principales fuentes de zinc se encuentran en alimentos de origen animal (carnes, productos de mar), y lácteos los cuales son de difícil acceso para estas poblaciones por su costo elevado.

“La fortificación de alimentos aplicada como programa de salud pública es la estrategia más costo-efectiva que el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá –INCAP– ha desarrollado, apoyado y promovido para controlar y eliminar las deficiencias de micronutrientes en la región centroamericana”. Los alimentos son considerados una herramienta efectiva para la fortificación cuando es consumidos por la población en riesgo, el consumo es poco variable, no produce cambios sensoriales y que el micronutriente a fortificar sea estable en la matriz escogida. Los vehículos alimenticios utilizados en la actualidad para la fortificación de nutrientes se caracterizan por dar a los consumidores un mayor valor. Es por ello, que se buscan matrices con bajo costo adicional, como productos de panificación, cereales de desayuno, entre otros. Por el contrario no es común fortificar productos cárnicos, lácteos, bebidas fermentadas, confites, etc. No todos se fortifican en todo el mundo, ya que depende del país y de los patrones de consumo del mismo. Dentro de los programas más reconocidos se encuentra la yodación de la sal y la fortificación de azúcar con vitamina A [2].

El agua como vehículo fortificante ha sido estudiada especialmente por ser un recurso barato y, por lo regular, de fácil accesibilidad para toda las clases sociales en los países en desarrollo. Por eso mismo, el utilizar dicha matriz como vehículo para fortificar alimentos es una innovación prometedora. Además, permite al cuerpo absorber los nutrientes a una velocidad mayor que los productos alimenticios tradicionales debido a la ausencia de inhibidores de absorción. Dentro de los principales estudios realizados se encuentra la fortificación de agua con hierro para combatir la anemia, en esta evaluación el principal reto fue no ocasionar cambios en el sabor y coloración.

La unidad filtrante de agua utilizada como base para adaptar las matrices elaboradas se desarrolló en Guatemala por la empresa Ecofiltro, la cual es una empresa con enfoque social que busca proveer a familias del área rural de Guatemala con agua potable. La unidad de filtración se produce a partir de tres materiales naturales: arcilla (crea canales y atrapa contaminantes del agua), aserrín (al hornearlo se convierte en carbón activado y elimina sabores y olores indeseados) y una capa externa de plata coloidal (antibacteriano) [3].

El quitosano es un polímero bioactivo con una amplia variedad de aplicaciones debido a

sus propiedades funcionales como actividad antibacteriana, no toxicidad, facilidad de modificación y biodegradabilidad. Debido a estas características el quitosano tiene aplicaciones en el tratamiento de agua residuales, agricultura, regeneración de tejidos, liberación controlada de medicamentos, recubrimiento comestible, etc. [4]

El uso de recubrimientos se ha estudiado ampliamente como método para la elaboración de sistemas de liberación paulatina de medicamentos. Esta metodología se fundamenta en la formación de capas o estratos de la solución del medicamento o molécula de interés en núcleos que son cubiertos por una capa insoluble en agua. Dentro de los principales agentes utilizados para la formación de esta capa se encuentran maltodextrinas, gelatina y otros aglutinantes [5].

Justificación

Una de las principales deficiencias de micronutrientes en los países tercermundistas, y específicamente en Guatemala, es el zinc, lo cual representa un problema de salud pública. El poseer deficiencia de zinc provoca retraso en el crecimiento lineal, enfermedades diarreicas, trastornos de malabsorción, sistema inmunológico débil, infecciones en aparato respiratorio, sobre todo neumonía, efectos negativos en la sensibilidad sensorial (capacidad para detectar sabor) y disminución del apetito. (Allen, 2017)[2] Según la FAO, aproximadamente un 20 % de la población mundial tiende a estar en riesgo de poseer deficiencia de zinc, donde las personas más susceptibles a poseer esta deficiencia son mujeres embarazadas y niños. (Holt, 2004)[6] En el caso de Guatemala, INCAP registró en el 2013 registró una deficiencia de zinc del 34.9 % para niños y niñas menores de 5 años.[7]

La importancia de este trabajo reside en la necesidad de fortificación del agua y de los alimentos como un medio para reducir la prevalencia de las deficiencias de micronutrientes en comunidades de escasos recursos. Debido a la alta deficiencia de zinc que se tiene y las consecuencias que esta conlleva, resulta ser una opción adecuada el elaborar un sistema viable de dosificación de zinc adaptado a una unidad filtrante de agua para buscar dar una mejor calidad de vida a las personas que se ven afectadas por esta deficiencia.

En cuanto a la empresa que produce las unidades filtrantes, esta ha distribuido a partir del 2010 alrededor de 459,528 filtros en Guatemala, de los cuales un 50 % está destinado para comunidades de escasos recursos. (Ecofiltro, 2019)[3] Estos datos reflejan el alto impacto y alcance que podría llegar a tener la implementación de este sistema de dosificación de zinc adaptado a la unidad filtrante de agua.

El umbral sensorial es básicamente un punto de inflexión en el cual se observa un cambio sensorial de un producto por parte del consumidor. Determinando este umbral se puede localizar el soluto con menor percepción con el fin de asegurar la aceptación del sistema viable de dosificación de zinc adaptado a una unidad filtrante de agua. Esto nos da paso a entender la importancia de realizar un análisis sensorial en el agua fortificada ya que se desea que este conserve sus características organolépticas a las que los consumidores ya se encuentran acostumbrados. Debido a que si se cambia el sabor, los consumidores se pueden

encontrar propensos a no desear consumir el producto y por ende, no se lograría combatir la deficiencia de micronutrientes que se cuentan en áreas rurales de Guatemala.

En cuanto a las matrices elaboradas y analizadas para la dosificación de zinc, las cuales son una membrana a base de biopolímeros, como quitosano y carboximetilcelulosa, un hidrogel polimérico de liberación controlada, y una cobertura de zinc, el diseño adecuado de las mismas es de suma importancia para lograr una liberación constante y controlada de zinc a lo largo del tiempo.

Para garantizar que la fortificación se lleve a cabo correctamente es vital el evaluar la frecuencia de uso de la unidad filtrante. Esto se debe ya que un ligero cambio en el volumen de agua filtrada puede ocasionar cambios en el nivel de fortificación. De la misma forma, es importante el evaluar la vida útil del sistema viable de dosificación de zinc adaptado a una unidad filtrante para atestiguar que la liberación de zinc no incide en cambios en un lapso de tiempo mínimo. Esto con el propósito de cumplir con las directrices sobre la fortificación de alimentos con micronutrientes. Donde indican que los criterios a cumplir es que se debe asegurar que la fortificación tipo voluntaria no debe engañar al consumidor acerca de los beneficios del consumo de dicho producto y del mismo modo, no debe interferir con las políticas nacionales de alimentación saludable.

Se debe tomar en cuenta el proceso productivo para el sistema de dosificación de zinc con el fin de lograr llegar al proceso óptimo para la fabricación de dicho sistema de dosificación. La ejecución de un análisis de proceso es indispensable para lograr determinar su viabilidad y funcionalidad. Junto con ellos el determinar y reducir los costos que genera para tener un proceso eficiente y autosustentable.

Es importante realizar un análisis financiero de las matrices desarrolladas para asegurar que la implementación del proyecto sea rentable. Se deben tomar en cuenta todos los factores relacionados con la viabilidad económica de las matrices para asegurar que la empresa pueda seguir operando de manera adecuada luego de realizar la implementación de las mismas.

4.1. Objetivos generales del Megaproyecto

- Desarrollar opciones de matrices de dosificación controlada de zinc para una unidad filtrante de agua y compararlas según su funcionalidad, si aporta diferencia significativa de sabor con el agua original de la unidad filtrante y comportamiento de dosificación.
- Determinar el mejor compuesto de zinc según sus características sensoriales para un sistema de dosificación como medio de fortificación de agua para adaptarlo de forma integrada a una unidad filtrante.
- Evaluar la vida útil de cada matriz y la capacidad de absorción fisiológica de zinc.
- Evaluar la vida útil de cada matriz y la capacidad de absorción fisiológica de zinc. Estandarizar el proceso de elaboración de la matriz más viable de desarrollar en el proceso productivo para su implementación industrial.
- Determinar si las matrices son un medio de dosificación e implementación industrial factible en cuanto a rentabilidad financiera.

4.2. Objetivos específicos por Módulo

4.2.1. Determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante en un sistema viable de dosificación de zinc

- Establecer el umbral de tres solutos de zinc disponibles en el mercado local con un grupo de cincuenta personas en la Universidad del Valle de Guatemala.
- Elegir la matriz que no tenga diferencia sensorial con el agua original de la unidad filtrante a través de pruebas triangulares.

- Verificar a través de una prueba de diferencia simple entre agua regular y agua pura fortificada con zinc de la unidad filtrante de agua integrado al sistema viable de dosificación para observar si los consumidores en una comunidad detectan la presencia del soluto.

4.2.2. Módulo de desarrollo de una membrana a base de quitosano que permita la dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua

- Estandarizar el proceso de elaboración de la membrana, evaluando características como la gelificación, la textura y la vida útil de la misma.
- Determinar qué tipo de compuesto químico de zinc no afecta las propiedades fisicoquímicas de la membrana.
- Determinar qué tipo de compuesto permite dosificar la mayor proporción de zinc en una unidad filtrante de agua por medio de espectrofotometría absorción atómica.

4.2.3. Módulo de evaluación comparativa de un hidrogel de liberación controlada y una capa de zinc, como matriz de fortificación de zinc

- Desarrollar los procedimientos para la obtención de un hidrogel de liberación controlada, así como de una cobertura de zinc, ambas como matriz de fortificación de zinc, y evaluar su funcionalidad.
- Establecer el método más adecuado de fortificación de zinc al agua según los resultados obtenidos de factibilidad tecnológica y funcionalidad de las dos matrices evaluadas.
- Estandarizar el proceso de elaboración de la matriz seleccionada y realizar la metodología detallada para la implementación industrial en el equipo de filtración existente.

4.2.4. Módulo de evaluación de dosificación, vida útil y absorción fisiológica de zinc del sistema de fortificación

- Cuantificar la absorción fisiológica del zinc proveniente del sistema de filtración y fortificación, por medio de una simulación del tracto digestivo y un análisis de espectrometría de absorción atómica en llama.
- Establecer si existe diferencia en la concentración de zinc al variar el volumen de agua filtrada a diario (2L, 3.5L o 5L), realizando una purificación de esos volúmenes de agua en un lapso de 24 horas y midiendo la concentración de zinc por espectrometría de absorción atómica en llama.
- Definir el tiempo de vida útil de la matriz de fortificación de zinc por medio de la medición de la concentración de zinc empleando un estudio acelerado que permite simular el uso del filtro en 2 años.

4.2.5. Módulo de diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de una unidad filtrante de agua

- Análisis del flujo del proceso actual de las unidades filtrantes de agua por medio de diagrama de operaciones, SMED, teoría de restricciones y simulación.
- Diseñar el proceso de fabricación de dosificadores de zinc determinando los requerimientos de personas, maquinaria, inventarios, espacio y estándares de calidad.
- Incorporar el proceso de fabricación de dosificadores de zinc al proceso de fabricación de las unidades filtrantes de agua por medio de diagrama de operaciones, layout, simulaciones y teoría de restricciones.
- Determinar la maquinaria adecuada para el proceso de producción de dosificadores de zinc analizando costos, tamaños y capacidad.

4.2.6. Estudio de la factibilidad financiera de la aplicación de un sistema dosificador de zinc a equipos de purificación de agua dirigido a una empresa dedicada a la producción de unidades filtrantes de agua

- Determinar y minimizar los costos que se requerirán para producir y vender los filtros con la dosificación de zinc para obtener un margen neto de utilidad o rentabilidad sobre ventas mayor al 2 %.
- Hacer un pronóstico de la demanda según resultados de meses anteriores y estudios de mercado en comunidades de las regiones Central y Sur-occidente para determinar posibles tendencias y fluctuaciones, y poder obtener un cálculo más acertado de los ingresos proyectados.
- Realizar un análisis de sensibilidad para encontrar las variables del proyecto más influyentes o con mayor impacto económicamente.

Determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante en un sistema viable de dosificación de zinc

5.1. Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar el mejor compuesto de zinc como medio de fortificación integrado a una unidad filtrante de agua. El estudio se realizó en la Universidad del Valle de Guatemala como en la comunidad del Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, ubicada en la zona 13 de la capital.

Los solutos de fortificación analizados en la prueba sensorial de umbral fueron: óxido de zinc, cloruro de zinc y sulfato de zinc. Se determinó que el cloruro de zinc y sulfato de zinc son los solutos con mayor umbral de detección, por lo cual eran aptos para ser utilizados en la elaboración de una unidad filtrante de agua integrado a un sistema viable de dosificación de zinc. Se prosiguió a realizar pruebas triangulares para observar si las matrices presentaban cambios de sabor significativos con el agua original de la unidad filtrante. En las pruebas triangulares se determinó que la membrana a base de quitosano no obtuvo diferencia sensorial con el agua original de la unidad filtrante tanto con 50 panelistas como con 100. Posteriormente, se realizó una prueba de diferencia simple y se verificó que la membrana a base de quitosano no posee diferencia sensorial con el agua original de la unidad filtrante de agua; tanto con los panelistas de la Universidad como en la comunidad del Centro Educativo San Judas Tadeo.

5.2. Introducción

En Guatemala la deficiencia de vitaminas y minerales es una realidad mayormente en niños guatemaltecos menores de cinco años. Por lo cual se considera estas deficiencias un problema de salud pública. La Ensmi (2014) reportó que la prevalencia de la talla baja infantil es del 46.5%, siendo este un valor superior al punto de corte que es del 20% para que esta situación se considere un problema para la salud pública.[8]

En Guatemala la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI) 2006 indicó que el promedio de la disponibilidad aparente de zinc en la dieta de los hogares se encuentra en un rango de 5.9 a 8.6 mg/día, el cual es una cantidad inferior a las recomendaciones dietéticas diarias. Pero, otro estudio del 2012-2013 por SESAN/IFPRI (Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias por sus siglas en inglés) indican que la ingesta aparente de zinc se encuentra en un rango de 4.5 a 4.9 mg/día. Demostrando que el 60% de los hogares en Guatemala, las dietas de los ciudadanos no llegan a cubrir el 70% de las recomendaciones dietéticas diarias. Parte de esto es por el hecho de que los productos cárnicos son poco accesibles para la mayor parte de la población. Ya que un guatemalteco promedio consume comúnmente: frijoles negros, tortillas, pollo, huevo, pan, arroz, entre otros. Por esto, se observa que el zinc requiere una intervención mediante distintas opciones como estar en suplementos, utilizar alimentos complementarios fortificados y la fortificación en sí. [9][10]

Actualmente la entrega de micronutrientes espolvoreados es un medio para que los niños ingieran los micronutrientes que necesitan. Para este producto destacan las marcas Macrovit (aporta 5mg de zinc en cada paquete) y Piramal (aporta 4.1mg de zinc en cada paquete). Sin embargo, estos productos no se pueden considerar como una intervención que pueda resolver o mejorar el estado nutricional de zinc; ya que este micronutriente no se almacena en grandes cantidades en el cuerpo, sino que necesita una ingesta diaria de zinc en la dieta para lograr superponer la deficiencia de dicho mineral. Otro efecto negativo de dichos productos es que se ha observado que existe un rechazo de parte de los niños ya que diferencian el cambio de sabor con los micronutrientes espolvoreados, proporcionando una desaprobación a la comida fortificada con dichas vitaminas y minerales. [10]

Por lo tanto, para lograr esto se debe tener un alimento vehículo que sea de acceso para toda la población, y se ingiera rutinariamente. Para asegurarse que el producto fortificado sea aprobado por los consumidores, es fundamental realizar pruebas sensoriales para observar si el producto es rechazado o aceptado. Es importante recalcar que los productos que son fortificados presentan un rechazo por parte de los consumidores cuando alteran el sabor. Como se dio con el caso de alimentos que se le agregaron las Chispitas y Macrovit en niños de la Escuela de párvulos de Tierra Nueva, Chinautla, Guatemala; donde se obtuvo un 11% y 25% de rechazo para el Macrovit como a las Chispitas respectivamente. Observando que el rechazo a la comida fortificada constituyó el mayor porcentaje de los efectos secundarios negativos para ambos productos.[11]

En este caso, al ser el agua el producto vehículo el cual va a ser fortificado, presenta una gran problemática si el soluto utilizado que se incorpora en la matriz llegue a afectar las propiedades organolépticas del agua. Ya que todos los consumidores conocen bien que el agua debe presentar un sabor neutro, incoloro y sin ninguna percepción nasal. Por ello, el

propósito de este presente estudio es determinar el mejor compuesto de zinc que se puede emplear como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante en un sistema viable de dosificación de zinc, mediante el establecimiento de los umbrales de detección para recomendar una dosificación máxima. Sin alterar las características sensoriales del agua y así poder ser aceptado en el mercado y pueda cumplir su función.[12]

5.3. Antecedentes

La fortificación se basa en la agregación de uno o más nutrientes con el propósito de mejorar la calidad de vida mediante la minimización de la carencia de nutrientes en los alimentos que consumen los seres humanos. En el artículo redactado por Vergara y demás autores indican que las deficiencias de los micronutrientes como hierro, zinc y vitamina A se les han nombrado “Hambre silenciosa” en gran parte de las sociedades. Ya que se estima que la tercera parte de la población mundial vive en países con baja ingesta de zinc, por lo cual tienen una alta tasa de deficiencia de dicho micronutriente. Informando que la deficiencia de zinc es el responsable de un 14.4% de las muertes por casos de diarrea. Del mismo modo se indicó sobre la necesidad de elaborar un análisis sensorial en pruebas afectivas, discriminatorias y descriptivas. Con el fin de evaluar el nivel de satisfacción, la aceptación y preferencia del arroz biofortificado variedad IDIAP por un grupo de panelistas no entrenados. La prueba discriminatoria, fue de suma importancia en el análisis sensorial evaluado en la Provincia de Coclé ya que establece si existe o no diferencias entre dos productos, sin que los panelistas detecten el tipo de diferencia. Como resultados, indicaron que la aplicación de la prueba discriminatoria triangular en el estudio demostró ser una prueba muy satisfactoria, confiable y fácil de aplicar en comunidades pequeñas. [13]

Los datos brindados por el Banco Internacional de Desarrollo demuestran que la prevalencia de la deficiencia de zinc es mayor al 20% en países como Costa Rica, Guatemala y Panamá centrados principalmente en la población de niños menores de cinco años. Denotando un valor en Guatemala de más del 30% de deficiencia del zinc plasmático en niños de 6-59 meses de vida, logrando ser catalogado como un problema severo de salud pública para el país.[14]

Entre las principales funciones del zinc se encuentran: velar y controlar el transcurso de los procesos del cuerpo, como la conservación del sistema enzimático, de las células y regular la actividad que lleva a cabo la próstata. Por lo cual al contar con un adecuado nivel de zinc en el organismo avala la fertilidad en el hombre. Fomenta el crecimiento de los tejidos como el pelo y se ocupa del transporte y absorción de la vitamina A. Donde para niños de uno a tres años de vida que presentan una baja ingesta de zinc requieren de 1.9 miligramos/día; entretanto, los niños de cuatro a seis años de vida necesitan un aporte de zinc de 2.4 miligramos/día. Mientras que para niños que padecen de deficiencia de zinc a un mayor nivel su ingesta diaria circula por los 4miligramos/día. Por lo cual es importante indicar el sector al cual va dirigido el proyecto ya que si se dispone de una unidad filtrante de agua integrada a un sistema viable de dosificación de zinc dirigido para la población en general. Por lo tanto, se debe de emplear las recomendaciones diarias para personas sanas y para los ciudadanos que padecen de deficiencia de zinc que requieren de un mayor aporte del micronutriente para combatir las enfermedades que son causadas por la baja ingesta de

dicho micronutriente. [11]

Las innovaciones que han salido a la luz para realizar la fortificación de alimentos se ven vinculado con la forma en la cual se añaden los solutos fortificantes, implementación de métodos de encapsulación y emplear ingredientes nuevos. Donde la implementación de los métodos de encapsulación es comúnmente usada en la industria de alimentos ya que en el área de producción se utilizan los ingredientes funcionales que poseen las características deseables para combatir las deficiencias mayormente vinculadas con la comunidad. Las características deseables mencionadas previamente se centran en ocultar los olores, sabores y colores no deseables del micronutriente en su forma nativa. La microencapsulación es un método muy común en la fortificación de productos con micronutrientes de forma invariable e impidiendo su competición con otros micronutrientes que contienen o disminuyen la probabilidad de la ocurrencia de su degradación. [15]

En Guatemala existen tres programas sobre la fortificación de alimentos que se diseñaron para cumplir con los criterios técnicos vigentes. El primer criterio hace referencia al conocimiento requerido de la ingesta y el estado nutricional del grupo poblacional que se desea cubrir; el segundo se encuentra relacionado con la necesidad de conocer los alimentos que se pueden fortificar y los micronutrientes apropiados para el tipo de vehículo que se utilizará para la fortificación. El tercer criterio se encuentra vinculado con el conocimiento de los efectos del nutriente en la estabilidad y las cualidades organolépticas del alimento para que este no sea rechazado sensorialmente. [16]

Otra forma utilizar las evaluaciones sensoriales para alimentos fortificados, es realizar pruebas sensoriales con distintos porcentajes de minerales y vitaminas para observar el porcentaje en el cual los consumidores ya no aceptan el producto por cuestiones organolépticas. Un ejemplo de esto lo abarcó el estudio de Evaluación sensorial y fisicoquímica de panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harinas y maíz y papa. Donde la evaluación sensorial se realizó del pan fortificado con hierro, con sustitución parcial de harina de trigo con otras harinas. La evaluación sensorial se llevo a cabo para seleccionar la mejor formulación, de cuatro posibles fórmulas para observar con cuál porcentaje los consumidores aceptaban tanto el sabor como aspecto, color, olor y textura. Encontrando que era posible sustituir, como máximo, hasta un 30 % de la harina de trigo por papa precocida sin afectar las características organolépticas del pan. Sin embargo la formulación con mayor grado de aceptación contenía iguales proporciones de harina de maiz y de papa, que en total reemplazaron al 10 % de la harina de trigo. Este estudio permite demostrar que una evaluación sensorial se puede realizar durante la elaboración de un producto fortificado con el fin de determinar cual es el punto específico en el cual los consumidores pueden mostrar desaprobación por el producto o no.[17]

En el momento de fortificar un producto alimenticio es vital el realizar un análisis sensorial. Donde demuestran que al incorporar un alimento fortificado al mercado o variar un ingrediente u otro componente es indispensable realizar pruebas sensoriales para asegurarse de que el producto sea aceptado por el nicho de mercado al cual va dirigido. Ya que si el producto no es aceptado sensorialmente la población no llegará a consumir dicho alimento fortificado, logrando aumentar o mantener las deficiencias de los minerales como el hierro y zinc que afectan la salud pública. El objetivo del estudio del artículo indica que las pruebas sensoriales empleadas fueron para evaluar la preferencia y aceptabilidad de la variedad de arroz que posee un elevado aporte de hierro y zinc, utilizando como referencia un tipo de

arroz importado que es consumido diariamente. Los resultados que brindaron las pruebas sensoriales indicaron que el 80 % de las madres que fueron parte del análisis sensorial indicaron por medio de una escala hedónica que el producto fue de su agrado, con diferencias estadísticas con un valor p menor a 0.05. Por lo cual se logró concluir que el tipo de arroz IACuba 30 es un buen vehículo de fortificación al aumentar el aporte de zinc y combatir con la anemia presente en la isla ya que los consumidores si demostraron una aceptación al contar con un sabor, color y textura agradable para lograr su comercialización. [18]

En el caso de un estudio de aceptabilidad de los alimentos fortificados con vitaminas y minerales espolvoreados, en niños de la Escuela de párvulos de Tierra Nueva, Chinautla, Guatemala se observó que hubo un efecto secundario negativo sensorialmente. Debido a que las madres indicaron que los niños no aceptaban el producto con las vitaminas y minerales espolvoreados en los distintos alimentos fortificados, los cuales fueron: frijol licuado, papilla de banano e Incaparina. Logrando ser un caso donde se trató de combatir la deficiencia de distintos micronutrientes, pero no obtuvo la capacidad de llevar a cabo su función debido a que los niños no aceptaron sensorialmente el producto y por consiguiente, las madres se los dejaron de dar aún cuando el producto estaba destinado a mejorar la salud de los niños. [11]

En otro estudio se presentó que el objetivo del estudio era evaluar el efecto de la vitamina A y los minerales mencionados previamente en animales experimentales. Se realizó un análisis sensorial para seleccionar la concentración de los micronutrientes para que no brindaran un cambio de color y sabor en el alimento vehículo sobre el control. Se presentaron cuatro tratamientos para analizar cuál de las cuatro concentraciones establecidas no proporcionaba un cambio sensorial en el yogurt fortificado, en el cual se analizó mediante un análisis de varianza. Se realizó la prueba sensorial antes y después de las dietas mediante la prueba T de Student para las muestras relacionadas. El análisis sensorial demostró que no hubo diferencias significativas (un valor $p > 0.05$) encontrado tanto en el sabor como en el color. Por lo cual se concluyó en el trabajo que la vitamina A, ácido fólico, hierro y zinc no proporcionaron un cambio tanto en el color como en el sabor del yogurt. Por lo cual se logró añadir el 100 % de la ingesta recomendada para el sector al cual iba dirigido el estudio, que eran las recomendaciones para los niños en edad escolar sin contar con un cambio organoléptico para el alimento vehículo. Este artículo a diferencia de los demás, muestra que el análisis sensorial no solo se basa en analizar la aceptación del consumidor al final de elaborar el producto. Sino que al mismo tiempo se puede emplear durante la elaboración de este, ya que permite indicar las concentraciones adecuadas de distintos micronutrientes que lleguen a aportar beneficios al cuerpo y en conjunto no alterar las propiedades organolépticas características de un producto ya existente. Logrando ser factible el poder comercializar el producto fortificado ya que no presenta rechazo por parte de los consumidores. [19]

Según el informe “Innovación rompedora” de Nielsen, el 76 % de los nuevos productos que son lanzados al mercado fracasan en su primer año de vida. Causando una gran pérdida de capital para la empresa lo cual los puede llevar hasta la ruina si es que no logran salvarse de la quiebra que generan por el fracaso del producto lanzado en el mercado. Un estudio realizado en el 2011 muestra que dos tercios de los productos nuevos que son lanzados al mercado no superaban las 10,000 unidades en ventas, algo que es considerado un volumen pequeño si se estima que en España se cuentan con 47 millones de consumidores potenciales. La principal causa es que los nuevos productos no se centran en resolver una necesidad o ser del agrado del consumidor, sino que lanzan los productos que creen ser algo nuevo en el mercado. En la

actualidad muchas de estas empresas omiten la parte de validación del consumidor algo que es crucial de realizar en la parte de Investigación y Desarrollo dentro de una empresa. Ya que al realizar un análisis sensorial que dicte la aceptación del producto, este comúnmente se realiza en la etapa previa de lanzarlo al mercado, si es que lo hacen. Y no se dan cuenta que la parte sensorial se debe analizar en conjunto con la parte de prototipaje; ubicándose en la parte inicial que debe seguir el equipo de Investigación y Desarrollo al momento de definir un producto. Por lo cual, se recomienda tener un enfoque en el consumidor para minimizar las pérdidas de capital que se darían si fueran rechazados los prototipos y no el producto final ya en grandes volúmenes lanzados al mercado. [20]

Un ejemplo famoso de este caso es cuando Coca Cola en 1985 lanzo un nuevo producto, denominado “New Coke” el cual no fue aceptado por los consumidores ya que no les agradaban el sabor de este nuevo producto. Luego del lanzamiento en el mercado, la compañía recibió aproximadamente cuatro veces más quejas indicando que deseaban el regreso del sabor original. Se llegaron a presentar protestas en las afueras de la empresa ubicada en ese momento en Atlanta presionando para regresar a la versión clásica de la bebida. Logrando que en solo dos meses la compañía anunciara el regreso de la bebida original, algo que fue de gran impacto que llegó estar en la portada de los periódicos más importantes en Estados Unidos en esa época. [21]

Otro caso actual, que presenta la empresa de McDonald’s es el no poder adaptarse en el mercado de Bolivia. Siendo este el único caso donde McDonald’s no logró implementarse y cerró todas sus sucursales en ese país. Ocho años duró la cadena de McDonald’s en Bolivia, siendo actualmente el único país de Latinoamérica donde la franquicia ha fracasado. En el 2002 McDonald’s quebró al registrar grandes pérdidas de dinero, el cual los llevó a cerrar los ocho restaurantes, logrando registrar a la franquicia en una encrucijada al pasar por un bajón histórico a nivel internacional. La razón de su fracaso en el mercado boliviano se centra en razones culturales, sociales y económicas. Donde los niños indicaban que no eran de su agrado las hamburguesas por lo cual no se les apetecía ir al local. El factor cultural radica en no poderse adaptar a las preferencias de los consumidores. Los bolivianos indicaron que el acto de comer se asocia comúnmente con el buscar sus raíces, logrando que la idea de comer hamburguesas como comida rápida chocara con sus creencias. Sin embargo, si hubieran realizado un estudio impulsado por el consumidor previamente, notarían que los bolivianos si comen comidas rápidas. Siendo estas las empanadas, el cual es un producto que es del agrado de los bolivianos ya que se elaboran con los ingredientes favoritos de los bolivianos y que son más cotizadas que una hamburguesa. [22]

5.4. Justificación

Los principales componentes de la desnutrición se asocian a la inadecuada ingesta de nutrientes y la falta de educación. La primera, debido al aumento de pobreza que sufre el país, donde el crecimiento de la pobreza se ve reflejada en que el precio de la canasta básica que incrementa de forma más rápida a comparación de los ingresos para las personas situadas en la pobreza y pobreza extrema. Según los datos oficiales para Guatemala, la línea de pobreza va aumentando desde el año 2000 donde contaba con un 56% y en el año 2014 se observó un 59.29%. Al igual que la línea de pobreza extrema siendo esta del año

2000 un 15.7% y para el año 2014 un 23.4%. Dichas personas situadas en estas líneas de pobreza y pobreza extrema son limitadas al acceso de alimentos, pocos recursos y hábitos alimentarios inadecuados. El segundo punto como consecuencia de la ineficiente preparación de los padres, lo que es un percance en la calidad del cuidado que se les otorga a los niños en su fase de desarrollo temprano. [23]

Gracias a la historia de Guatemala se ha observado la prevalencia de la problemática sobre la desnutrición. En el IV Censo Nacional de Talla en Escolares 2015, el 37.6% de los niños que se encuentran en primaria demuestran desnutrición crónica.[24]

En el 2009 la Comisión Nacional para la Fortificación, Enriquecimiento y/o Equiparación de Alimentos (CONAFOR) estableció que los productos fortificados en Guatemala son “Una estrategia sostenible para el combate de las deficiencias de micronutrientes”. Durante el acto, representantes e Unicef, OPS/OMS, Incap y representantes del Sesan demostraron que las principales deficiencias de micronutrientes se ven en: vitamina A, hierro, ácido fólico, yodo, flúor y en la actualidad de zinc. Siendo este último componente, un factor clave para el crecimiento infantil y predisposición de enfermedades intestinales, como la diarrea, y respiratorias, como la neumonía. [25] [26]

Debido a la deficiencia de zinc en áreas rurales, y las consecuencias que repercuten en la salud de los ciudadanos, resulta ser una opción adecuada el elaborar un sistema viable de dosificación de zinc incorporándolo y una unidad filtrante de agua para contribuir con el mejoramiento del estado nutricional de los niños guatemaltecos, ya que son los más susceptibles a enfermedades relacionadas con su baja ingesta.

El umbral es el límite para percibir una propiedad organoléptica, esto quiere decir que es el punto de inflexión donde hay un cambio sensorial en un producto y el consumidor lo detecta. Determinando el umbral sensorial de zinc en los consumidores guatemaltecos se puede encontrar el soluto de menor percepción para garantizar su aceptación en el sistema viable de dosificación de zinc incorporándolo en una unidad filtrante de agua para no alterar el sabor neutro característico del agua.

Esto incide en la vigilancia del producto ya que permite la estandarización de dicha dosificación, y va vinculado con la vida útil de la unidad filtrante de agua ya que debe de mantener las características sensoriales del agua fortificada durante toda su vida útil.

Es importante que el agua fortificada conserve las características organolépticas a las que están acostumbrados los consumidores. Debido a que si dejan de tomar agua esto repercute en la empresa directamente en sus ingresos y costos, pero al mismo tiempo puede tener consecuencias graves en los consumidores.

El análisis sensorial de zinc es primordial ya que puede ser el punto de partida para el desarrollo e implementación de otros minerales como: ácido fólico, hierro, calcio entre otros que pueden ser utilizados en el agua, evaluar como afectan organolépticamente el agua y si son aptos para ser transportados por esta vía. Con el propósito de combatir distintas deficiencias nutricionales que se poseen en áreas rurales de Guatemala y en el mundo.

5.5. Marco teórico

5.5.1. Fortificación de alimentos

Definición

Según la FAO, la fortificación de alimentos trata sobre la agregación de uno o más nutrientes a un alimento con el propósito de aumentar y mejorar su calidad enfocado en sus consumidores, es decir, tratan de minimizar o mantener en control una carencia de nutrientes. [27] La fortificación puede llegar a ser una táctica viable económicamente para poder mitigar un problema de deficiencia en países o comunidades subdesarrolladas. Se tiene que realizar un estudio previo para determinar cuál de los nutrientes faltan en la dieta del consumidor al cual va dirigido el producto para no generar un exceso de ingesta de dicho nutriente, el cual puede ser contra productivo para el cuerpo. [15]

5.5.2. Tipos de fortificación

Obligatoria

La fortificación de régimen obligatoria se da comienzo en el momento en que el gobierno obliga a los productores a fortificar un alimento o un grupo de alimentos con un micronutriente o diversos micronutrientes específicos dictados por la ley. Al ser una fortificación obligatoria, proporciona un nivel de aseguramiento sobre que el producto elegido será fortificado constantemente según lo estipulado por la legislación. El ente encargado de velar por que el suministro de micronutrientes en el alimento vehículo sea eficaz y efectivo para la fortificación, es el gobierno; tanto para el mercado al cual va dirigido como a cualquier consumidor. El gobierno realiza este tipo de fortificación cuando se observan niveles preocupantes de la deficiencia de un micronutriente debido a que simbolizan una necesidad de salud pública significativa, y se conoce que dicha deficiencia del micronutriente puede minimizarse mediante la ingesta regular de un producto fortificado. [2]

Voluntaria

La fortificación voluntaria es ejecutada por las industrias de alimentos sin que esté decretada por una ley. Donde el propósito de las industrias de alimentos que fortifican un alimento de forma voluntaria es el aumentar el aporte de micronutrientes del producto desarrollado y brindarle un valor agregado. Aunque el gobierno se encuentre exento de velar por el seguimiento de un producto fortificado voluntariamente, es importante imponer un control de esta mediante leyes alimentarias u otros acuerdos como códigos de prácticas para las industrias. El nivel de control debe ser evaluado con el nivel de riesgo relacionado con la salud pública con el propósito de asegurar la inocuidad de los alimentos fortificados para los consumidores y brindarle un beneficio respaldado científicamente para asegurar su veracidad. Se debe poder verificar esta información para que el consumidor no sea susceptible a la falsa publicidad de su aporte en el valor nutricional que puede generar una empresa que

desea aumentar sus ventas en comparación con la competencia.

El evaluar un nivel de control se puede alcanzar mediante la reglamentación de la gama de alimentos electos para ser el vehículo de la fortificación voluntaria y los micronutrientes específicos que pueden contener. Se conoce en la actualidad, que diversos países permiten este tipo de fortificación. Sin embargo, en cada país la gama de alimentos que es permitido fortificar varía considerablemente. Otro parámetro que toma en cuenta un país para fortificar un alimento de forma voluntaria u obligatoria es el observar la existencia del nivel de riesgo para la salud pública analizando la gravedad y magnitud de la deficiencia de un nutriente. Si se presenta un nivel bajo es cuando se realiza comúnmente la fortificación voluntaria. Esto ocurre debido a que una fortificación voluntaria produce un resultado menos propicio para garantizar la ingesta de micronutrientes adecuados para el grupo de consumidor objetivo a comparación de una fortificación obligatoria. Sin embargo, el contar con una distribución constante del alimento fortificado de forma voluntaria de venta en el mercado libre para cualquier consumidor y ser ampliamente aceptado y consumido puede contribuir de forma beneficiosa a la salud pública a colaborar con el equilibrio de la ingesta de los micronutrientes y reducir las deficiencias de ellas.[2]

5.5.3. Alimento vehículo para la fortificación

Antes de identificar si un alimento debe ser fortificado se debe evaluar diversos principios para analizar si es la estrategia más adecuada para combatir con las carencias de micronutrientes que sufren las personas. Los principios por el cual se pueden agregar micronutrientes en un alimento pueden ser para prevenir o minimizar una carencia de un micronutriente esencial para la población, aumentar la ingesta de un nutriente esencial en la dieta de los ciudadanos, poder llegar a abarcar en su mayoría la ingesta recomendada de uno o más nutrientes para mejorar tanto la salud pública como la calidad nutricional de los alimentos.

Posteriormente, se debe evaluar el nivel de deficiencia de un micronutriente específico realizando un estudio con el grado de carencia y la cantidad de personas que padecen dicha deficiencia para que el gobierno pueda identificar si la agregación del micronutriente debe ser de forma obligatoria o voluntaria. Otro aspecto para tomar en cuenta es que el producto cuente con un precio accesible para ser alcanzable para cualquier ciudadano ya que mayormente el segmento pobre es el que más padece de carencias de micronutrientes. Se debe tomar en consideración que el alimento electo sea ampliamente aceptado por el segmento de la población al cual va dirigido el producto y que al añadir el nutriente en el alimento este no presente cambios organolépticos como un sabor, color u olor desagradable. Debido a que un cambio organoléptico influye directamente en la aceptación o rechazo de parte del consumidor el cual puede conllevar a que el producto no sea consumido y no logrará el objetivo de minimizar la carencia del micronutriente específico. Al momento realizar las primeras pruebas de fortificación en un alimento es recomendable realizar estudios para que el micronutriente agregado no presente interacciones entre otros nutrientes que puedan afectar su absorción en el cuerpo, como se ha observado en el caso de los filatos que disminuye la absorción tanto del hierro, zinc y otros minerales. [15]

5.5.4. Selección de nutrientes

En el momento de seleccionar un nutriente para la fortificación de un alimento se debe considerar la cantidad agregada para que este no brinde una ingesta excesiva o insignificante del nutriente agregado. Para ello, es importante examinar previamente las ingestas totales diarias de todas las fuentes que se consumen normalmente en la dieta de un ciudadano promedio con el fin de prevenir una ingesta excesiva que cause efectos negativos en su salud. Por ello, es clave que la cantidad total del nutriente en el alimento no llegue a superar las cantidades máximas que se encuentran establecidas por las autoridades nacionales y/o regionales que poseen ya establecidas las cantidades mínimas para la agregación del nutriente para confirmar que las cantidades aporten una dosis significativa. Sin embargo, no se debe sobrepasar las cantidades máximas de dicho nutriente. Por lo cual para conocer estas cantidades máximas se debe determinar el nivel máximo de ingesta del nutriente mediante una evaluación con base científica del riesgo y la ingesta diaria del nutriente de todas las fuentes para evitar perjudicar la salud del consumidor. [28]

5.5.5. Zinc

El zinc es un elemento químico, específicamente un metal de transición. Sus características físicas básicas es que posee un color blanco con tonos azules con un brillo intenso, posee la capacidad de oxidarse en presencia de la humedad. Su función se centra en el sistema inmune ya que mantiene la estructura de las proteínas, es vital en el crecimiento celular, interviene en la maduración sexual, fertilidad, metabolismo tanto de la vitamina A como hormonal. El zinc posee una actividad primordial en el sitio catalítico de diversos sistemas enzimáticos. El zinc posee una participación como ion estructural en membranas biológicas, en la integridad de las histonas, ácidos nucleicos, es un componente de las polimerasas del ADN, ARN y enzimas citosólicas que se implican en la síntesis de proteínas. Influye directamente en el sentido del gusto y del apetito donde una carencia de esta mineral causa la pérdida del apetito. Otra deficiencia sería de este compuesto afecta el desarrollo cognitivo, cerebral y sexual.[29]

La mayor cantidad de zinc se ubica en el esqueleto, tejidos como la piel y el pelo y órganos como la próstata que posee una gran concentración de este micronutriente. Su deficiencia se observa mediante los síntomas como dermatitis, afecta en el crecimiento, causa diarrea, dermatitis, alopecia, trastornos mentales, aumenta las enfermedades respiratorias ya que minimiza las respuestas del sistema inmune el cual repercute en infecciones recurrentes. La deficiencia severa afecta mayormente en los períodos de rápido crecimiento. Del modo en que la deficiencia de zinc se ve estrechamente relacionada con la deficiencia de la vitamina A este influye en la ceguera nocturna. [15]

Fuentes

La mejor fuente de zinc se encuentra en las ostras. Posteriormente los productos con alto contenido de proteína como las carnes rojas, carne de ave, mariscos, cangrejo, langosta. Mientras que los alimentos que poseen menor aporte de zinc son los cereales, frijoles, frutos secos y productos lácteos. En países en vías de desarrollo, los habitantes no poseen un amplio

acceso a los productos con alto contenido de proteína por lo cual su ingesta del zinc proviene de la alimentación mayormente de granos de cereal y legumbres. [30]

Causas y consecuencias sobre la deficiencia de zinc

La deficiencia del zinc proviene de una ingesta dietética inadecuada mayormente en los períodos de crecimiento rápido como lo son las etapas de la infancia y adolescencia por la ingesta de alimentos con bajo contenido de este elemento. De igual modo por la malabsorción, por la extensión de las pérdidas o la limitación de su uso. Aproximadamente se ha encontrado una estimación indicando que un tercio de la población en el mundo posee una deficiencia de zinc. Donde la población más susceptible a esto son los bebés prematuros, lactantes, niños que tratan de combatir la desnutrición, adolescentes, mujeres en la etapa de embarazo y lactancia y en los ancianos. La carencia de este elemento afecta la división y proliferación celular, por lo cual, las células que conllevan un rápido intercambio como las células de la mucosa intestinal dependen directamente en el estado de nutrición de la persona. Se ha observado en diversos estudios en humanos y animales que la carencia de zinc en el cuerpo causa cambios perjudiciales en la morfología y la función que lleva a cabo el intestino delgado. El cual puede ser no solamente contrarrestado mediante la suplementación con zinc sino ayuda a la permeabilidad intestinal que presentan los niños con diarrea tanto de carácter agudo o perenne. Debido a que los niños que padecen de diarrea aguda cuentan con una baja absorción de zinc debido a que lo pierden en la expulsión de heces en altas cantidades. Por lo cual, dichos niños poseen un alto nivel de riesgo para desarrollar una deficiencia de zinc, la cual regresará a presentar una diarrea aun más severa y creará un ciclo repetitivo.[31]

Absorción

El zinc al entrar al cuerpo es absorbido en el intestino delgado mediante un proceso transcelular. Se ha observado un incremento en la velocidad de transporte en el momento que el estado nutricional de zinc se encuentra bajo. Este micronutriente es omnipresente en el organismo, su deposición ocurre vía gastrointestinal. Su absorción es fundamental en el nivel intestinal debido a que en el intestino el zinc se traslada a la circulación enlazado con la albúmina (70 %) y a la alfa 2 macroglobulina (20-40 %). La absorción de dicho micronutriente se encuentra sometido al estado nutricional de la persona, de la cantidad de inhibidores y sus favorecedores dietarios. [32]

La absorción del zinc se ve influenciado por la existencia de compuestos como los filatos, oxalatos y taninos que inhiben su absorción. Sin embargo, otros minerales también cuentan con una relación de competencia dentro del cuerpo con el zinc como el hierro, calcio y cobre que poseen características físicas y químicas parecidas. No obstante, para que ocurra la competencia con los minerales mencionados previamente se debe contar con altas dosis de ellos presentes en los suplementos. Se debe tomar en cuenta que existe zinc exógeno que se absorbe en el duodeno distal o en el yeyuno proximal; que afecta al cuerpo por no contar con sitios de reserva funcional para el zinc. Lo cual recae en poseer una ingesta de forma alta y rápida ya que la excreción endógena, por la vía gastrointestinal, se aproxima a 2mg/día.[19]

Toxicidad

Se considera en régimen tóxico niveles mayores de 40mg/día ya que provoca una baja absorción de cobre, causa diarrea, náuseas y disminuye las funciones del sistema inmune. El nivel máximo de ingesta para niños de 4 a 8 años es de 12mg/día, mientras que para niños de 9 a 13 años es de 23mg/día. El cual es posible alcanzar al consumir una gran cantidad de alimentos altos en zinc, agua y suplementos. [19]

5.5.6. Evaluación sensorial

Según el Instituto de Tecnólogos en Alimentos de EEUU (IFT por sus siglas en inglés) dicta que la evaluación sensorial es “la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído.” Por lo cual los métodos de evaluación sensorial poseen un fundamento científico ya que brindan resultados respaldados por las ciencias como la química, matemáticas, estadística, mercadeo, psicología y fisiología. En la industria alimentaria es de gran importancia realizar un análisis sensorial ya que permite la caracterización y evaluación de aceptación o rechazo de un producto por parte del consumidor. Otras aplicaciones que otorga el realizar una evaluación sensorial radica en la identificación de características sensoriales de un producto y su análisis de calidad. Como se indicó previamente, consumidor puede aceptar o rechazar un producto debido a su percepción sensorial; donde un alimento puede ser altamente nutritivo, pero no es aceptado por el consumidor. No obstante, los cinco sentidos no son los únicos que afectan en el resultado brindado de parte del consumidor, sino también se encuentran las sensaciones experimentadas del catador desde el momento en que observa el producto hasta el momento de haberlo consumido. Por lo cual es indispensable tener en cuenta que las percepciones dependen de una persona individual, el espacio y tiempo. [12]

5.5.7. Panel sensorial

Al realizar un panel sensorial se ha observado que las condiciones que rodean a los panelistas o catadores influyen directamente en los resultados que presentan en las pruebas. Por esto mismo, es necesario estandarizar las condiciones que los rodean para obtener resultados reproducibles estadísticamente. [12]

Características del lugar donde se realiza un análisis sensorial

El área de preparación de las muestras se debe encontrar de forma separada del área de prueba. Se debe tener cuidado de que los panelistas no vean nunca la preparación de las muestras. El área de pruebas debe contar con una adecuada iluminación que sea uniforme y de luz difusa; también se recomienda que se cuenten con colores lisos en estas instalaciones para tener un ambiente neutro que no afecte la armonía del lugar. Del mismo modo, el local debe contar con accesibilidad para tener una adecuada limpieza, libre tanto de ruidos como olores para evitar la distracción del catador. Dentro de la instalación se debe contar con

cabinas que sean idénticas en dimensiones y condiciones. Situadas una a la par de la otra, pero, siempre aislar cada cabina con una paredes suficientemente altas y anchas para evitar que los panelistas interactúen entre ellos. Se debe contar con un ancho adecuado en la cabina para que se coloquen las muestras, cuestionario, cubiertos, servilletas, vaso y galletas para limpiar el paladar. Si no se cuenta con un lugar fijo para realizar un panel sensorial se puede elaborar unas cabinas de prueba temporal portátil, como se observa en la sección de Anexos, Figura 3. [33]

Horario de pruebas

Este es uno de los factores cruciales que proporciona que un resultado sea reproducible o no. El horario de las pruebas no debe ser cercano a las horas de comidas. Esto se debe a que si el panelista terminó de comer no querrá ingerir otro producto lo cual repercute en asignar puntuaciones bajas si es el caso de una prueba afectiva, o alterar las apreciaciones de los atributos sensoriales. De la misma forma, si el horario de comer es cercano a la hora de la prueba, el panelista tendrá hambre y sus respuestas serán rápidas y erróneas. Los horarios que se recomiendan son de las 11 am a la 1 de la tarde y de 17 a las 18 horas de la tarde. [33]

Muestras

En las pruebas donde los catadores son consumidores, se debe tomar en cuenta que el producto se debe servir del modo cotidiano en el cual es consumido. El producto debe tener las mismas condiciones en todo momento. La cantidad de muestra que se le es entregada a cada catador se ve limitada por la cantidad de material que se encuentra disponible y el número de muestras que se le entregarán a cada catador en el panel sensorial. La temperatura de la muestra debe ser uniforme para todos los panelistas, se recomienda poseer la temperatura en la cual es consumida. El orden de la presentación de las muestras debe ser siempre aleatoria y estar codificada para no provocar sesgo en las respuestas que brinde cada catador. [33]

5.5.8. Umbral

El umbral según la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM método E-679-79) se define como “un intervalo de concentración por debajo del cual el olor o el sabor de una sustancia podría no ser detectable en ninguna circunstancia práctica, y por encima del cual los individuos con un sentido normal de olor o sabor podrían detectar fácilmente la presencia de la sustancia.”

En otras palabras, el umbral es el límite para percibir una propiedad organoléptica. Los umbrales sensoriales se emplean para establecer el potencial de una sustancia o un grupo de sustancias a concentraciones pequeñas para impartir una característica organoléptica nueva en el producto. Los valores de los umbrales se especifican obligatoriamente en unidades de intensidad física como moles por litro de un compuesto o gramos por litro. Por lo cual diversos investigadores prefieren la especificación del umbral, ya que se encuentran libre

de las unidades subjetivas que proporcionan las escalas de calificación o las puntuaciones sensoriales. Pero, se debe tomar en cuenta que las mediciones de umbral no brindan datos más confiables ni precisas que otras técnicas sensoriales. Lo más importante es que los umbrales representan solo un punto en una curva de dosis-respuesta o función psicofísica, por lo que nos dicen poco sobre las características dinámicas de la respuesta sensorial en función de los cambios en la concentración física. Cualquier persona que trate de medir un umbral debe tomar en cuenta que existe un punto de variabilidad en el punto en el que los panelistas cambian sus respuestas. [34]

Tipos de umbral

Umbral de detección

También conocido como el umbral absoluto, es el estímulo más pequeño que llega a producir una sensación en el panelista. Más detalladamente es el nivel por debajo del cual el estímulo no produce ninguna sensación y encima del cual una sensación alcanza la conciencia. [34] [35]

Método para umbrales de detección

El procedimiento estándar es el designado por el ASTM E-679 consiste en que la intensidad del estímulo, concentración de un sabor u olor, se incrementa de forma gradual de progresión geométrica hasta que el panelista detecte la sustancia. El procedimiento posee un carácter de elección forzada en la que la sustancia a detectar se integra en un conjunto de estímulos y productos que incluyen otras muestras que no contienen ninguna de la sustancia añadida. El objetivo es el estímulo o producto con el sabor o el olor que se desea detectar y los elementos sin el químico agregado se le designa el nombre de blanco. En el procedimiento ASTM E-679 es común contar con un objetivo y dos blancos, obteniendo así una elección forzada de tres alternativas (3-AFC), porque la persona que está probando se encuentra obligada a elegir la muestra diferente en el conjunto de tres, aunque traten de adivinar. Este método se designó para encontrar el nivel mínimo de una sustancia que es detectada por el 50 % del grupo de muestra. [34]

Umbral de reconocimiento

A diferencia del umbral de detección, el umbral de reconocimiento es el nivel donde el panelista es capaz de identificar el estímulo específico al cual es sometido. Este umbral comúnmente es mayor al umbral de detección. Debido a que el panelista primero llega a detectar una sensación sutil conforme aumentan las concentraciones de las muestras y luego es capaz de reconocer el estímulo. Un ejemplo es realizar una prueba sensorial de agua con concentraciones crecientes de sacarosa, donde al principio el panelista detecta un “sabor a agua” a “posee un sabor tenue” y luego lo reconoce como “sabor leve a agua dulce”. Siendo este último el umbral de reconocimiento ya que detecta la presencia de sacarosa en la muestra. [35]

Umbral de diferencia

Este umbral indica la proporción en la cual se detecta un cambio en el estímulo que es capaz de producir una diferencia notable. Representando el cambio físico mínimo necesario para que una persona sea capaz de detectar el cambio el 50 % del tiempo. Se emplea en este caso una referencia para poder comparar dicha muestra con la muestra que presenta un estímulo variable. Se puede utilizar un cambio en el estímulo ya sea por encima o debajo de la referencia mientras llegue a ser notable para el panelista. [35]

Umbral terminal

Se le conoce también como el umbral máximo ya que es la concentración por encima del cual ya no se llega a percibir un aumento en la intensidad. Esto se debe porque se ha llegado al nivel de saturación en donde no es posible ninguna estimulación adicional debido a que existe un número limitado de receptores y nervios que poseen una tasa de respuesta máxima. No obstante, antes de llegar al nivel de saturación, este se puede ver opacado por sensaciones de dolor o irritación. [35]

Métodos prácticos

Una prueba de elección forzada no posee sesgos ya que el panelista o catador debe indicar una respuesta en cada prueba de forma obligatoria. En el método de ascendencia de elección forzada, la intensidad del estímulo se va aumentando en una serie ascendente y luego se reduce en una serie descendente para encontrar los puntos en los que la respuesta del panelista cambia de negativa a positiva o viceversa. No obstante, el utilizar series descendientes puede llegar a provocar fatiga o adaptación de parte del panelista, lo cual afecta ya que el panelista no es capaz de detectar fácilmente los estímulos que se percibirían claramente si se presentada de forma individual. Para evitar este problema de la adaptación o fatiga se realiza la prueba utilizando series ascendentes y/o brindar menos presentaciones del estímulo objetivo. [34] [35]

Existen métodos alternativos como la diferencia clasificada y procedimientos adaptativos. En el primer método una muestra que contiene el estímulo que se desea reconocer se compara con un control o blanco. Dicha diferencia puede usar una escala de línea o una escala de categoría, que va desde ninguna diferencia o exactamente igual a una gran diferencia. En este procedimiento, las calificaciones para la diferencia sensorial de la muestra de control aumentarán a medida que la intensidad del objetivo se haga más fuerte. Existen variaciones en este método donde un punto en el gráfico de calificaciones frente a la concentración se asigna como umbral. Un enfoque es comparar las calificaciones de diferencia para un nivel dado con las calificaciones de diferencia dadas a la muestra de control. Luego, el umbral puede basarse en alguna medida de cuándo estas calificaciones de diferencia divergen, como cuando se vuelven significativamente diferentes mediante una prueba t. Otro enfoque es simplemente restar la puntuación de diferencia otorgada al control ciego de la puntuación de diferencia otorgada a cada muestra de prueba y tratar estas puntuaciones ajustadas como un nuevo conjunto de datos. No obstante, existe un problema en este enfoque debido ha que el valor del umbral depende del número de panelistas encuestados. Lo cual crea una situación

irrealista debido a que el valor del umbral disminuiría como una función del número de panelistas. [34]

Los procedimientos adaptativos se basan en el principio donde el siguiente nivel de intensidad del estímulo a probar depende de la detección o no en el intervalo anterior. En este caso el panelista realizará un seguimiento alrededor del nivel de umbral, con intensidad ascendente cuando el rendimiento sea incorrecto y en forma descendente cuando el rendimiento sea correcto. Por lo cual la prueba se enfoca en el rango crítico alrededor del umbral. Evitando la pérdida de tiempo al probar muestras con niveles de intensidad muy altos o bajos para detectar el umbral. En diversas ocasiones, este procedimiento se denomina el método de escalera, debido a que el registro de prueba ascendente y descendente se puede conectar en papel cuadriculado para procesar una serie de intervalos de pasos que se asemejan de forma visual a una escalera. [34]

Preparación de muestras

Para la preparación se requiere de una serie de muestras que sean representativas a concentraciones que vayan en escala de aumento del estímulo que se desea analizar en el diluyente electo. La serie debe poseer un rango donde el umbral se encuentre con seis a diez pasos. En las pruebas de umbral se requiere tener mucho control para no confundir las muestras y observar que se encuentren siempre aleatorizadas. En el umbral de detección la muestra del nivel uno se debe elaborar con una concentración cercana a cero. [35]

Método de determinación

La distribución de frecuencia se puede analizar mediante distintos parámetros estadísticos siempre y cuando se estudie la tendencia central que se adapte a la prueba sensorial y a los datos obtenidos. Comúnmente se emplean las ecuaciones estadísticas como la media, mediana, moda y/o media geométrica ya que otorgan un resultado cercano a la media o el percentil 50 de una distribución sesgada positivamente. La media geométrica se utiliza comúnmente en ámbitos económicos como demográficos. [36]

5.5.9. Pruebas discriminativas

Las pruebas discriminativas se emplean cuando el investigador quiere determinar si dos muestras se perciben de forma diferente o no mediante un atributo específico o no. Ejemplos de esto es cuando hay cambios en la formulación de un producto y se desea que el consumidor no sea capaz de percibir dicho cambio. También cuando se cambian de proveedores y/o cuando se cambia un proceso dentro de la planta. En el caso contrario, es cuando se realiza una mejora en el producto o un cambio que la industria desea que el consumidor lo perciba ya sea cuando se mejora una formulación o se crea un producto nuevo. Para estas pruebas sensoriales se recomienda utilizar dos muestras ya que más de dos muestras llega a causar que la prueba pierda eficiencia y carencia en la base estadística. Del mismo modo, se emplean en muestras que sus diferencias sean sutiles y no tan evidentes. [33]

Tipos de pruebas discriminativas

Las pruebas discriminativas se clasifican en distintos tipos debido a que ciertas pruebas buscan observar si hay diferencia o no con ambas muestras presentadas de forma independiente de la razón por la cual se podría generar esta. Mientras, que las otras pruebas discriminativas que identifican una característica como la raíz de la posible diferencia. [37]

Prueba de triángulo

En dicha prueba se le pasan al panelista tres muestras de forma simultánea donde una muestra es diferente y dos son iguales. El panelista debe indicar cuál de las muestras es distinta y permite que el investigador observe si los panelistas perciben la diferencia entre dos productos sin tener que detallar la naturaleza de la diferencia encontrada. Se debe tomar en cuenta que esta no llega a proporcionar información sobre la dirección y magnitud de la diferencia de ambas muestras. Su uso radica en distintas situaciones como: analizar si el panelista percibe un cambio en un ingrediente, cambio en el proceso, envasado, almacenamiento, siendo una prueba para delimitar panelistas para realizar un panel entrenado y el control de los panelistas. Sin embargo, el investigador debe tener en cuenta que la limitante de esta prueba es que existe un 33.3% de probabilidad de que un panelista llegue a acertar por casualidad y llega a causar fatiga y/o adaptación sensorial de parte del panelista. Para la prueba de triángulo se cuenta con seis secuencias de presentación para las muestras (AAB, ABA, ABB, BAA, BAB, BBA) que se deben de presentar a los panelistas en igual número para asegurar aleatoriedad. [33] [37]

Prueba de diferencia simple

Se emplea dicha prueba cuando se desea que los panelistas identifiquen si existe o no una diferencia en las muestras presentadas sin considerar su aceptación del producto y sin indicar las dimensiones de la diferencia percibida. Se recomienda utilizar esta prueba cuando ocurre los siguientes eventos: se realiza un cambio de ingrediente, en una etapa del procesamiento dentro de la industria, envasado y/o almacenamiento. También cuando se desea analizar si existe una variedad universal donde es complejo identificar que atributo ha sido alterado. Se debe tomar en cuenta que parte de su desventaja es que consume una gran cantidad de tiempo el de preparar las muestras y el análisis estadístico. Al realizar la prueba se debe considerar dos criterios: ser aleatorio y 50% de los pares que se le presentan al panelista deben ser diferentes y en la otra mitad iguales al control. Esta prueba cuenta con cuatro secuencias de presentación (AA; AB; BA; BB) para los panelistas. [33] [37]

Método de diferencia simple

Se utiliza comúnmente la prueba estadística de chi-cuadrado. Esta prueba se utiliza cuando hay una prueba de hipótesis en el ámbito estadístico y cuenta con una distribución asintótica. La prueba chi-cuadrado evalúa la independencia entre dos variables brindando un procedimiento para verificar si las frecuencias son compatibles con la independencia en

entre ambas variables. El resultado proporciona información para saber si la hipótesis H_0 (que denota comúnmente que ambas variables son independientes) o H_1 (denota que ambas variables son dependientes entre sí) es aceptada o rechazada. [38]

5.6. Metodología

5.6.1. Prueba sensorial de umbral

5.6.2. Lugar de realización de las pruebas sensoriales

El estudio se realizó en las instalaciones del Laboratorio Sensorial en la Universidad del Valle de Guatemala (UVG). Los estudiantes y docentes de la Universidad del Valle de Guatemala fueron los panelistas enfocados para la prueba sensorial del umbral de detección.

5.6.3. Población y muestra

Población

La población del estudio se centró en estudiantes y docentes de la Universidad del Valle de Guatemala.

Muestra

El grupo de muestra consistió en 50 estudiantes y docentes de la Universidad del Valle por cada prueba sensorial de umbral que se llevó a cabo. Se contó con dos pruebas de umbral por cada soluto para definir con mayor precisión el umbral de detección.

5.6.4. Materiales empleados

Materia prima

- Agua

Materiales

- Vasos de 1 onza
- Galletas soda
- Vasos de 7 onzas
- Servilletas
- Premios

- Flyers
- Encuestas
- Hoja maestra
- Bandejas
- Agua de filtro
- Picheles
- Paletas
- Lápiz

Reactivos

- Óxido de zinc
- Cloruro de zinc
- Sulfato de zinc

Equipos

- Balanza analítica marca OHAUS

5.6.5. Metodología experimental

Elaboración de las muestras para el panel sensorial

El agua fortificada para el panel sensorial de umbral se elaboró mediante la dilución de los reactivos en agua. Para la primera prueba sensorial de umbral se utilizó el soluto de óxido de zinc con concentraciones de 0.025g/L, 0.05g/L, 0.075g/L, 0.10g/L, 0.125g/L y 0.15g/L. Cada concentración representó un nivel, siendo la concentración de 0.025g/L el nivel 1 y la concentración 0.15g/L el nivel 6 respectivamente. Para tener una mayor exactitud en el peso del reactivo se utilizó la balanza marca OHAUS (sensibilidad de ± 0.0005 g) presente dentro de las instalaciones de la Universidad. Para cada panelista el tamaño de las muestras fue de vasos de 1 onza para no saturar las papilas gustativas tanto para las muestras que contienen los reactivos como las muestras únicamente de agua de filtro. Del mismo modo, a cada panelista se le brindó agua pura en un vaso de 7 onzas para limpiar su paladar junto con galletas sodas. Las muestras se prepararon mínimo con un día de anticipación para evitar que las muestras presenten distintas condiciones en el momento de la evaluación.

Evaluación sensorial

Previo a realizar una evaluación sensorial se eligió el tamaño de la concentración, comúnmente se utilizan factores de dos o tres para lograr que las concentraciones se encuentren en una progresión geométrica, en este caso se usó un factor de dos. El siguiente paso fue configurar las órdenes aleatorias para las tres muestras en cada nivel y usar una aleatorización distinta en cada panelista. Para llevar un registro se desarrolló una hoja maestra donde se muestren los códigos de tres dígitos aleatorios e indiquen qué muestra es la respuesta correcta. La primera hoja maestra que se realizó se encuentra en la sección de Anexos, (Cuadro 77). En el día de la prueba sensorial los participantes fueron sentados en las cabinas ante una bandeja con las muestras conteniendo 6 niveles de tres muestras. Cada fila contiene una muestra objetivo y dos muestras en blanco aleatorizadas. Se les proporcionó instrucciones para seleccionar la muestra que es diferente de las otras dos como se muestra en el cuestionario ubicado en la sección de Anexos, (Figura 88). Se le indicó al panelista que evalúe las tres muestras en cada fila una vez, trabajando de izquierda a derecha y limpiando su paladar con agua pura y galletas soda entre cada nivel. La prueba se realizó a través de todos los pasos de la serie de concentración y las respuestas del sujeto se registraron con un cálculo forzado si la persona no está segura. La primera prueba dio origen a una segunda prueba del mismo soluto para definir con mayor precisión el umbral de detección. Del mismo modo se realizó dos pruebas de umbral para cada soluto y así poder clasificar los solutos según el que obtuvo un mayor umbral de detección hasta el que obtuvo el menor umbral para proseguir en emplearlo para elaborar el sistema dosificador de zinc.

Método de análisis

Se determinó un umbral individual para cada panelista. Esto se define como la concentración que es la media geométrica de dos valores. Los dos valores son las primeras dos concentraciones seguidas que respondieron correctamente. Luego de calcular la media geométrica de cada panelista se prosiguió a calcular la media geométrica grupal para observar el umbral de detección grupal del soluto utilizado.

La media geométrica se emplea cuando se desea establecer un promedio de porcentajes, razones, índices o tasa de crecimiento.

$$\text{Ecuación: } \textit{media geométrica: } \sqrt[n]{x_1 * x_2 * x_3 * \dots * x_n}$$

5.6.6. Prueba sensorial de triángulo

5.6.7. Lugar de realización de las pruebas sensoriales

El estudio se realizó en las instalaciones de Laboratorio Sensorial en la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) utilizando los cuatro sistemas dosificadores de zinc. Los estudiantes y docentes de la Universidad del Valle de Guatemala fueron los panelistas enfocados para realizar la prueba de diferencia simple con los sistemas dosificadores elaborados en los

módulos “Evaluación comparativa de un sistema de hidrogel polimérico de liberación controlada y una capa de zinc, como matriz de fortificación de zinc en un sistema de filtración de agua” y “Desarrollo de una membrana a base de quitosano que permita la dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua”.

5.6.8. Población y muestra

Población

Estudiantes y docentes de la Universidad del Valle de Guatemala.

Muestra

El grupo de muestra consistió en 50 estudiantes y docentes de la Universidad del Valle por cada prueba sensorial de diferencia simple que se realizó para cada una de las cuatro matrices elaboradas por los módulos “Evaluación comparativa de un sistema de hidrogel polimérico de liberación controlada y una capa de zinc, como matriz de fortificación de zinc en un sistema de filtración de agua” y “Desarrollo de una membrana a base de quitosano que permita la dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua”.

5.6.9. Materiales empleados

Materia prima

- Agua

Materiales

- Vasos de 1 onza
- Galletas soda
- Vasos de 7 onzas
- Servilletas
- Premios
- Flyers
- Encuestas
- Hoja maestra
- Bandejas
- Agua fortificada de filtro

- Picheles
- Paletas
- Lápiz

5.6.10. Metodología experimental

Prueba de triángulo con los sistemas dosificadores de zinc incorporados en una unidad filtrante de agua en la Universidad del Valle de Guatemala

Previo a realizar la evaluación sensorial se configuró órdenes aleatorios para las tres muestras en el único nivel y usar una aleatorización distinta en cada panelista. Para llevar un registro se desarrolló una hoja maestra donde se muestren los códigos de tres dígitos aleatorios e indiquen qué muestra es la respuesta correcta. La primera hoja maestra que se realizó se encuentra en la sección de Anexos (ver Anexos, Tablas, Cuadro 79). Se elaboraron 6 paneles sensoriales con la prueba de Triángulo donde la primera prueba fue del agua fortificada proveniente del sistema dosificador de hidrogel elaborado por el módulo “Evaluación comparativa de un sistema de hidrogel polimérico de liberación controlada y una capa de zinc, como matriz de fortificación de zinc en un sistema de filtración de agua” y agua original de la unidad filtrante. En la siguiente prueba se empleó el sistema dosificador por cobertura del mismo módulo indicado anterior y, posteriormente la cobertura modificada. Por último, se utilizó el sistema dosificador elaborado por el módulo “Desarrollo de una membrana a base de quitosano que permita la dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua” y agua original de la unidad filtrante de agua. En el día de la prueba sensorial los participantes estuvieron sentados en las cabinas ante una bandeja con las tres muestras conteniendo una muestra objetivo y dos muestras en blanco aleatorizadas. Se les proporcionó instrucciones para seleccionar la muestra que es diferente de las otras dos y entre cada muestra de limpiar el paladar con agua pura y galletas soda. Se le indicó al panelista que evalúe las tres muestras trabajando de izquierda a derecha. Las muestras fueron preparadas con un día de anticipación para evitar que las muestras presenten distintas temperaturas o condiciones en el momento de la evaluación. La evaluación que se le presentó a cada penalista se encuentra en la sección de Anexos, Figura 89. Se realizaron en total de seis pruebas de Triangulo dentro de las Instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala. Con el propósito de identificar cuál de los sistemas dosificadores presentó una menor diferencia de sabor en el agua contra el agua original de la unidad filtrante de agua ya existente.

Método de análisis

Para la prueba de triangulo se calculó el número mínimo de respuestas correctas para indicar que hubo diferencia significativa, empleando un Alpha de 0.05 para abarcar un 95 % de confianza. Se realizó el mismo procedimiento con los otros sistemas dosificadores para evaluar cuál de ellas cuenta con una menor variabilidad de sabor versus el agua originaria de la unidad filtrante de agua ya existente. La ecuación utilizada para hallar el número mínimo de respuestas correctas fue la siguiente:

$$X = (0.4714)(z)(\sqrt{N}) + \left(\frac{2N+3}{6}\right)$$

Donde N representa el número de panelistas y z posee un valor de 1.64 ya que cubre un Alpha de 0.05

5.6.11. Prueba sensorial de diferencia simple

5.6.12. Lugar de realización de las pruebas sensoriales

Se realizó una prueba de diferencia simple con el sistema dosificador selecto para la fortificación de agua en el Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, ubicada en la zona 13.

5.6.13. Población y muestra

Población

Se hizo con la comunidad del Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, ubicada en la zona 13.

Muestra

Para la prueba de diferencia simple realizada con el sistema dosificador de zinc que se incorporó en la unidad filtrante de agua ya existente en el mercado, la muestra fueron 50 ciudadanos de la comunidad previamente indicada.

5.6.14. Materiales empleados

Materia prima

- Agua

Materiales

- Vasos de 1 onza
- Galletas soda
- Vasos de 7 onzas
- Servilletas

- Premios
- Flyers
- Encuestas
- Hoja maestra
- Bandejas
- Agua fortificada de filtro
- Picheles
- Paletas
- Lápiz

5.6.15. Metodología experimental

Prueba de diferencia simple con el sistema dosificador de zinc incorporado en una unidad filtrante de agua versus la unidad filtrante de agua ya existente en el mercado

Previamente para realizar la prueba de Diferencia Simple en la comunidad, se elaboró una cabina de prueba temporal portátil. Esta se realizó con cartones gruesos para contar con las cabinas donde los panelistas fueron separados, en la sección de Anexos, Figura 91 se muestra un ejemplo de ello y en la sección de Anexos, Imágenes, figura 94 se muestra cómo quedó la cabina de prueba temporal portátil. Luego, se prosiguió con la prueba de Diferencia Simple que se realizó en la comunidad de Santa Fe, zona 13 de la capital en el Centro Educativo San Judas Tadeo. Para llevar un registro se desarrolló una hoja maestra donde se muestren los códigos de tres dígitos aleatorios para las dos muestras e indiquen para cual panelista se presentan muestras iguales o diferentes. La hoja maestra y la prueba que se le entregó a cada panelista se encuentra en Anexos Tabla, Cuadro 81 y en Anexos Figura 90 respectivamente. Las muestras que se le entregaron a cada panelista fueron agua del sistema dosificador electo como mejor alternativa para la dosificación de zinc y agua de la unidad filtrante ya existente en el mercado. Igual que en las pruebas sensoriales anteriores, cada panelista contó con un vaso de 7 onzas de agua pura y galletas soda para limpiar su paladar entre muestras para evitar rastro de sabor de la muestra anterior.

Método de análisis

Se utilizó la prueba estadística de chi-cuadrado representando en el caso de la prueba sensorial si existe o no diferencia entre las muestras que se le presentaron al grupo de panelistas. Para realizar esta prueba estadística se contó con un grado de libertad y se consideró la desviación con respecto a los datos que hubieran demostrado independencia significativa, el cual se interpreta que los datos son dependientes. La ecuación por utilizada fue:

$$\text{Ecuación: } \chi^2 = \sum \frac{(o-e)^2}{e}$$

*Hoja de los grados de libertad se encuentra en Anexos Figura 1.

Donde la O consiste en el número observado para cada combinación y la E el número esperado para cada combinación. Con los resultados obtenidos se realizó una tabla de contingencia que cuenta con los datos obtenidos contados y organizados. Posteriormente se realizó la sumatoria tanto de las filas en el lado derecho como de las columnas en la parte de abajo y a la par de esta la suma total. Se obtuvo las frecuencias esperadas, se prosiguió a emplear la ecuación previamente mostrada para calcular el chi cuadrado. Se prosiguió a buscar el valor de chi cuadrado crítico y se interpretó que existe diferencia significativa si el valor de chi cuadrado calculado es mayor al valor de chi cuadrado crítico.

5.6.16. Consideraciones legales

5.6.17. Producto fortificado

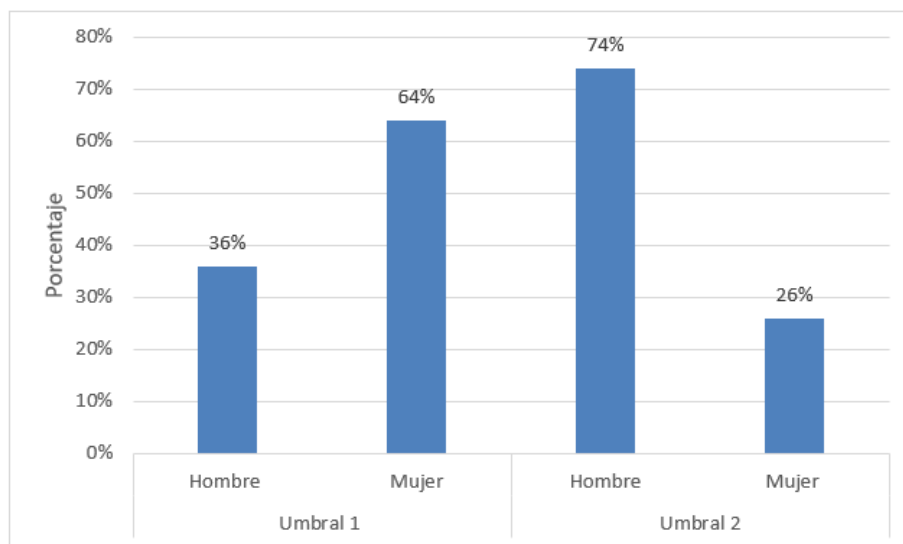
Se contó con los estudiantes, docentes de la Universidad el Valle de Guatemala y personas de la comunidad mencionada del Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, ubicada en la zona 13 para realizar las evaluaciones sensoriales. Cada persona se le brindó suficiente información de forma verbal para que tomen una decisión de forma voluntaria a través de un documento escrito para su participación como panelistas. Se contó con personas experimentadas para elaborar el panel sensorial dentro de las instalaciones como en la comunidad. Las personas reclutadas son universitarios que hayan cursado la clase de Análisis Sensorial para ser tomados en cuenta para participar en la realización de los paneles sensoriales y poder brindar apoyo a los panelistas ante cualquier duda.

5.7. Resultados

5.7.1. Descripción de la población

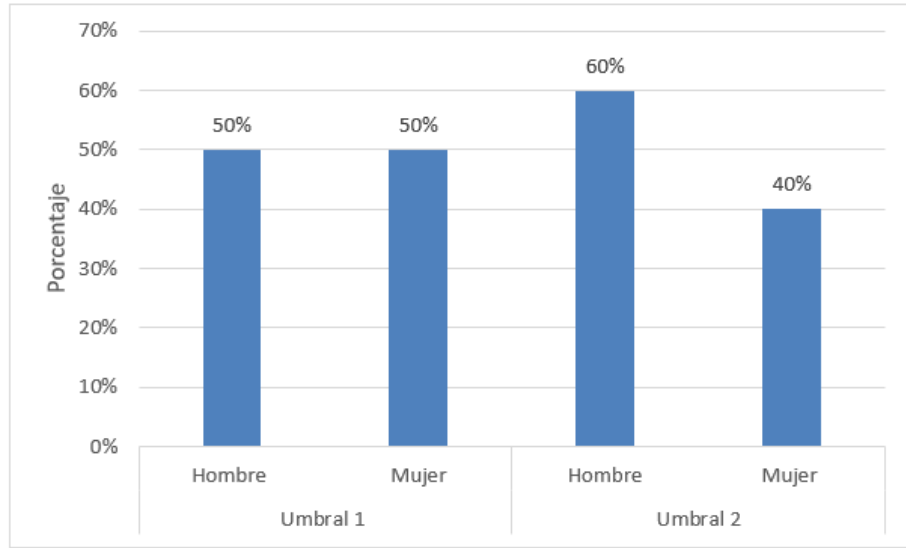
Género

Gráfica 1. Géneros evaluados en el umbral óxido de zinc



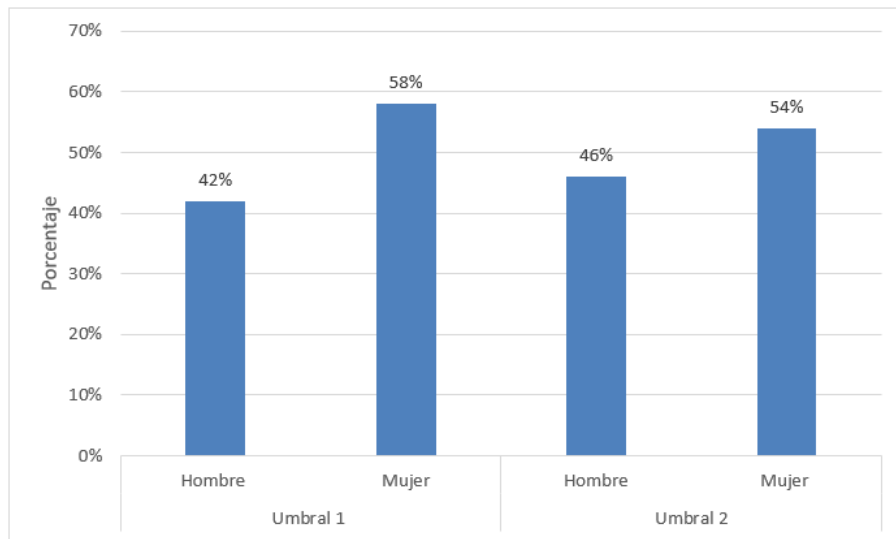
Como se puede observar en el umbral No. 1 de óxido de zinc el 36 % de los panelistas fueron hombres y el 64 % eran mujeres. Ahora, en el umbral No. 2 de óxido de zinc se obtuvo una proporción mayor de hombres, del 74 % y de mujeres un 26 %.

Gráfica 2. Géneros evaluados en el umbral cloruro de zinc



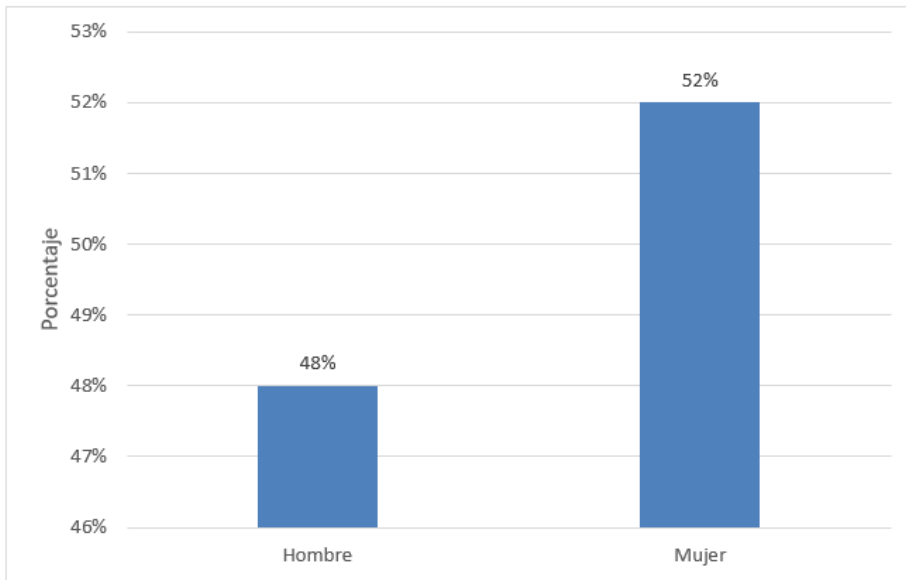
El umbral No. 1 para cloruro de zinc muestra una distribución pareja de hombres y mujeres. No obstante, el comportamiento en el umbral No. 2 de cloruro de zinc tiene un 60 % de hombres y 40 % de mujeres.

Gráfica 3. Géneros evaluados en el umbral sulfato de zinc



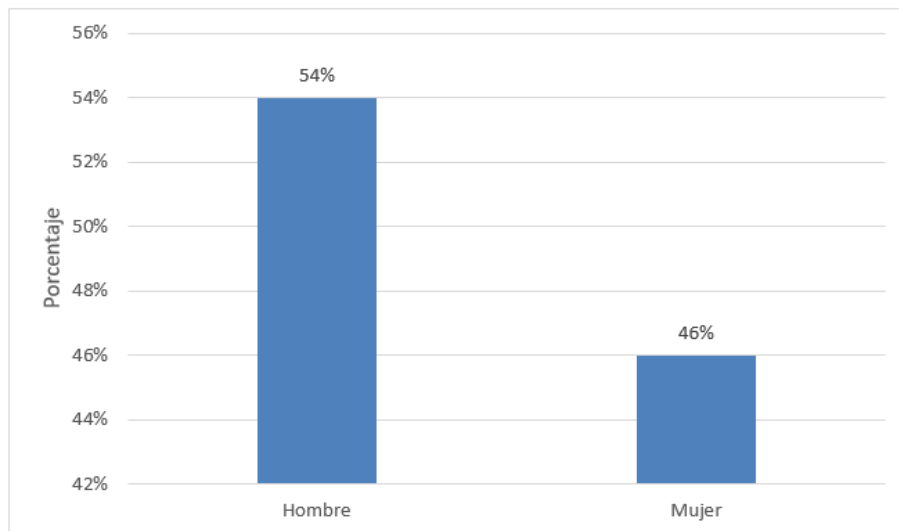
En el umbral No. 1 y 2 de sulfato de zinc se demuestra que la distribución de mujeres fue mayor en ambos casos. En el umbral No. 1 fue de 58 % de mujeres y 42 % de hombres. En el umbral No. 2 fue de 54 % mujeres y 46 % hombres.

Gráfica 4. Géneros evaluados en el sistema de hidrogel polimérico



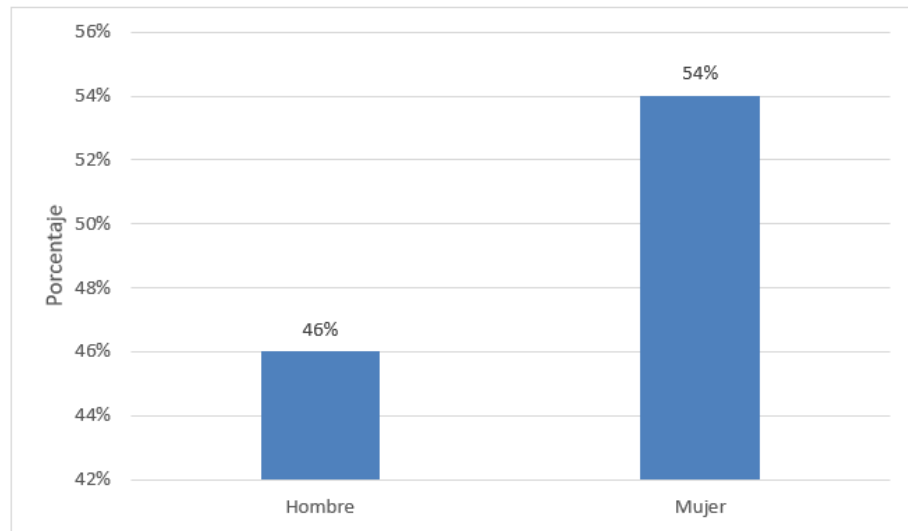
Para el sistema de hidrogel polimérico la relación de mujer-hombre fue de 52% y 48%.

Gráfica 5. Géneros evaluados en la cobertura de zinc



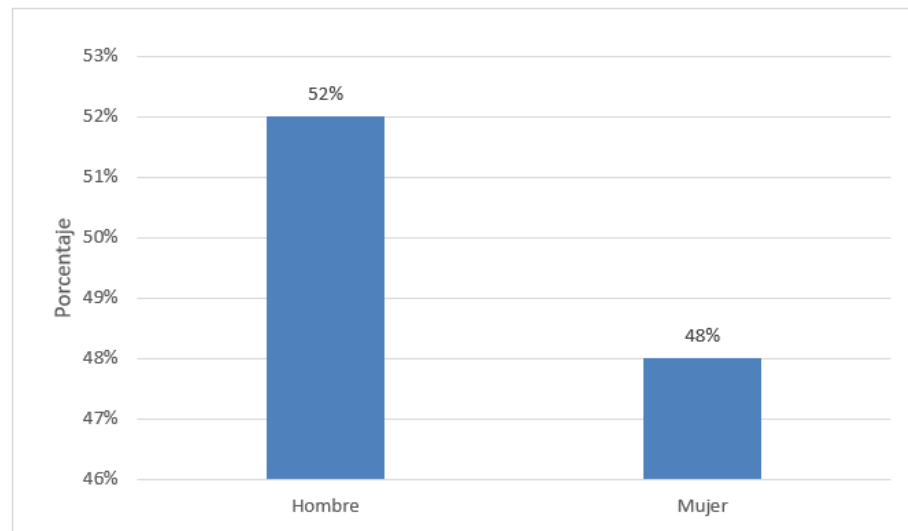
En la cobertura de zinc la proporción del género era de 46% mujeres y 54% hombres.

Gráfica 6. Géneros evaluados en la cobertura de zinc modificada



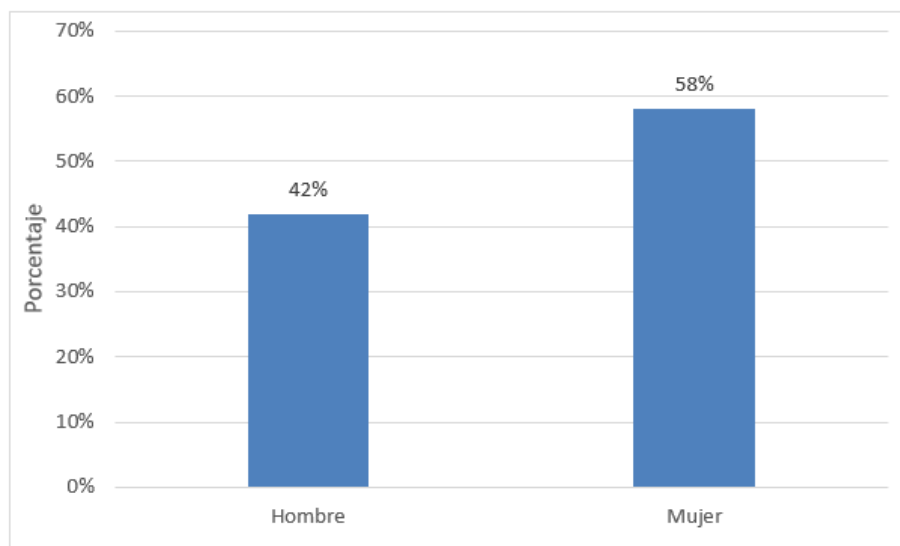
La Gráfica 6.de la cobertura de zinc modificada muestra una relación de 54 % mujeres y 46 % hombres.

Gráfica 7. Géneros evaluados en la membrana a base de quitosano



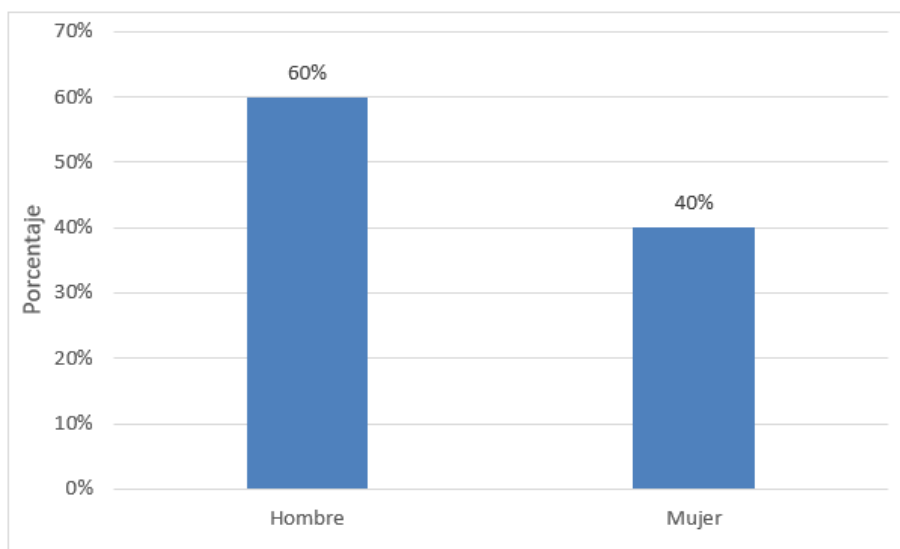
En la Gráfica 7 se puede apreciar que la relación de hombres-mujeres en la membrana a base de quitosano fue de 52 % y 48 % respectivamente.

Gráfica 8. Géneros evaluados en la primera matriz electa de membrana a base de quitosano



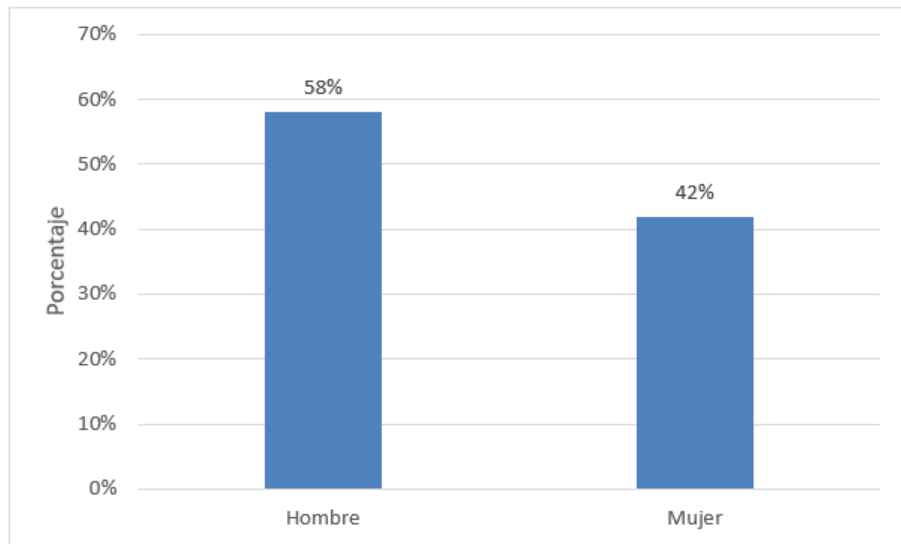
La distribución de género para la membrana a base de quitosano de la segunda etapa de la prueba triangular fue de 58 % mujeres y 42 % hombres.

Gráfica 9. Géneros evaluados en la segunda matriz electa de cobertura de zinc modificada



La distribución de género para la cobertura de zinc modificada de la segunda etapa de la prueba triangular fue de 40 % mujeres y 60 % hombres.

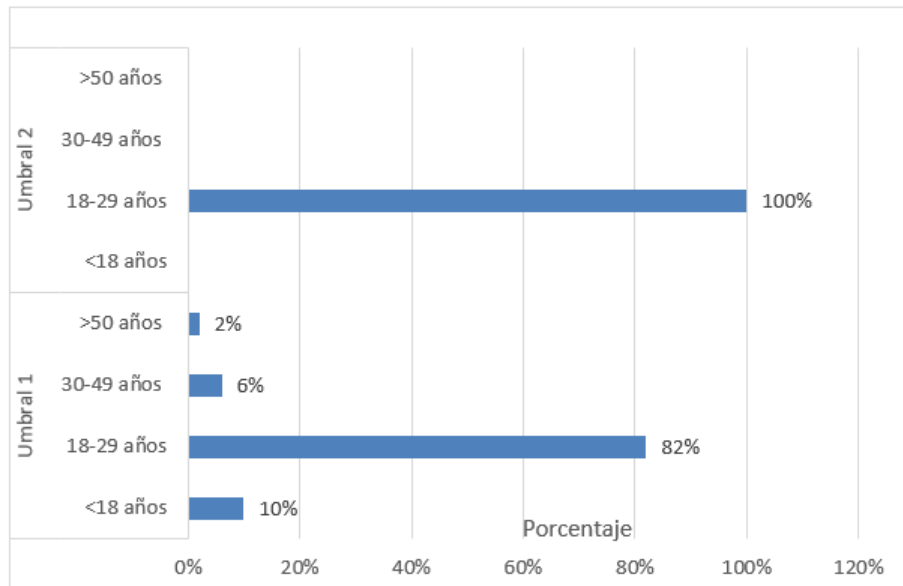
Gráfica 10. Géneros evaluados en el Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fé, zona 13



Para la prueba de diferencia simple la proporción de géneros, evaluados de la comunidad del Centro Educativo San Judas Tadeo, fue de 42 % mujeres y 58 % hombres.

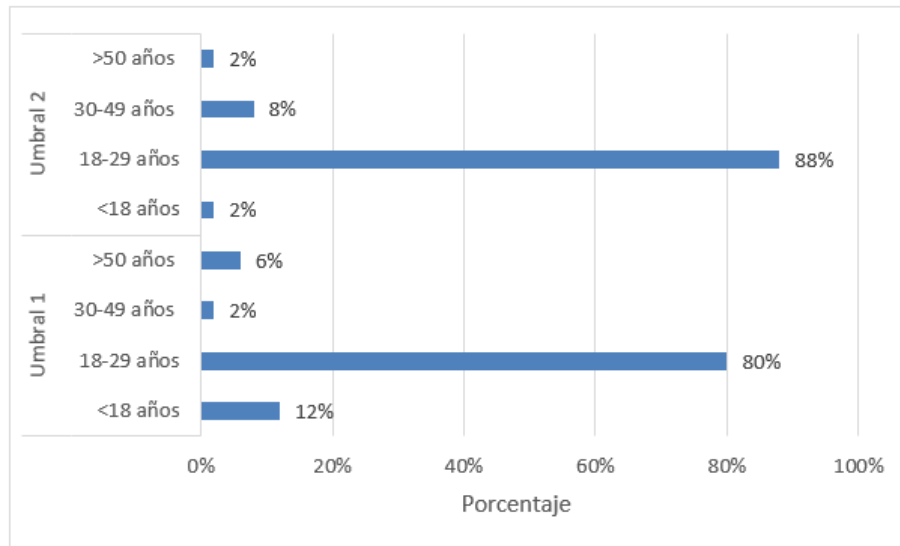
5.7.2. Rango de edad

Gráfica 11. Rango de edad evaluados en el umbral óxido de zinc



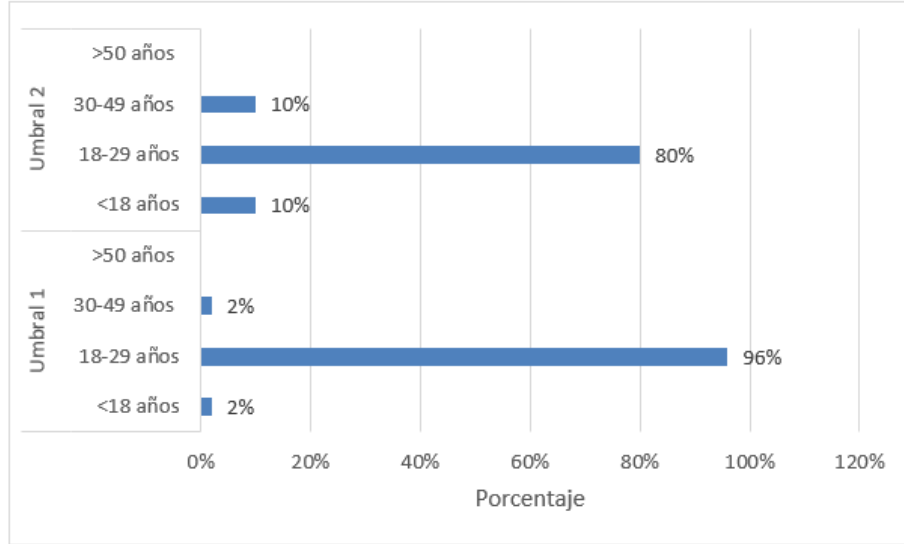
Para el umbral No. 1 de óxido de zinc se observa que el 82% de los panelistas que participaron se encontraron en el rango de edad de 18 a 19 años. Del mismo modo en el umbral No. 2 de óxido de zinc el 100% de los panelistas se encontraron en un rango de edad de 18 a 29 años. Demostrando que la mayor cantidad de panelistas eran estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala.

Gráfica 12. Rango de edad evaluados en el umbral cloruro de zinc



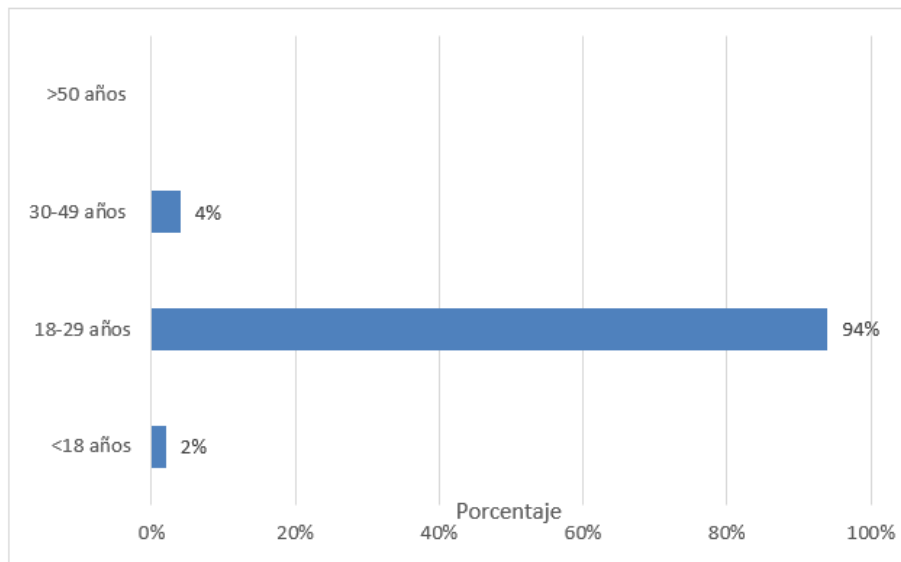
Tanto en el umbral No. 1 y No. 2 de cloruro de zinc los panelistas se encontraban en mayor proporción en el rango de edad de 18 a 29 años.

Gráfica 13. Rango de edad evaluados en el umbral sulfato de zinc



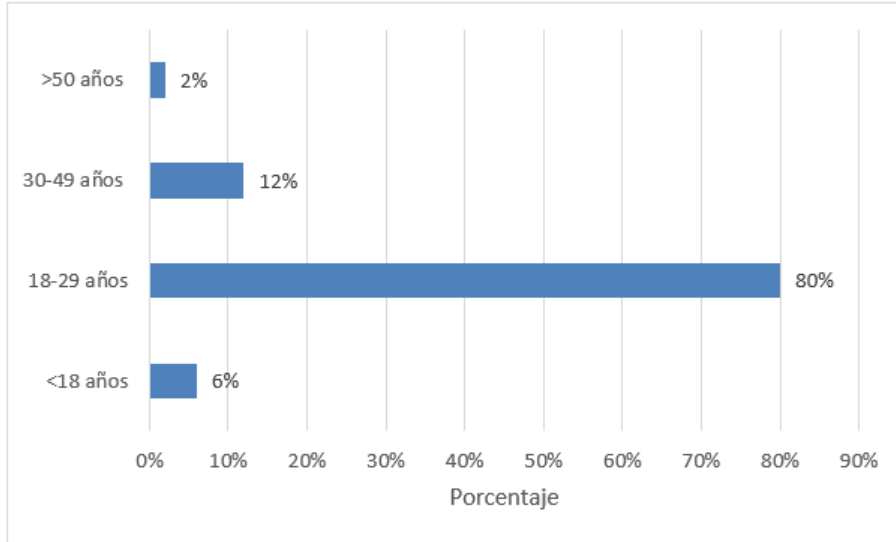
En el umbral No. 1 y No. 2 de sulfato de zinc se muestra que la mayoría de los panelistas que participaron se encontraban en un rango de edad de 18 a 29 años.

Gráfica 14. Rango de edad evaluados en el sistema de hidrogel polimérico



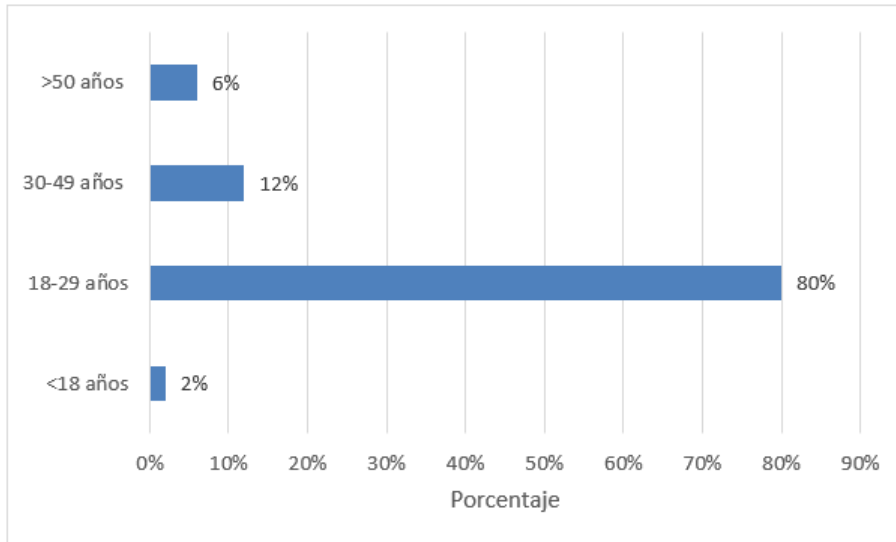
En el sistema de hidrogel polimérico evaluado con la prueba triangular, se observa que el 94% de los panelistas se encontraban entre los 18 a 29 años.

Gráfica 15. Rango de edad evaluados en la cobertura de zinc



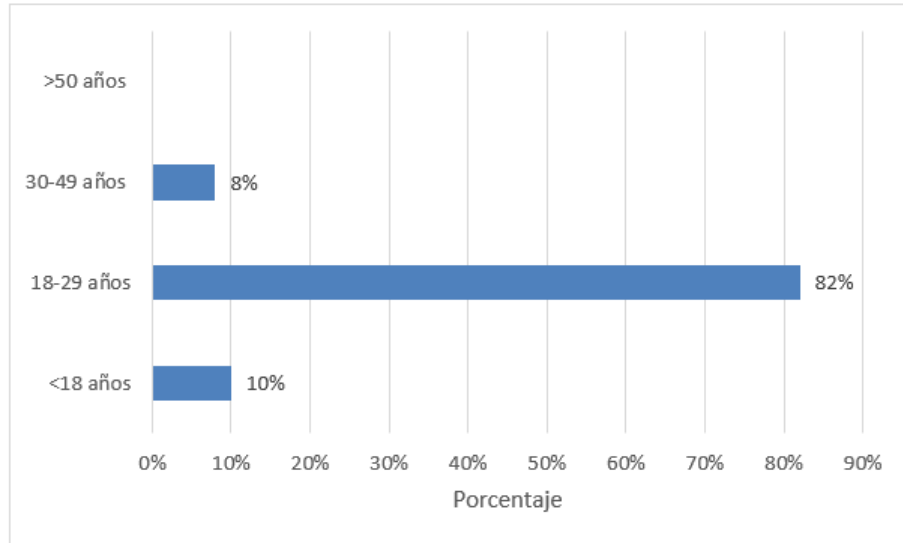
Para la cobertura de zinc evaluada con la prueba triangular, se muestra que un 80% de los panelistas que formaron parte de la evaluación tenían entre 18 a 29 años.

Gráfica 16. Rango de edad evaluados en la cobertura de zinc modificada



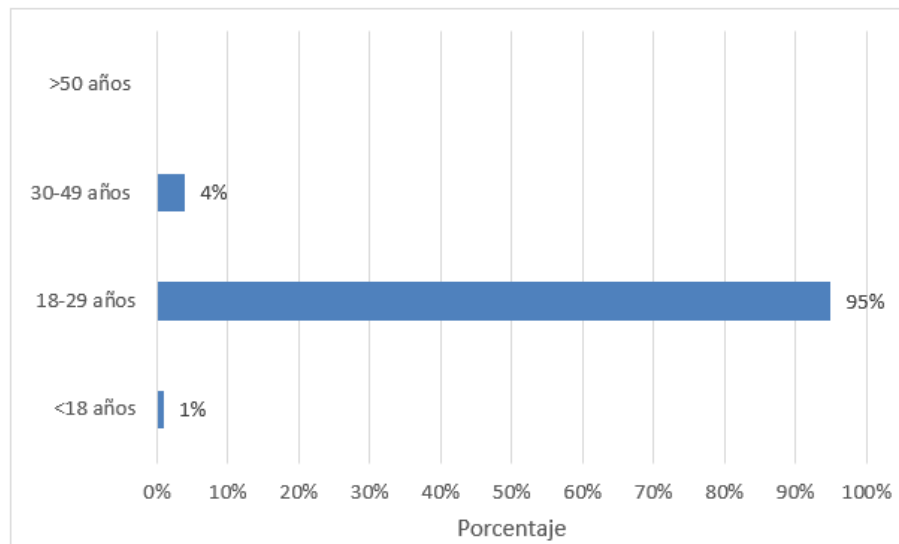
Para la cobertura de zinc coloidal evaluada con la prueba triangular, se observa que el 80% de los panelistas tenían entre 18 a 29 años.

Gráfica 17. Rango de edad evaluados en la membrana a base de quitosano



En la membrana a base de quitosano, evaluada con la prueba triangular, se observa que el 82% de los panelistas que formaron parte de la prueba tenían entre 18 a 29 años.

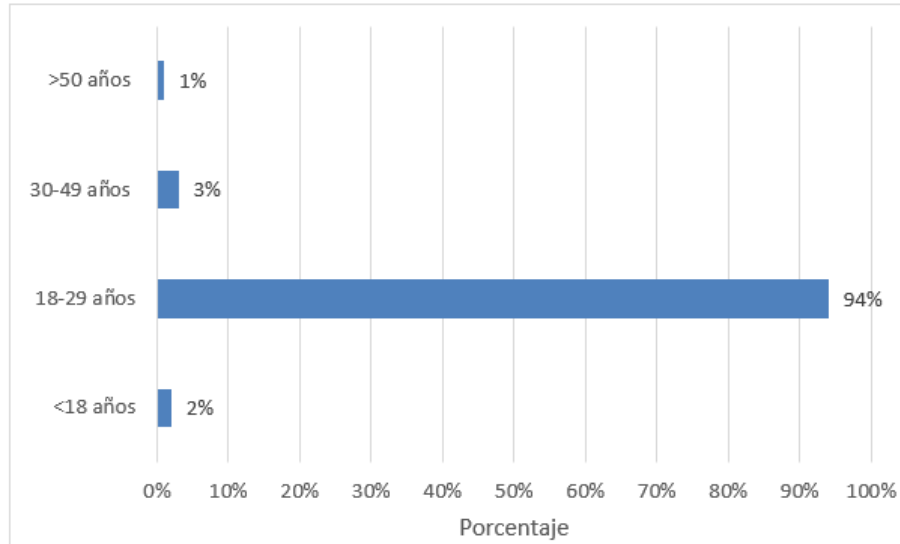
Gráfica 18. Rango de edad evaluados en la primera matriz electa de membrana a base de quitosano



En la membrana a base de quitosano, evaluada en la segunda etapa de la prueba triangular, se muestra que el 95% de los panelistas se encontraban en el rango de 18 a 29 años

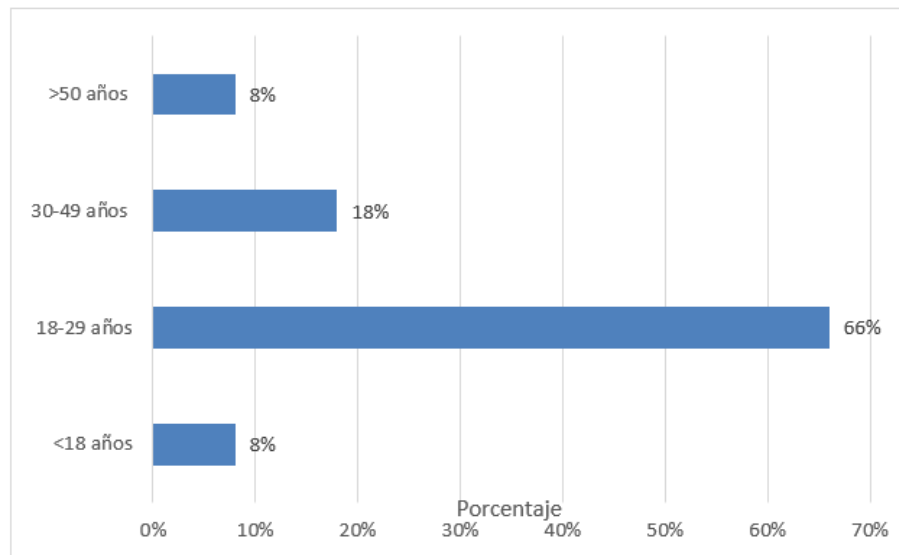
de edad.

Gráfica 19. Rango de edad evaluados en la segunda matriz electa de cobertura de zinc modificada



En la cobertura de zinc modificada, evaluada en la segunda etapa de la prueba triangular, se muestra que el 94 % de los panelistas se encontraban en el rango de 18 a 29 años de edad.

Gráfica 20. Rango de edad evaluados en el Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, zona 13



En la Gráfica 20 se observa que la mayoría de los panelistas se encuentran en el rango de 18 a 29 años de edad. Esto se debe ya que para participar en la prueba era un factor crucial el tener un conocimiento básico de la escritura y lectura.

Para el reclutamiento de panelistas se utilizó propaganda con un día de antelación para informar a todos los estudiantes, docentes y trabajadores de la Universidad sobre cada prueba con el fin de obtener una muestra aleatoria de la población universitaria. El tipo de panelistas o jueces electos eran jueces consumidores, debido que al ser consumidores de la unidad filtrante de agua existente nos permite generar resultados con mayor validación. Otro propósito de emplear jueces consumidores es el interés que proporcionan, debido que al ser un producto que utilizan, se realizan las pruebas con mayor disposición. Esto es un factor crucial a causa de que, si el panelista no posee interés en el producto a degustar o en la prueba, presentarán una indiferencia hacia ella. Logrando afectar los resultados debido a que los panelistas pueden contestar los cuestionarios al azar y terminar más rápido. Por lo cual en el momento de participar en el panel sensorial se detectaron aquellos candidatos a ser panelistas que muestren buena disposición para llevar a cabo las evaluaciones.

En el día de la prueba sensorial cada panelista firmó una hoja de registro y consentimiento informado para indicar que la prueba se realizó de forma voluntaria. Cabe resaltar que no se evitó el sesgo de género, por lo cual en cada tipo de evaluación sensorial no se encuentra la misma proporción de hombres y mujeres. Como se observa en las Gráficas No. 1 a 10, donde cada prueba sensorial posee distinta distribución de hombres y mujeres. Esto se realizó adrede debido a que no es un factor que afecte los resultados e igual minimiza el tiempo de reclutamiento de panelistas. De la misma manera se les explicó a los panelistas el objetivo de cada una de las pruebas sensoriales para tener conocimiento sobre lo que iban a consumir el día de la prueba.

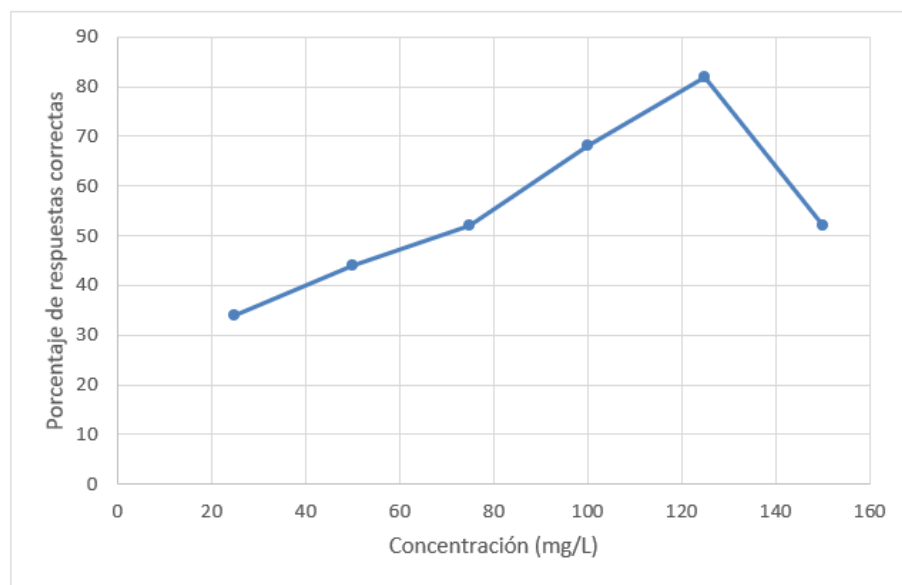
La determinación del rango de edad de los panelistas que se muestran en las Gráficas No. 11 a 20 se empleó para garantizar la extracción de una muestra representativa de la población dentro de la Universidad del Valle de Guatemala para las pruebas sensoriales elaboradas tanto para la determinación de los umbrales de detección de cada soluto de zinc como en las pruebas triangulares de las matrices de dosificación de zinc. En cuanto el rango de edad de la comunidad del Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, ubicada en la zona 13 se trabajó con personas de 17 años y/o mayores para tener su consentimiento en el momento de realizar la prueba, esto se puede comprobar en la Gráfica No. 20, donde el 92 % de las personas eran mayores de edad. De igual manera, para participar en la prueba sensorial de diferencia simple los panelistas debían ser capaces de leer y escribir. Por lo cual se preguntó a cada participante su nivel de educación, donde si habían cursado primer grado o tenían la capacidad de leer y escribir podían proseguir a participar en la prueba sensorial.

Al finalizar las pruebas sensoriales se le brindaron a cada uno de los panelistas un premio como helados, dulces y snacks salados ya que estos funcionan como un estímulo para que los catadores estén dispuestos a realizar la evaluación sensorial y probar las muestras. Se debe considerar que el premio a otorgar debe llamar la atención de los panelistas debido a que ello afecta directamente el tiempo que tomará completar el tiempo de reclutamiento y el panel sensorial.

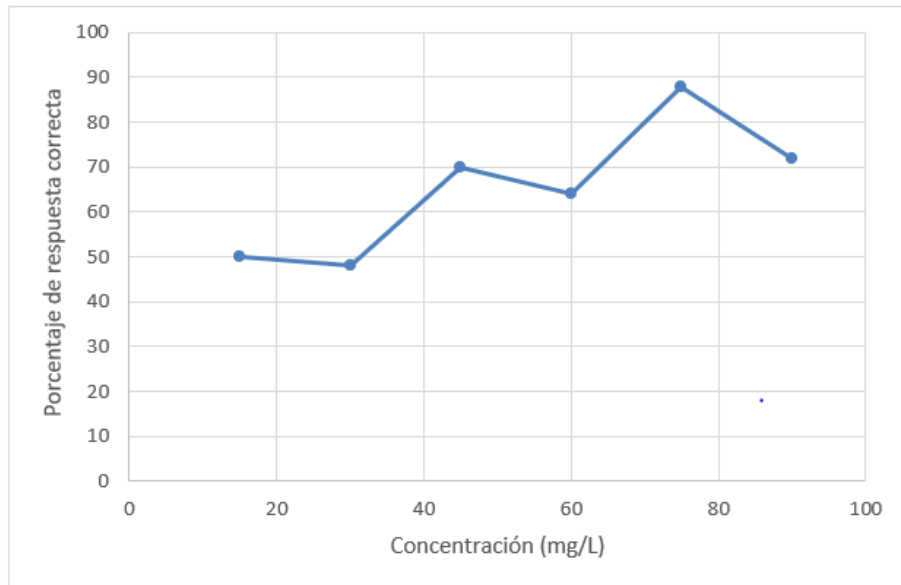
5.7.3. Estudio 1. Análisis sensorial para establecer el umbral de detección de tres solutos de zinc

Umbral de detección del óxido de zinc

Gráfica 21. Función psicométrica en la medición de umbral 1 de óxido de zinc



Gráfica 22. Función psicométrica en la medición de umbral 2 de óxido de zinc

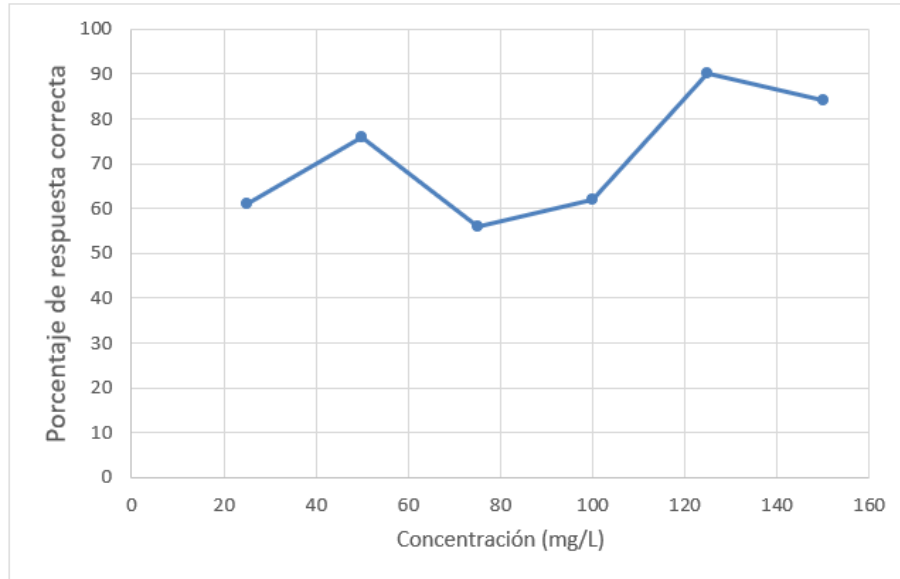


La primera prueba de umbral dio origen a una segunda prueba del mismo soluto para definir con mayor precisión el umbral de detección. Con el propósito de clasificar al final los solutos según el que obtuvo un mayor umbral de detección hasta el que obtuvo el menor umbral para proseguir en emplearlo para elaborar los sistemas dosificadores de zinc que se emplearán en la prueba de triangulo.

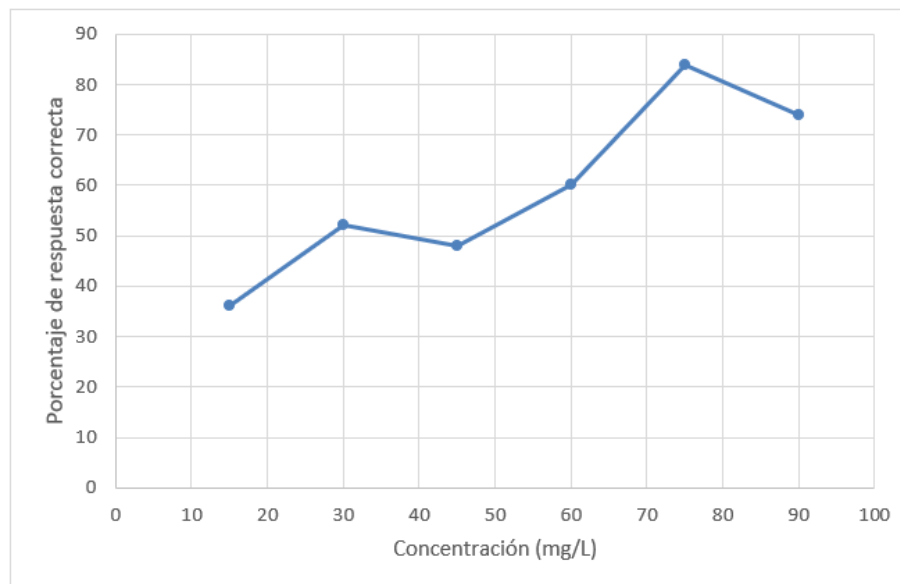
Una función psicométrica muestra la relación cuantitativa entre un estímulo físico, en esta ocasión un cambio de sabor, y su respuesta sensorial. En dicho caso, representa el cambio de concentración mínimo necesario para que un panelista detecte dicho cambio un 50% del tiempo. Como se observa en la Gráfica 21, en la primera prueba de umbral para el óxido de zinc, el 50% de las personas identificaron el soluto en una concentración de 68.75mg/L. Con este resultado, se prosiguió a realizar otra prueba de umbral para el óxido de zinc, tomando la concentración de 68.75mg/L cerca del punto medio, para observar si el umbral de detección se podía disminuir, el cual si se consiguió debido a que en la segunda prueba el resultado para que 50% de panelistas identificaran el soluto se dio con una concentración de 15mg/L.

Umbral de detección del cloruro de zinc

Gráfica 23. Función psicométrica en la medición de umbral 1 de cloruro de zinc



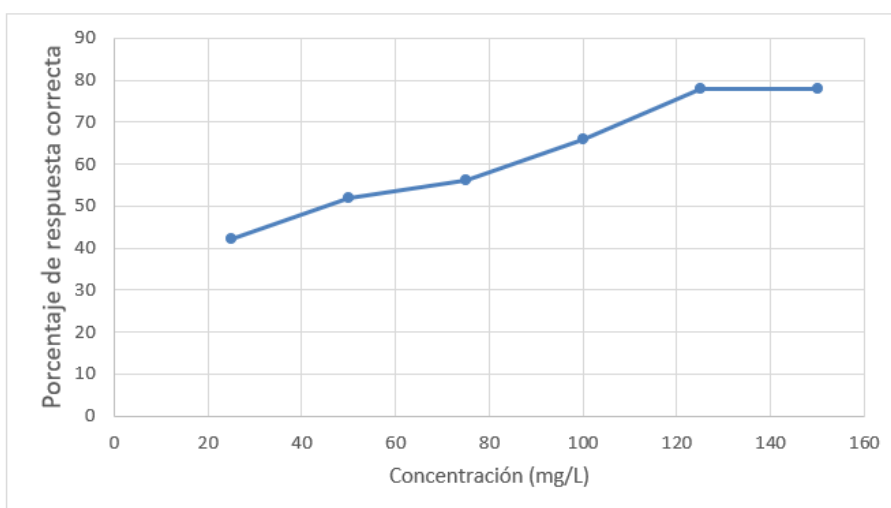
Gráfica 24. Función psicométrica en la medición de umbral 2 de cloruro de zinc



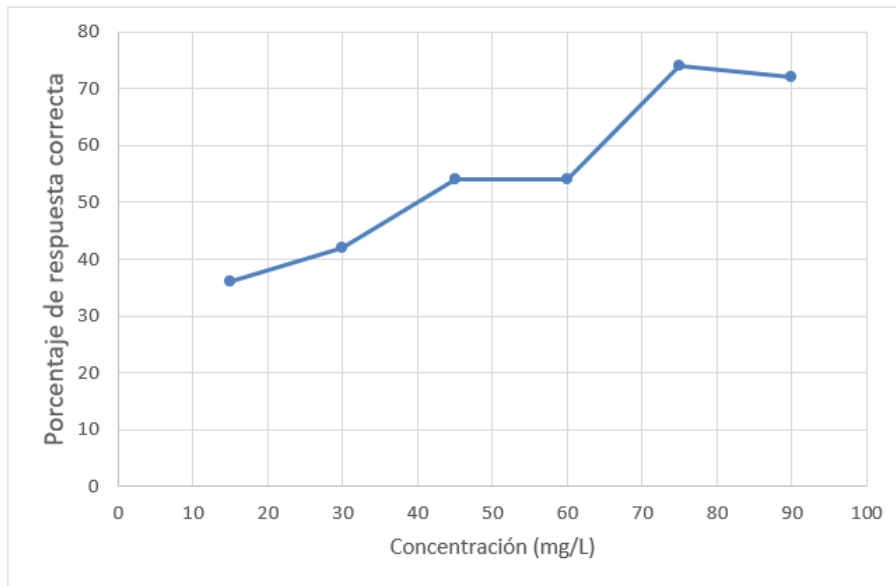
En la Gráfica 23, en la primera prueba de umbral para el cloruro de zinc, en la primera concentración que fue de 20mg/L, ya más del 50 % de los panelistas identificaron el soluto. Por lo cual se realizó otra prueba sensorial con un límite menor a 20mg/L. Donde se observa, en la Gráfica 24, que la concentración de 28.12mg/L es el umbral de detección para dicho soluto. Debido a que este posee un umbral mayor a comparación con el óxido de zinc se determina que, entre estos dos, el cloruro de zinc necesita una mayor concentración para que el usuario lo pueda localizar.

Umbral de detección del sulfato de zinc

Gráfica 25. Función psicométrica en la medición de umbral 1 de sulfato de zinc



Gráfica 26. Función psicométrica en la medición de umbral 2 de sulfato de zinc



La Gráfica 25, muestra la primera prueba sensorial del sulfato de zinc, donde indica que el 50% de los panelistas presenciaron un cambio de sabor en la concentración de 45mg/L. Con el propósito de disminuir el umbral, se elaboró otro panel sensorial donde se muestra en la Gráfica 26 que el umbral se encuentra en los 40mg/L. Ahora, al relacionar el cloruro y sulfato de zinc, se muestra que a nivel individual el sulfato de zinc obtuvo el mayor umbral de detección, luego el cloruro de zinc y por último el óxido de zinc. Indicando que se requiere una mayor concentración del sulfato de zinc, que de los demás solutos, para alterar el sabor del agua proveniente de la unidad filtrante.

Umbral de detección grupal

Cuadro 1: Determinación de los umbrales grupales de detección de cada uno de los solutos de zinc

Soluto	Umbral grupal (mg/L)
Óxido de zinc 1	80.72
Óxido de zinc 2	46.65
Cloruro de zinc 1	62.68
Cloruro de zinc 2	52.01
Sulfato de zinc 1	73.67
Sulfato de zinc 2	50.97

No obstante, se empleó del mismo modo un análisis grupal de los umbrales de detección, en este caso se realizó una media geométrica grupal para cada uno de los solutos ya que las funciones psicométricas individuales poseen una alta desviación debido a que dependen de cada uno de los panelistas y en la media geométrica se disminuye dicha desviación. Por lo que el umbral grupal permite decretar con mayor precisión el umbral de detección para cada uno de los solutos.

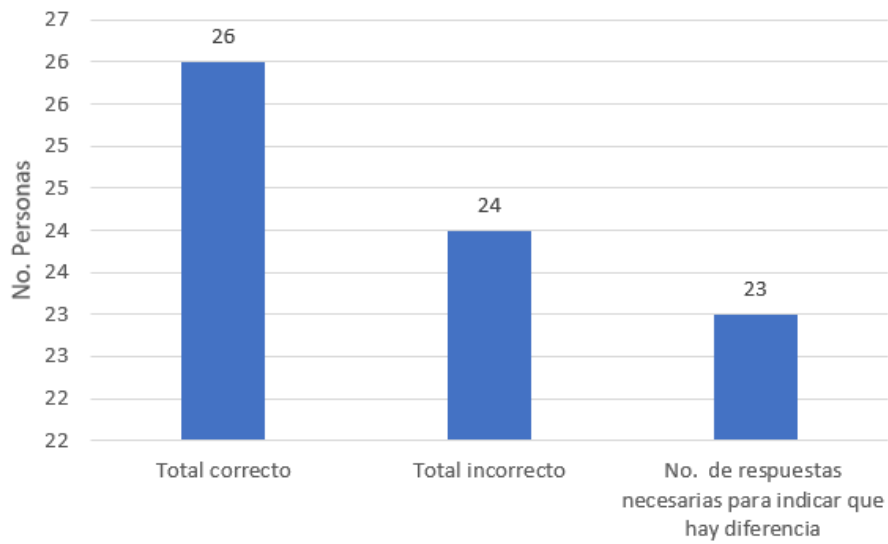
En el Cuadro 1 se encuentran establecidos los umbrales grupales para cada una de las pruebas sensoriales de los solutos, mostrando que en el cloruro de zinc es el que posee un umbral grupal mayor, luego el sulfato de zinc y por último el óxido de zinc. Ahora, al observar detenidamente el umbral grupal del cloruro de zinc 2 y el sulfato de zinc 2, la diferencia radica en 1mg/L. De manera que se determina que ambos solutos son aptos para incorporarse en la matriz que formará parte de los sistemas de dosificación de zinc que se evaluarán en la prueba triangular para determinar cuál de ellos será el sistema viable de dosificación de zinc.

Sin embargo, debido a que los solutos de zinc poseen umbrales de detección mayores al límite máximo recomendado para la ingesta en bebés de 6 meses de edad. Se recomienda analizar la dosificación que libera la matriz para no sobrepasar los 4mg de zinc que indica la Institución NIH (National Institutes of Health) para no llegar a los límites de toxicidad que afectan la salud en bebés de 6 meses.[30]

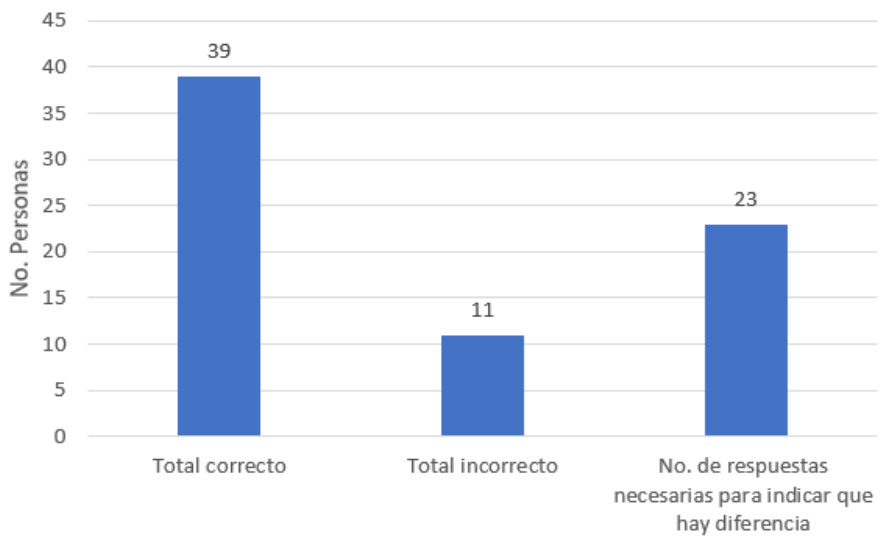
5.7.4. Estudio 2. Prueba triangular para elegir la matriz que no tenga diferencia sensorial con el agua original de la unidad filtrante

Primera etapa: Evaluación con 50 panelistas

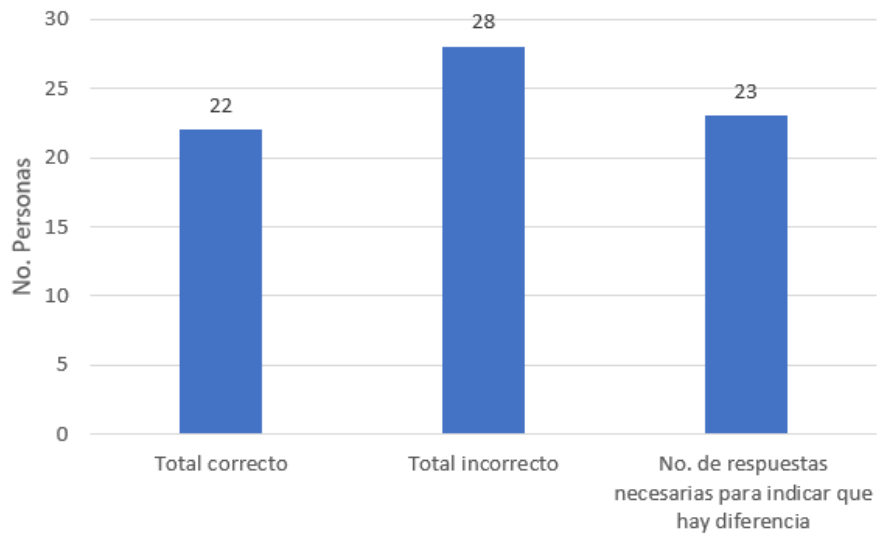
Gráfica 27. Respuestas correctas e incorrectas de 50 panelistas para la prueba triangular del sistema de hidrogel polimérico



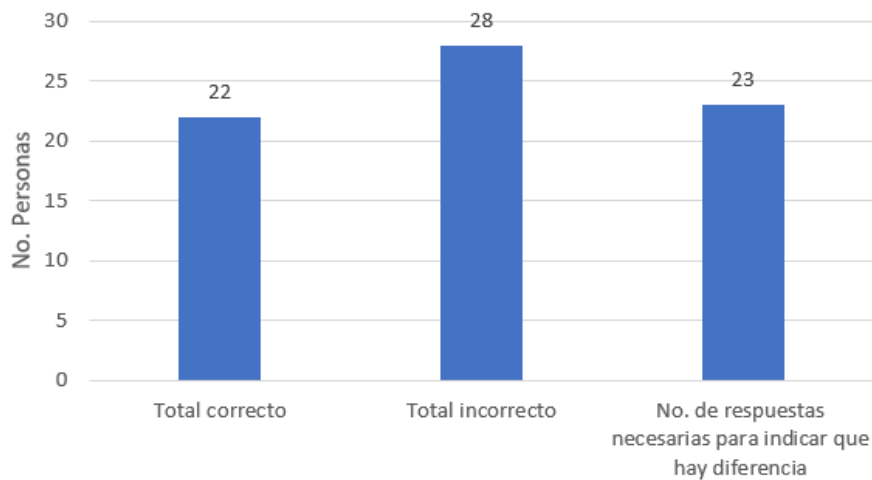
Gráfica 28. Respuestas correctas e incorrectas de 50 panelistas para la prueba triangular de la cobertura de zinc



Gráfica 29. Respuestas correctas e incorrectas de 50 panelistas para la prueba triangular de la cobertura de zinc modificada



Gráfica 30. Respuestas correctas e incorrectas de 50 panelistas para la prueba triangular de la membrana a base de quitosano



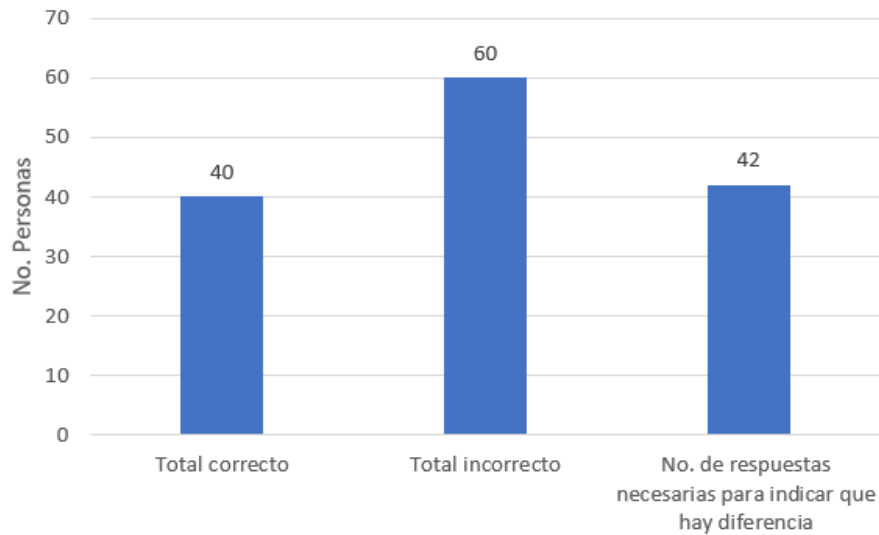
Previo a realizar las pruebas triangulares, cada matriz se desarrolló nuevamente, para no utilizar las matrices que ya se sometieron a desgastes por los días de pruebas que se realizaron en cada uno de los módulos respectivos. Esto se debe a que, al utilizar la matriz sin previo uso, presenta la mayor concentración de zinc. Lo cual es crucial debido a que este estudio se basa en comparar cada matriz con la mayor concentración de zinc con la unidad filtrante de agua existente y analizar que no presentará cambios organolépticos desde el momento de su compra. Por lo cual, en cada matriz elaborada, se integró a la unidad filtrante de agua ya existente, siguiendo las instrucciones de uso previo a su consumo. El cual consiste en dejar dos días corriendo el agua para eliminar el sabor a barro que contiene el agua en las primeras tandas.

Sin embargo, en la membrana de quitosano, el agua presentaba en los primeros tres días un color amarillento, el cual iba desapareciendo luego de transcurrir el tercer día. Por lo cual en el cuarto día se utilizó para realizar las pruebas sensoriales ya que en este punto es donde el agua no contaba con cambio de color. Esto se hizo con el fin de evitar que los panelistas identifiquen la matriz al realizar la prueba por el cambio de color y no por el cambio de sabor. Esto es una fuente de error debido a que, al dejar correr el agua por tres días seguidos, la concentración de zinc es menor que el día dos; el cual fue el punto de partida para realizar los análisis sensoriales de las demás matrices.

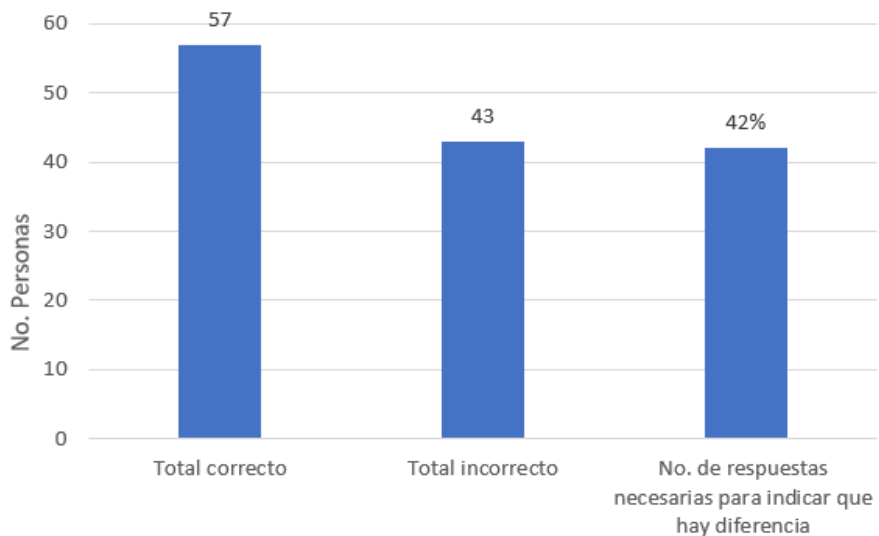
Las pruebas triangulares se realizaron para identificar cuales matrices no presentaban una diferencia sensorial en cuanto al sabor en comparación con la unidad filtrante de agua ya existe. Por lo cual, se puede contemplar en las Gráficas 29 y 30 que el total de respuestas correctas es menor que el número de respuestas necesarias para indicar que hay diferencia. En el caso de la Gráfica 29, de la cobertura de zinc coloidal modificada, esta obtuvo 22 respuestas correctas de las 23 necesarias y en la Gráfica 30 se observa que la membrana a base de quitosano contó igualmente con 22 respuestas correctas de las 23 necesarias. Por esta razón, ambas matrices se tuvieron que repetir con el doble de panelistas.

5.7.5. Segunda etapa: Evaluación con 100 panelistas

Gráfica 31. Respuestas correctas e incorrectas de 100 panelistas para la prueba triangular de la matriz electa de membrana a base de quitosano



Gráfica 32. Respuestas correctas e incorrectas de 100 panelistas para la prueba triangular de la matriz electa de cobertura de zinc modificada



Solamente la membrana de quitosano y la cobertura de zinc coloidal modificada se sometieron a otra prueba triangular con 100 personas ya que fueron los que pasaron la primera etapa con 50 personas. El motivo de realizar esta prueba es el poder corroborar los datos obtenidos en la prueba anterior.

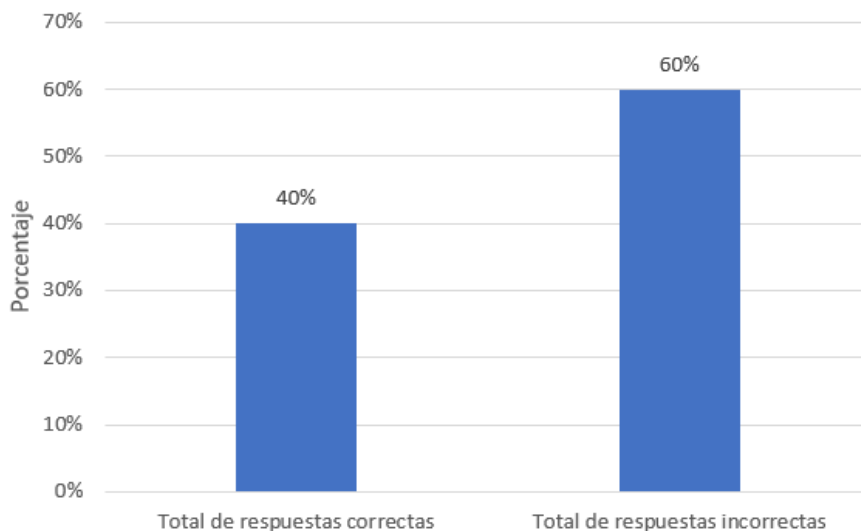
Ambas pruebas se realizaron de forma continua, luego de terminar la primera fase para utilizar las mismas matrices de la fase previa. Con la intención de utilizar concentraciones similares y tener un comportamiento semejante de parte de los panelistas.

En la Gráfica 31 se observa que la membrana a base de quitosano posee nuevamente, un menor número de respuestas necesarias para indicar que hay diferencia sensorial. Pero, en el caso de la cobertura de zinc coloidal modificada, el total correcta fue de 57, mayor a las 42 respuestas necesarias. Por lo cual, en la segunda fase de las pruebas triangulares se constituye que la membrana a base de quitosano es la que prosigue a utilizarse para las pruebas de diferencia simple en el siguiente estudio debido a que no presenta cambios organolépticos con el agua de la unidad filtrante de agua existente.

5.7.6. Estudio 3. Prueba de diferencia simple entre agua regular y agua fortificada con zinc de la unidad filtrante de agua integrado al sistema de dosificación de zinc para observar si consumidores de una comunidad detectan la presencia del soluto

Membrana de quitosano

Gráfica 33. Respuestas correctas e incorrectas de 50 panelistas de la comunidad del Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, zona 13 de la unidad filtrante de agua integrado al sistema de dosificación de zinc compuesto por la membrana de quitosano y agua regular



Cuadro 2: Valores de chi-cuadrado obtenidos por la prueba de diferencia simple

Chi-cuadrado obtenido	3.65
Chi-cuadrado crítico	3.84

Como se indicó en el estudio de pruebas triangulares, la membrana de quitosano tuvo que pasar un lapso de tres días antes de poder realizar la evaluación sensorial. Esto radica en nuevamente, eliminar el color amarillento que desprendía en los primeros días.

En el día de la prueba en la comunidad se utilizó una cabina de prueba temporal portátil como se muestra en la sección de Anexos, Imágenes, Figura 8; con el fin de brindar un espacio para cada panelista. Y asegurar que entre los panelistas no haya posibilidad de plagio para no alterar los resultados finales brindados por cada uno.

El propósito de realizar otra evaluación sensorial en la comunidad es para verificar que los consumidores no detectan la presencia del soluto que se encuentra en la unidad filtrante integrada con la membrana a base de quitosano.

Por consiguiente, al finalizar la evaluación sensorial en la comunidad del Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, zona 13 de la ciudad de Guatemala, se realizaron los cálculos para obtener el valor de chi-cuadrado, ver Anexos, Cálculos, 11.1.3, el cual dio un valor de 3.65. Dicho valor fue comparado con el chi-cuadrado crítico, y al ser inferior, se comprueba que no hay diferencia sensorial del agua regular y el agua proveniente de la unidad filtrante integrada con la membrana a base de quitosano. Demostrando que, tanto en la comunidad como en la Universidad del Valle de Guatemala, la membrana a base de quitosano no altera el sabor del agua que desprende la unidad filtrante ya existente.

Desarrollo de una membrana a base de quitosano que permita la dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua

6.1. Resumen

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar una membrana a base de biopolímeros y un compuesto químico de zinc, para valorar su potencial de uso en sistemas de fortificación de agua, mediante la evaluación de sus propiedades gelificantes, vida útil y dosificación de micronutrientes. Para la formulación de la membrana se utilizaron biopolímeros como quitosano, carboximetilcelulosa (CMC) y como compuesto químico el sulfato de zinc. El resultado fue una membrana la cual dosifica zinc, se degrada con el tiempo y se estima que la vida útil de la misma puede llegar hasta los 6.5 meses dentro de una unidad filtrante de agua en uso constante.

6.2. Introducción

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO)[39], el hambre afecta a 39,3 millones de personas a nivel mundial correspondiendo el 6.1 % a la población latinoamericana. Varios países de la región, como México, Haití, República Dominicana y Colombia, han logrado reducir el hambre entre 2015-2018. Once países han permanecido sin cambios en sus personas subalimentadas, entre ellos Guatemala. Según la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional (SESAN), Guatemala ocupa el sexto lugar a nivel mundial y el primer lugar en Latinoamérica en cuanto a índices de desnutrición crónica en niños y niñas menores de cinco años, siendo este de 46.5 %. Una de las principales causas es la desigualdad económica y social, ya que en Guatemala se ven afectados el 66 % de niños de familias más pobres y sólo el 17 % de niños de familias de mayores ingresos.

El ser humano desde edades tempranas necesita consumir ciertas cantidades de vitaminas y minerales para un desarrollo adecuado, el cual se traduce en un beneficio muy importante para la salud como lo es el buen mantenimiento del sistema inmune, el desempeño de funciones fisiológicas y en términos generales ayuda a conservar un estado de salud óptimo a lo largo de la vida.

El organismo sintetiza muchas sustancias que participan en el organismo, pero varios micronutrientes son esenciales, por lo que deben ser ingeridos en la dieta. Asimismo la necesidad de estos varía conforme la etapa de vida en la cual se encuentra el ser humano. Al no cubrir dichas necesidades se pueden observar problemas de salud como menor resistencia a las infecciones, disminución de la capacidad de aprendizaje, ceguera y en casos extremos la muerte. La desnutrición aumenta la probabilidad de enfermedad y mortalidad de los niños – el grupo más vulnerable – a la vez que reduce su capacidad de aprendizaje y desarrollo. Se estima que la mortalidad en niños y niñas menores de cinco años en el país es de 42 por cada mil nacidos, y de acuerdo con los perfiles epidemiológicos, las principales causas de muerte son diarrea (18%), desnutrición (3%) y neumonía (34.4%).

Esto es un problema a nivel mundial, sin excepciones, por lo que se están desarrollando un sinnúmero de programas para poder fortificar alimentos y así poder combatirlo. Según esto se han identificado muchos vehículos para la fortificación de alimentos y en Guatemala ya se han implementado algunos desde hace varios años, como sal con yodo, azúcar con vitamina A y harina de trigo con hierro y vitaminas del complejo B; sin embargo estos esfuerzos no han sido suficientes, por lo que se han evaluado nuevas maneras que puedan alcanzar a toda la población.

Acorde a esto se ha planteado desarrollar una membrana a base de compuestos de origen natural e inerte para lograr una dosificación controlada de zinc en una unidad filtrante de agua, ya que el agua no solo es vital para subsistir sino que es un vehículo ideal como mecanismo de fortificación.

6.3. Antecedentes

Fortificar alimentos es una práctica que ha resultado ser efectiva para corregir situaciones de deficiencia nutricional con el inconveniente en cuanto a la elección del vehículo (alimento) a utilizar y la elección del compuesto fortificante (vitamina o mineral), debido a que comúnmente los compuestos que son de alta biodisponibilidad llegan a cambiar las características sensoriales del alimento fortificado.

A lo largo de la historia en Guatemala se han establecido programas de fortificación de alimentos como lo han sido: sal con yodo, azúcar con vitamina A y harina de trigo con hierro y vitaminas del complejo B (tiamina, riboflavina, folato y niacina). A pesar de que los tres programas han tenido éxito, demostrando la reducción de la incidencia de las deficiencias hacia las cuales han sido dirigidos, Guatemala aún presenta serios problemas nutricionales en cuanto a desnutrición crónica, sobrepeso y deficiencia de vitaminas y minerales.

Mujeres en edad fértil	Mujeres embarazadas	Escolares	Niños y niñas menores de 5 años
Sobrepeso y obesidad: 50.5% (35.1% y 15.4%)	Anemia: 29.1%	Desnutrición crónica: 51.1% (1986) 49.8% (2001) 45.6% (2008)	Desnutrición crónica: 49.8%
Desnutrición: 1.6%			Desnutrición aguda: 1.4% Deficiencia de zinc: 34.9%
Talla menor de 1.45cm: 31.2%			Sobrepeso y obesidad: 10% Deficiencia de folato eritrocitario: 2.1%
Anemia: 21.4%			Lactancia exclusiva 0-5 meses: 49.6%
Deficiencia de hierro: 11.2%			Lactancia más alimentos complementarios 6-11 meses: 75.9%
Deficiencia de folato eritrocitario: 7%			Anemia: 47.7% Deficiencia de vitamina B12: 50.2% (22.5% + 27.7% marginal)
Deficiencia de vitamina B12: 49.2% (18.9% + 30.3% marginal)			Deficiencia de hierro: 18.6% Deficiencia de vitamina A: 0%

Figura 2: Situación Alimentaria y Nutricional en Guatemala. Extraído de [7].

El agua como vehículo fortificante ha sido de gran ayuda en países con deficiencias de vitaminas y minerales, según el estudio presentado por Da Silva y colaboradores en el año 2011 se concluyó que la prevalencia de anemia en niños de 6 a 74 meses disminuyó de 29.3% antes de la fortificación de agua con hierro y vitamina C a 7.9% después de la misma.

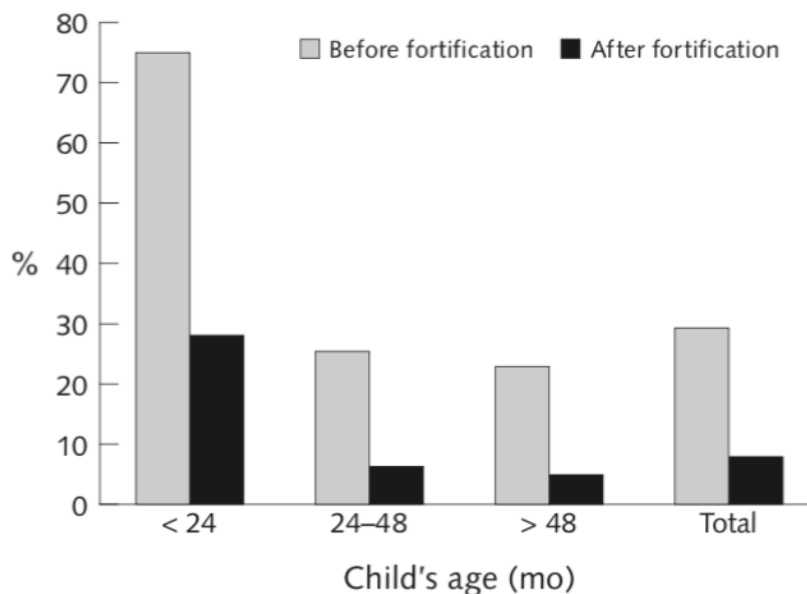


Figura 3: Prevalencia de anemia en niños de 6 a 74 meses de guarderías en Belo Horizonte, Minas Geiras, Brasil, antes y después de recibir agua fortificada con hierro y vitamina C. Extraído de [40].

La formación de geles entre las fibras de quitosano y iones como el zinc y cobre para la liberación de los mismos es posible, ya que Qin y colaboradores en el año 2007, estudiaron

dicha interacción concluyendo que las fibras de quitosano absorben los iones zinc y/o cobre al introducirlas en soluciones de cloruro de zinc y/o sulfato de cobre pentahidratado, además de liberarlos posteriormente en soluciones acuosas.

La elaboración de microgeles de quitosano para la fortificación de alimentos es posible, según el estudio presentado en 2018 por Duffy y colaboradores [41], se concluyó que los microgeles de quitosano liberan hierro encapsulado en un ambiente ácido, simulando la interacción con los jugos gástricos del cuerpo humano.

La ingesta de quitosano no es dañina para el ser humano, ya que López y colaboradores [42] en 2012 evaluaron el efecto de recubrimientos comestibles de quitosano sobre los cambios en aceptabilidad, fenoles totales, capacidad antioxidante y población microbiana en fresas. Se concluyó que el recubrimiento de quitosano permite que las fresas conserven sus características organolépticas y fisicoquímicas en mejor estado por un mayor tiempo, además de que no afecta se observaron cambios significativos en cuanto a la percepción sensorial.

6.4. Justificación

Para poder minimizar las causas de mortalidad infantil la implementación de programas de fortificación son un mecanismo adecuado que permite hacerlo. La fortificación utilizada adecuadamente puede ayudar a regular la deficiencia de nutrientes y minerales, por lo que puede llegar a ser el procedimiento más útil, de fácil acceso y rentable para minimizar la misma. Puesto que el agua es utilizada en todos los hogares, este estudio pretende desarrollar de una membrana fortificadora de tal forma que se pueda reducir las deficiencias en niños y niñas menores de 5 años del área rural de Guatemala.

Uno de los minerales más relevantes para el desarrollo del ser humano es el zinc, debido a que su deficiencia tiene efectos negativos en la salud - especialmente - en niños. Se caracteriza por retraso en el crecimiento lineal, efectos negativos en la sensibilidad sensorial (capacidad para detectar sabor), disminución del apetito y depresión del sistema inmunológico, así como efectos negativos en la función intestinal. Según INCAP en 2013 se registró en Guatemala una deficiencia de zinc del 34.9% para niños y niñas menores de 5 años.

Puesto que el interés de esta investigación es el desarrollo de una membrana a base de biopolímeros, como quitosano y carboximetilcelulosa, se evaluará las cualidades necesarias que permitan la interacción de diferentes compuestos, tales como sulfato, óxido y cloruro de zinc respectivamente. Los parámetros de solubilidad, adherencia y biodegradabilidad de la membrana son importantes no solo en cuestiones de dosificación, sino también del tiempo de vida útil dentro de una unidad filtrante de barro fabricada artesanalmente; sin afectar las propiedades sensoriales del agua - apariencia, sabor y olor.

6.5. Marco teórico

6.5.1. Técnicas de separación

Una práctica que se realiza día a día en las industrias son los procesos o técnicas de separación, ya que es necesario separar los componentes de una mezcla en fracciones individuales. Dichas fracciones se diferencian por el tamaño de partícula, estado o composición química.[43]

Dentro de las técnicas de separación podemos encontrar dos métodos definidos:

- Métodos de separación por difusión: dicho grupo de operaciones pueden utilizar diferencias de presión de vapor o distintos gradientes de concentración. En la industria se aplican métodos de difusión como: destilación, absorción de gases, deshumidificación, extracción líquido-líquido, extracción de sólidos o lixiviación y cristalización. [43]
- Métodos de separación mecánicos: estas operaciones utilizan las diferencias físicas entre partículas, tales como el tamaño, forma o densidad. Como separaciones mecánicas se conocen técnicas como: tamizado, filtración y procesos de sedimentación por gravedad. [44]

6.5.2. Filtración

Es la separación de partículas que se encuentran suspendidas en un fluido mediante el paso del mismo al aplicarle una fuerza impulsora a través de un medio filtrante sobre el que se depositan las partículas removidas. [43]

VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO DE FILTRACIÓN:

- La concentración de sólidos.
- El tamaño de partícula.
- La temperatura.
- El pH.
- La viscosidad y densidad.

Para el proceso de filtración se debe tomar en cuenta el medio filtrante, el cual es fundamental. Las características del medio dependen del material del cual se fabrica así como del proceso de elaboración. Parámetros importantes para la selección del medio filtrante se toma en cuenta la resistencia a la abrasión, resistencia al calor, facilidad de limpieza, permeabilidad y estabilidad dimensional. [44]

Dentro de los tipos de medios filtrantes que existen podemos mencionar: telas metálicas, telas naturales o sintéticas, placas de asbesto o celulosa, hojas de papel o fibra de vidrio, barro, sólidos sueltos, entre otros. [44] El proceso de filtración muchas veces requiere de coadyuvantes; tal es el caso del filtro ayuda, que consiste en un compuesto finamente dividido que no se comprime por la presión que ejerce el líquido al pasar por este tipo de materiales. Este debe ser inerte, ligero y debe formar una torta porosa; el material de estos puede ser el carbón activado, pulpa de papel, tierra de diatomeas, por mencionar los más utilizados. [44]

El último aspecto a tomar en cuenta en la filtración es la fuerza impulsora, ya que dicha fuerza propicia la separación. Los filtros se clasifican según la fuerza impulsora, por lo que hay filtros a vacío, filtros centrífugos, filtros a presión y filtros por gravedad.[43]

Los filtros por gravedad usan como fuerza impulsora la presión de la columna de líquido sobre el medio filtrante. Por ejemplo las unidades filtrantes de barro utilizan la presión del agua para que esta baje por sus paredes porosas y dentro de ellas queden retenidas aquellas partículas indeseadas. El sistema en cuestión también puede utilizar un filtro ayuda (aserrín) cuya función similar al carbón activado permite obtener agua con propiedades sensoriales aceptables. Por último otro filtro ayuda (plata coloidal) remueve cualquier agente microbiano fecal presente el agua, por lo que el resultado final es agua 100 % purificada. [43]

6.5.3. Microorganismos presentes en agua

En el medio ambiente existen gran variedad de microorganismos, siendo el agua parte del medio ambiente, es un reservorio en el cual existe una amplia variedad de los mismos. Algunos microorganismos pueden llegar a afectar el aparato digestivo ocasionando vómitos, náuseas, dolores estomacales y diarreas. Entre los más comunes que se encuentran en agua potable están las bacterias como *Shigella*, *E. Coli*, *Vibrio* y *Salmonella*; y los protozoos como *Entamoeba*, *Giardia* y *Cyptosporiudium*. [45]

6.5.4. Microorganismos comunes en agua en Guatemala

En la actualidad el análisis de microorganismos fecales presentes en alimentos ha aumentado, debido a que estos transmiten muchas enfermedades vía oral. Esto ha hecho que se utilice una técnica de recuento con microorganismos indicadores de contaminación fecal, por lo tanto, estos para poder dar un resultado adecuado deben ser constantes, abundantes y exclusivos de la materia fecal, además deben tener una capacidad de supervivencia parecida a la de los patógenos intestinales y ser capaces de desarrollarse fuera del intestino. [45]

6.5.5. Coliformes totales

Según Jiménez el grupo coliforme es constante, abundante y casi exclusivo de la materia fecal, sin embargo, las características de sobrevivencia y la capacidad para multiplicarse fuera del intestino se puede observar en aguas potables, debido a esto se utiliza como indicador de contaminación fecal en agua. Además de ser indicadores de contaminación fecal en agua, los coliformes se utilizan como indicadores de malas prácticas de manufactura. [46] Dichos

microorganismos representan un grupo heterogéneo con hábitat intestinal para la mayoría de especies que involucra. Comprende todos los bacilos Gram negativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 h a $35 \pm 1^{\circ}\text{C}$. En cuanto al grupo de coliformes fecales (termotolantes), está constituido por bacterias Gram negativas capaces de fermentar lactosa con producción de gas a las 48 h de incubación a $44.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$. La especie más prominente es *Escherichia Coli*. [45] [46]

6.5.6. *Escherichia Coli*

Escherichia Coli es una de las especies entéricas predominantes en el estómago del ser humano, además de ser parte de la flora intestinal, algunas especies proveen muchos beneficios para el hospedero. Pero a su vez existen pequeños grupos de *E. Coli*, a veces referido como *E. Coli* entero virulenta, *E. Coli* diarreica, o conocida comúnmente como *E. Coli* patogénica, que causan severas enfermedades diarreicas en humanos. [47] [48]

Escherichia Coli enterotoxigénica (ETEC) es una bacteria Gram negativa, con forma de vástago. Se caracterizan por la producción de varios factores de virulencia, incluyendo toxinas termo-estables y termo-lábiles, así como muchos factores de colonización de antígenos. Dichas bacterias causan gastroenteritis en humanos y se conoce mejor como el agente causante de la diarrea del viajero. Además es una de las principales causas de diarreas en lactantes en países de bajo índice de desarrollo. La Organización Mundial de la Salud le atribuye 380,000 muertes anuales -principalmente niños- en el mundo. Las fuentes de contaminación de estas bacterias son alimentos contaminados y agua. [47] [48]

6.5.7. Mecanismos de remoción de bacterias

Los mecanismos de remoción son importantes, ya que está demostrado que las bacterias son responsables de enfermedades y muertes alrededor del mundo. Estos deben ser muy eficientes para purificar el agua y permitir su adecuado consumo. Entre los más utilizados se encuentran: cloración de choque, tinción de yodo, tabletas de yodo, desinfección con luz solar, desinfección con luz UV y desalinizador solar. [49]

Cloración de choque es un mecanismo que se utiliza para eliminar microorganismos patógenos y no patógenos en agua potable, el grupo incluye coliformes totales y bacterias fecales. El tratamiento consta en utilizar una solución que contenga 200 mg/L o ppm de cloro libre a lo largo del sistema de distribución de agua [49]. El resultado final es obtener agua apta para el consumo humano que debe cumplir en Guatemala con los parámetros de las normas que se observan en las siguientes tablas:

Microorganismos	Límite máximo permisible
Agua para consumo directo Coliformes totales y <i>E. Coli</i>	No deben ser detectables en 100 mL de agua
Agua tratada que entra al sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. Coli</i>	No deben ser detectables en 100 mL de agua
Agua tratada en el sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. Coli</i>	No deben ser detectables en 100 mL de agua

Cuadro 3: Calidad microbiológica del agua según la norma COGUANOR-NTG-29001.

Método	Límite máximo permisible
Fermentación de tubos múltiples	< 1.1 NMP*/100 mL utilizando 10 tubos de 10 mL ó 5 tubos de 20 mL
Ausencia-presencia distribución	Ausencia agua
Filtración por membrana	0 UFC/mL

Cuadro 4: Cantidad de coliformes totales en agua envasada para el consumo humano según la norma COGUANOR-NTO-29005. *Recuento de coliformes por el método del número más probable.

6.5.8. Sistema de fortificación de alimentos

El ser humano desde edades tempranas necesita consumir ciertas cantidades de vitaminas y minerales para un desarrollo adecuado. Además de un desarrollo adecuado dicho consumo tiene beneficios importantes para la salud como lo es el buen mantenimiento del sistema inmune, el desempeño de funciones fisiológicas y en términos generales ayuda a conservar un estado de salud óptimo a lo largo de la vida. [50]

El organismo sintetiza muchas sustancias que participan en el organismo, pero varios micronutrientes son esenciales, por lo que deben ser ingeridos en la dieta. Asimismo la necesidad de estos varía conforme la etapa en la cual se encuentra el ser humano. Al no cubrir dichas necesidades se comienza a observar problemas de salud como menor resistencia a las infecciones, disminución de la capacidad de aprendizaje, ceguera y en casos extremos la muerte. [50]

Consecuencia de estas deficiencias de micronutrientes en un alto porcentaje de la población mundial, sin excepción de países en desarrollo, por lo que a lo largo de los años se han desarrollado distintas estrategias para poder combatir dichas deficiencias. Una de ellas es la fortificación de alimentos como solución a mediano o largo plazo para poder corregir las deficiencias de micronutrientes en el ser humano. [50][51]

Dicha estrategia ayuda a prevenir los problemas mencionados anteriormente, además de que ayuda a mejorar el estado nutricional de las poblaciones. Según la OMS y el FDA la

fortificación de alimentos es la adición de uno o más nutrientes a un alimento con el fin de mejorar su calidad para las personas que lo consumen, en general con el objetivo de reducir o controlar una carencia de nutrientes. [51]

Se conocen dos clasificaciones de fortificación en los alimentos la voluntaria y la obligatoria. La fortificación voluntaria es la que se llega a realizar en la industria sin que este establecida por ley, con el fin de mejorar el contenido nutricional de los productos y dar un valor agregado a los mismos. Como ejemplo de fortificación voluntaria se encuentra el agregar calcio en leche UHT, antioxidantes en jugos, electrolitos en bebida para deportistas, entre otros. Por otro lado la obligatoria según la legislación de cada país se realiza a un alimento de forma obligatoria y sin excepción por las industrias que procesan dicho producto. Ejemplo de fortificaciones obligatorias en Guatemala son sal con yodo, azúcar con vitamina A y harina de trigo con hierro y vitaminas del complejo B (tiamina, riboflavina, folato y niacina). [50] [51]

6.5.9. Alimentos vehículos para fortificación de alimentos

Para poder decidir cuál alimento es el más adecuado para fortificar se deben tomar en cuenta ciertos factores, por ejemplo lograr la mayor cantidad de beneficios y así poder combatir las deficiencias identificadas. Además hay que tomar en cuenta qué alimentos son los que la población objetivo tiene acceso y consume frecuentemente para evitar crear cambios importantes en la dieta de las personas. Asimismo se debe considerar la interacción entre la matriz alimentaria con los fortificantes que vayan a adicionarse, ya que podría pasar que los alimentos no logren los beneficios esperados o que existan efectos negativos. [51]

Los vehículos utilizados comúnmente para la fortificación de alimentos son el trigo y productos derivados del mismo, arroz, maíz, leche y derivados lácteos, aceites para cocinar, sal, azúcar, cereales de desayuno, condimentos y agua. No todos se fortifican en todo el mundo, ya que depende del país y de los patrones de consumo del mismo. [50]

6.5.10. Agua como vehículo fortificante

El agua es un recurso barato y por lo regular de fácil accesibilidad para toda las clases sociales en los países en desarrollo, por eso mismo el utilizar dicha matriz como vehículo para fortificar alimentos es una innovación prometedora. Además permite al cuerpo absorber vitaminas a una velocidad mayor que los productos alimenticios tradicionales. Por ejemplo la fortificación de agua mineral con vitaminas es una realidad y da un producto final con vida de anaquel estable, de consumo directo o para preparar/reconstituir bebidas/alimentos. [52]

Otro ejemplo claro es el fortificar el agua con micronutrientes y estos pueden ser añadidos como pre mezclas o encapsulados de partículas de distintos tamaños y material para poder cumplir distintas funciones. Dichas funciones pueden ser enmascarar olores, provocar una liberación controlada, minimizar interacciones, mejorar estabilidad, entre otros. La composición de está aparte de fortificar ayuda a combatir objetivos específicos de salud como lo son la deficiencia de vitaminas, pérdida de peso, diabetes, colesterol/corazón, osteoporosis,

desordenes gastrointestinales, cáncer, estrés, etc. [53] [52]

Es un componente esencial para poder llevar a cabo reacciones químicas en el cuerpo. Asimismo es útil para dar energía que proviene de los alimentos, durante el proceso de digestión, como medio de transporte de nutrientes dentro del cuerpo y remueve impurezas y productos de desecho del cuerpo. La falta de agua resulta en deshidratación y el fortificarla acelera el proceso de hidratación. Se ha demostrado que el fortificarla con electrolitos como cloruro de sodio o potasio ayuda a reponer dichos electrolitos perdidos durante la realización de actividad física. [52]

6.5.11. Micronutrientes

Según la Organización Mundial de la Salud y la FAO, las deficiencias de micronutrientes más comunes a nivel mundial son la de yodo, vitamina A y hierro. Dichas deficiencias afectan a un tercio de la población mundial, donde los países en desarrollo son los más afectados. Además a estas tres deficiencias se les pueden agregar las de zinc y ácido fólico. Además de afectar a una gran cantidad de personas dichas deficiencias tienden a convertirse en un factor de riesgo para muchos padecimientos y pueden llegar a aumentar las tasas de morbilidad y mortalidad. [50] [54]

Micronutriente	Padecimiento derivado de la deficiencia
Hierro	Anemia
Vitamina A	Ceguera nocturna Xeroftalmia Destrucción de la córnea Ceguera permanente Lesión de tejidos epiteliales Queratosis folicular
Ácido fólico	Anemia macrocítica Anomalías en el tubo neural en recién nacidos Aumento en el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y cáncer Deterioro de la función cognitiva en adultos
Yodo	Bocio endémico Cretinismo o hipotiroidismo congénito Deficiencias mentales Anormalidades congénitas Retardo en el desarrollo físico y mental en niños y adolescentes
Zinc	Dermatitis Retardo en el crecimiento Diarrea Trastornos mentales Infecciones recurrentes

Cuadro 5: Principales padecimientos derivados de las deficiencias en micronutrientes. Extraído de [50]

6.5.12. Zinc

Es un componente esencial para muchas enzimas, además de que su función abarca el crecimiento celular, la diferenciación en tejidos que tienen procesos rápidos de diferenciación y renovación, incluyendo los del sistema inmune y trato gastrointestinal. En el cuerpo el zinc esta presente en el esqueleto, cabello, piel y en algunos órganos [54]. Las fuentes externas de zinc son los alimentos ricos en proteínas, por ejemplo:

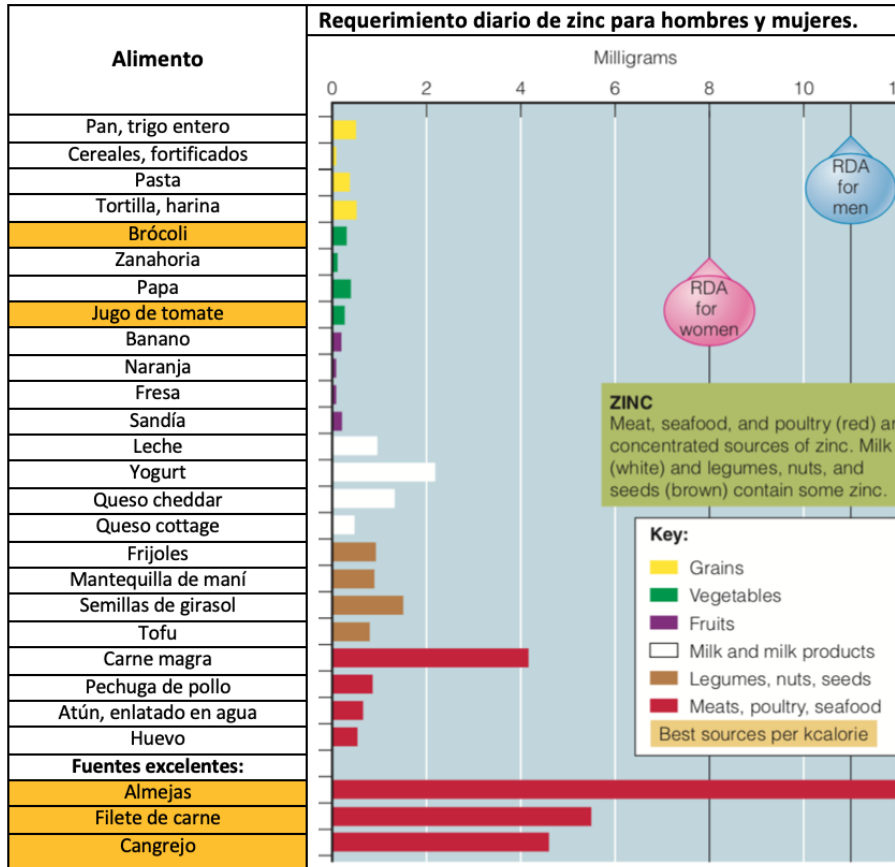


Figura 4: Presencia de zinc en distintos alimentos. Extraído de [55].

La absorción de zinc se complica por la inhibición que causan otros componentes, como los fitatos, oxalatos y taninos. Además de interacciones competitivas entre el zinc y otros minerales con propiedades físicas y químicas similares, como el hierro, el calcio y el cobre.[55]

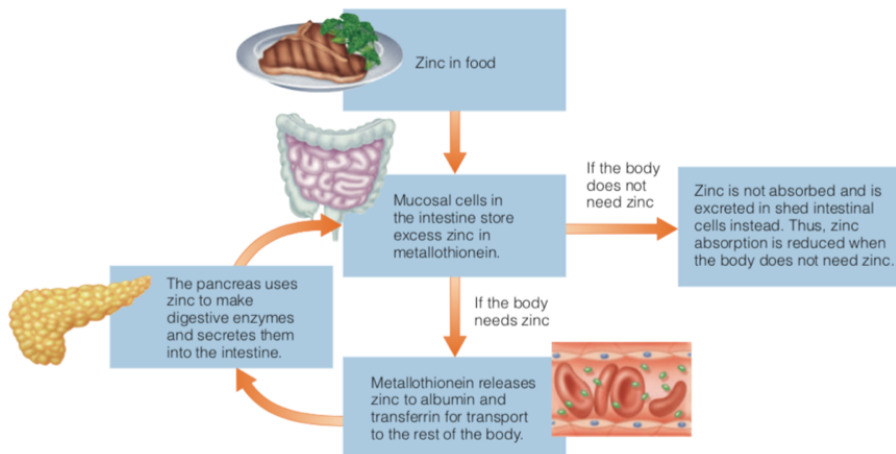


Figura 5: Circulación entero-pancreática del zinc. Extraído de [55].

Los compuestos de zinc disponibles para la fortificación incluye al sulfato, cloruro, gluconato, óxido y estearato; y las formas que más se utilizan son el óxido de zinc y el sulfato de zinc, debido a que son más baratos que los demás. El óxido de zinc tiene el problema que es insoluble en agua, mientras que el sulfato de zinc es soluble en agua. Existen mínimas diferencias entre ellos en cuanto a la biodisponibilidad en las dietas fortificadas con zinc y esto se ha comprobado en estudios realizados con adultos y niños, los cuales han empleado tortillas de maíz fortificadas con zinc. [55] [56]

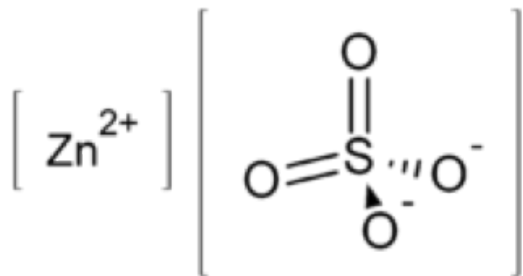


Figura 6: Estructura del sulfato de zinc. Extraído de [54].

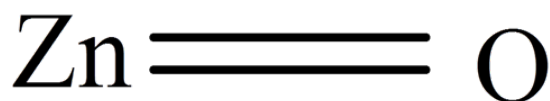


Figura 7: Estructura del óxido de zinc. Extraído de [56].



Figura 8: Estructura del cloruro de zinc. Extraído de [57].

6.5.13. Matrices solubles en agua

Hoy en día los avances en la tecnología han logrado desarrollar un sinfín de polímeros que cumplen con la función de vehículos para lograr la fortificación en alimentos. Dichos avances han dado como resultado polímeros con propiedades únicas. A esta nueva aplicación de los polímeros se le pueden sumar las ya conocidas como la de solubilizar, estabilizar y el soporte mecánico para la liberación controlada de medicamentos. [58]

Estos pueden ser clasificados en base a su fuente (natural, semi-sintética, sintética); estructura (linear, de cadena ramificada, redes de polímeros); tipo de polimerización (adición, condensación de polímeros); fuerzas moleculares (fibras, termoplásticas, elastómeros, termoestables); descomposición (biodegradable, no-biodegradable); crecimiento de polimerización de cadena (gobernada por radicales libres). [58]

6.5.14. Polímeros naturales solubles en agua

- Goma xantan
- Pectinas
- Quitosano o derivados de quitosano (en medio ácido)
- Dextrano
- Carragenina
- Goma guar
- Éteres de celulosa
- Ácido hialurónico
- Albúmina
- Almidón o derivados de almidón

6.5.15. Quitina y quitosano

La quitina es un polisacárido lineal y es considerada, después de la celulosa, una de las sustancias de mayor producción y biodegradabilidad en la naturaleza. Actualmente se obtiene de desechos de las industrias procesadoras de mariscos, principalmente de la cáscara de camarones, mediante procesos químicos. A pesar de tener muchas características aplicables en las distintas industrias su utilización se ha visto frenada, debido a su pobre solubilidad. Por dicha razón se han desarrollado distintos derivados de la misma, como el quitosano siendo resultado de la desacetilación de la quitina. [58] [59]

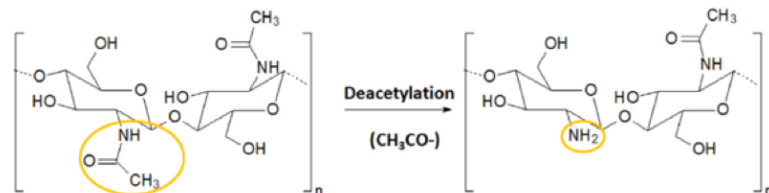


Figura 9: Estructura química de la quitina (izquierda) y quitosano (derecho). Extraído de [59].

El quitosano es un co-polímero aleatorio formado por unidades de D-glucosamina y unidades de N-acetil-D-glucosamina, unidas por enlaces β -1,4 glicosídicos. El radio que se forma entre ambas unidades se considera como el grado de desacetilación. Cuando el grado de desacetilación alcanza un 50% la solubilidad en medios ácidos aumenta. Al momento en que el quitosano es disuelto en medio ácido, el grupo amino en la cadena se protona y el polímero se vuelve catiónico, permitiendo interacción con diversas moléculas, por lo que se convierte en el único polisacárido marino catiónico. [59]

Medio ácido	Complejo	Propiedades
Ácido acético	-	Antimicrobiano
Ácido fólico	CS-folato	Seleccionador de ligandos
Ácido gálico	CS-galato	Antioxidante y antimicrobiano
Ácido cloro-génico	-	Antioxidante e inhibidor de enzimas involucradas en la per-oxidación de lípidos
Ácido láctico	CS-lactato	Alta biocompatibilidad, hidrofílico y con propiedades antimicrobianas
Ácido ferúlico	-	Antioxidante y antimicrobiano

Cuadro 6: Conjugados de quitosano en función del medio ácido. Extraído de [59].

La quitina y el quitosano han sido empleados en muchas áreas que abarcan desde la biotecnología, procesamiento de alimentos, manejo de desechos, agricultura, cosméticos, textiles y medicina. Debido a sus características biodegradables y biocompatibles el quitosano es ampliamente utilizado en las industrias farmacéuticas y alimenticias. Algunos ejemplos de la capacidad de uso de dichas matrices pueden ser el potenciar la absorción oral, ser mucoadhesivas y poder transportar genes y proteínas. [60] [59]

Algunas características del quitosano como ser una molécula poli-catiónica, no tóxica, antimicrobiana, de naturaleza bioabsorbible, biocompatible y poseer degradación controlada le permiten ser utilizado para varias aplicaciones biomédicas. Debido a la multifuncionalidad que posee el quitosano existen varios métodos de aplicación, como anticoagulante de sangre, regeneración de biomaterial en huesos, liberación controlada de medicamentos dentro del cuerpo, ingeniería de tejidos y vendaje para heridas. En la liberación controlada de medicamentos se ha visto una mejoría significativa, se han reducido y/o eliminado los efectos secundarios indeseables y se ha logrado mantener estables los niveles de medicamentos dentro del cuerpo en rangos aceptables. [4]

6.5.16. Éteres de celulosa

La celulosa por si sola es insoluble en agua caliente o en agua fría debido a los enlaces intermoleculares de hidrógeno que posee. Debido a esto la celulosa se transforma en derivados, como ésteres o éteres, los cuales son solubles en agua. La ventajas de los éteres de celulosa son sus características biocompatibles, por lo que se utiliza en industrias farmacéuticas, cosméticas y alimenticias. Sus principales usos en las distintas industrias son: enlazar, formar recubrimientos, estabilizar, emulsificar y solubilizar tabletas. [61] [58]

Una gran variedad de productos son realizados hoy en día a base de éteres de celulosa. Estos se diferencian respecto según el tipo de sustituyentes, nivel de sustitución, peso molecular y tamaño de partícula. Los más comunes son:

- Hidroxipropilmetil-celulosa (HPMC)
- Hidroxipropil-celulosa (HPC)
- Hidroxietil-celulosa (HEC)
- Carboximetilcelulosa sódica (Na-CMC) ó (CMC)

La carboximetilcelulosa (CMC) se considera el derivado de celulosa más importante, ya que sus características permiten que sea utilizada como espesante, estabilizante, como producto de relleno, fibra dietética y emulsificante. Su principal uso en la industria farmacéutica y cosmética ha sido como agente emulsificante y agente de liberación controlada. Su aplicación en la industria de alimentos como agente auxiliar en los batidos, helados, cremas y natas; como auxiliar para formar geles en gelatinas y pudines; como espesante en aderezos y rellenos; para la suspensión de partículas en jugos de frutas; como coloide protector en emulsiones y mayonesas; como agente protector para cubrir la superficie de las frutas y estabilizador en productos listos para hornear. Además la CMC no es metabolizada por el cuerpo humano, por lo que ha sido aprobada su utilización en los alimentos bajos en calorías. [62] [61]

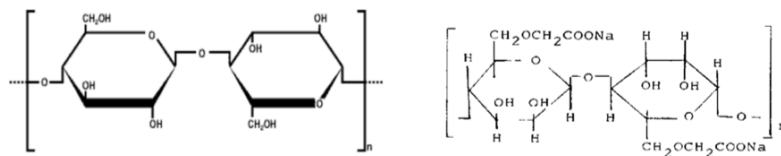


Figura 10: Estructura molecular de la celulosa (izquierda) y de la CMC (derecha). Extraído de [61].

6.6. Metodología

Debido a sus propiedades biocompatibles y biodegradables se seleccionó como membrana a la carboximetilcelulosa (CMC) y al quitosano.

Fase Pre-experimental: El estudio se realizará en dos fases. La primera consiste en llevar a cabo un diseño evolutivo el cual se permite el desarrollo de la membrana de quitosano y la membrana de CMC, así como la concentración del compuesto químico de zinc a utilizar en ambas membranas (ver proceso en anexos). Asimismo se determinará la proporción de la membrana para la fase experimental (Figura 43).

Fase experimental: Elaborar un experimento con 9 membranas de quitosano y CMC en forma de pastilla con tres diferentes compuestos de zinc: sulfato de zinc, cloruro de zinc y óxido de zinc; a tres diferentes concentraciones (4%, 6% y 8%). Las nueve pastillas se evaluarán simultáneamente para poder determinar diferencias significativas.

- Disolver el quitosano con ácido cítrico 0.5 M con agitación constante y calor.
- Agregar el compuesto químico de zinc correspondiente a cada solución de quitosano y agitar hasta obtener una solución homogénea.
- Disolver el CMC en agua destilada a 90°C.
- Agitar la solución durante 30 minutos sin aplicar calor adicional.
- Agregar solución de CMC a solución de quitosano y agitar por 30 minutos.
- Verter solución homogénea en vasos de precipitado.
- El pH de la solución debe estar entre 6.90-7.05, caso contrario llevar solución a temperatura ambiente y ajustar con hidróxido de sodio(1M).
- El hidróxido de sodio gelifica inmediatamente.
- Todas las muestras se deben dejar en reposo durante 48 horas en una base nivelada.

6.6.1. Análisis

Curva de calibración:

- Pesar 0.50 gramos de zinc metálico y diluir con 2.0 mL de ácido clorhídrico (HCl) al 37 %.
- Agregar 27.0 mL de solución de HCl 1 % (v/v) y aforar a 1.0L con agua destilada.

Patrón	Volumen de solución (mL)	Concentración (mg/L)
Blanco	0.0	0.00
1	0.125	0.5
2	0.200	0.8
3	0.250	1.0
4	0.300	1.2
5	0.350	1.4
6	0.400	1.6
7	0.450	1.8
8	0.500	2.0

Cuadro 7: Estándares de zinc.

6.6.2. Análisis de muestras

- Tomar una alícuota de 10 mL de cada vaso de precipitado cada 4 días.
- Medir la concentración de zinc por espectrofotometría de absorción atómica.
- Calcular la concentración de zinc contra la curva de calibración.
- Determinar vida útil de la membrana utilizando parámetros como biodegradabilidad, textura y gelificación.

6.6.3. Análisis estadístico

El análisis de varianza (ANOVA), se refiere en general a un conjunto de situaciones experimentales y procedimientos estadísticos para el análisis de respuestas cuantitativas de unidades experimentales. El problema más sencillo de ANOVA se conoce como el análisis de varianza de un solo factor o diseño completamente al azar, éste se utiliza para comparar dos o más tratamientos, dado que sólo consideran dos fuentes de variabilidad, los tratamientos y el error aleatorio.

Los supuestos requeridos para usar el análisis de varianza son tres.

- En cada población, la variable de respuesta está normalmente distribuida.
- La varianza de la variable de respuesta, denotada como σ^2 , es la misma en todas las poblaciones.
- Las observaciones deben ser independientes.

Diseño de bloques aleatorizados: El diseño de experimentos completamente aleatorizado se utilizan para probar la diferencia entre las medias de los tratamientos. Sin embargo, puede surgir un problema por diferencias debido a factores ajenos (no considerados en el experimento) que ocasionen que se concluya que no hay diferencia entre las medias de los tratamientos cuando en realidad sí la hay. El diseño de bloques aleatorizado, cuyo propósito es controlar algunas fuentes ajenas de variación eliminándolas, proporciona una mejor estimación de la varianza del error y conduce a pruebas de hipótesis más sólidas en términos de su capacidad para detectar diferencias entre medias de tratamientos.[63]

Para la elaboración de el cálculo ANOVA en éste módulo se utilizó el paquete de Excel StatPlus. Los pasos correspondientes a dicho análisis se observan en el anexo 11.4.

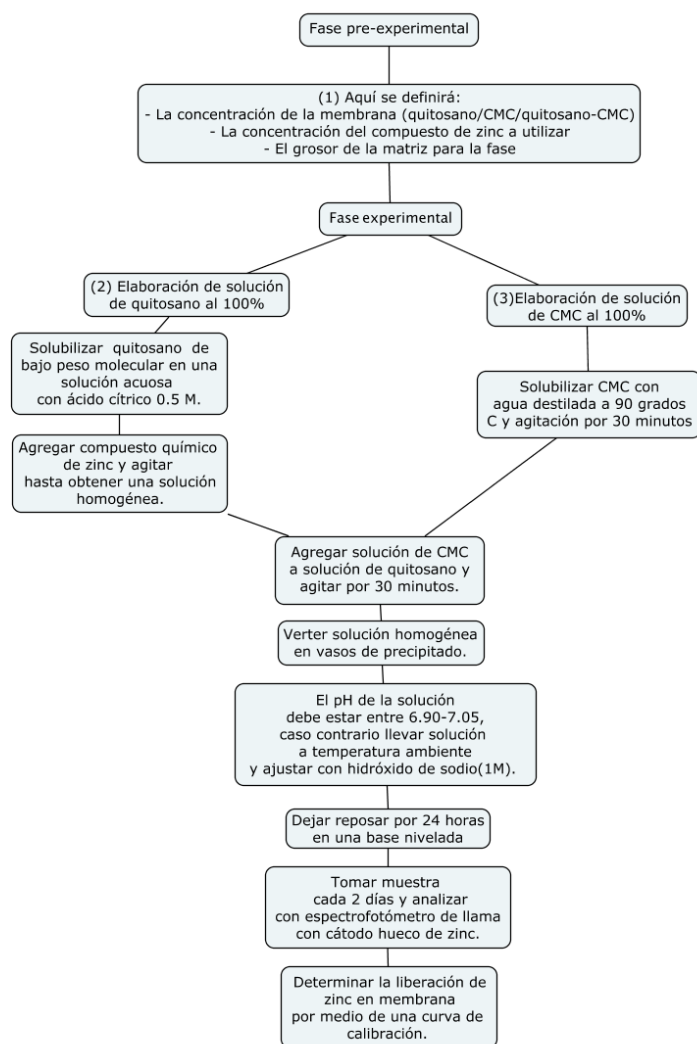


Figura 11: Diagrama de flujo de la elaboración de membranas para la fortificación de agua con zinc. Fase pre-experimental (1).

6.7. Resultados

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud la fortificación es la práctica deliberada del incremento de micronutrientes esenciales en un alimento con el fin de mejorar su calidad nutricional con un riesgo mínimo para la salud. Su efectividad radica en fortificar alimentos básicos que sean consumidos por la mayor parte de la población. Puesto que el agua es utilizada en todos los hogares, por medio del presente estudio se desarrolló una membrana a base de quitosano y carboximetilcelulosa (CMC) para lograr una dosificación controlada de zinc en una unidad filtrante de agua, apoyando a la reducción de la deficiencia de zinc en niños y niñas menores de 5 años del área rural de Guatemala.

Para poder determinar la membrana, la concentración de reactivos para la elaboración de la misma y el compuesto químico de zinc adecuado para su formulación, se consideró inicialmente una fase pre-experimental. Se determinó que la combinación entre quitosano y carboximetilcelulosa (CMC) era necesaria para la creación de la misma, ya que individualmente estos polímeros no fueron capaces de gelificar correctamente. Por ello se realizaron cuatro formulaciones distintas entre quitosano y CMC. Al disolver el quitosano en ácido se observó que es importante evitar concentraciones altas, ya que producen una degradación significativa de las cadenas de éste, acortando su vida útil. Se descartó el utilizar concentraciones de quitosano mayores a 4.0%, debido a que las viscosidades se vuelven elevadas, provocando que la homogeneización no fuera posible. La temperatura es un parámetro importante al momento de la gelificación de la solución de quitosano y CMC. Se observó que agregando un exceso de NaOH 0.5M entre un rango de temperatura de 5-20°C la membrana pasaba de un estado líquido a uno sólido y manipulable, mientras que si el procedimiento se llevaba a cabo a una temperatura fuera del rango la membrana no gelificaba.

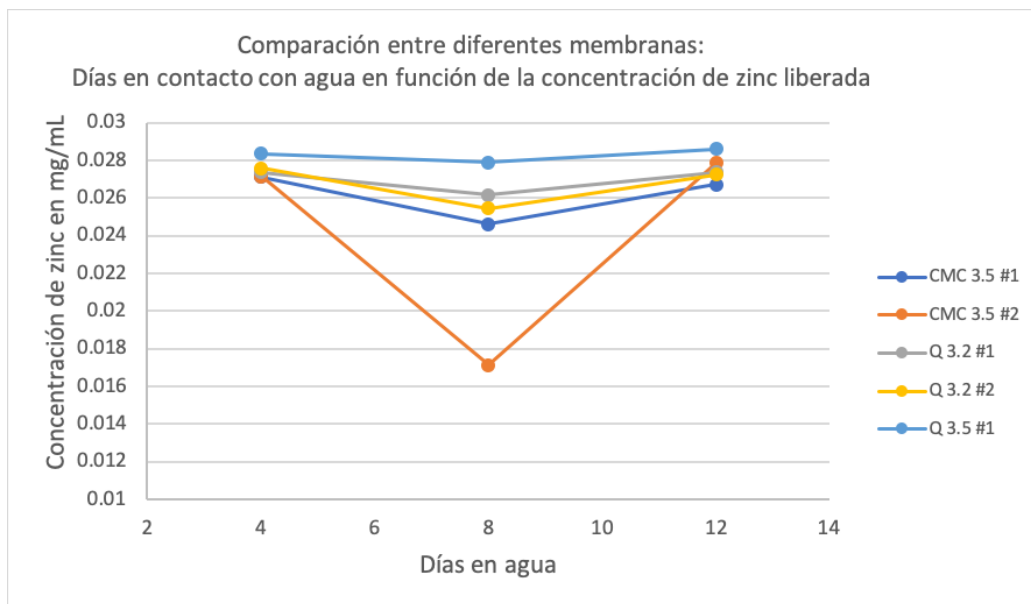

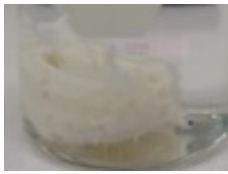



Figura 12: Comparación de liberación de zinc entre diferentes membranas.

Anova de 2 factores			
Origen de la varianza	F	nivel p	Fcrítico
Factor 1 (Membrana)	1.32265	0.3403	3.83785
Factor 2 (Día)	3.31849	0.08924	4.45897

Cuadro 8: Análisis de varianza de la liberación de zinc entre las distintas formulaciones de membranas elaboradas.

La comparación de membranas se realizó tomando en cuenta la liberación de zinc en agua, su textura y grado de gelificación. Como se observa en la Figura 12. se realizó una curva de días en contacto con agua en función de la liberación de zinc en la misma mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica con cátodo hueco de zinc. Las muestras analizadas se recolectaron a manera de estudiar la interacción entre matriz y agua por 15 días. Se realizó un análisis de varianza para comparar la liberación de zinc de distintas formulaciones y así verificar la existencia de diferencias significativas entre ellas. No se observó diferencia significativa entre las distintas formulaciones y la liberación de zinc. Las membranas elaboradas con una formulación de 3.5 % CMC y 3.2 % quitosano, fueron las que mostraron las características más deficientes en cuanto a gelificación y dosificación; por el contrario, la formulación de 3.2 % quitosano y 3.0 % CMC mejoraron considerablemente la textura y gelificación de la membrana y su dosificación; paralelo a estas membranas se evaluó una formulación más, siendo esta de 3.5 % quitosano y 3.0 % CMC, dicha formulación resultó ser la de mejores características en todos los aspectos. Por ello se estandarizó el procedimiento de la membrana con la última formulación mencionada.

Membrana	Quitosano 3.2 % CMC 3.5 %, $ZnSO_4$ 4 %	Quitosano 3.2 % CMC 3.0 %, $ZnSO_4$ 4 %	Quitosano 3.5 % CMC 3.0 %, $ZnSO_4$ 4 %
Textura	++	++	++
Gelificación	+	++	+++
Vida Util	++	++	+++
Imagen			

Cuadro 9: Comparación de características principales entre membranas con distinta formulación de quitosano y CMC

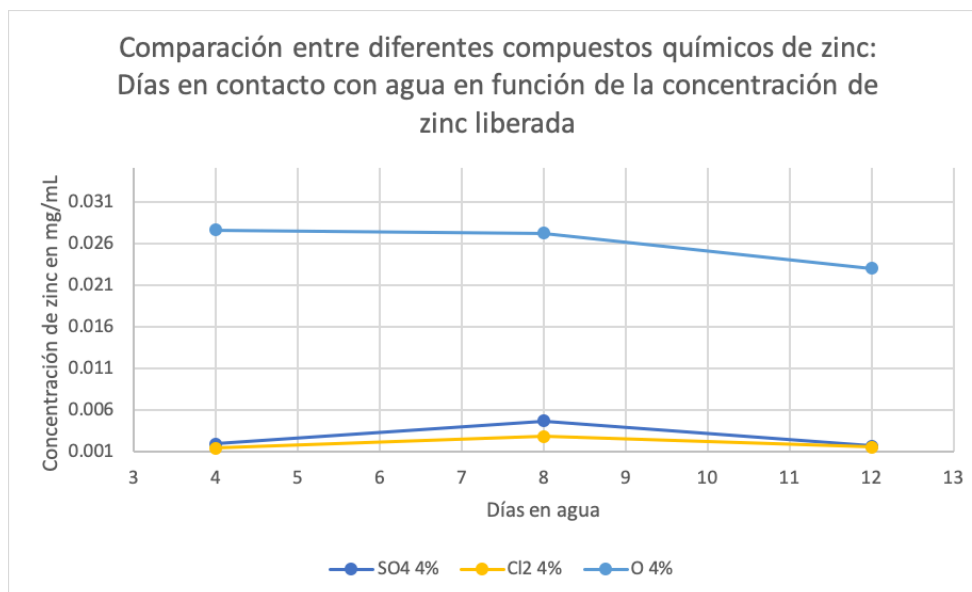

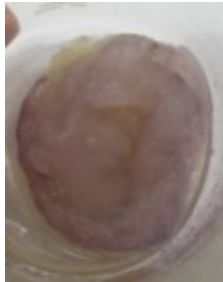



Figura 13: Comparación entre diferentes compuestos químicos de zinc.

Anova de 2 factores			
Origen de la varianza	F	nivel p	Fcrítico
Factor 1 (Compuesto químico de zinc)	285.20662	0.00005	6.94427
Factor 2 (Día)	3.13474	0.15171	6.94427

Cuadro 10: Análisis de varianza de la liberación de zinc entre los distintos compuestos químicos de zinc.

Una vez establecida la membrana adecuada se procedió a evaluar el compuesto químico de zinc. Estos fueron cloruro de zinc, óxido de zinc y sulfato de zinc. Se comenzó durante la fase pre-experimental formulando con un 2% del compuesto de zinc para la membrana, pero la cantidad liberada de zinc fue insignificante. Por ello se utilizaron concentraciones del 4% de los diferentes compuestos. Al igual que en la selección de cantidades, cómo la del quitosano y CMC, se evaluó la textura, cantidad liberada de zinc y gelificación de la membrana para determinar el compuesto de zinc que mejor se acoplara a las propiedades deseadas. Se realizó un análisis de varianza para determinar si los distintos compuestos de zinc presentaban diferencias significativas en cuanto a la liberación final de zinc. Como se observa en la Figura 13 se evaluaron los días en contacto con agua en función de la concentración de zinc liberada. La membrana con cloruro de zinc presentó las características menos aceptables en cuanto a liberación de zinc y apariencia; en cuanto a la membrana con óxido de zinc, a pesar de que fue la que mayormente liberó zinc, su grado de gelificación fue el más deficiente de los tres; finalmente el sulfato de zinc presentó una mejor gelificación y textura que el óxido de zinc y el cloruro de zinc, pero no una mejor liberación en comparación con el óxido de zinc. Al comparar estas tres membranas con un 4% de cada compuesto químico de zinc, se optó por utilizar el sulfato de zinc, ya que este presentó características más estables que los otros compuestos.

Membrana	Quitosano 3.5 % CMC 3.0 %, $ZnSO_4$ 4 %	Quitosano 3.5 % CMC 3.0 %, $ZnCl_2$ 4 %	Quitosano 3.5 % CMC 3.0 %, ZnO 4 %
Textura	++	++	++
Gelificación	+++	++	+
Vida Util	+++	++	++
Imagen			

Cuadro 11: Comparación de características principales entre membranas con distinto compuesto químico de zinc.

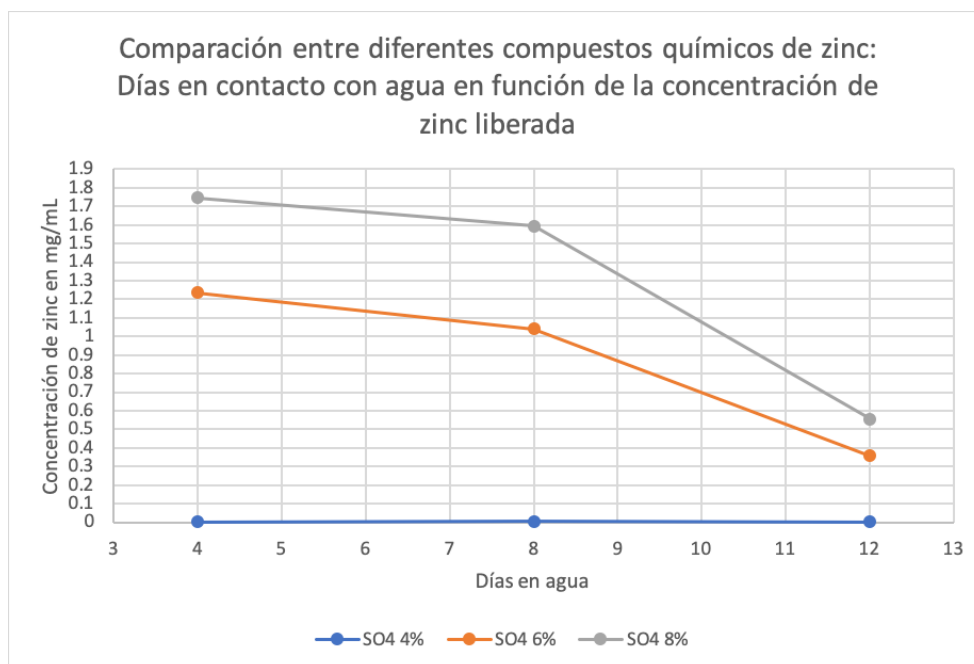



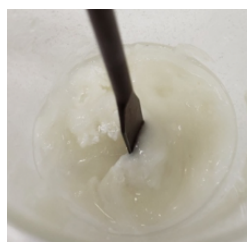

Figura 14: Comparación entre diferentes concentraciones de sulfato de zinc

El Cuadro 11 demuestra que no existe diferencia significativa entre los diferentes compuestos químicos de zinc y su liberación de las membranas formuladas, por lo que se tomó en cuenta otros factores como gelificación, vida útil y textura para la selección adecuada del compuesto a utilizar.

Anova de 2 factores			
Origen de la varianza	F	nivel p	Fcrítico
Factor 1 (Compuesto químico de zinc)	11.75074	0.02115	6.94427
Factor 2 (Día)	3.67577	0.12417	6.94427

Cuadro 12: Análisis de varianza de la liberación de zinc entre los distintas concentraciones de sulfato de zinc.

Asimismo se realizaron pruebas con diferentes concentraciones de sulfato de zinc - 4, 6 y 8% - para lograr la dosificación requerida. Se observó mediante un análisis de varianza que existe diferencia significativa entre las diferentes concentraciones de zinc y la liberación del mismo, ya que mientras mayor era la concentración del sulfato de zinc la liberación del mismo aumentaba, pero la gelificación y la textura eran afectadas.

Membrana	Quitosano 3.5 % CMC 3.0 %, $ZnSO_4$ 4 %	Quitosano 3.5 % CMC 3.0 %, $ZnSO_4$ 6 %	Quitosano 3.5 % CMC 3.0 %, $ZnSO_4$ 8 %
Textura	+++	++	+
Gelificación	+++	++	+
Vida Util	+++	++	++
Imagen			

Cuadro 13: Comparación de características principales entre membranas con mismo compuesto químico de zinc a distintas concentraciones.

El Cuadro 13 muestra que las membranas con un 6 y 8% de sulfato de zinc fueron las que presentaron una gelificación insuficiente y fueron consumidas en un lapso corto de tiempo, mientras que la membrana con 4% de sulfato de zinc gelificó y se mantuvo estable a lo largo del tiempo en contacto con agua, tanto en textura como en la liberación de zinc.

La Figura 15 permite interpretar en base a la concentración de zinc liberada, que la vida útil de la matriz se encuentra alrededor de los 30 días. Esto demuestra que la formulación de la membrana con quitosano y CMC y sulfato de zinc, permiten desarrollar un sistema de fortificación biodegradable que puede ser acoplado industrialmente en una unidad filtrante

de agua.

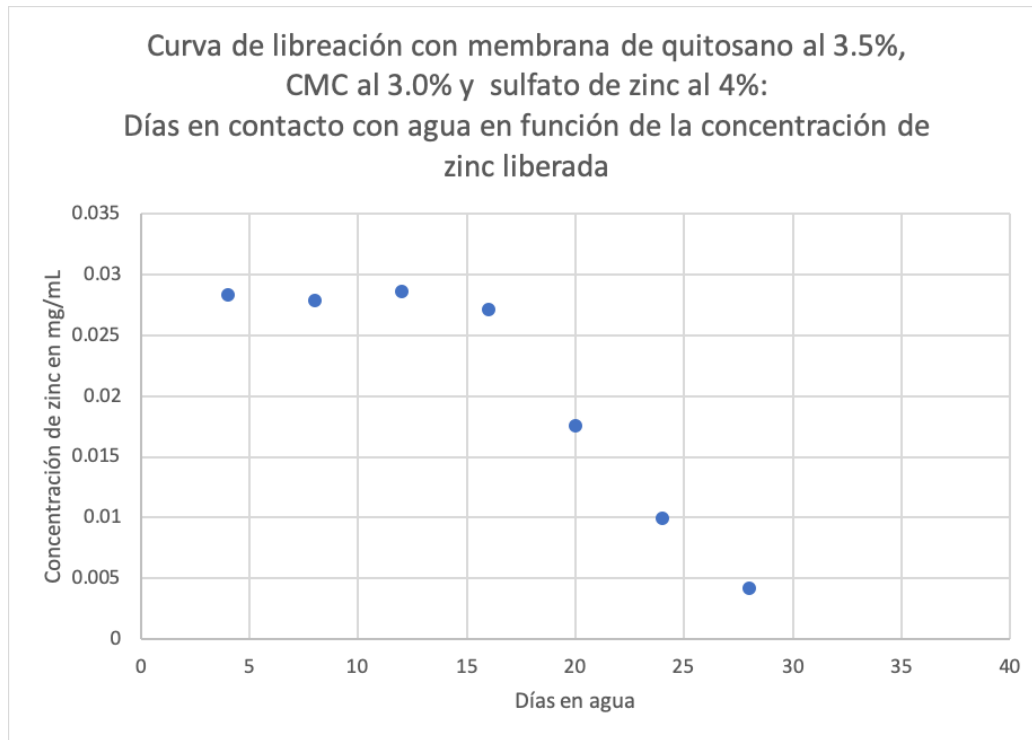


Figura 15: Evaluación de la interacción entre la membrana final en contacto con agua.

Evaluación comparativa de un sistema de hidrogel polimérico de liberación controlada y una capa de zinc, como matriz de fortificación de zinc en un sistema de filtración de agua

7.1. Resumen

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un sistema de hidrogel polimérico de liberación controlada, y una capa de zinc, ambos como vehículo de fortificación de zinc para una unidad filtrante de cerámica para agua. Se evaluó la estabilidad y capacidad de dosificación de ambas opciones. Para la elaboración del hidrogel se utilizó carbonato de calcio, sulfato de zinc, alginato de sodio y el aditivo alimenticio D-(+)-Glucono-delta-lactona (GDL). Este hidrogel se colocó en el interior de la unidad filtrante para que el mismo fuera absorbido por las paredes de la misma. Así mismo, se realizó una cobertura formada por una solución de sulfato de zinc (grado reactivo) con agua destilada, en una concentración de 5 g/L, en la cual fue sumergida la unidad filtrante. Esto se repitió tres veces para formar tres capas de cubrimiento. Esta fue la matriz seleccionada como el medio de dosificación constante de zinc con una vida útil de 19 meses. Se recomienda evaluar, luego de la implementación en el proceso de producción, que los resultados de dosificación de zinc en el agua de la cobertura sean equivalentes a los resultados de las pruebas experimentales realizadas.

7.2. Introducción

Actualmente se evidencia una gran necesidad de fortificación de alimentos en Guatemala debido a la alta deficiencia de micronutrientes que existe en la dieta, específicamente en comunidades de escasos recursos. Una estrategia utilizada para responder a esta problemática es propiciar el mejor aprovechamiento de los nutrientes en los alimentos. Debido a

lo anterior, se han desarrollado muchas técnicas, dentro de las cuales se encuentra el uso de materiales, como los biopolímeros, para el transporte y entrega de principios activos y micronutrientes, usando la encapsulación en hidrogeles. Estos están formados por polímeros hidrófilos (que absorben grandes cantidades de agua) en los que se retienen las sustancias de interés y que forman una red tridimensional. Al hidratarse, se produce la liberación de los micronutrientes con la difusión de los mismos hacia el medio externo.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar y comparar dos matrices de fortificación de zinc para adaptarse a una unidad filtrante de agua. Como primer método de desarrollo de matriz, se elaboró un hidrogel polimérico de liberación controlada de alginato de sodio con sulfato de zinc para evaluar la liberación del micronutriente en el agua. También se desarrolló una solución de sulfato de zinc, la cual se utilizó como una cobertura para el sistema de filtración cerámico utilizado. Luego de sumergir la estructura en la solución, se dejó secar al aire libre y luego se repitió el procedimiento hasta formar una serie de 3 capas. Para determinar la concentración de zinc en el agua filtrada, usando elementos tratados por los dos métodos descritos anteriormente, se utilizó espectroscopía de absorción atómica y finalmente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si diferían los resultados obtenidos, permitiéndome así, seleccionar la matriz más funcional de fortificación de zinc.

El procedimiento seleccionado para la fortificación de zinc fue una cobertura de sulfato de zinc grado reactivo en agua destilada en una concentración de 5 g/L, la cual se realizó a través de la disolución y agitación del compuesto en agua destilada, solución en la cual fue sumergida la unidad filtrante. Esta se dejó secar por cuatro horas y luego se repitió el mismo procedimiento hasta formar tres capas de recubrimiento. Esta presentó una dosificación constante durante 19 meses, sin aportar ningún sabor indeseable al momento de ingerirla. Se recomienda evaluar, luego de la implementación en el proceso de producción, que los resultados de dosificación de zinc en el agua de la cobertura sean equivalentes a los resultados de las pruebas experimentales realizadas.

7.3. Antecedentes

Se ha comprobado que poseer una insuficiencia de zinc provoca una alteración al sistema inmunológico de las personas produciendo, entre las más comunes enfermedades, períodos de diarrea y neumonía, las cuales son de las principales causas de muerte infantil. En países de bajo ingreso, la OMS reportó en el 2018 que para el año 2016 se tuvo una tasa bruta de mortalidad por 100,000 habitantes de 75 % y 58 % para infecciones respiratorias y enfermedades diarreicas, representando estos las mayores fuentes de defunción. Por esto mismo, se tiene confirmado que, a través de la suplementación de zinc por más de tres meses, es posible disminuir la duración de las infecciones de vías respiratorias en niños en países tercermundistas, y por lo tanto la mortalidad infantil, de las cuales algunas son causadas por estas deficiencias.[64]

Una forma de administrar medicamentos, o en este caso micronutrientes, es a través de hidrogeles. Los hidrogeles son utilizados como materiales para la liberación de fármacos de manera controlada, esto debido a la capacidad para modificar y controlar su nivel de absorción, porosidad, entrecruzamiento, entre otras. Muchos estudios han utilizado estas membranas para la inmovilización, encapsulación y liberación controlada de compuestos de bajo peso molecular, aunque algunos también lo han aplicado para proteínas. [65]

Los polímeros para hidrogeles más utilizados actualmente, según Escobar y García (2002) [66], son el poli(metacrilato de 2-hidroxietilo) (PHEMA), poli(N-vinil pirrolidona) (PVP), poli(vinil alcohol) (PVA), poli(ácido acrílico), poli(acrilamida) (PAA), polietilenglicol (PEG) y ácido poli(metacrílico); y dentro de los polímeros biodegradables están el ácido poliláctico (PLA), ácido poliglicólico (PGA) y ácido poli(láctico-co-glicólico) (PLGA). El PEG es no tóxico y es aprobado por la FDA.

Varios autores, entre estos Hassan (2000) [67], elaboraron un hidrogel de poli(vinil alcohol) de múltiples capas que libera albúmina. También se ha utilizado alginato y PLGA para la liberación de medicamentos. Así mismo, para la dosificación controlada de medicinas y para cuidado de heridas se ha evidenciado que las membranas con 2-acrilamido-2metilpropanosulfonato de sodio (AMPSNa) poseen una alta capacidad de absorción de agua por el sulfonato que poseen, el cual puede ser ionizable; también son resistentes a hidrólisis, son flexibles y transparentes, y tienen estabilidad térmica.

Los iones metálicos monovalentes forman sales solubles con el alginato, mientras que los cationes divalentes y multivalentes (excepto el Mg^{+2}) forman geles o precipitados. La unión iónica selectiva es la base de la capacidad del alginato para formar hidrogeles ionotrópicos. Los alginatos con un alto contenido de bloques de ácido glucurónico dan mayor resistencia a los geles. El ácido glucurónico, las sales de sodio y calcio del alginato son consideradas como biocompatibles y no tóxicas generalmente. Las moléculas de alginato en un sistema de liberación controlada se hidratan rápidamente creando una capa hidrocoloidal altamente viscosa, lo cual actúa como barrera de difusión que disminuye la difusión de moléculas pequeñas. [68]

En un estudio realizado por Valle, 2014 [69] de elaboración de hidrogeles de plata, se logró la incorporación de NPsAg e iones de plata en los hidrogeles por inmersión en coloides de plata. Se observó que los hidrogeles que contienen VP (N-vinilpirrolidona), en comparación con los basados en acrilamida, poseen mayor contenido de agua, iones de plata y NPsAg por su capacidad de absorción. Al poseer un menor contenido de reticulante, y al someterlo en un coloide de mayor concentración de plata, se liberó un mayor contenido de plata total. Los compositos del tipo poli[VP-co-AMPSNa] liberaron un mayor porcentaje de plata total en comparación con los del tipo poli[AAM-co-AMPSNa], para un igual porcentaje de reticulante.

Varios autores han confirmado que, cuando se sintetizan hidrogeles con pectina/AA y en presencia de MBAAM como agentes reticulantes, la absorción de agua dependía de un pH alto. Se observó que se tenía mayor porosidad al aumentar la concentración de Pectina o de

AA, aunque al aumentar la cantidad de reticulante/entrecruzador, disminuye la porosidad. Se obtuvieron mejores resultados para un sistema de dosificación de fármacos al contener más AA y menor cantidad de reticulante. [70]

En cuanto al método de multicapas, este ha sido investigado por numerosos autores como un recubrimiento de estructuras para la liberación constante de medicamentos. Un método utilizado implica la estratificación de una solución del fármaco en núcleos de pellets de “capa activa”, los cuales son recubiertos con una capa polimérica insoluble en agua. Se utilizan polímeros tales como maltodextrinas, PVP, gelatina y HPMC como aglutinantes en la estratificación activa para inmovilizar las partículas del fármaco en la superficie de los pellets. Se ha indicado que los medicamentos de altas dosis son problemáticos en algunos casos por la necesidad de polímeros aglutinantes solubles en agua para inmovilizarlos en la superficie, lo que implica un aumento en su dosificación. [5]

La unidad filtrante de agua utilizada como base para adaptar las matrices elaboradas se desarrolló en Guatemala por la empresa Ecofiltro, la cual es una empresa con enfoque social que busca proveer a familias del área rural de Guatemala con agua potable. La unidad de filtración se produce a partir de 3 materiales naturales: arcilla (crea canales y atrapa contaminantes del agua), aserrín (al hornearlo se convierte en carbón activado y elimina sabores y olores indeseados) y una capa externa de plata coloidal (antibacteriano). [3]

Los beneficios de utilizar filtros de cerámica residen en la capacidad de reducir bacterias del agua, es fácil de usar y es altamente aceptado en diferentes países del mundo, se ha comprobado la reducción de enfermedades diarreicas de las personas que los utilizan, tienen una larga vida útil y son accesibles económicamente. Por otro lado, como desventajas se encuentran su facilidad a romperse, un caudal de 1 a 2 litros por hora, requieren mantenimiento cada cierto tiempo para evitar que su saturación. Por esto mismo, es importante utilizar cerámica de buena calidad y una capacitación del cuidado del filtro para los usuarios. [71]

De acuerdo al módulo Evaluación de la dosificación, vida útil y absorción fisiológica de Zinc del sistema de fortificación integrado a la unidad filtrante elaborada artesanalmente del megaproyecto Diseño, construcción y evaluación de un sistema viable de dosificación de zinc, integrado a una unidad filtrante de agua, se obtuvo que la vida útil de la cobertura de zinc realizada en el presente trabajo fue de 10 meses, con una dosificación diaria constante a lo largo del tiempo de aproximadamente 0.05 mg de zinc por litro de agua. [72]

Así mismo, en el mismo megaproyecto, en el módulo Determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante en un sistema viable de dosificación de zinc, se realizaron pruebas sensoriales de las matrices realizadas en este trabajo, tanto el hidrogel como la cobertura. Se realizaron pruebas de triángulo, donde se presentaban 3 muestras y se debía seleccionar la muestra diferente. Estas pruebas permitieron indicar si había diferencia significativa en la percepción sensorial del agua con y sin zinc de cada matriz, donde se concluyó que la cobertura, en comparación con el hidrogel, no aportó ningún sabor indeseable al agua ingerida. [73]

7.4. Justificación

Una de las principales deficiencias de micronutrientes en los países tercermundistas, y específicamente en Guatemala, es el zinc, lo cual representa un problema de salud pública. Debido a las múltiples funciones biológicas de este, existe una gran variedad de signos fisiológicos por su deficiencia. La carencia de este puede ser debido a una ingesta escasa de alimentos que proporcionen este micronutriente, o por deficiente absorción del mismo dentro del organismo. Según la FAO, aproximadamente un 20 % de la población mundial tiende a estar en riesgo de poseer deficiencia de zinc, específicamente del sur de Asia, África y el Pacífico Occidental. [6]

Específicamente, la población más vulnerable a padecer la carencia de este micronutriente, y por lo tanto de los problemas que este conlleva, son los niños y las mujeres embarazadas. El carecer de zinc en el cuerpo puede provocar retardo en el crecimiento, específicamente en los niños, atrofas, problemas en el embarazo, enfermedades diarreicas, trastornos de malabsorción, sistema inmunológico débil, infecciones en aparato respiratorio, sobre todo neumonía, entre otros. [74] En el 2018 a OMS reportó que para el año 2016 se tuvo una tasa bruta de mortalidad por 100,000 habitantes de 75 % y 58 % para infecciones respiratorias y enfermedades diarreicas.

La fortificación de alimentos, y en este caso, del agua, es una necesidad en muchas comunidades de Guatemala. Esto permite abordar los problemas que conllevan la deficiencia de los distintos micronutrientes, entre los más comunes, calcio y zinc. En el país se ha implementado la estrategia de fortificación de azúcar con vitamina A y de sal con yodo, aunque a pesar de estas acciones, una gran mayoría de habitantes aún sufren de déficit de estos, lo que cuestiona el alcance que tienen estos productos fortificados a comunidades de extrema pobreza. Esto fue la principal motivación de la realización de este estudio.

La mayoría de estrategias de fortificación de micronutrientes se realizan en los alimentos, rara vez se utiliza como medio el agua. Esto es debido a la facilidad de incorporarlos a estos ya que su gran versatilidad de texturas y sabores, ayudan a enmascarar sabores indeseables que los micronutrientes puedan aportar; mientras que al utilizar el agua como medio de fortificación, aunque se tiene más alcance con las comunidades que tienen disponibilidad de un sistema purificador y es una fuente más accesible económicamente, hay mayor susceptibilidad a percibir factores sensoriales no deseados.

La importancia de este trabajo reside en la necesidad de la fortificación del agua y de los alimentos como un método para combatir y disminuir la prevalencia de las deficiencias de micronutrientes en el área de salud pública. Se utilizó una unidad filtrante de cerámica, que se fabrica comercialmente para agua, constituida por tres materiales, los cuales son arcilla, aserrín y una cobertura de plata coloidal (aplicada sobre toda la superficie de la unidad, en forma de solución). Estas unidades filtrantes son producidas por una empresa social guatemalteca, que tiene como objetivo proporcionar a personas de diferentes áreas de Guatemala, y en especial a áreas rurales. Es por esto que se contó con la oportunidad de fortificar el

agua con zinc. Este trabajo pretendía que las personas, al tomar cierta cantidad de agua con zinc, redujeran el índice de diarrea aguda, especialmente en niños. No se puede asegurar que las personas ingieran la dosis recomendada (2 mg/día para niños menores de seis meses, 3 mg/día para niños entre siete meses y tres años, 5 mg para niños mayores de 4 años y de 8 a 11 mg/día para los adultos) por el National Institute of Health. [75]

Por esto mismo, este trabajo busca promover una mejor calidad de vida en cuanto a salud para las comunidades de los países en desarrollo que, con el consumo del agua fortificada resultante del sistema de dosificación de zinc que se desarrollará, el cual se adaptará a un equipo de filtración existente, lograría aumentar la ingesta del micronutriente, y por lo tanto ayudaría a prevenir los problemas que conlleva su deficiencia, tales como diarrea, enfermedades respiratorias y atrofas musculares en comunidades de escasos recursos. La empresa fabricante de las unidades filtrantes ha vendido alrededor de 459,528 filtros en Guatemala desde el 2010, de los cuales un 50 % está destinado para las áreas rurales. Estos tienen una capacidad de 27 litros y una vida útil de 2 años. [3] Estos datos reflejan el alto impacto que podría llegar a tener la implementación de este sistema de dosificación de zinc.

7.5. Marco teórico

7.5.1. General

Según Allen, 2017, [74] la fortificación es el agregar uno o más micronutrientes a un alimento para incrementar su consumo, prevenir o corregir deficiencias de estos. Esta aporta grandes beneficios a la salud pública, y su impacto depende del grado de fortificación, la biodisponibilidad del micronutriente y de la frecuencia y cantidad de consumo del medio/alimento. Entre los beneficios se encuentran prevención del riesgo a enfermedades por deficiencias, reducción de carencia del mismo en una población específica, mejorar el estado nutricional de los consumidores, entre otros.

La fortificación puede ser de distintos tipos. Puede estar dirigida a una población general en alimentos consumidos normalmente (fortificación masiva), la cual es mandatoria y generalmente apoyada por el gobierno. Luego se encuentra la fortificación focalizada, mandatoria u opcional, la cual va dirigida a un grupo específico de consumidores; tales como alimentos complementarios para niños. En el caso de Guatemala se puede mencionar la Incaparina. Por otro lado está la fortificación orientada, la cual se realiza de forma voluntaria regida por normas gubernamentales. Esta se da comúnmente en países industrializados y se origina por una motivación comercial para adicionar micronutrientes a alimentos procesados. Así mismo, existe la fortificación domiciliaria, donde se agregan los micronutrientes en los domicilios a las comidas, generalmente presentados como polvos y tabletas solubles; está la biofortificación, donde se mejora genéticamente los productos agrícolas para que posean un mayor contenido de micronutrientes. [74]

El uso de agua como medio de fortificación es una fuente menos costosa y con mayor alcance. Existen aguas fortificadas con vitaminas, fluoruro, yodo y hierro, y se adicionan

al agua en forma de premezclas, encapsulaciones, sistemas de liberación controlada, entre otros. [52]

7.5.2. Zinc

El zinc es producido en las rocas ígneas y se encuentra presente naturalmente en el suelo. Es el elemento con mayor presencia en el metabolismo humano, ya que desempeña gran variedad de roles en el cuerpo, tales como las funciones reguladoras catalíticas, estructurales y celulares, facilita el plegamiento de las proteínas facilitando su actividad. Este no es susceptible a reacciones oxido-reductoras, por lo que no se considera como tóxico. El contenido de zinc en el cuerpo de un adulto está entre 1.5 a 2.5 g, con un mayor promedio en el sexo masculino. [6]

Debido a la gran cantidad de funciones biológicas en las que se ve involucrado el zinc, al haber una deficiencia de este un alto número de funciones fisiológicas y metabólicas, tales como el crecimiento, inmunocompetencia y el desarrollo neuroconductual se ven afectadas. Si se tiene un suministro de zinc suficiente para apoyar estas funciones, se beneficiará la mejora del estado nutricional, en la disminución de episodios de diarrea, el apetito, los índices de crecimiento, el desarrollo neuroconductual fetal, disminución en mortalidad en lactantes de bajo peso al nacer y la incidencia de enfermedades infecciosas. [74]

Las principales fuentes dietéticas de zinc son de origen animal, específicamente de res, cerdo y aves. Así mismo, se encuentra en gran cantidad en nueces y semillas. (WorldFood Dietary Assessment, 2004) [76] Por otro lado, existen factores que inhiben la absorción de zinc, los cuales son los fitatos y el calcio dietético. A mayor razón de fitatos:zinc, específicamente si sobrepasa una razón de 15:1, disminuye la absorción del micronutriente. Aunque la ingesta de proteína animal puede mejorar la absorción de zinc en dietas con alto consumo de fitatos (cereales, maíz, trigo). [74]

7.5.3. Hidrogel

Un hidrogel se define como un material formado por variedad de polímeros unidos a través de un entrecruzamiento químico o físico para formar una malla tridimensional, la cual tiene la capacidad de absorber y retener agua sin disolverse. Cuando absorben un 100 % de su peso en agua son llamados superabsorbentes [77]. La capacidad que estos poseen de absorber agua depende del proceso de síntesis del hidrogel, ya que según los espacios que se formen entre las redes flexibles de los polímeros va a ser su capacidad de contener el agua.

La flexibilidad de las mismas dependerá a su vez de la pureza del polímero, de la concentración del componente agregado y el método de síntesis. [78] La importancia de estos reside en su alta capacidad de absorción de agua, su elasticidad y consistencia blanda, y su baja tensión interfacial

Estos se pueden diferenciar según su estructura, entrecruzados o no entrecruzados. Los geles entrecruzados son insolubles y al entrar en contacto el agua con el interior de la malla, alcanza un máximo de hinchamiento y mantiene un aspecto de sólido elástico; mientras que las no entrecruzadas pueden disolverse y no posee un límite máximo de hinchamiento, ya que el agua lleva a la disolución del polímero, provocando que llegue a un líquido viscoso. [77] Así mismo, también se pueden clasificar según su carga (hidrogeles iónicos), y entre estos están los que no poseen carga (neutros), con carga negativa (aniónico), con cargas positivas (catiónico) o con cargas tanto positivas como negativas (anfóliticos). Además, pueden ser considerados como amorfos, donde poseen enlaces covalentes, o como semicristalino, que posee cadenas covalentes ordenadas.[79] Los factores que pueden influir en la absorción de agua de los polímeros son la temperatura, las fuerzas iónicas, pH del medio, las sustancias químicas, entre otros.

Por otro lado, los sistemas de polímeros pueden ser sintetizados física o químicamente. En la unión física la sustancia/fármaco está embebido en la malla polimérica de dosificación, ya sea mezclando el fármaco con la solución del gel para quedar retenido en la red que se forme al gelificar, o a través del sumergimiento y humectación del hidrogel en una solución del fármaco. Mientras que en la segunda opción, el fármaco se encuentra adherido a la matriz químicamente, donde el enlace covalente entre estos debe ser estable e hidrolizable. [66]

Entre las principales ventajas que este posee, está su compatibilidad por su gran cantidad de agua adherida al hincharse, lo que aumenta su nivel de hidrofilia reduciendo la tensión interfacial; su grado de permeabilidad a distintos solutos puede variar si se ajusta el monómero o las condiciones de elaboración del hidrogel; y permite una liberación controlada de sustancias como fármacos.[80]

Los hidrogeles tienen la capacidad de ser cargados o saturados con distintos medicamentos o compuestos, según la aplicación deseada, y pueden liberarlos en cierto flujo según el coeficiente de difusión de los mismos a través de la red del hidrogel. Esto puede controlarse ya sea utilizando métodos físicos o químicos para disminuir la velocidad de liberación, o modificando la porosidad del hidrogel mediante la adición de reticulantes o entrecruzadores, donde al haber mayor cantidad de reticulantes, menor espacio disponible entre las cadenas del polímero, y por lo tanto mayor tiempo tardará la sustancia en difundirse. Esto también depende de las propiedades y tamaño de partícula del compuesto a difundir. [81]

7.5.4. Tecnología de liberación controlada

Este es un método eficaz creado como una opción alterna a los sistemas convencionales de liberación de sustancias, generalmente fármacos, que busca un control en la dosificación constante de los mismos a través de cierto tiempo, asegurando una administración de una concentración que esté por encima del nivel mínimo efectivo y que no pase el nivel mínimo tóxico de la sustancia. [66]

En los hidrogeles, la velocidad de difusión del fármaco se ve influida por la estructura de

la matriz polimérica y las interacciones hidrogel-sustancia activa. Entre los principales tipos de liberación controlada por difusión, está la dada por difusión, a través del hinchamiento y la liberación química. En el proceso de difusión, el fármaco atraviesa los poros o espacios entre las cadenas del gel, y se ve condicionado por la estructura de este y la concentración de la sustancia. En la liberación controlada por el hinchamiento, la sustancia está disuelta en el gel luego de haber pasado por un proceso de liofilizado. Al entrar en contacto con el agua, la absorbe al pasar esta por los espacios de la matriz, provocando que se hinche y se formen dos fases, la vítrea y la plástica. La sustancia pasa de la fase inicial a la plástica para ser liberada. [82]

También está la liberación controlada químicamente, donde se suelta la sustancia a causa de las reacciones internas, tales como rompimiento de las cadenas por hidrólisis. Están los sistemas erosionables, donde se libera la sustancia por la disolución del polímero. [82]

Generalmente, es mayormente utilizada el método físico, donde se incorpora el fármaco en un gel seco/xerogel al someterlo a un proceso de hinchamiento-deshinchamiento en una solución de la sustancia (métodos *ex situ*). Se utiliza este método por su facilidad de realización y bajo costo. Sin embargo, los polímeros utilizados deben tener una alta capacidad de absorción y retención luego de someterlo en la solución concentrada.

7.5.5. Alginato

Los alginatos son una familia de polisacáridos aniónicos naturales, que se encuentran en algas marinas. En las algas pardas, este actúa como un componente estructural en la matriz intercelular, proporcionando fuerza esquelética y flexibilidad. Los alginatos comerciales, los cuales se encuentran como sales mixtas de sodio, magnesio, calcio y estroncio, se extraen principalmente de estas algas. Su solubilidad se ve influenciada por el pH, ya que este es insoluble en soluciones de bajo pH, menor al pKa por la protonación del grupo carboxilo. [83]

Una de sus propiedades más importantes es la capacidad para formar geles iónicos. Esta se encuentra explicada por el "modelo de caja de huevos" como resultado de la afinidad selectiva hacia los cationes. Los residuos G enlazados de forma diaxial en los segmentos del bloque G proporcionan huecos que promueven una alta afinidad hacia los cationes, especialmente cationes divalentes; formando geles fuertes por su alto grado de reticulación. Sin embargo, las características del hidrogel se verán afectadas según del agente reticulante utilizado y la composición del alginato. [84]

Generalmente el alginato es ampliamente utilizado en la industria alimentaria como emulsificante y estabilizante por su interacción con las proteínas, grasas y fibras. (August *et al.*, 2006) [85] Una de las mayores ventajas del mismo es su biocompatibilidad e inmunogenicidad en los productos farmacéuticos, lo cual es debido a su hidrofiliidad. También como ventaja es que por su capacidad gelificante, permite encapsular sustancias y las protege de algún riesgo de ser dañadas. [86]

7.5.6. Cobertura

Las multicapas o la técnica “Layer by Layer” tienen una alta versatilidad de usos por su flexibilidad en el diseño y materiales de la estructura a cubrir. Los materiales requeridos para su fabricación son sencillos y accesibles económicamente, lo que favorece la viabilidad del método para una aplicación práctica. El ensamblaje se puede realizar en un medio acuoso y no requiere condiciones químicas específicas. Estas multicapas están compactadas densamente de una manera muy leve, lo que permite la liberación de fármacos por difusión a través de las capas. [87]

7.5.7. Espectroscopía de absorción atómica de llama

Este análisis permite la determinación cualitativa y cuantitativa de distintos elementos, tales como metales. Consiste inicialmente en la atomización de la muestra, la cual se volatiliza y se convierte en átomos e iones en forma de gas; la calidad de este proceso va a determinar la sensibilidad y precisión de este método. La atomización en forma general consiste en la nebulización (convierte la solución en un spray o neblina) de la solución del analito, luego la desolvatación del spray a un aerosol (suspensión de partículas líquidas o sólidas divididas en un gas), seguido de su volatilización para la obtención de moléculas gaseosas, donde los analitos son excitados con energía de la llama y liberan energía en forma de fotones/radiación a distintas longitudes de onda, emitiendo líneas de resonancia. Cabe resaltar que la temperatura de la llama determina la eficiencia del proceso de atomización y la cantidad de átomos excitados. [88]

7.5.8. Análisis de varianza

La varianza es una medida basada en la diferencia entre el valor de cada observación/-factor y la media, valor conocido como desviación respecto de la media. Para calcular la varianza, estas desviaciones se deben elevar al cuadrado. (Anderson *et al.*, 2012) Esta se utiliza para aislar y estimar las varianzas de las matrices desarrolladas, permite identificar si los análisis realizados difieren significativamente y es una técnica que compara los niveles de un factor que orienta a la selección de la opción más apropiada. [63]

7.6. Metodología

7.6.1. Materiales y equipo (Ver anexos para especificaciones)

- Solución de plata coloidal proporcionada por fabricante de unidades filtrantes
- Sulfato de zinc grado reactivo marca Químicos Ferkica
- Alginato de sodio grado reactivo marca ChemCenter
- Aditivo alimenticio D-(+)-Glucono-delta-lactone (GDL) marca Merck

- Carbonato de Calcio marca Merck
- Ácido Clorhídrico fumárico 37 % marca Merck
- Hidróxido de Sodio concentrado marca Merck
- Cajas Petri marca Sartorius con 5.5 cm de diámetro
- Beaker de 1 L marca Pyrex
- Balón aforado de 25 ml marca Pyrex
- Pipeta volumétrica de 5 ml marca Pyrex
- Tubos de ensayo con tapadera marca Pyrex
- Gradilla para tubos de ensayo
- Agitador magnético
- Termómetro PASCO con precisión de 0.01 °C
- Potenciómetro HANNA con precisión de ± 0.01 pH
- Estufa eléctrica de laboratorio con agitación magnética marca Barnstead International, modelo SP131325
- Balanza analítica marca METTLER TOLEDO modelo ME204 con incertidumbre de ± 0.0001 g
- Espectrofotómetro de absorción atómica PerkinElmer PinAAcle 900F

7.6.2. Determinación estabilidad entre plata coloidal y zinc

Se preparó una mezcla de sulfato de zinc con la solución de plata coloidal proporcionada por ecofiltro. Para esto se pesaron 0.03 g de sulfato de zinc grado reactivo marca Químicos Ferkica en una balanza analítica marca OHAUS con incertidumbre de ± 0.0001 g, los cuales se adicionaron a un beaker con la solución de plata coloidal, la cual consiste de 1 ml de plata coloidal con 20 ml de agua destilada. Se mezcló con una varilla y se dejó reposar a temperatura ambiente por cinco minutos, y se evaluó si había reacción entre estos o se formaba un precipitado.

7.6.3. Hidrogel

Preparación hidrogel de alginato

Se utilizó como referencia el método utilizado por Straccia, M. *et al.*, 2015, donde inicialmente se midieron en un beaker de capacidad de 1000 ml marca Pyrex, 500 ml de agua destilada. Luego se pesaron en una balanza analítica marca OHAUS con incertidumbre de ± 0.0001 g, 1 g de carbonato de calcio marca Merck y 0.5 g de sulfato de zinc grado reactivo

marca Químicos Ferkica y se diluyeron en el agua con un agitador magnético en una estufa eléctrica de laboratorio con agitación magnética marca Barnstead International, modelo SP131325. Se llevó la solución a 70°C. Se realizaron pruebas con valores de pH de 3, 5.6 y 7 para evaluar las mejores condiciones para producir un hidrogel firme y resistente. Para llegar a los valores de pH con los que se trabajó, se utilizó HCl y NaOH 1M marca Merck. Se trabajó con un pH neutro de 7 ya que a este valor se obtuvo la mejor consistencia del hidrogel.

Seguido de esto se pesaron en la balanza analítica 5 g de alginato de sodio grado reactivo marca ChemCenter y se agregaron lentamente a la mezcla, asegurando una agitación constante vigorosa. Luego se pesaron y agregaron 5 g del aditivo GDL marca Merck. Se mezcló todo por cinco minutos a 70°C (se utilizó un termómetro PASCO con precisión de 0.01 °C) e inmediatamente se vertió dentro de la unidad filtrante, donde se distribuyó con una espátula en el fondo y a lo largo de todas sus paredes hasta asegurar una capa lisa. Por último, se dejó que el filtro absorbiera el gel y se secara por un tiempo aproximado de una hora.

Luego de lavar el filtro como lo indica el distribuidor del mismo (con agua y jabón utilizando una esponja), se dejó pasar agua por este, y se desecharon las primeras dos tandas de agua para eliminar cualquier tipo de suciedad restante. Se procedió a tomar una muestra de 5 ml de agua cada día utilizando una pipeta volumétrica de 5 ml (para asegurar tomar una cantidad exacta cada día) y se colocó en tubos de ensayo previamente rotulados para luego ser analizadas por espectroscopía de absorción atómica.

Tiempo gelificación

Se utilizó el método indicado por Straccia, 2015. A pesar de que el gel fue absorbido por el filtro, se tomaron 10 ml de la solución preparada y se vertió en cajas Petri marca Sartorius con 5.5 cm de diámetro para dejarlas gelificar a temperatura ambiente por 24 horas. Las cajas Petri se inclinaron constantemente, y la solución se clasificó como gel cuando esta ya no fluía al mantener la caja en un ángulo de 45° por 30 segundos.

Pérdida de agua del hidrogel sin hidratar

Los hidrogeles elaborados y colocados en cajas Petri se pesaron en una balanza analítica marca OHAUS con incertidumbre de ± 0.0001 g cada día por 15 días para ver si se observaba pérdida de peso. Esto se realizó en triplicado.

Hinchazón

Se utilizó el método indicado por Straccia, 2015. Los hidrogeles gelificados se sumergieron en un beaker marca Pyrex con 500 ml de agua destilada, se extrajeron y pesaron en una balanza analítica marca OHAUS con incertidumbre de ± 0.0001 luego de secarlos ligeramente con papel cada día por 15 días para evaluar su comportamiento. Cada medición se realizó en triplicado.

Presencia de zinc en agua

Para la evaluación principal se sumergió el hidrogel preparado en un beaker marca Pyrex con 500 ml de agua destilada, y se recaudó una muestra de 5 ml de agua cada día utilizando una pipeta volumétrica de 5 ml y se colocó en tubos de ensayo previamente rotulados, para ser analizados por el equipo de espectroscopía de absorción atómica.

Luego se evaluó si había liberación de zinc del hidrogel en la unidad filtrante. Para esto se colocó 100 ml del hidrogel preparado en el fondo de la unidad filtrante y se esperó a que esta lo absorbiera. Se lavó y se desecharon las primeras dos tandas de agua para eliminar restos de suciedad. Posterior a esto, se tomó una muestra de 5 ml de agua cada cinco días con una pipeta volumétrica, para ser analizada por espectroscopía.

Para la prueba final, se colocó el hidrogel en la unidad filtrante, de manera que este estuviese distribuido equitativamente en el fondo y en las paredes de la misma hasta asegurar una capa lisa en todo el interior del filtro. Se dejó que este absorbiera el gel y se secara por un tiempo aproximado de una hora. Luego de lavar el filtro y de desechar las primeras dos tandas de agua para eliminar cualquier tipo de suciedad restante, se procedió a tomar una muestra de 5 ml de agua cada día utilizando una pipeta volumétrica y se colocó en tubos de ensayo previamente rotulados para luego ser analizadas por espectroscopía de absorción atómica.

Para poder analizar las muestras, se realizó previamente una curva de calibración (concentración en mg/L vs. absorbancia $\lambda = 213.9$) de zinc para poder identificar presencia del micronutriente en el agua. Para elaborarla fue necesario realizar una solución madre donde se disolvió 0.552 g de zinc puro con 2 ml de ácido clorhídrico. Luego se agregó 1% (v/v) de ácido clorhídrico y se aforó a 1 litro con agua destilada. Se tomaron valores de 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 y 1.0 mg/L de zinc respectivamente. Para realizar estos estándares se utilizó la ecuación de $C1V1 = C2V2$, teniendo como C2 la concentración deseada (ej: 0.2 mg), V2 el volumen del estándar que se deseaba preparar (25 ml), C1 los 0.552 mg de zinc utilizados para elaborar la solución madre y se deseaba encontrar V1, siendo esta la cantidad de ml de que se iban a adicionar de la solución madre. El V1 encontrado se agregó a un balón marca Pyrex con capacidad de 25 ml y se aforó con agua destilada, procediendo a agitar manualmente para asegurar una adecuada mezcla.

Análisis de varianza (ANOVA)

Se utilizó el programa de Excel para identificar si diferían los datos. Se programó de la siguiente manera: Datos, análisis de datos, análisis de varianza de un factor. En el rango de entrada se colocó la matriz de datos (número de réplicas y lotes), con un valor $\alpha=0.005$. En el rango de salida se seleccionó la celda donde se deseaba que apareciera la tabla de resultados y se dió click a “aceptar”. Se obtuvo una tabla con un resumen de los datos analizados, con el promedio y la varianza de cada uno, así como una tabla del análisis de varianza, donde se obtuvo la suma de cuadrados, los grados de libertad, el promedio de los cuadrados e,

valor F, la probabilidad y el valor crítico para F. Basado en los datos obtenidos, se analizó si había o no diferencia entre los datos. El valor de F debía ser mayor o igual al valor crítico de F para que hubiese diferencia significativa.

7.6.4. Cobertura

Preparación solución de cobertura

Se preparó una solución inicial con concentración de 1 g/L de sulfato de zinc en agua destilada. Para esto se pesó 1 g sulfato de zinc marca Químicos Ferkica en una balanza analítica marca OHAUS con incertidumbre de ± 0.0001 g, el cual se disolvió con 2 ml de ácido clorhídrico marca Merck en un beaker dentro de una campana de extracción, y se aforó con agua destilada a 1 litro. Se llevó la solución a pH de 7 con NaOH 1M agitando constantemente con un agitador magnético hasta lograr el pH. Para las pruebas finales, se realizó de la misma manera una cobertura agregando 5 g/L del sulfato de zinc en agua destilada y se disolvió con HCl y llevó a pH 7 con NaOH 1M, y otra cobertura de 5 g/L agregando únicamente 5 g/L de sulfato de zinc en agua destilada, se mezcló con agitador magnético por cinco minutos, sin disolver previamente en ningún ácido.

Recubrimiento

Se colocó la solución preparada en contenedores de 30 cm de diámetro y 30 cm de alto aproximadamente y se sumergió la estructura cerámica filtrante en el medio de fortificación para lograr un recubrimiento. Se debe dejar sumergida hasta que se observe que está húmeda por dentro. Se dejó secar al aire libre por cuatro horas y, cuando estaba seco, se volvió a sumergir en la solución de zinc. Se continuó con el proceso hasta formar tres capas de recubrimiento. Se debe asegurar que antes de sumergir la unidad filtrante, se debe mezclar con una varilla de agitación la solución para asegurar que no queden partículas de zinc en el fondo del contenedor, ya que al estar suspendidas en el agua, se asegura que se adhieran de mejor manera al filtro.

Presencia de zinc en agua

Para la evaluación principal se analizó si había liberación de la cobertura colocada en la unidad filtrante con concentración de 1 g/L, donde el filtro se lavó y se desecharon las primeras dos tandas de agua. Posterior a esto, se tomó una muestra de 5 ml de agua cada cinco días utilizando una pipeta volumétrica de 5 ml y se colocó en tubos de ensayo previamente rotulados, para ser analizadas por el equipo de espectroscopía de absorción atómica.

Para la prueba final se dejó fluir agua por la unidad filtrante con recubrimiento de zinc con concentración de 5 g/L, tanto para la solución con HCl y sin HCl, y se recaudó una muestra de 5 ml de agua cada día con una pipeta volumétrica de 5 ml para ser analizada por el equipo de espectroscopía de absorción atómica. Para poder analizar las muestras, se realizó previamente una curva de calibración (concentración en mg/L vs. absorbancia $\lambda =$

213.9) de zinc para poder identificar presencia del micronutriente en el agua. Para elaborarla fue necesario realizar una solución madre donde se disolvió 0.552 g de zinc puro con 2 ml de ácido clorhídrico. Luego se agregó 1 % (v/v) de ácido clorhídrico y se aforó a un litro con agua destilada. Se tomaron valores de 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 y 1.0 mg/L de zinc respectivamente. Para realizar estos estándares se utilizó la ecuación de $C_1V_1 = C_2V_2$, teniendo como C_2 la concentración deseada (ej: 0.2 mg), V_2 el volumen del estándar que se deseaba preparar (25 ml), C_1 los 0.552 mg de zinc utilizados para elaborar la solución madre y se deseaba encontrar V_1 , siendo esta la cantidad de ml de que se iban a adicionar de la solución madre. El V_1 encontrado se agregó a un balón marca Pyrex con capacidad de 25 ml y se aforó con agua destilada, procediendo a agitar manualmente para asegurar una adecuada mezcla.

Patrón	Volumen solución madre (ml)	Concentración (mg/L)
1	0.01	0.2
2	0.02	0.4
3	0.03	0.6
4	0.04	0.8
5	0.05	1.0

Cuadro 14: Estándares de zinc utilizados para curva de calibración

Análisis de varianza (ANOVA)

Se utilizó el programa de Excel para identificar si diferían los datos. Se programó de la siguiente manera: Datos, análisis de datos, análisis de varianza de un factor. En el rango de entrada se colocó la matriz de datos (número de réplicas y lotes), con un valor $\alpha=0.005$. En el rango de salida se seleccionó la celda donde se deseaba que apareciera la tabla de resultados y se dió click a “aceptar”. Se obtuvo una tabla con un resumen de los datos analizados, con el promedio y la varianza de cada uno, así como una tabla del análisis de varianza, donde se obtuvo la suma de cuadrados, los grados de libertad, el promedio de los cuadrados e, valor F, la probabilidad y el valor crítico para F. Basado en los datos obtenidos, se analizó si había o no diferencia entre los datos. El valor de F debía ser mayor o igual al valor crítico de F para que hubiese diferencia significativa.

7.7. Resultados

Se desarrolló dos opciones de matrices de fortificación de zinc, un hidrogel polimérico de liberación controlada y una cobertura de zinc, ambas adaptadas a la unidad filtrante. Se Del hidrogel se evaluó el tiempo de gelificación, la pérdida de agua del hidrogel sin hidratar en un lapso de tiempo y la hinchazón del mismo. Tanto del hidrogel como de la cobertura se analizó su funcionalidad y su capacidad de dosificación de zinc en el agua a lo largo del tiempo.

A continuación se presentan los diagramas de flujo con el proceso utilizado para la elaboración del hidrogel, las coberturas con y sin HCl, y el proceso estandarizado de la cobertura seleccionada para su implementación industrial.

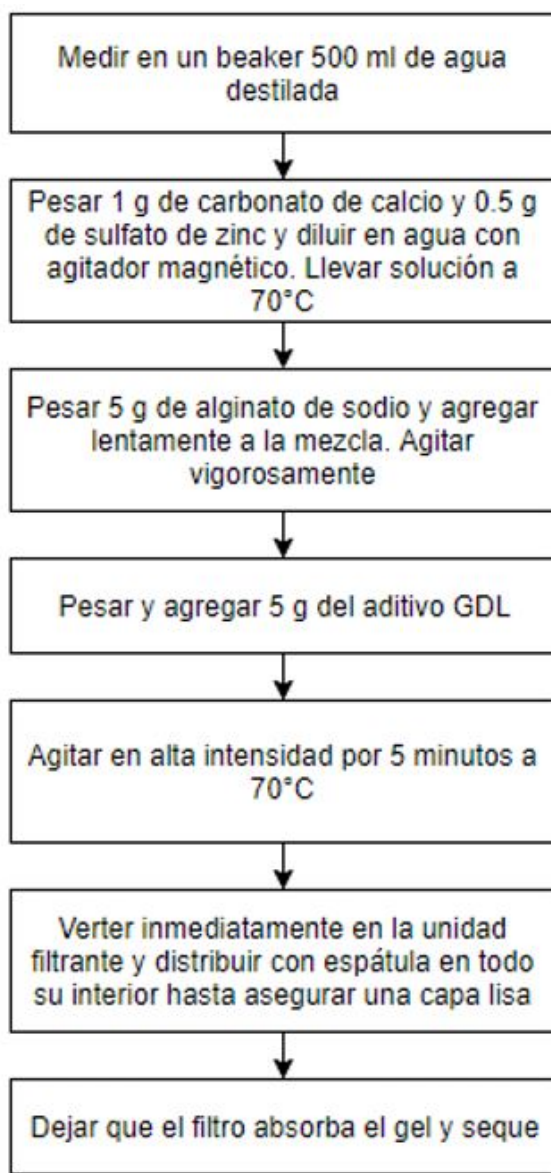


Figura 16: Procesamiento elaboración hidrogel

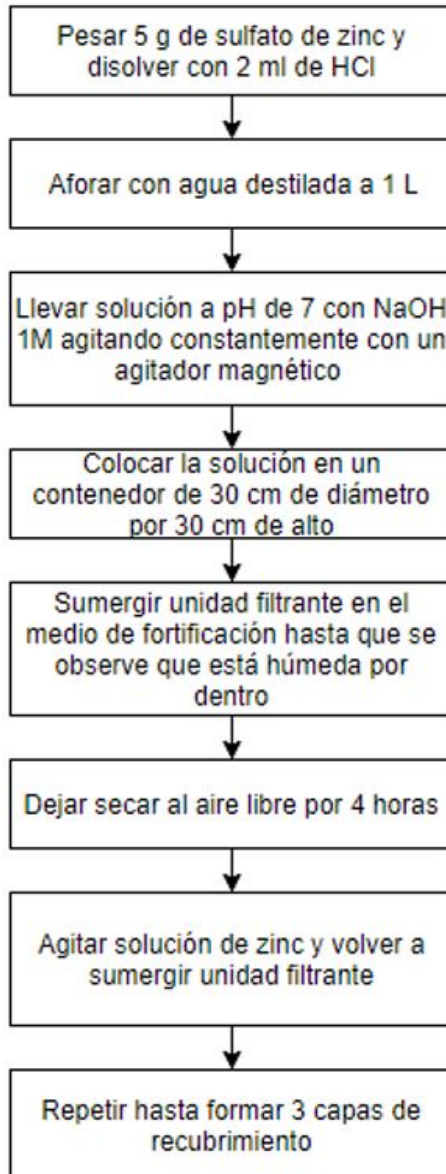


Figura 17: Procesamiento elaboración cobertura con HCl

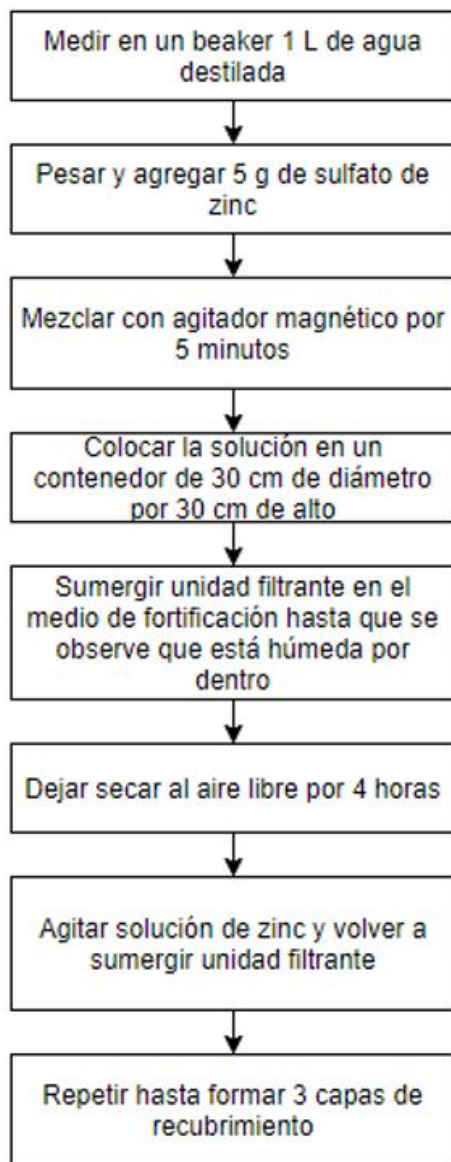


Figura 18: Procesamiento elaboración cobertura sin HCl

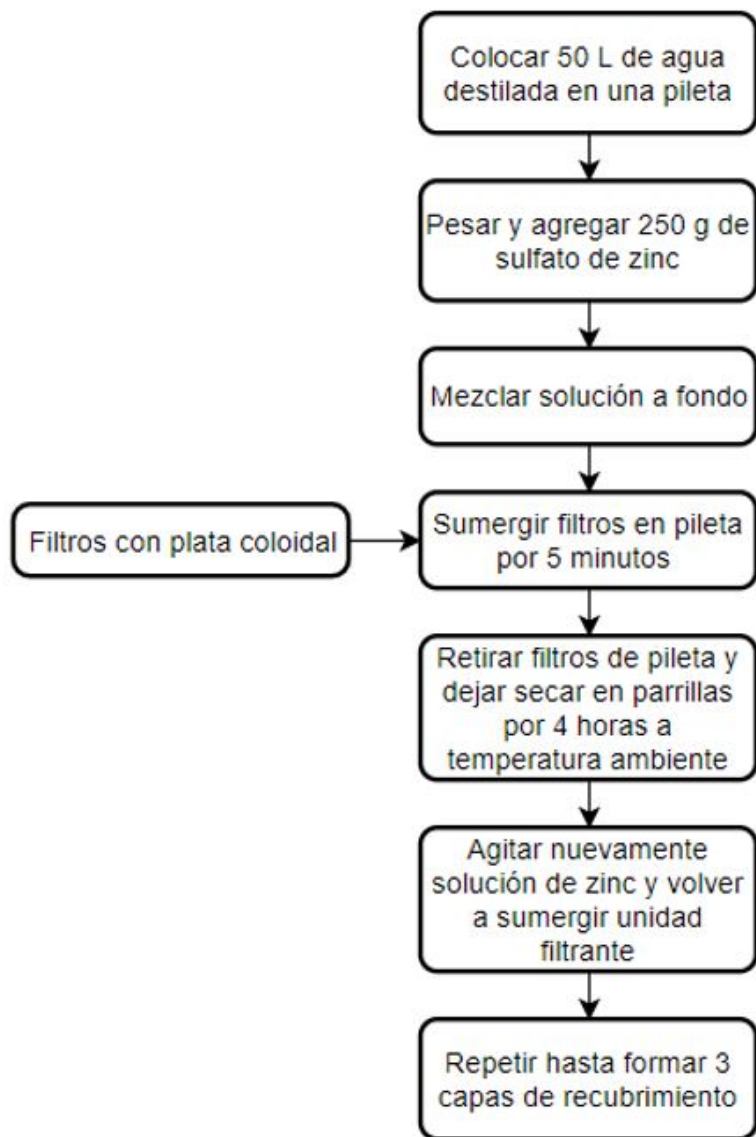


Figura 19: Proceso estandarizado de elaboración matriz seleccionada para implementación industrial

Este diagrama de bloques se adecuó al proceso de elaboración de la unidad filtrante, teniendo como meta el desarrollo y la estandarización de un proceso sencillo en para su implementación industrial. Se tomó en cuenta la simplicidad con la que trabajan la plata coloidal en los filtros, sugiriendo así un área similar destinada para el recubrimiento de zinc, siendo esta una pileta donde se coloque la solución de sulfato de zinc para ser sumergidas las unidades filtrantes. Luego se dejarían secar en las parillas que se encuentran sobre la pileta (ver anexos para recomendación de área de implementación) para poder repetir el proceso hasta formar las 3 capas de recubrimiento. Inicialmente se evaluó la estabilidad de la plata coloidal con zinc puro y con el sulfato de zinc, colocando 30 mg/L del compuesto en la solución de plata coloidal. Se pudo observar al agregar el sulfato de zinc la formación de un precipitado (ver anexos) , el cual se da como resultado de la siguiente reacción: Zn_2SO_4

+ Ag \rightarrow Ag₂SO₄ + Zn² donde el zinc es el compuesto que se precipita.

Cabe resaltar que se realizaron una serie de pruebas para lograr la consistencia deseada del hidrogel, donde se tomó en cuenta variaciones de pH. Se trabajó con pH de 3, 5.6 y 7; todas con la misma cantidad de sulfato de zinc, alginato, GDL y carbonato de calcio. El tiempo de gelificación se ve influenciado principalmente por la concentración de iones de calcio presentes. Así mismo, un exceso del aditivo GDL, en conjunto con el carbonato de calcio, que en este caso fue una relación de 5:1, acelera aún más la gelificación debido a que se da una disolución más rápida del carbonato [84]. La adición de GDL provoca también la liberación de cationes reticulantes provenientes del carbonato de calcio, los cuales reducen la porosidad del hidrogel, obteniendo menor espacio disponible entre las cadenas del polímero, y por lo tanto permite que la liberación de zinc tarde más tiempo [81].

En cuanto a la muestra preparada con pH de 3, no poseía firmeza ya que no gelificó completamente, por lo que no era el resultado esperado para un hidrogel. En cuanto a la prueba con pH = 5.6, esta sí tomó la forma circular de la caja Petri donde se colocó y era más firme, pero fue considerado un hidrogel débil ya que no era tan resistente al momento de manipularlo porque se rompía. Finalmente se decidió realizar el hidrogel con un pH = 7, el cual permitió obtener el hidrogel con las características esperadas, ya que gelificó casi instantáneamente, tomó la forma del envase en el que se colocó, era firme y resistía su manipulación. Por esto mismo, este último hidrogel con pH neutro fue el seleccionado para realizar todas las pruebas indicadas, entre estas, tiempo de gelificación, pérdida de agua con el tiempo y liberación de zinc una vez colocado en la unidad filtrante.

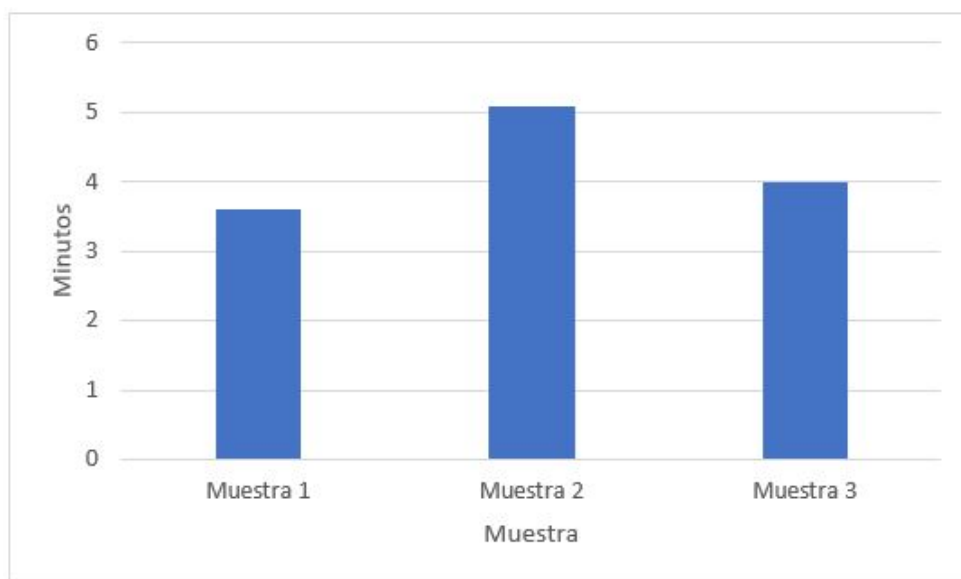


Figura 20: Tiempo de gelificación de hidrogeles a temperatura ambiente

Como se puede observar en el, las muestras de hidrogel colocadas en cajas Petri tuvieron un tiempo de gelificación de 3.6, 5.1 y 4.0 minutos, con una media de 4.23 minutos. El tiempo empezó a tomarse desde que los 10 ml de la solución del hidrogel fueron colocados

en la caja Petri y las muestras fueron clasificadas como gel cuando, luego de inclinarlas constantemente, estas ya no fluían al mantener la caja en un ángulo de 45° por 30 segundos.

El tiempo de gelificación se ve influenciado por la concentración de iones de calcio, así que entre mayor concentración de calcio posea la muestra, más rápida será su gelificación. Así mismo, el alginato tiene la capacidad para formar geles iónicos y posee una alta afinidad por cationes divalentes, en este caso el calcio del carbonato de calcio adicionado, lo que facilita la formación de un gel fuerte por su alto grado de reticulación.

También el aditivo GDL actúa como donador de protones, y va liberando iones de calcio mientras que se protona el carbonato de calcio. Así mismo, este provoca una acidificación parcial de los grupos carboxilato, lo que lleva a la gelificación mediante enlaces de hidrógeno. [84]

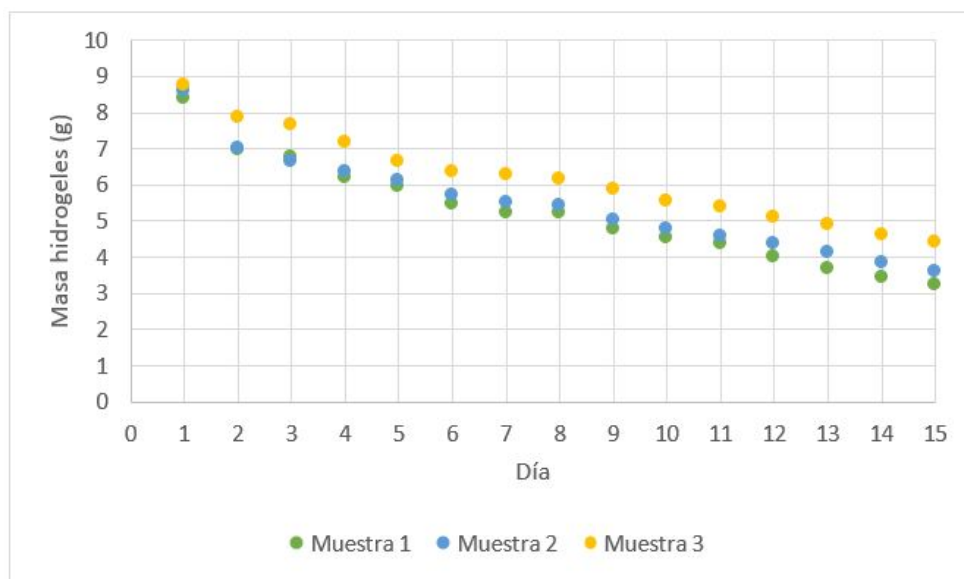


Figura 21: Curva de pérdida de agua de muestras de hidrogeles durante 15 días

Los hidrogeles elaborados y previamente clasificados como “geles”, se secaron ligeramente con papel y se pesaron en una balanza analítica durante 15 días para analizar la pérdida de agua de los mismos a través del tiempo. Como se puede observar, en el primer día disminuyeron un poco más de 1 gramo en peso, mientras que en el resto de los días hubo una disminución variable de entre 0.1 g hasta 0.4 g, lo cual es casi despreciable.

Por lo que se podría decir que en la primera quincena luego de formado el hidrogel, no hay una diferencia significativa de pérdida de agua. Sin embargo, cabe mencionar que estas muestras de hidrogel estaban en seco dentro de las cajas Petri; y una fuente de error fue el no haber secado con papel la misma cantidad de agua todos los días, por lo que pudo haber variado los pesos obtenidos.

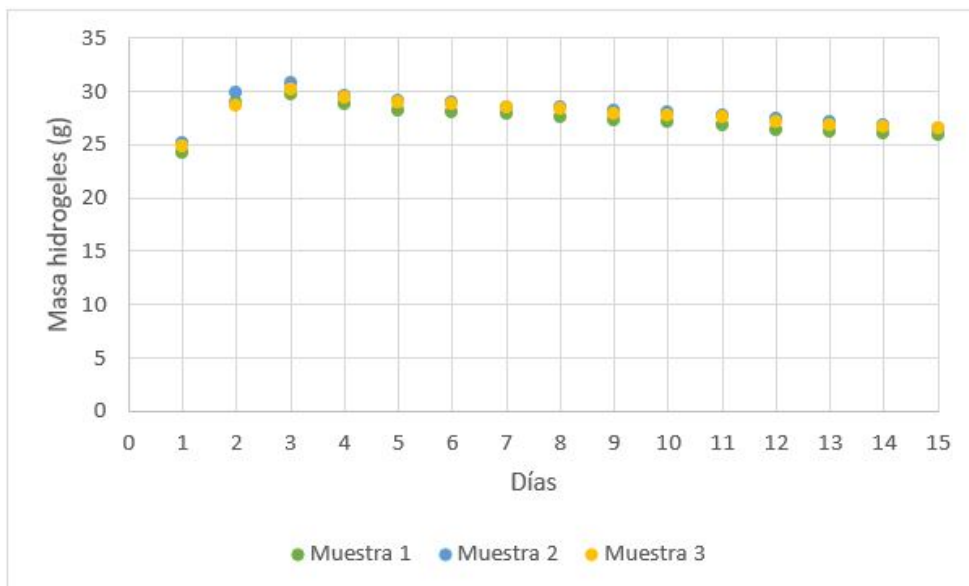


Figura 22: Curva de hinchazón de muestras de hidrogeles durante 15 días

Porcentaje de aumento y pérdida de masa	
Día	Porcentaje
1	0 %
2	16.1 %
3	2.7 %
4	-3,7 %
5	-1.7 %
6	-0.8 %
7	-1.3 %
8	-0.2 %
9	-1. %
10	-0.7 %
11	-0.9 %
12	-1.0 %
13	-1.3 %
14	-1.2 %
15	-0.9 %

Cuadro 15: Porcentaje de aumento y pérdida de masa del hidrogel durante 15 días

En cuanto a la hinchazón del hidrogel al momento de estar sumergido en agua destilada, se pudo observar que las 3 muestras analizadas tuvieron un comportamiento muy similar, donde durante los primeros dos días el gel absorbió aproximadamente 5 gramos de agua, al tercer día disminuyeron 1 gramo su peso y a partir del cuarto día hubo una disminución diaria promedio de 0.2 g hasta el día 15, donde finalizó la medición. La pérdida notoria del tercer día es un indicador del momento en el que el gel, luego de hidratarse, empezó a liberar

el zinc. Este suceso se ve también reflejado en la gráfica de liberación de zinc del hidrogel de prueba colocado en la unidad filtrante, ya que esta evidenció disminuciones significativas en cada día que fue tomada la muestra de agua.

Se puede observar que los primeros dos días aumentó un 16 % su masa en agua, representando esto la cantidad de agua absorbida por el hidrogel en los primeros días. Luego, a partir del tercer día, se observa que este empieza a disminuir inicialmente un 3.7 % su masa en agua, y el resto de días evaluados redujo alrededor de 1.0 % su masa, siendo este el porcentaje de liberación de zinc encapsulado en el hidrogel.

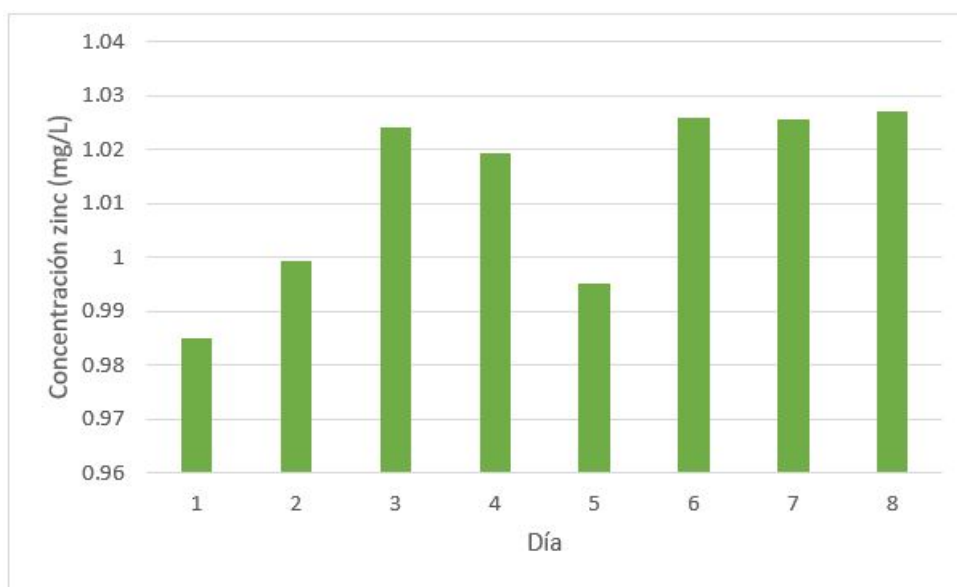


Figura 23: Mediciones iniciales de zinc en agua del hidrogel en contacto directo con el agua

Para la evaluación inicial del hidrogel, donde este se sumergió en agua destilada y se analizó una muestra de agua cada día por espectroscopía de absorción atómica, se podría decir que la dosificación de zinc se mantuvo constante a lo largo de los 8 días que se realizó la medición, dosificando entre 0.98 y 1.02 mg de zinc por litro. Este análisis se realizó con el único propósito de ver si el hidrogel liberaba zinc al hidratarse, y el motivo por el cual se mantuvo constante la dosificación en cada día, fue porque el gel se mantuvo en la misma muestra de agua todo el tiempo, provocando que siempre hubiese presencia del micronutriente.

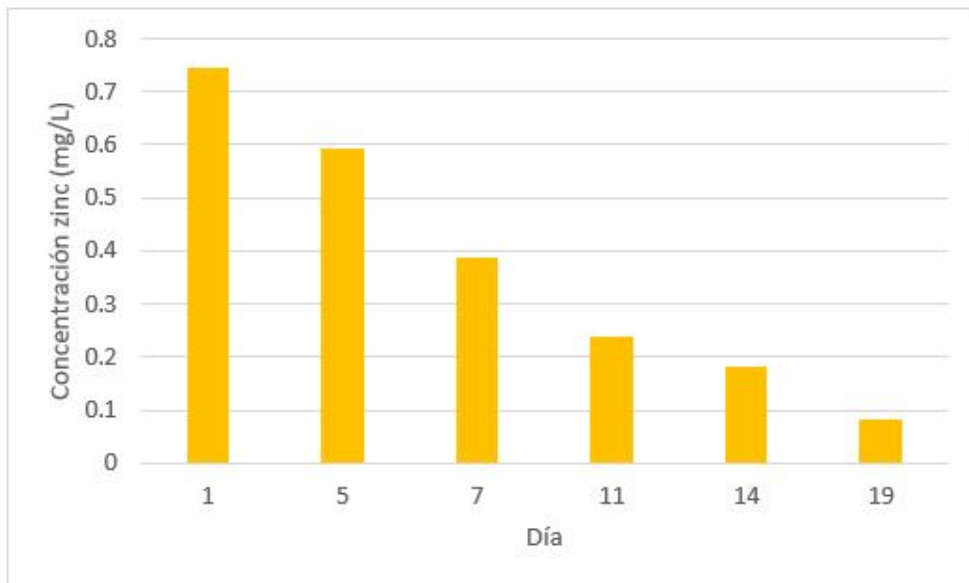


Figura 24: Mediciones de zinc en agua del hidrogel colocado en unidad filtrante

Luego se evaluó si había liberación de zinc del hidrogel colocado en el fondo de la unidad filtrante. Cabe resaltar que la unidad filtrante absorbió los 100 ml del hidrogel colocados, provocando que no hubiera visibilidad del mismo cuando el filtro se encontraba libre de agua, únicamente se miraba brillante el fondo donde había sido absorbido el hidrogel.

Pero al momento de llenar el filtro de agua para su funcionamiento de filtración normal, el gel absorbido por este se hidrataba y se notaba una pequeña capa en el fondo del filtro. Para tomar las muestras fue necesario lavar el filtro y desechar las primeras dos tandas de agua (como lo indica el instructivo de uso del fabricante). Posterior a esto, se analizó una muestra de agua cada cierto número de días por espectroscopía de absorción atómica. Se puede observar que la dosificación de zinc inició con una alta concentración los primeros 5 días, liberando aproximadamente 0.68 mg/L, y a partir del séptimo día fue reduciendo gradualmente un aproximado de 0.1 mg/L hasta llegar al día 19 con una liberación de 0.083 mg/L. El comportamiento de liberación del hidrogel observado no es deseado ya que lo que se busca es que la dosificación se mantenga constante a lo largo de la vida útil del filtro que es de 2 años, y en este caso, luego del día 20 la matriz ya no estaría liberando zinc.

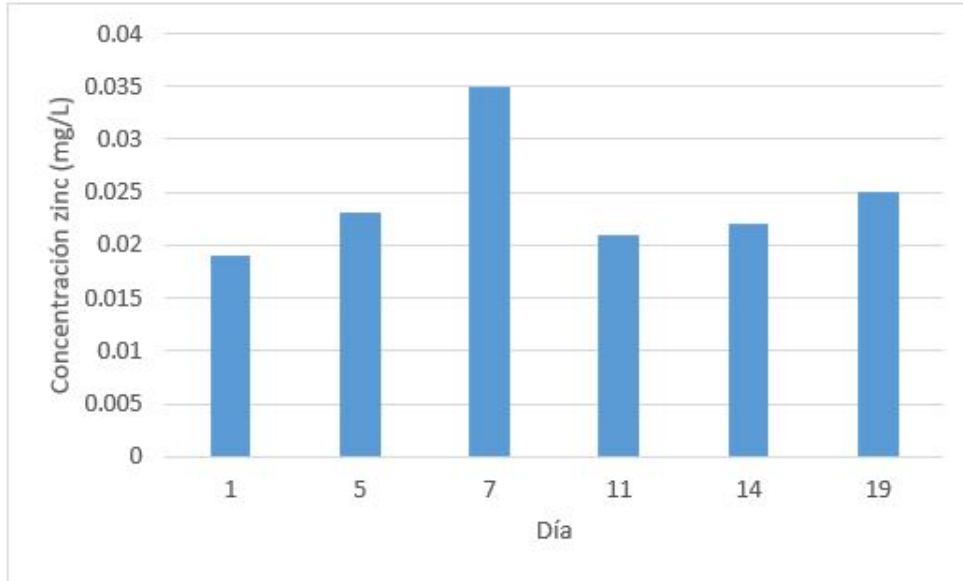


Figura 25: Mediciones de zinc en agua de cobertura con HCl colocada en unidad filtrante

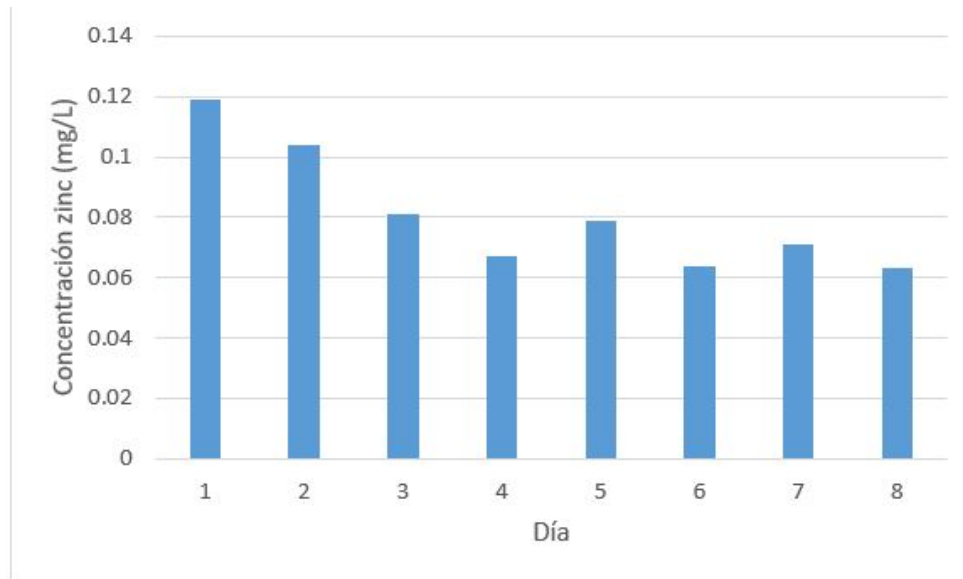


Figura 26: Mediciones de zinc en agua de cobertura sin HCl colocada en unidad filtrante

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Cobertura con HCl	8	1.299	0.162375	0.024377
Cobertura sin HCl	8	0.652333	0.0815417	0.000279

ANOVA

<i>Origen de Variaciones</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>Grados Libertad</i>	<i>Promedio Cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0.026136111	1	0.0261361	2.120049	0.16744	4.60011
Dentro de los grupos	0.172592972	14	0.0123281			
Total	0.198729083	15				

Figura 27: Resultados análisis de varianza de liberación de zinc en cobertura con HCl y sin HCl

Para la primera prueba de cobertura se realizó una solución en agua destilada con concentración de 5 g/L de sulfato de zinc el cual se disolvió con ácido clorhídrico y se llevó a un pH de 7 con NaOH 1M. Se puede observar que en el día 7 fue cuando mayor cantidad de zinc soltó, liberando 0.03 mg/L, mientras que el resto de días se mantuvo constante dosificando 0.02 mg/L durante 19 días.

Haciendo referencia a lo indicado en el trabajo “Determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante en un sistema viable de dosificación de zinc”, debido a que la percepción sensorial del agua liberada por esta cobertura fue “ácida” y con un sabor no muy agradable, se procedió a realizar una segunda cobertura agregando únicamente el sulfato de zinc en agua destilada, sin disolver en ácido. Se puede observar que los primeros dos días liberó 0.1 mg/L de zinc, y el resto de días se mantuvo dosificando de manera constante alrededor 0.07 mg/L.

Se realizó un análisis de varianza de la liberación de zinc de ambas coberturas, elaboradas con y sin HCl. Es importante mencionar que se evaluó la misma cantidad de datos de cada uno, tomando en cuenta los primeros 8 días de liberación de zinc y su concentración en el agua. Se obtuvo un valor de F de 2.120049 y un F crítico de 4.60011, y debido a que el $F \leq F$ crítico, se puede concluir que no hay diferencia significativa en el comportamiento (concentración de zinc liberada a lo largo del tiempo) de las coberturas evaluadas, por lo que se puede decir que ambas liberan zinc en el agua de manera similar y constante, sin importar que la matriz se haya elaborado con o sin HCl. Debido a los resultados de las pruebas sensoriales realizadas en el módulo previamente mencionado, y al análisis ANOVA, se procedió a trabajar y analizar esta cobertura, ya que no se le percibió ningún sabor desagradable ni fuera de lo común al agua liberada por la unidad filtrante.

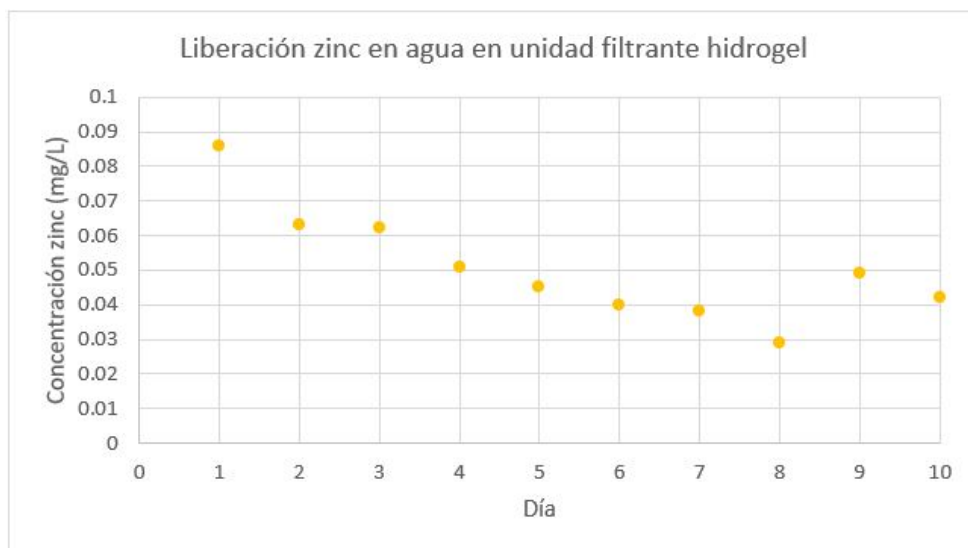


Figura 28: Mediciones finales diarias de zinc en agua del hidrogel en unidad filtrante

Se puede observar que este liberó el primer día 0.086 mg/L de zinc, mientras que el resto de días liberó aproximadamente 0.046 mg/L de zinc de manera constante, teniendo una disminución ligera en el día 8. Haciendo referencia en lo mencionado en el módulo “Evaluación de la dosificación, vida útil y absorción fisiológica de Zinc del sistema de fortificación integrado a la unidad filtrante elaborada artesanalmente”, al momento de evaluar la dosificación y vida útil del hidrogel, se observó que la velocidad de filtración del agua era más lenta en comparación con la unidad filtrante con recubrimiento, filtrando la misma cantidad de agua en casi el doble del tiempo. Esto puede ser debido a que el hidrogel se distribuyó homogéneamente dentro de todo el filtro a medida que hubiera presencia del hidrogel tanto en el fondo como en las paredes de la unidad filtrante (ver anexos), provocando que todo el filtro estuviera tapado por el gel, afectando la razón de filtración del mismo. Por esto mismo, y por lo indicado en el módulo “Determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante en un sistema viable de dosificación de zinc” donde se describe la falta de aceptación sensorial del agua liberada, se decidió descartar esta matriz ya que el hidrogel afectaba la funcionalidad del filtro y el sabor del agua liberada por el mismo.



Figura 29: Mediciones finales diarias de zinc en agua de cobertura en unidad filtrante

Haciendo referencia a lo indicado en el trabajo “Determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante en un sistema viable de dosificación de zinc”, debido a que la percepción sensorial del agua liberada por la cobertura realizada agregando únicamente el sulfato de zinc en agua destilada, aunque sí se distinguió cuál era la muestra diferente, no produjo ningún sabor desagradable ni fuera de lo común al momento de ingerirla, por lo que se procedió a realizar un análisis durante 20 días para evaluar su dosificación a lo largo de este tiempo. Se puede observar que inicialmente se tiene una liberación significativa de 0.5 mg/L de zinc, y luego disminuye a un valor aproximado promedio de 0.067 mg/L a lo largo de los 19 días restantes.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Hidrogel	10	0.505	0.0505	0.000265
Cobertura	10	1.42	0.142	0.020806

ANOVA

<i>Origen de Variaciones</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>Grados Libertad</i>	<i>Promedio Cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0.0418613	1	0.0418613	3.973488	0.061602	4.413873
Dentro de los grupos	0.1896325	18	0.0105351			
Total	0.2314938	19				

Figura 30: Resultados de análisis de varianza de mediciones finales de zinc en hidrogel y cobertura

Finalmente, se realizó un análisis de varianza entre las pruebas finales realizadas, evaluando así la dosificación de las unidades filtrantes con el hidrogel y con la cobertura. Es importante mencionar que se evaluó la misma cantidad de datos de cada uno, tomando en

cuenta los primeros 10 días de liberación de zinc y su concentración en el agua. Se obtuvo un valor de F de 3.97349 y un F crítico de 4.41387, y debido a que $F \leq F$ crítico, se puede concluir que no hay diferencia significativa en el comportamiento (concentración de zinc liberada a lo largo del tiempo) de las matrices evaluadas, por lo que se puede decir que ambas liberan zinc en el agua de manera similar y constante.

Debido a que no difieren las matrices en cuanto a la relación liberación de zinc vs tiempo, pero el hidrogel, como se mencionó anteriormente, afecta la percepción sensorial del agua y la funcionalidad del filtro (velocidad de filtración del agua), se decidió que la mejor opción de matriz de fortificación de zinc fue la cobertura, la cual no aporta ningún sabor indeseable al momento de ingerirla, posee una dosificación constante a lo largo del tiempo, es el método más sencillo que involucra la menor cantidad de reactivos y por lo tanto, es menos costoso, y es el que, haciendo referencia en lo mencionado en el módulo “Evaluación de la dosificación, vida útil y absorción fisiológica de Zinc del sistema de fortificación integrado a la unidad filtrante elaborada artesanalmente”, posee una vida útil de 19 meses, lo cual representa un 79% de la vida útil de la unidad filtrante, la cual es de 24 meses, siendo la cobertura la que más se adapta a este requerimiento.

Evaluación de la dosificación, vida útil y absorción fisiológica de zinc del sistema de fortificación integrado a la unidad filtrante elaborada artesanalmente

8.1. Resumen

La deficiencia de zinc se considera un problema mayor de salud pública en países en desarrollo. Los menores de edad son los más vulnerables a la deficiencia de este mineral debido al aumento de los requisitos y las infecciones frecuentes. El agua fortificada con zinc es una forma de mejorar la ingesta de zinc y reducir las infecciones diarreicas en estos grupos vulnerables.

El presente módulo evalúa la funcionalidad de la matriz de fortificación y su efecto en la salud de la población. Para ello se estudia en primer punto la absorción fisiológica de zinc por medio de un análisis *in vitro* del agua en el que se simula la digestión gastrointestinal. En segundo lugar, se evalúa la dosificación de zinc por medio de ensayos de laboratorio para investigar el efecto del patrón de uso y el tiempo de inactividad en los niveles de elución de zinc. Finalmente, se examinó la vida útil del sistema de fortificación integrado al equipo purificador de agua por medio de un método acelerado de filtración de agua.

Los resultados obtenidos de biodisponibilidad son coherentes con estudios previos. Se obtuvo una media del porcentaje de biodisponibilidad de 45.29 %, el cual permite cubrir el 41.71 % de la recomendación diaria recomendada para infantes, y el 29.08 % para adultos. Se establece que no existe diferencia en la concentración de zinc al variar el volumen de agua filtrada a diario en las matrices “Recubrimiento” y “Pastilla”. En cuanto al tiempo de vida útil de la matriz de fortificación de zinc “Recubrimiento”, y “Pastilla” este es de 10 meses y 5 meses, respectivamente. La matriz desarrollada denominada “Hidrogel” se descartó en el día 10 de estudio debido a que reducía la tasa de filtración de agua estándar del filtro artesanal.

En conclusión, los resultados fueron satisfactorios debido a que se lograron los objetivos. Se encontró en términos de dosificación de zinc y vida útil, que la mejor matriz es la de "Recubrimiento". Sin embargo, para futuras investigaciones relacionadas se recomienda realizar los análisis por un tiempo más prolongado, y ajustar la metodología de biodisponibilidad a la digestión de un menor de 0 a 6 meses, a fin de recrear de mejor manera el proceso de absorción de minerales.

8.2. Introducción

La deficiencia de zinc es uno de los principales y mayores problemas de salud pública en países en desarrollo. La fortificación de matrices alimentarias, como acción principal para combatir esta deficiencia, puede tener un limitado efecto debido a que la biodisponibilidad de este elemento es generalmente baja. La razón de su bajo impacto se debe a factores externos que inhiben la absorción, en el caso de Guatemala, su dieta rica en maíz, y por ende en fitatos, reduce su acción en el cuerpo humano.

Una posible estrategia para suministrar zinc es a través de agua potable ya que reduce los inhibidores de este mineral. Es importante que el agua que se va a utilizar como medio de fortificación sea cien por ciento potable y que la población tenga acceso a la misma. Por lo tanto, un factor substancial en el presente estudio es la alianza con la empresa Ecofiltro® debido a que poseen gran popularidad en el país, han demostrado inocuidad y seguridad, poseen una red de distribución que facilita llegar a sectores de interés, y además, es de fácil adquisición por su ayuda regalando filtros a familias de bajos recursos.

Para asegurar que la estrategia propuesta sea efectiva es necesario evaluar que la matriz fortificada posea las cantidades adecuadas del nutriente y que se emplee el compuesto con mejor absorción. Por ello, el presente módulo busca estudiar una adecuada funcionalidad de la matriz de fortificación y su efecto significativo en la salud de la población. El objetivo del mismo es evaluar la absorción fisiológica y la dosificación de zinc del sistema de fortificación integrado al equipo purificador de agua.

Asimismo, para garantizar que cualquier patrón de uso del filtro, debido a la cantidad de agua filtrada a diario, proporcione una liberación de zinc segura para los humanos, en esta sección se evalúa la frecuencia de uso. Además, se establece la vida útil de la matriz fortificadora con el fin de comprobar que la liberación del mineral no cambia por un tiempo definido.

En cuanto a la dosificación de zinc se realizan distintos análisis que permiten comprobar que la ingesta de este mineral cumple con los requerimientos diarios y que no excede los límites permitidos. Por lo tanto, este módulo cuenta con un proceso que permite la determinación de la biodisponibilidad del zinc, por medio de la simulación del tracto digestivo animal, y su relación con la dieta.

8.3. Antecedentes

De acuerdo con la Secretaria de Seguridad Alimentaria y Nutricional, el estado nutricional “ Es el reflejo de la forma en que se han cubierto las necesidades de energía y nutrientes del cuerpo” [89]. Guatemala ocupa el primer lugar dentro de los países que conforman América Latina y el Caribe en prevalencia de desnutrición crónica en menores de 5 años; y el séptimo en el mundo. Del total de la población guatemalteca más del 45 % padece de esta enfermedad, el 53 % de este es en el área rural. La Encuesta Nacional de Micronutrientes estableció que más del 30 % de los menores de 5 años padecen deficiencias de zinc, siendo este porcentaje mayor que el reportado para deficiencias de hierro y vitamina B12.

En el estudio "Determinantes dietéticos del consumo de zinc en menores de cinco años con retardo del crecimiento en comunidades mayas de Guatemala", se evalúa la dieta diaria de comunidades de Huehuetenango y se establece los parámetros que influyen en la ingesta y biodisponibilidad del zinc. Encontraron 28 fuentes de alimentos que aportan zinc en la dieta, de los cuales 54 % es de baja biodisponibilidad y 7 % de alta biodisponibilidad. Los niños que formaron parte del estudio consumían en promedio 3 mg de zinc al día, de los cuales el 14,5 % alcanzaba los requerimientos diarios de zinc, y el 2,9 % alcanzaba la recomendación diaria [90].

Existen diversos análisis clínicos que han evaluado el impacto de la administración de zinc en menores que padecen enfermedades diarreicas con el fin de establecer la eficacia de este mineral para disminuir la duración y gravedad de la diarrea. En una revisión de ensayos de niños menores de 5 años con diarrea aguda en el año 2000, el Grupo de Colaboración de Investigadores de Zinc encontró que los niños que ingieren suplementos de zinc tienen un 15 % menos de probabilidad de continuar la diarrea en un día particular que los que no reciben zinc [91].

Complementando los resultados anteriores, según un metaanálisis de 14 estudios, que evaluaban la suplementación de niños con dosis de zinc que variaban entre 5 a 45 mg al día, la duración de la enfermedad diarreica aguda se reduce significativamente con la suplementación de zinc [92]. Existen escasos estudios disponibles que evalúan el efecto de la suplementación con zinc sobre la mortalidad, la hospitalización y la prevención de futuros episodios.

WHO			FNB/IOM			IZINCG		
Age, sex	Reference weight (Kg)	Physiologic requirement (mg/day)	Age, sex	Reference weight (Kg)	Physiologic requirement (mg/day)	Age, sex	Reference weight (Kg)	Physiologic requirement (mg/day)
6-12 m	9	0.84	7-12 m	9	0.84	6-11 m	9	0.84
1-3 y	12	0.83	1-3 y	13	0.74	1-3 y	12	0.53
4-6 y	17	0.97	4-8 y	22	1.20	4-8 y	21	0.83
7-9 y	25	1.12	9-13 y	40	2.12	9-13 y	38	1.53
10-12 y, M	35	1.40						
10-12 y, F	37	1.26						
12-15 y, M	48	1.82						
12-15 y, F	48	1.55	14-18 y, M	64	3.37	14-18 y, M	64	2.52
15-18 y, M	64	1.97	14-18 y, F	57	3.02	14-18 y, F	56	1.98
15-18 y, F	55	1.54	>18 y, M	75	3.84	>18 y, M	65	2.69
>18 y, M	65	1.40	>18 y, F	65	3.30	>18 y, F	55	1.86
>18 y, F	55	1.00	Pregnancy	-	4.12, 4.42, 5.02	Pregnancy	-	2.68
Pregnancy	-	2.27	Pregnancy (1 st , 2 nd , 3 rd trimester)	-	4.92, 3.82, 4.52	Lactation	-	2.98
Lactation	-	2.89	Lactation (0-3, 3-6, 6-12 m)	-				

Figura 31: Requerimientos fisiológicos estimados para zinc absorbido por edad y sexo

WHO ¹			FNB/IOM		IZiNCG			
Age, sex	Highly refined diet (mg/d)	Mixed or refined vegetarian diet (mg/d)	Unrefined diet (mg/d)	Age, sex	Mixed (mg/d)	Age, sex	Mixed or refined vegetarian diet (mg/d)	Unrefined, cereal-based diet (mg/d)
0-6 m	0.9 ²	2.3 ³	5.5 ⁴		-		-	-
7-12 m	0.7 ² / 2.1 ³	3.4	7.0	7-12 m	2.5	6-11 m	3.0	4.0
1-3 y	2.0	3.4	6.9	1-3 y	2.5	1-3 y	2.0	2.0
4-6 y	2.4	4.0	8.0	4-8 y	4.0	4-8 y	3.0	4.0
7-9 y	2.8	4.7	9.3					
	-	-	-	9-13 y	7.0	9-13 y	5.0	7.0
10-18 y, M	4.3	7.2	14.3	14-18 y, M	8.5	14-18 y, M	8.0	11.0
10-18 y, F	3.6	6.0	12.0	14-18 y, F	7.3	14-18 y, F	7.0	9.0
>18 y, M	3.5	5.8	11.7	>18 y, M	9.4	>18 y, M	10.0	15.0
>18 y, F	2.5	4.1	8.2	>18 y, F	6.8	>18 y, F	6.0	7.0
Pregnancy (1 st , 2 nd , 3 rd trimester)	2.8, 3.5, 5.0	4.6, 5.8, 8.3	9.2, 11.7, 16.7	Pregnancy (14-18 y, >18 y)	10.5, 9.5	Pregnancy (14-18 y, >18 y)	9.0, 8.0	12.0, 10.0
Lactation (0-3, 3-6, 6-12 m)	4.8, 4.4, 3.6	7.9, 7.3, 6.0	15.6, 14.6, 12.0	Lactation (14-18 y, >18 y)	10.9, 10.4	Lactation (14-18 y, >18 y)	8.0, 7.0	9.0, 8.0

Figura 32: Requerimientos promedio estimados (EAR 's) para zinc absorbido por edad y sexo, y durante embarazo y lactancia

WHO		FNB/IOM		IZiNCG	
Age, sex	Upper limit (mg/d)	Age, sex	Upper limit (mg/d)	Age, sex	No observed adverse effect level (mg/d)
0-6 m	-	0-6 m	4.0	0-6 m	-
7-12 m	13.0	7-12 m	5.0	6-11 m	6.0
1-6 y	23.0	1-3 y	7.0	1-3 y	8.0
6-10 y	28.0	4-8 y	12.0	4-8 y	14.0
10-12 y, M	34.0	9-13 y	23.0	9-13 y	26.0
10-12 y, F	32.0				
12-15 y, M	40.0	14-18 y	34.0	14-18 y, M	44.0
15-18 y, M	48.0			14-18 y, F	39.0
12-15 y, F	36.0				
15-18 y, F	38.0				
>18 y, M	45.0	>18 y	40.0	>18 y	40.0
>18 y, F	35.0				
Pregnancy	35.0	Pregnancy (14-18 y, >18 y)	34.0, 40.0	Pregnancy	-
Lactation	35.0	Lactation (14-18 y, >18 y)	34.0, 40.0	Lactation	-

Figura 33: Límites superiores para ingesta de zinc por edad

Las causas de la deficiencia de zinc son ocasionadas por bajos niveles de ingesta en la dieta diaria y deficiencias en la absorción de este. La baja ingesta está relacionada con el precio de la adquisición de los alimentos ricos en zinc (carnes lácteas, frutos secos y cereales fortificados), por lo que poblaciones de escasos recursos poseen limitado alcance a los mismos. Así mismo, las dietas de los hogares de bajos ingresos se basan en alimentos ricos en fitatos (cereales, frutos secos, legumbres), los cuales al enlazarse al zinc reducen su absorción.

Otros estudios previos han centrado su investigación en las diferencias en cuanto a la biodisponibilidad de diversas presentaciones de zinc que han sido puestas en estudio. Por ejemplo, Wegmüller determinó que la media de FAZ de citrato de zinc es de 61.3 %, similar a la de gluconato de zinc que fue de 60.9 %. Por el contrario, la absorción de zinc proveniente de Óxido de Zinc fue de 49.9 % [93].

El uso de matrices alimentarias como un medio de fortificación ha sido exitoso para

controlar las deficiencias de distintos nutrientes. Un claro ejemplo de esto es la yodación de la sal, la cual se inició en 1920 y desde entonces se amplió su uso a la mayoría de los países[2]. En 1940 se introdujo la fortificación de los cereales con tiamina, riboflavina y niacina. Por su lado Estados Unidos fortificó la leche con vitamina D y Dinamarca la margarina con vitamina A. Otro claro ejemplo de una fortificación exitosa, es la adición de vitamina A al azúcar en Centroamérica.

Hasta la fecha, la fortificación de alimentos con zinc ha sido reducida, y usualmente se restringe a cereales de desayuno de consumo inmediato, fórmula de bebés y alimentos complementarios. En el caso de Indonesia, la adición de zinc a los fideos de trigo se ha convertido de carácter obligatorio. Diversos estudios demuestran los beneficios de la fortificación de este mineral en el tasa de crecimiento de menores. Sin embargo, existe muy poca información acerca de los efectos del zinc en las propiedades organolépticas de los alimentos. De acuerdo a un estudio realizado en 2009, la fortificación de harina de trigo con zinc en concentraciones de 60 a 100 mg/kg no afecta la aceptación de los productos de panificación.

En Guatemala, actualmente se encuentran en el mercado varios alimentos con fortificación voluntaria de zinc, principalmente cereales de desayuno o mezclas de harinas fortificadas (Incaparina, Bienestarina, etc.), como se observa en la figura a continuación. Sin embargo, no existe un programa nacional de fortificación con zinc en el país, por lo que cada empresa determina el porcentaje de fortificación objetivo (contenido de zinc en el alimento). En el caso de la Incaparina, esta abarca el 65 % del requerimiento diario, mientras que el Vitacereal un 54 %.

Alimento	Distribuido por	Tamaño de la porción (g)	Contenido de zinc por porción (mg)	Porcentaje de RDD de zinc (RDD 1 a 3 años: 4.6 mg [INCAP, 2012])
Vitacereal	MSPAS	30	2.49	54
Mi Comidita	MSPAS/PMA	24	1.9	41
Chispuditos	ONG	18.75	9.0	195
Bienestarina	ONG, mercado abierto	18.75	3.0	65
Incaparina	Mercado abierto	18.75	3.0	65
CSB++	USAID	30.0	1.5	33
Mani+	ONG	40.0	3.4	74

Figura 34: Contribución de zinc de mezclas de harina fortificada y otras formulaciones, para niños de 1 a 3 años de edad

El uso del agua potable como medio de fortificación ha sido evaluado numerosas veces. En el estudio "El agua potable como portador de hierro para controlar la anemia en niños en edad preescolar en una guardería", la anemia redujo significativamente con la adición de zinc al agua. Además, los valores de hemoglobina y ferritina sérica incrementaron luego de 8 meses de consumo del agua. No encontraron problemas relacionados con la aceptación del agua enriquecida con hierro [94].

De acuerdo con diversos estudios, el principal reto del uso de agua como vehículo para fortificación radica en no modificar la percepción de sabor y color, no dejar sabores residuales y también mantener el pH neutro. De todas las anteriores lo más desafiante es no ocasionar un cambio en la coloración o sabor. En otro estudio relacionado con la fortificación de agua con hierro, se estableció que los cambios sensoriales dependen del tipo de hierro usado. El

uso de sulfato de hierro soluble en agua o gluconato de hierro posee la ventaja de tener una alta biodisponibilidad, pero la desventaja de un cambio de color [95].

La biodisponibilidad de zinc en agua potable ha sido investigada previamente en estudios que se enfocan primordialmente en los efectos de diferentes dosis, o bien, enfocándose en el efecto de ciertas matrices de alimentos sobre la absorción de este mineral. Según un estudio acerca de la influencia de las dosis y de los alimentos en la absorción de zinc, la absorción fraccionada de zinc (FAZ) permanece casi invariable cuando la cantidad administrada del mineral se encuentra entre el rango de 1 a 5 mg. Así mismo, encontraron que la absorción fraccionada disminuye cuando los alimentos ingeridos son ricos en fitatos [96]. En otro estudio preliminar se evaluó la relación entre el zinc absorbido en adultos saludables y las dosis de ingesta de zinc y se llegó a la conclusión que la absorción fraccionada de zinc disminuye progresivamente con el incremento de las dosis. Como parte de este mismo estudio, se determinó que solo hay un mínimo aumento del zinc absorbido cuando la dosis suministrada es mayor de 20 mg [97].

La metodología empleada en el presente módulo fue la misma que se utilizó en el estudio "Disponibilidad in vitro de calcio, hierro y zinc de fórmulas infantiles y leche humana", en este se obtuvo que la biodisponibilidad de calcio es mayor en la fórmula a base de caseína de leche de vaca que en las otras fuentes de leche. Estos hallazgos fueron apoyados por Grur et al. que reportó mayor contenido de este mineral en los huesos de menores alimentados con fórmula a base de caseína de leche de vaca, que los alimentados con la de soya o leche humana [98]. En otro estudio realizado por Rebellato et al 2015, el ensayo in vitro, estimado en base al contenido de hierro soluble, presentó un valor promedio de 50.6 % en las galletas evaluadas. Esto es consistente con los resultados del estudio de Vitali et al. quienes obtuvieron 59 % de biodisponibilidad.

Según una revisión sobre los métodos de dializabilidad (indicador de biodisponibilidad) in vitro del hierro realizada por Sandberg, los ensayos in vivo en humanos son el "estándar de oro" para evaluar la biodisponibilidad del hierro no hemo. Sin embargo, estos tienden a ser complicados, costosos y lentos. Por su lado, los estudios en animales son limitados debido a los diferentes requerimientos de minerales, el metabolismo, la capacidad digestiva y la sensibilidad a los factores dietéticos (promotores e inhibidores de la absorción de hierro) en comparación con los humanos. Los métodos in vitro están diseñados para simular el proceso digestivo en humanos; pero estos métodos son limitados porque no miden las interacciones entre los alimentos y el sistema digestivo, variando la actividad de absorción en diferentes partes del tracto gastrointestinal y la composición de las secreciones digestivas que depende de los alimentos ingeridos y la flora intestinal. Sin embargo, los métodos in vitro son una alternativa atractiva para estimar la biodisponibilidad del hierro en cultivos básicos antes de las evaluaciones in vivo. Además, pueden ser simples, rápidos y de bajo costo [99]

En un ensayo realizado por Valeria Galetti en 2014 se midió la absorción de zinc del agua fortificada. Se comparó el efecto de la ingesta del agua sola, acompañada de un puré de maíz y/o acompañada de puré de maíz fortificado con zinc. Los tres tipos de dietas suministradas proveían a los participantes 2 mg de zinc por porción; y la absorción fraccionada se midió utilizando el método de proporción de trazador de isótopos doble con análisis de orina. La absorción fraccionada del agua fortificada con zinc ingerida sola fue del 66 %, lo que resultó en una absorción total de zinc de 1.3 mg. Se registró que existe una reducción de la tasa de absorción de 7 veces en las dietas con puré de maíz, estuviera fortificada o no [100].

En ese mismo estudio, se realizó varios ensayos para probar los factores que afectan la elución del zinc en el agua proveniente del filtro de LSF (filtro en estudio). Para ello se filtró agua y se utilizó placas de liberación lenta o rápida de zinc a niveles establecidos de dureza, volúmenes y frecuencias. Se analizó la concentración de zinc mediante espectrometría de absorción atómica (AAS). Se encontró que una disminución del coeficiente de disolución de las placas reduce significativamente la media de las concentraciones de zinc de 10.7 ± 6.2 a 1.0 ± 0.7 mg / litros [100].

En una segunda prueba, realizada en una unidad de laboratorio privada establecida por ETH en Natitingou, simularon diferentes patrones de uso al variar la frecuencia de filtración y los volúmenes filtrados. Indicaron que el tiempo de inactividad del dispositivo es un determinante importante del nivel de fortificación de zinc en el agua; ya que a mayor tiempo de inactividad, mayor es la fortificación. A medida que filtraron volúmenes más grandes, se produjo un mayor cambio de agua en la cámara de fortificación y, por lo tanto, los niveles de fortificación resultaron más bajos.

El análisis de vida útil es actualmente realizado a todo tipo de productos, desde alimentos, empaques, tecnología, hasta vestimenta. En la mayoría de evaluaciones de este tipo el objetivo primordial es garantizar un adecuado funcionamiento por un tiempo definido, pero también establecer los costos iniciales y de reinversión. Núñez y Ortega, en su estudio “Evaluación económica para la implementación de una Unidad de Mezclas de Nutrición Parenteral Extemporánea Centralizada” establecen la inversión inicial de su proyecto y el valor anual neto, en base a las reinversiones necesarias por la vida útil de ciertos componentes. Por otro lado, diversos estudios concernientes al uso de agua potable como medio de fortificación, han señalado que la fortificación tanto con vitaminas solubles en lípidos, como las solubles en agua pueden encapsularse utilizando diversas tecnologías. La razón más común para encapsular estos ingredientes es extender la vida útil y protegerlos contra oxidación [101].

El agua fortificada con micronutrientes, es un agua con un sistema de suministro agregado, como premezclas o partículas encapsuladas de diferentes tamaños, materiales, y que cumplen una o más funciones importantes. Dentro de las funciones más comunes se encuentran no prestar un sabor desagradable, enmascarar olores, aplicaciones de liberación controlada, estabilidad mejorada, alargar vida útil y mejorar biodisponibilidad de activos. La composición de la misma asegura la hidratación, teniendo la capacidad de alcanzar objetivos de salud específicos, es decir, cumplir con la deficiencia de vitaminas y minerales, controlar la pérdida de peso, diabetes, colesterol, osteoporosis, estimulantes, etc.

8.4. Justificación

Existen iniciativas que buscan combatir la deficiencia de micronutrientes dentro de la sociedad guatemalteca, sobre todo en las poblaciones más susceptibles de las áreas rurales. Guatemala cuenta con programas de fortificación de hierro, yodo, vitamina A, entre otros. Sin embargo, es necesario considerar otros nutrientes que poseen un elevado índice de insuficiencia, como lo es el zinc. Tomando en consideración que actualmente existe una deficiencia de zinc plasmático de alrededor del 34.9% [1] en niños menores a 5 años, es de gran importancia desarrollar nuevas opciones alimentarias fortificadas con este micronutriente que sean

accesibles a las personas más vulnerables.

Actualmente los alimentos que se han utilizado como matriz de fortificación son en su mayoría a base de cereales y atoles, los cuales son ricos en fitatos. Para contrarrestar la baja efectividad de las matrices más comunes, se decidió utilizar como vehículo de fortificación agua potable filtrada por medios artesanales. Una de las principales ventajas de la fortificación de agua por medio de los filtros es su alta accesibilidad económica. Comparado con otros productos en el mercado como cereales de desayuno y mezcla de harinas, la unidad filtrante elaborada artesanalmente es de bajo costo y en algunos casos, sin costo alguno. Así mismo, la popularidad y su presencia en varias regiones del país, permite adquirir la confianza de los usuarios y a su vez llegar a los mercados objetivos.

Es importante saber que, debido a la gran cantidad de esfuerzos que se han realizado por crear productos que buscan mejorar la salud a través del consumo de micronutrientes, la fortificación de los mismos debe ser segura para todos los consumidores y, al mismo tiempo, debe ofrecer un beneficio nutricional. Como consecuencia, el nivel de control de este tipo de alimentos debe ser comparable al grado de riesgo de los mismos. Los beneficios de esta clasificación de productos alimenticios deben ser demostrables y a su vez se requiere que sean indicados como aptos para su consumo, por medio de evidencia científica.

Para asegurar que cualquier tamaño de familia, o bien, tipo de uso del filtro provee una fortificación segura y adecuada se debe evaluar la frecuencia de uso (patrones de filtración) de la unidad filtrante, ya que una variación en el volumen de agua filtrada está relacionada con cambios en el nivel de fortificación. Asimismo, es importante determinar la vida útil de la matriz fortificadora para testificar que la liberación de zinc no incurre en cambios por un lapso de tiempo corto, y que la implementación de esta es económicamente viable. La medición de ambas variables contribuye a cumplir con Directrices sobre la fortificación de alimentos con micronutrientes, las cuales indican que “debe asegurarse que la fortificación voluntaria no se utilice para engañar al consumidor acerca de los beneficios del consumo de esos alimentos y no debe interferir con las políticas nacionales de alimentación saludable”. Por tanto, es fundamental realizar un análisis y cuantificación de zinc en el agua potable fortificada para asegurar que no se sobredosisifique al consumidor o, por el contrario, que no se cumpla con requisito mínimo diario de este mineral en el tiempo establecido.

Además del estudio de liberación de zinc, es importante evaluar que el agua fortificada posea un porcentaje de biodisponibilidad adecuado para que la absorción de este mineral en el cuerpo humano sea efectivo en conjunto con la dieta de la población guatemalteca rica en fitatos. Así mismo, la evaluación de la biodisponibilidad permite cuantificar la concentración inicial necesaria de zinc en la matriz fortificadora para cumplir con los requerimientos diarios, y a su vez, evaluar que la concentración establecida por el estudio de análisis sensorial, sea efectiva en términos de biodisponibilidad. Las metodologías actualmente utilizadas para la medición son *in vivo* e *in vitro*, sin embargo, el primero de estos cuando se realiza en humanos tiende a ser complicado, costoso y lento. Por su lado, los estudios en animales son limitados debido a los diferentes requerimientos de minerales, el metabolismo, la capacidad digestiva y la sensibilidad a los factores dietéticos. Por ello, se estableció que la mejor metodología para la medición de biodisponibilidad del presente estudio es por medio de un proceso *in vitro* que simula el tracto digestivo animal. Este proceso posee las ventajas, frente al *in vivo*, de ser simple y rápido, además de permitir la evaluación de menores variaciones en la composición de los alimentos rápidamente y a fondo [99].

Finalmente, la evaluación en conjunto de la dosificación diaria, y la biodisponibilidad proveen, según la NQL (laboratorio nacional de calidad), un espectro más amplio sobre el comportamiento del nutriente en la matriz alimentaria y en el organismo humano ya que la biodisponibilidad depende directamente del tipo de nutriente y de la concentración. Debido a esto, se establece que la evaluación de estos factores es clave en el desarrollo de la matriz fortificadora de zinc, ya que permitirán asegurar un adecuado funcionamiento y efecto en la salud humana.

El conocimiento sobre el suministro de zinc, además de la biodisponibilidad y la vida útil, proporcionará información sobre la efectividad potencial de este enfoque para mejorar la nutrición. En segundo lugar, proveerá información indirecta sobre el posible cumplimiento y la seguridad de la población, ya que las altas concentraciones de zinc en el agua eluída no sólo impartirían sabor astringente, sino que serían contraproducentes para la salud de los consumidores. Por ello, es necesario probar esta nueva estrategia dirigida a poblaciones en riesgo de deficiencia de zinc en áreas con fuentes de agua no mejoradas pues el cumplimiento máximo sería importante para lograr el impacto en la salud pública.

8.5. Marco teórico

8.5.1. Zinc

El Zinc es un “oligoelemento necesario para el mantenimiento de las células intestinales, el crecimiento óseo y la función inmunitaria”. Este compuesto forma parte de la familia de micronutrientes, compuestos vitales que poseen un papel activo en las funciones metabólicas, fisiológicas, de crecimiento y desarrollo, mecanismos de inmunidad, etc. Dentro de las principales funciones del zinc se encuentran las de tipo catalítico, estructural, regulatorias, entre otras.

Medición de los niveles de ingesta

Los indicadores nutricionales se encuentran clasificados en dietéticos, bioquímicos, antropométricos y clínicos. Estos permiten establecer el nivel de ingesta del nutriente, su exposición, estatus y efectos [102]. En el caso del Zinc, los indicadores utilizados son: Concentración de Zinc en Plasma, Índice Eritrocito Metalotienina, Zinc en saliva, uñas y heces, Índice de crecimiento, Índice de diarrea y neumonía, entre otros.

Concentración de zinc en plasma

Dentro de esta categoría se incluye el zinc contenido en plasma y en el suero de sangre. El plasma es un componente no celular de la sangre, y contiene menos de 0.2% del total de zinc del cuerpo. El plasma zinc fisiológico se mantiene en el rango de 12 a 18 micro moles por litro, incluso cuando la ingesta de zinc varía [103]. Este índice es recomendado por la OMS, UNICEF, entre otras entidades, como el mejor indicador bioquímico disponible para la determinación de estatus de zinc en poblaciones. La razón a esto radica en que es el único

indicador bioquímico capaz de reflejar la ingesta diaria de zinc, responde consistentemente a la suplementación de zinc y hay suficiente información de referencia. Según muchos estudios, en los que se compara la efectividad de los indicadores, los más efectivos son plasma zinc, zinc en orina y zinc en cabello.

Índice eritrocito metalotioneína

Es un método potencial para determinar el estatus de zinc. Este se basa en la expresión de proteínas transportadoras de zinc y proteínas que enlazan el zinc (como la metalotioneína). Según estudios la expresión de la metalotioneína, en leucocitos, es más sensible a cambios en la ingesta de zinc que otros indicadores [104].

Crecimiento

La respuesta al crecimiento es un indicador funcional potencial. Los parámetros evaluados dentro de esta categoría son: peso, altura, peso para la edad, altura para la edad, circunferencia de la cabeza, longitud del talón a la rodilla, entre otros. Baja altura para la edad ocurre cuando la persona posee una estatura muy baja para su edad y refleja ya sea una variación normal o un proceso patológico. Cuando la baja estatura se debe a esta última razón, se dice que la persona presenta atrofia, es decir, que refleja un proceso de fracaso para alcanzar un potencial de crecimiento lineal como resultado de una salud debajo de lo esperado a largo plazo y /o condiciones nutricionales. Por el contrario, el parámetro altura-peso para la edad, hace referencia al hecho de ganar insuficiente peso en relación con a la altura, implicando una pérdida de peso severa [105].

Incidencia de diarrea y neumonía

La diarrea y el zinc presentan una respuesta consistente con la suplementación de zinc. Sin embargo, existe dificultad en la obtención de información de poblaciones representativas con enfermedades de este tipo. Debido a la alta variabilidad de este indicador y por el hecho de que el efecto de la deficiencia de zinc es leve sobre estos indicadores, se ha determinado que la deficiencia de zinc de una población no se puede medir con confianza usando la incidencia de diarrea y neumonía [91].

8.5.2. Medición de la concentración de zinc

Factores que afectan la dilución de zinc en un sistema de filtrado

- I) Dureza de agua
- II) Frecuencia de filtración del agua
- III) Volumen de agua filtrada a diario

Técnica de medición

- I) Espectrometría de absorción atómica: es una técnica para el análisis cuantitativo, que permite determinar la concentración de un analito determinado en una muestra. Se basa en gran parte en la ley de BeerLambert. La detección se logra por medio de la absorción de energía por parte de los electrones de los átomos en el atomizador. Esta cantidad de energía (o longitud de onda) es específica pues cada longitud de onda corresponde a un solo elemento. Debido a que la cantidad de energía presente en la llama se conoce, y la energía del detector se puede medir, haciendo uso de dicha ley se logra calcular cuántas de estas transiciones tienen lugar, y así obtener una señal que es proporcional a la concentración del elemento que se mide [106].

Es el método más utilizado para la medición de concentración de zinc por su alta sensibilidad y especificidad, rapidez, costo y demanda un volumen de muestra reducido. Los principales pasos de esta técnica son dilución de la muestra, aspiración y conducción por la llama mediante un nebulizador. La llama del equipo está conformada por acetileno y aire [107].

- II) Test Rápido de Zinc: Permite la determinación fácil y rápida de zinc en soluciones. Resultados confiables son obtenidos en 2 minutos. QUANTOFIX® Zinc

Type	Semi-quantitative test strips
Presentation	Box of 100 test strips and reagents
Color reaction	orange → red
Gradation	0 · 2 · 5 · 10 · 25 · 50 · 100 mg/l Zn

Figura 35: Información del equipo

- III) Espectrometría de fluorescencia molecular: utilizar un haz de luz ultravioleta que permite excitar a los electrones de las moléculas y provoca que emitan luz de una menor energía, generalmente luz visible. En la actualidad el reactivo empleado es 2-(5-bromo-2 piridilazo)-5(N-propil-N-sulfopropilamino)- fenol ya que este permite ahorrarse etapas previas, como la digestión y extracción. Al evitar estos dos pasos se reduce la probabilidad de contaminación y de errores en los resultados. Así mismo, el uso de este requiere solamente desprotección con cloruro de guanidina. Con el fin de evitar los falsos positivos, se emplea también citrato, dimetilglioxima y salicilaldoxima, ya que enmascaran la reacción con otros compuestos como el hierro, que pueden encontrarse en elevadas concentraciones en ciertas muestras. El método se identifica por su alta exactitud y precisión, y posee un límite de detección de 1,15 $\mu\text{mol/L}$ [108].
- IV) Espectrometría de absorción atómica con atomización electrotérmica: En este método se reemplaza el uso de llama por un tubo de grafito en el que se introduce la muestra diluida. La muestra se somete a un programa de tiempos y temperaturas con el fin de evaporizarla, mineralizarla y posteriormente atomizarla. Al igual que en el método de Espectrometría de absorción atómica en llama, esta técnica posee alta precisión y exactitud; su límite de detección es de 0,010 $\mu\text{mol/L}$. Su elevada reduce su aplicación, pues para evitar la contaminación se debe realizar un trabajo laborioso [109].

8.5.3. Condiciones de uso

En promedio una unidad filtrante de Ecofiltro®[®], tiene una capacidad de almacenaje de 18 litros, y una capacidad de filtración de 1 a 2 litros por hora. De acuerdo con estadísticas del consumo de agua purificada por este medio, en áreas rurales del país se filtran de 5 a 10 litros al día; dependiendo del número de integrantes de la familia.

En el presente trabajo, las condiciones o patrones de uso de la unidad filtrante artesanal hacen referencia al volumen de agua filtrada diariamente en un hogar. Dependiendo de este volumen se establecen los siguientes patrones de filtración:

- Bajo uso: 2L al día
- Uso moderado: 10L al día
- Uso elevado: 20L al día

El volumen de filtración se considera que tiene una estrecha relación con la concentración de zinc en dilución, esto se debe a que el tiempo en desuso de la unidad filtrante determina el nivel de fortificación de Zn en el agua. Se posee la hipótesis que, a mayor tiempo de inactividad de la unidad, mayor concentración de zinc en agua. Volúmenes más grandes de filtración, ocasionan una mayor rotación de agua en la membrana de fortificación y, por ende, la concentración de zinc en el agua filtrada es menor.

8.5.4. Análisis de vida útil

La vida útil del sistema de fortificación de agua es definida como el tiempo en el que la matriz preserva sus propiedades iniciales y asegura que el agua filtrada posea las concentraciones mínimas de zinc establecidas. Dentro de las propiedades iniciales se puede destacar sabor, color, aroma, apariencia general y concentración esperada del micronutriente.

Este análisis permite establecer si la matriz fortificadora desarrollada cumple con los dos años de vida de la unidad filtrante, o bien, establecer el tiempo en que el sistema preserva su función. Así mismo, provee información acerca de la viabilidad económica del desarrollo.

El método de evaluación se basa en un análisis de vida útil acelerada. Este simula en un tiempo significativamente más reducido, que el tiempo de vida útil real, la estabilidad del sistema.

Métodos para su evaluación

1. Métodos instrumentales: estos poseen un alta exactitud y reproducibilidad.
 - a) a. Parámetros físicos: El más utilizado es el parámetro “color”, ya que es la primera impresión del consumidor. Este constantemente se degrada durante el almacenamiento debido a reacciones enzimáticas, químicas y físicas. Este es comúnmente medido con colorímetros o espectrofotómetros [110].

Otra variable estudiada es la humedad. Los métodos para medir dicho parámetro se clasifican en directos e indirectos. Los primeros son los más usados, involucran pesaje de la muestra antes y después de la remoción del agua por medio de hornos o desecadores. Los segundos (indirectos), se llevan a cabo mediante la medición de otras propiedades relacionadas al contenido de agua, como, resistencia eléctrica [110].

Propiedades reológicas, estas se miden en términos de viscosidad, comportamiento de flujo, consistencia, etc. Algunos de los equipos empleados para ello son viscosímetro, reómetro, entre otros [111].

- b) Parámetros químicos: Este tipo de análisis son empleados para medir los puntos finales de reacciones químicas que ocurren en los alimentos. Ejemplos de ello son niveles de rancidez, y análisis de volátiles. Este último se utiliza sobre todo en alimentos empacados, en los cuales se determina los volátiles presentes por medio de cromatografía de gases. El espacio de cabeza que poseen permite monitorear, por ejemplo, la deterioración oxidativa [110].
2. Paneles sensoriales: este método se basa en la medición de variables organolépticas, como apariencia, aroma, sabor, olor, textura, etc., que son claves para la aceptación del consumidor. Las principales limitaciones de este tipo de valuación incluyen alta variabilidad, elevado consumo de tiempo y costo, restricciones éticas, e incluso, riesgos a la salud en caso se expongan a alimentos contaminados. Además de ello, la información que provee este método es subjetivo por naturaleza, y por ello, los resultados pueden ser poco consistentes [112].
 3. Pruebas microbiológicas: La cantidad de microorganismos presentes en un alimento es un indicador del tiempo de vida útil de un alimento. Rutinas diarias involucran recuento total de organismos. Este método lleva demasiado tiempo, requiere de un arduo trabajo, provee información limitada del comportamiento del microorganismo, puede en algunas ocasiones ser costoso.
 4. Análisis de vida útil acelerado: Este se basa en el uso de los métodos anteriores pero sometidos a condiciones controladas que aceleran su deterioro. Los estudios acelerados permiten anticipar los cambios de los alimentos en las condiciones usuales de almacenamiento y distribución. Este tipo de análisis son principalmente útiles en productos de larga vida útil. Algunos ejemplos incluyen el uso de la ecuación de Arrhenius para modelar el efecto de la temperatura, o bien, Q10. Para llevar a cabo este método se debe seleccionar los factores cinéticos para acelerar el proceso deteriorativo, llevar a cabo el estudio, extrapolar la información a las condiciones normales, por último, predecir la vida útil [113].

8.5.5. Fortificación

El concepto fortificación es la práctica de aumentar deliberadamente el contenido de un micronutriente esencial, es decir, vitaminas y minerales (incluidos los oligoelementos) para mejorar la calidad nutricional del suministro de alimentos y proporcionar un beneficio de salud pública con un riesgo mínimo para la salud [2].

Organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud, la Organización Panamericana de la Salud, y la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos han elaborado una lista con los criterios y objetivos para desarrollar un adecuado proceso de fortificación:

- a) Deben ser consumidos básicamente por toda la población.
- b) Debe existir una variación pequeña en su consumo per-cápita de un día para otro.
- c) La fortificación debería producir un cambio inapreciable de las características organolépticas y de la aceptabilidad del alimento vehículo.
- d) El nutriente agregado debe ser estable bajo las condiciones normales de almacenamiento y uso.
- e) El nutriente debe estar fisiológicamente disponible desde el alimento.
- f) El costo y la naturaleza del vehículo deben ser tales, que permitan que su fortificación sea económicamente factible mediante un proceso industrial.
- g) Que exista un nivel de seguridad razonable frente al riesgo de una ingesta excesiva en un nivel tóxico.

Los vehículos de comida van desde productos básicos, como varios tipos de harina, azúcar y sal disponibles en el mercado minorista para uso de los consumidores, así como ingredientes de alimentos procesados, y alimentos procesados que están fortificados en el punto de fabricación. Dado su consumo generalizado y regular, los productos básicos son más adecuados para la fortificación masiva (es decir, destinado a llegar a toda la población), mientras que ciertos alimentos procesados formulados suelen ser el mejor vehículo para iniciativas específicas de fortificación (es decir, aquellas dirigidas a una población específica grupos). Los vehículos que han sido evaluados hasta el día de hoy incluyen [2]:

- a) Harinas de cereales
- b) Aceites y grasas
- c) Azúcar y leche en polvo
- d) Leche líquida
- e) Fórmula infantil
- f) Agua

Agua potable: este vehículo de fortificación ha sido poco investigado, sin embargo, es una matriz viable debido a que se consume diariamente. También tiene el potencial de ser un vehículo útil por su bajo costo, permite la estabilidad de los nutrientes en la matriz, y mayor absorción fisiológica por la ausencia de compuestos inhibidores. Su principal limitación, en comparación con otros medios, es que las fuentes de agua potable son tan numerosos y distintos que es difícil de controlar. Además, una estabilidad limitada en el agua hace

necesaria una dosificación diaria continua del suministro de agua. Este método permite la absorción de nutrientes a un ritmo más rápido del que puede ser entregado con productos alimenticios tradicionales. En adelante, el concepto de fortificación de micronutrientes en el agua puede convertirse en un producto innovador [101]

8.5.6. Biodisponibilidad

El término biodisponibilidad hace referencia al grado en que un nutriente presente en un alimento es absorbido, transportado y/o utilizado fisiológicamente [114]. La biodisponibilidad depende del contenido total de zinc en la dieta, de los componentes del alimento en el que se encuentra y de las interacciones con otros componentes [2].

Métodos actuales para la determinación

Método	Características	Aplicación
Biodisponibilidad	Estudio de la digestión gastrointestinal, absorción, metabolismo, distribución de tejidos y bioactividad	Metodologías <i>In Vivo</i>
Bioaccesibilidad	Estudia la liberación de matrices alimenticias, transformación bajo condiciones de digestión, asimilación a través del epitelio	Metodologías <i>In Vitro</i>
Bioactividad	Estudia la captación de tejidos, el metabolismo, la respuesta fisiológica	Metodologías <i>In Vitro</i> , <i>Ex Vivo</i> e <i>In Vivo</i>

Cuadro 16: Definición de biodisponibilidad, bioaccesibilidad y bioactividad y sus posibles metodologías de evaluación

1. *In Vivo* Esta categoría aplica a los estudios realizados en humanos y en animales, como pollos, ratas, etc. Se basa en la medición de la biodisponibilidad de hierro no hemo, tomando muestras de plasma, orina, heces, cabello, entre otros. Sin embargo, estos tienden a tomar demasiado tiempo, son complicados, poseen un elevado costo e incertidumbres por las diferencias entre el metabolismo animal y humano. Los estudios en animales son limitados debido a los diferentes requisitos minerales, el metabolismo, la capacidad digestiva y la sensibilidad a los factores dietéticos (promotores e inhibidores de la absorción de hierro) en comparación con los humanos.
2. *In Vitro* Son una alternativa simple, rápida y de bajo costo, además proporcionan información que no se puede lograr en estudios con animales completos. Este método permite simular el proceso digestivo de los humanos, sin embargo, es limitado pues no evalúa las interacciones entre los alimentos y el sistema digestivo. Asimismo, no toma

en cuenta que la actividad de absorción varía según la sección del tracto gastrointestinal y no considera la composición de las secreciones.

- a) Digestión: El modelo de células CaCo-2 “predice la disponibilidad de hierro en alimentos no radiomarcados en un cultivo de digestión *in vitro* utilizando la formación de ferritina por las células CaCo-2 como un indicador de la absorción de hierro”. Entre las ventajas de este método se encuentra que estas células son de origen humano por lo que poseen varios rasgos análogos al epitelio intestinal, además, son capaces de absorber el hierro no hemo y exhiben características de captación compatibles con las observaciones *in vivo* de humanos y animales. Sin embargo, este requiere personal altamente capacitado e instalaciones de alta calidad para obtener resultados reproducibles [115].
- b) Diálisis: Este método se simula la digestión gastrointestinal de los alimentos en humanos. Se basa en la cantidad del nutriente que cruza una membrana semi-permeable que simula la pared intestinal [116]. El proceso se basa en llevar la muestra a un pH de 4 para simular la digestión gástrica, y luego a pH de 5-7.5 para simular la digestión intestinal. Luego del proceso las muestras recuperadas se envían a análisis de espectrometría de absorción atómica en flama [98].
- c) Solubilidad: También simula el tracto gastrointestinal, pero únicamente toma en cuenta la fracción soluble del mineral.

En las figuras a continuación, se observa el uso de la metodología *in vitro* para la evaluación de bioaccesibilidad de diferentes nutrientes. Se observa, así mismo, los diversos autores que han empleado este método para sus estudios, y los esfuerzos realizados para su validación, al compararlo frente a la *in vivo*.

Paso	Método					
	Faila <i>et al.</i> , 2008	Hedrén <i>et al.</i> , 2002	Reboul <i>et al.</i> , 2006	Granado <i>et al.</i> , 2007	Colle <i>et al.</i> , 2010	Cilla <i>et al.</i> , 2012
Preparación muestra	Homogenizar	Molido con nitrógeno soplado	Homogenizar en salina y pirogalol	Homogenizar por 15s para simular masticación, amilasa, pH 6.5, 5min, 37°C	Homogenizar en sol. salina	Homogenizar
Fase oral	Amilasa, pH 6.8, 10min, 37°C	NA	NA	Amilasa, pH 6.5, 5min, 37°C	NA	NA
Fase gástrica	Pepsina porcina, pH 2.5, 1h, 37°C	Pepsina porcina, pH 2, 1h, 37°C	Pepsina porcina, pH 4, 30min, 37°C	Mucina, albúmina de suero bovino, Pepsina porcina, pH 1.1, 1h, 37°C	Pepsina porcina, pH 4, 30min, 37°C, y pH 2, 30min, 37°C	pH 2, 2h, 37°C

Paso	Método					
	Faila <i>et al.</i> , 2008	Hedrén <i>et al.</i> , 2002	Reboul <i>et al.</i> , 2006	Granado <i>et al.</i> , 2007	Colle <i>et al.</i> , 2010	Cilla <i>et al.</i> , 2012
Intestino delgado	Extracto de bilis, carboxil ester lipasa, pancreatina, lipasa, pH 6.5, 2h, 37°C	Pancreatina, sales biliares, pH 7.5, 30min, 37°C	Extracto de bilis, pancreatina, pH 6, 30min, 37°C	Bilis bovina, pancreatina porcina, lipasa pancreática humana, colipasa, colesterol esterasa, fosfolipasa A2, sales de taurocolato, pH 7.8, 2h, 37°C	Pancreatina, sales biliares, pH 6.9, 2h, 37°C	Pancreatina, bilis, pH 6.5, 2h, 37°C
Aislamiento fracción micelar	Centrifugar 5000g, 45min, 4°C, filtrar	Centrifugar 5000g, 20min	Centrifugar 20000rpm, 18h, 10°C, filtrar	Sedimentar toda la noche, centrifugar 5000rpm, 20min	Centrifugar 16500g, 65min, 4°C, filtrar	Centrifugar 3300g, 1h, 4°C
Captación celular	Celda CaCO ₂ , 4h, 37°C	NA	NA	NA	NA	NA

Cuadro 17: Comparación de métodos in vitro para determinar la bioaccesibilidad de carotenoides

Paso	Método			
	Reboul <i>et al.</i> , 2006	O'Callaghan <i>et al.</i> , 2010	Werner y Böhm 2011	Mandalari <i>et al.</i> , 2013
Preparación muestra	Homogenizar en sol. salina y pirogalol	Homogenizar	Homogenizar en sol. salina y pirogalol	NA
Fase oral	NA	NA	Amilasa, pH 6.5, 5min, 37°C	Amilasa, pH 6.9
Fase gástrica	Pepsina porcina, pH 4, 30min, 37°C	Pepsina porcina, lipasa, pH 4, 1h, 37°C	Pepsina porcina, pH 3.5 a 4.5, 30min, 37°C	Pepsina porcina, 37°C

Paso	Método			
	Reboul <i>et al.</i> , 2006	O'Callaghan <i>et al.</i> , 2010	Werner y Böhm 2011	Mandalari <i>et al.</i> , 2013
Intestino delgado	Extracto de bilis, pancreatina, pH 6, 30min, 37°C	Pancreatina, pH 7.8, 2h, 37°C	Extracto de bilis, pancreatina, pH 6.5 a 7, 30min, 37°C	Extracto de bilis, pancreatina, lecitina, colesterol, sodio de tauracolaro, pH 7, 2h, 37°C
Separación	Centrifugar 20000rpm, 18h, 10°C, filtrar	Ultracentrifugar 200000g, 95min, filtrar	Centrifugar 4000rpm, 20min, 10°C, y centrifugar 14000rpm, 5min, 22°C, filtrar	Centrifugar 3700rpm, 15min, 7°C
Captación celular	NA	Celda CaCO2	NA	NA

Cuadro 18: Comparación de métodos in vitro para determinar la bioaccesibilidad de vitamina E

8.5.7. Métodos de análisis de validación estadísticos

Análisis de Varianza ANOVA

Permite comprobar que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Este análisis determina la importancia de uno o más elementos por medio de una comparación de medias de la variable dependiente.

La hipótesis nula (H_o), declara que las medias de la población son iguales.

$$\mu_1 = \mu_2 \quad (1)$$

La hipótesis alternativa (H_a), declara que al menos una de las medias es distinta

$$\mu_1 \neq \mu_2 \quad (2)$$

Para realizar este análisis estadístico se debe tomar en cuenta que la variable dependiente debe ser continua, que es necesario que los datos posean una distribución normal con varianzas iguales entre los niveles de factores. Los análisis previos a realizar son: Normalidad, Independencia, y Homocedasticidad [117].

Para realizar el cálculo se necesita:

- Cálculo de los grados de libertad $\theta = n - 1$

- Cálculo de medias
- Cálculo de varianzas
- Cálculo del estadístico F $F_0 = \frac{s_1^2}{s_2^2}$

Tukey

Se emplea en conjunto con el análisis ANOVA y se basa en el cálculo de las diferencias entre pares de medias; determina cuál de las medias es distinta del resto. Los resultados se reportan por medio de una matriz que muestra el resultado para cada par en términos del valor P o como un intervalo de confianza [117].

Este análisis posee las mismas asunciones que el ANOVA, es decir, asume normalidad, independencia y homocedasticidad.

$$q_s = \frac{x_1 - x_2}{S} \quad (3)$$

8.6. Metodología

8.6.1. Validación del método de biodisponibilidad de zinc

- a) Empleando el método descrito en el apartado 6.2, medir la concentración de zinc en fórmula infantil para comparar con los numerosos estudios realizados entorno a este alimento:
 - Fórmula infantil a base de leche
 - Fórmula infantil a base de soya
- b) Comparar resultados, con los obtenidos por método original:
 - Fórmula infantil a base de leche
 - Fórmula infantil a base de soya
- c) Realizar test estadístico Anova para determinar si existe un diferencia significativa entre la metodología propuesta y la utilizada por el artículo de referencia. En caso el F sea mayor al Fcrítico se establecerá que existe diferencia significativa.
- d) Determinar si la metodología propuesta provee resultados similares a los obtenidos por el método in vitro en otros estudios con los resultados obtenidos de la prueba ANOVA.

8.6.2. Biodisponibilidad de zinc

Simulación de la extracción de fluido gástrico

- a) Mezclar la muestra de agua a utilizar para conseguir su homogenización
- b) Pesar 10 g de muestra homogenizados previamente
- c) Llevar a pH de 2.0 con 6 mol/l de HCl en constante agitación, empleando un agitador magnético
- d) Añadir 3 ml de solución de pepsina recién preparada y llevar muestra a 100g con agua destilada
- e) Preparar solución de pepsina disolviendo 16 g de pepsina en 100ml de 0.1 mol/l de HCl.
- f) Incubar muestra en baño a 37°C por 2 horas (simulación de la digestión gástrica).
- g) Tomar muestras en duplicado de 20 g y transferirlas a beakers de 100 ml.
- h) Mezclar 20 g de pepsina digerida y 5 ml de extracto de bilis de pancreatina y medir su acidez titulable empleando NaOH 0.5M como titulante. Calcular el % de acidez titulable
- i) Convertir el volumen de NaOH gastado para titular la solución a moles y calcular el volumen equivalente de $NaHCO_3$. Para ello utilizar el número de equivalentes de ambas sustancias.
- j) Colocar en los beakers un tubo de diálisis con 25ml de agua y agregar la cantidad de $NaHCO_3$ calculado. Sellar con papel parafilm.
- k) Incubar en un baño a 37°C por 30 min (hasta que llega a pH de 5).
- l) Adicionar 5ml del extracto de bilis de pancreatina a cada bote y continuar con la incubación por 2 horas.
- m) Preparar solución de bilis de pancreatina mezclando 4 g de pancreatina y 25 g de bilis en 1L de 0.1 mol/l $NaHCO_3$
- n) Al finalizar la incubación, remover los tubos de diálisis y realizar lavado con agua destilada.
- ñ) Vaciar los tubos de diálisis, pesar su contenido y realizar análisis para contenido de zinc en triplicado empleando espectrometría de absorción atómica de llama.
- o) Blanco: Leer concentración de Zn de los extractos de pepsina y bilis de pancreatina y restar de los resultados finales.
- p) Cálculo de la biodisponibilidad, expresado como porcentaje respecto al total presente en la muestra.

$$Biodisponibilidad(\%) = \left(\frac{D}{W * A} \right) * 100 \quad (4)$$

donde D = contenido total del mineral en el tubo de diálisis, W = Peso de la muestra y A = concentración de mineral en la muestra

- q) Análisis estadístico

- Obtener promedio y desviación estándar del resultado de biodisponibilidad.
- Realizar test de Normalidad y varianzas iguales
- Comparar la media de la biodisponibilidad por medio de ANOVA. En base a los valores de F obtenidos se concluye acerca de su diferencia.

r) Análisis del cumplimiento de la recomendación diaria

- Con los datos de biodisponibilidad y dosificación diaria se calcula el porcentaje de cumplimiento de la recomendación diaria para infantes y adultos

$$Cumplimiento(\%) = \left(\frac{V * B * D}{V * O} \right) * 100 \quad (5)$$

donde V = volumen de agua bebido a diario, B = Biodisponibilidad y D = dosificación de zinc diaria, O objetivo de la fortificación desarrollada

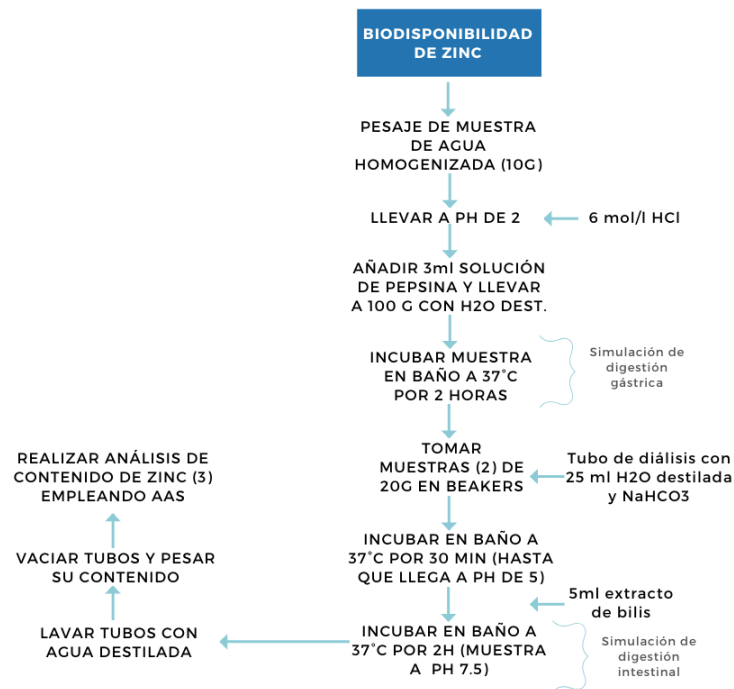


Figura 36: Diagrama de flujo de la evaluación de biodisponibilidad

8.6.3. Dosificación de zinc en agua filtrada

1. Seleccionar 3 filtros de cada tipo de membrana fortificadora zinc desarrollada: 3 filtros con la membrana denominada "Hidrogel", 3 de la de "Recubrimiento", y 3 de "Pastilla"
2. En cada uno de los 9 filtros obtenidos filtrar agua diariamente por 6 semanas a excepción de los sábados y domingos, con el fin de simular un "no uso" prolongado del filtro. Los patrones a utilizar son:

a) Bajo uso: filtración de 2L de agua al día

- b) Uso moderado: filtración de 3.5L de agua al día
 - c) Uso elevado: filtración de 5L de agua al día
3. Luego de filtrar la muestra diaria establecida (2, 3.5 o 5L diarios) .
 - a) Tomar una muestra de 10 ml del agua obtenida en el inciso anterior en tubos de ensayo de vidrio.
 - b) Cubrir tubos con papel estaño para evitar degradación del mineral por la luz, rotular y almacenar a temperatura ambiente.
 - c) Analizar muestras en el espectrómetro de absorción atómica de llama (AAS). Usar solución de Zinc para calibración, en el rango de 0.1 a 1.0 mg/L.
 4. Con los resultados obtenidos realizar un estadístico ANOVA para evaluar la diferencia entre los patrones de uso, y entre las matrices desarrolladas.


8.6.4. Vida útil

1. Seleccionar 1 filtro de cada tipo de membrana fortificadora zinc desarrollada ("Hidrogel", "Recubrimiento", y "Pastilla")
2. Filtrar 6L de agua a diario (capacidad máxima del filtro).
3. Tomar una muestra del agua filtrada cada 20 días por un lapso 4 meses usando el mismo procedimiento que en el inciso 3 a) de la metodología de Dosificación de zinc en agua filtrada. Esto permite realizar un estudio rápido del agua consumida en 24 meses (tiempo de vida útil de un Ecofiltro).
4. Determinar hasta que día la concentración de Zinc reduce a una concentración menor del esperado (la concentración que se establezca con los paneles sensoriales).
5. Calcular el tiempo en que la matriz dosifica la concentración de zinc adecuada, y determinarla como el tiempo de vida útil de la membrana fortificadora
6. Para establecer el fin de vida útil se realiza una interpolación hasta el punto en que la matriz alcanza una concentración de 0.076 mg/L

8.7. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados de los datos obtenidos en la experimentación y el análisis correspondiente a cada uno. Se presentan los resultados en el orden planteado en la metodología, partiendo de la validación del método usado para biodisponibilidad, seguido de los resultados de dicho método aplicado a cada matriz de fortificación, luego la dosificación de zinc de las distintas matrices, y por último, la vida útil. Se destacan especialmente las variables que han influido en la biodisponibilidad del zinc y en el comportamiento de liberación de este mineral en cada una de las matrices desarrolladas, ofreciendo las posibles razones que han podido dar lugar a dichos resultados.

Para cumplir con los objetivos de estudio se seleccionó y desarrolló una metodología de evaluación de biodisponibilidad que fuera factible. Por lo mismo, se determinó como método un estudio in vitro pues permitía la recolección de información de manera confiable, con bajo costo y en menor tiempo. Para asegurar que la metodología seleccionada era la adecuada se sometió a prueba, y se comparó los resultados con los estudios realizados por Bosscher *et al.*, [98]. Para ello, se determinó la biodisponibilidad de zinc en fórmula infantil a base de proteína de suero de leche de vaca, y fórmula infantil a base aislado de proteína de soya. Algunos de los pasos del proceso se observan en el siguiente cuadro.

Paso	Imagen
Pesaje de muestra inicial	
Incubación	
Muestra dialisada	
Análisis en espectrómetro	

Cuadro 19: Resumen de la metodología empleada para evaluar la biodisponibilidad del zinc

Se obtuvo como resultado una biodisponibilidad en la fórmula a base de proteína de suero de leche de vaca y aislado de proteína de soya de 7.1% y 2.1%, respectivamente. Dicho resultado concuerda con lo reportado por Bosscher *et al.*, 2001, quienes indican que

la disponibilidad de Zn es similar en las fórmulas de suero ($6,7\% \pm 0,6\%$) y caseína ($8,5\% \pm 1,6\%$), pero menor en la fórmula de soya ($2,3\% \pm 0,4\%$). Al realizar un análisis estadístico de varianza de un solo factor, se obtuvo que no hay diferencia significativa entre los resultados obtenidos y los reportados por Bosscher. Por lo tanto, se concluyó que la metodología seleccionada es válida; por lo que se procedió a su uso para la determinación de biodisponibilidad de zinc en el agua.

La fortificación de alimentos con zinc a menudo tiene un impacto limitado porque la biodisponibilidad del zinc de gran parte de los alimentos básicos es baja. En este estudio, se evaluó el desempeño del acoplamiento de una matriz fortificadora de zinc a un filtro elaborado artesanalmente por la empresa Ecofiltro. Se tomó 3 muestras del agua filtrada por la configuración anterior (unidad filtrante y matriz de fortificación) para cada una de las 3 matrices desarrolladas con el fin de evaluar la biodisponibilidad del zinc en el agua. Se obtuvo una media de porcentaje de biodisponibilidad de 46.67 %, 42.93 % y 46.29 % para la matriz “Recubrimiento”, “Hidrogel”, y “Pastilla”, respectivamente (ver cuadro inferior). La media global de biodisponibilidad fue de 45.29 %.

Sistema	Biodisponibilidad
Recubrimiento	46.67 %
Hidrogel	42.93 %
Pastilla	46.29 %

Cuadro 20: Biodisponibilidad de zinc en cada uno de los sistemas de fortificación desarrollados

Al comparar el resultado con el estudio realizado por Prosper Kujinga-Chopera en el occidente de Kenia en 2016, se obtuvo una biodisponibilidad menor, siendo la diferencia de 45.29% a 65.9%, aproximadamente un 20% menos. A pesar de que en este estudio utilizaron como fuente óxido de zinc, el cual tiene según fuentes menor biodisponibilidad, la dosificación de zinc era mayor (2.6 a 4.6mg por 300ml, equivalente a 8.7 a 15.3 mg por litro). Debido a la relación directamente proporcional entre la concentración de zinc y su absorción, sí se esperaba obtener menor porcentaje de biodisponibilidad, y se considera que de aumentar la concentración de zinc en la matriz se lograría aumentar considerablemente el porcentaje de biodisponibilidad. Así mismo, se considera que esta alta diferencia en el porcentaje final obtenido se debe a la metodología de evaluación. Kujiga-Chopera evaluó el contenido de zinc en humanos (in vivo) utilizando el método de monitorización urinaria de zinc isotópico doble. Por ello, para futuras mejoras se recomienda realizar el análisis en humanos y comparar los resultados.

Las principales dificultades en la realización de la evaluación de biodisponibilidad fueron el alto control del parámetro de pH, pues una pequeña variación del mismo ocasionaba un diferente comportamiento en la absorción del zinc. Además, debido a que durante la incubación de las muestras no se tuvo un uso exclusivo de la incubadora con agitación, se tuvo un proceso con interrupciones. Este hecho tuvo un alto impacto en la efectividad del mismo, puesto que en comparación con un proceso in vivo la digestión nunca se ve interrumpida. Por lo mismo se recomienda para futuras investigaciones realizar el análisis por más días, o bien, tener un equipo de uso exclusivo. A pesar de estas deficiencias encontradas, los resultados finales fueron validados ya que, como se indicó anteriormente, los resultados son similares a los presentados por otros estudios.

Dado que la ingesta inadecuada de alimentos con zinc absorbible es la principal causa de la deficiencia de zinc en la mayoría de las situaciones, una mejora en el estudio sería considerar a profundidad la posibilidad de aumentar la concentración del mineral, para lograr una mayor biodisponibilidad. Un aumento significativo de la biodisponibilidad es sustancial para lograr un efecto en la salud de la población guatemalteca pues basan su dieta en productos de maíz, pero escasos productos cárnicos (dieta pobre en zinc). Esto se debe a la pobreza, la disponibilidad limitada de alimentos y las restricciones socioeconómicas, culturales o religiosas.

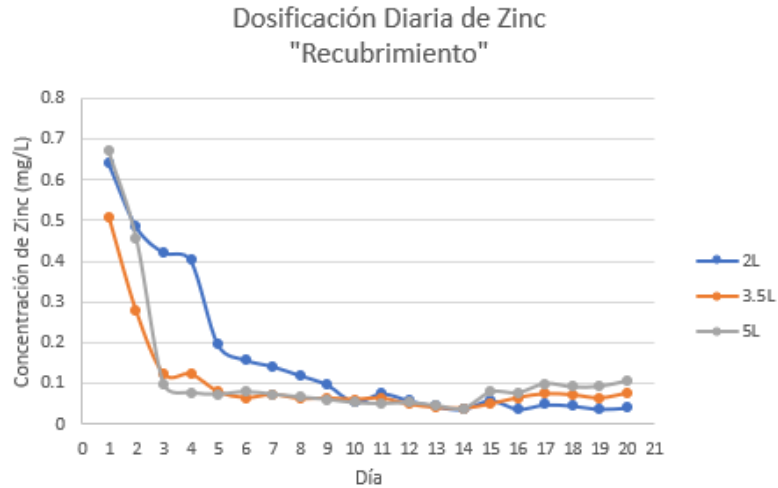


Figura 37: Evaluación de la dosificación diaria de zinc de la matriz denominada recubrimiento"

La Figura 92 muestra la variación de la concentración de zinc en el tiempo. Como se evidencia, la concentración de este mineral reduce con el paso de los días, siendo mayor este diferencial en los primeros 5 días. A partir del quinto día se observa que la liberación de zinc permanece controlada y constante, con ligeras variaciones de 0.016 mg/L. A pesar del alto contenido de zinc en el agua potable los primeros dos días, esta desventaja se puede despreciar pues la empresa que elabora estos filtros tiene como política descartar el agua filtrada las primeras dos veces. Esto quiere decir que el agua que será consumida por primera vez será la referente al día 3 en la figura anterior.

Por otro lado, el patrón de uso que presentó mayor variabilidad en el transcurso del tiempo fue el de 2L, iniciando con un valor de 0.638 mg de zinc/L y pasados 20 días este redujo a 0.039 mg de zinc/L. Al realizar una comparación entre los tres patrones de uso se establece que los patrones de 3.5 litros y 5 litros de filtrado diario de agua liberan el zinc de una forma más constante que el de 2 litros. Esto puede deberse a que para este último patrón el tiempo de filtrado era en promedio de 12 horas, por lo que el tiempo restante del día se secaba el filtro y la matriz. Por el contrario para los patrones medio y alto (3.5 y 5 litros), el tiempo que tomaba filtrar ese volumen de agua era aproximadamente 20 horas. Además de ello, es importante recalcar que el agua ya filtrada se mantenía siempre en contacto con la matriz de fortificación ya que el volumen era el suficiente que ocasionada que la altura a la que llegaba el agua fuera bastante alta que tocaba el filtro y por ende la matriz (línea roja de la Figura 92, línea amarilla es el referente al filtrado de 2L). Esto último generó que

el agua lista para consumo y la matriz buscaran un equilibrio, logrando, por tanto, que la concentración de zinc en el agua fuera regular día a día.



Figura 38: Altura del agua filtrada dentro del contenedor

A pesar de estas diferencias encontradas entre los tres distintos patrones evaluados, al realizar un análisis ANOVA de un solo factor se encontró que no existe una diferencia significativa entre los mismos ya que se obtuvo un valor F de 0.78 y un F crítico de 3.16. Se obtuvieron los resultados esperados, pues se permite garantizar que sin importar el volumen de agua filtrada a diario, la concentración de zinc en el agua potable será la misma. Por ende, cualquier tamaño de familia podrá usar el filtro. En cuanto a la concentración obtenida el último día de análisis para el patrón de 2L, 3.5L y 5L de agua filtrada a diario (0.039mg/L, 0.074mg/L y 0.105mg/L, respectivamente) se determinó que únicamente el de cinco litros cumple con el requerimiento diario recomendado (concentración es mayor a 0.076mg/L).

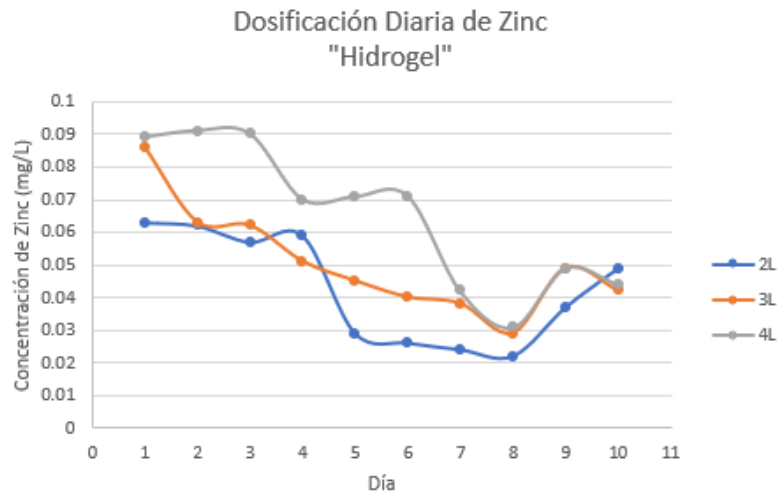


Figura 39: Evaluación de la dosificación diaria de zinc de la matriz denominada "hidrogel"

La Figura 93 muestra la concentración de zinc en el agua filtrada empleando la matriz

denominada “Hidrogel” por 10 días. Como se aprecia, esta matriz posee mayor variabilidad que la presentada anteriormente. El diferencial total de concentración de zinc en el lapso total de tiempo es de 0.034 mg de zinc/L. Así mismo, la tendencia de la concentración de este mineral en los tres patrones es de disminución (pendiente negativa), indicando que a mayor número de días menor es la cantidad de zinc en el agua.

Como se observa, para esta matriz se evaluó diferentes patrones de uso que los usados para la de “recubrimiento” y “pastilla”, siendo estos 2, 3 y 4 litros de agua. La razón a ello es que esta matriz al ser un gel adherido a las paredes interiores del filtro genera una barrera entre el filtro y el agua contenida. Como consecuencia de esto la capacidad de filtración se reduce considerablemente, logrando filtrar como máximo 2 litros de agua diarios. Por este mismo hecho, la matriz fue descartada del estudio en el día 10 pues la funcionalidad del filtro se ve afectada.

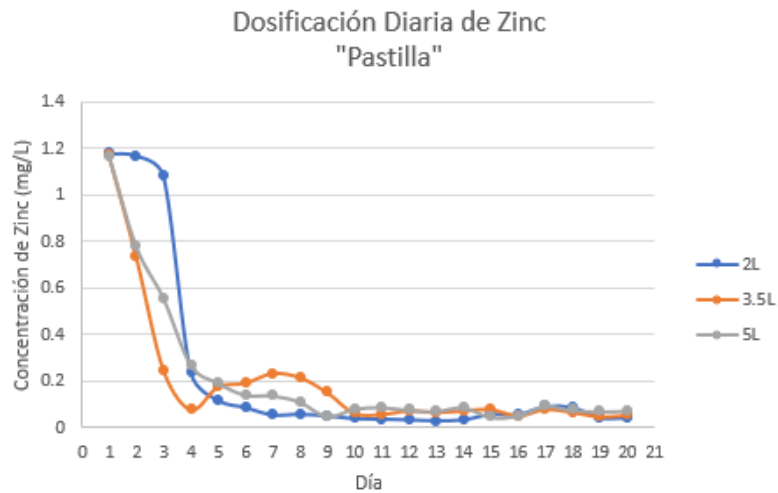


Figura 40: Evaluación de la dosificación diaria de zinc de la matriz denominada "pastilla"

La Figura 94 al igual que las anteriores muestra el comportamiento de liberación de zinc en el transcurso del tiempo. Los primeros 4 días la concentración de zinc redujo drásticamente, inicia liberando 1.172 mg de zinc/l y al finalizar este lapso (4 días), se cuantificó en promedio 0.194 mg de zinc por litro de agua. A partir de este momento, la dosificación de zinc fue más controlada y constante. Los 3 distintos patrones siguieron una tendencia similar, caracterizada por variaciones no mayores a 0.009 mg de zinc por litro de agua, y un diferencial total de concentración de zinc en el lapso total de tiempo de 1.117 mg de zinc/L en promedio, que en comparación con las otras dos matrices es el de mayor diferencial total. Se encontró que las altas concentraciones de zinc los primeros días se deben a una ausencia de lavado de la pastilla al finalizar su elaboración. La falta de este paso ocasiona que al colocarla en el filtro y al entrar en contacto con agua las partículas de zinc encontradas en la superficie se disuelvan fácilmente en el agua. Por el contrario, las partículas contenidas en el interior de dicha matriz se encuentran cubiertas por el quitosano, dificultando su disolución, y por tanto, favoreciendo a una liberación controlada.

Al comparar los tres patrones de uso, no se encuentra una diferencia grande en la variación de concentración de zinc, hecho que se justifica con un análisis ANOVA que permite concluir una diferencia no significativa (F de 0.054 y F crítico de 3.16). Este hecho es una ventaja para esta matriz de fortificación ya que el volumen diario filtrado de agua no tiene incidencia en la liberación de este mineral, permitiendo garantizar que el zinc se encuentra en igual contenido independientemente del tamaño de la familia. Una desventaja que se observó, es que los primeros tres días de filtrado, además de el alto contenido de zinc, el agua presentaba color amarillento reduciendo aceptación por el consumidor. Como se mencionó en el caso de la matriz de Recubrimiento, dicho inconveniente se resuelve por el descarte del agua filtrada los primeros dos días, ya que al tercero la tinción amarillenta es casi imperceptible, como se observa en el cuadro a continuación.

Día	Tinción del agua
1	
2	
3	

Cuadro 21: Tinción del agua filtrada con el acoplamiento de la matriz "pastilla" durante los primeros tres días



Figura 41: Comparación de la dosificación diaria de zinc para el patrón de uso de 2 litros

La figura anterior muestra una comparación de la dosificación diaria de zinc entre los

tres tipos de membrana desarrollados para el patrón de filtrado de 2 litros diarios. Como se observa, cada una posee una concentración inicial de zinc diferente, y tanto la de “Pastilla” como la de “Recubrimiento” poseen un decaimiento en concentración los primeros cuatro días. Este dato permite deducir que el comportamiento de estas dos membranas es similar. Ambas liberan de forma inmediata, en contacto con agua, todas las partículas de zinc débilmente ligadas en los primeros días, y al cabo del cuarto día la dosificación de zinc reduce 90 % en la de “Pastilla”, y 70 % en la de “Recubrimiento”. Por el contrario la membrana “Hidrogel” posee una liberación constante desde el día 1. Esto representa una ventaja para esta última ya que garantiza que el consumo de zinc es constante en los días, actuando de una forma más efectiva desde el inicio.

Al cabo del quinto día los tres tipos de matrices liberan una concentración de zinc similar de 0.075 mg de zinc por litro al día. Al realizar un análisis estadístico ANOVA de un solo factor se obtuvo un F de 1.50 y un F crítico de 3.20. Con estos resultados se determina que no existe diferencia significativa en la dosificación diaria de zinc entre las tres distintas matrices cuando todas están empleadas para filtrar 2 litros de agua al día. Según ello, se establece que sin importar el tipo de membrana fortificadora que se seleccione para adaptar al filtro artesanal se garantiza un mismo comportamiento de liberación de mineral en el tiempo.

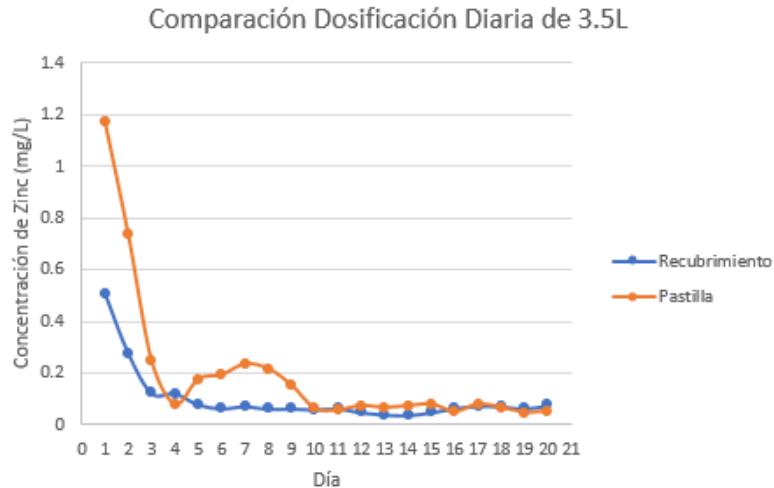


Figura 42: Comparación de la dosificación diaria de zinc para el patrón de uso de 3.5 litros

Similar a lo anterior, la Figura 130 presenta una comparación del comportamiento de la dosificación diaria de zinc entre la membrana “Pastilla”, y “Recubrimiento”, para el patrón de filtrado de 3.5 litros diarios. De igual forma, la concentración inicial de zinc es distinta, con una diferencia de 0.665 mg/L, y ambas poseen un decaimiento en concentración los primeros cuatro días. A diferencia del patrón de filtrado de 2L, la membrana “Pastilla”, presentó un aumento en la concentración de zinc del día 5 al 7. El día 5 corresponde a la medición realizada un día lunes, después de haber dejado de utilizar el filtro el fin de semana (como lo indicado en la metodología para simular un "no uso" del filtro). Esto evidencia que al dejar de filtrar el agua por 2 días la concentración de zinc aumenta. Sin embargo, para el día 6 y 7 no se conoce la causa a dicho comportamiento. Para verificar que los datos son correctos

se recomienda realizar una segunda lectura de las muestras en el espectrómetro. Similar comportamiento al descrito anteriormente se observa en el día 12 (día lunes nuevamente), sin embargo no se observa lo mismo al día 19. Por tanto, no se puede generalizar acerca de si el "no uso" del filtro es una variable que afecta la dosificación de zinc diaria.

En contraste con el comportamiento observado para la membrana "Pastilla", la de "Recubrimiento" no presenta un aumento en la concentración de zinc los días 5, 12 o 19. Esto indica que esta membrana no se ve afectada en lo absoluto al no utilizar el filtro por cierto tiempo. Este hecho, presenta una ventaja para esta membrana ya que demuestra que su comportamiento se ve invariable frente a cambios en su uso, garantizando seguridad en su empleo sin importar el tipo de uso que se le de en cada hogar.

La Figura 130, presenta también que al cabo del décimo día ambas membranas fortificadoras liberan una concentración de zinc promedio de 0.060 mg de zinc por litro al día. Al realizar el estadístico ANOVA de un solo factor se obtuvo un F de 2.02 y un F crítico de 4.10. Por ello, se establece que no existe diferencia significativa en la dosificación diaria de zinc entre las dos matrices, cuando en ellas se filtra 3.5 litros de agua al día. Por lo mismo, se puede asegurar un mismo comportamiento de liberación de mineral en el tiempo sin importar la matriz seleccionada.

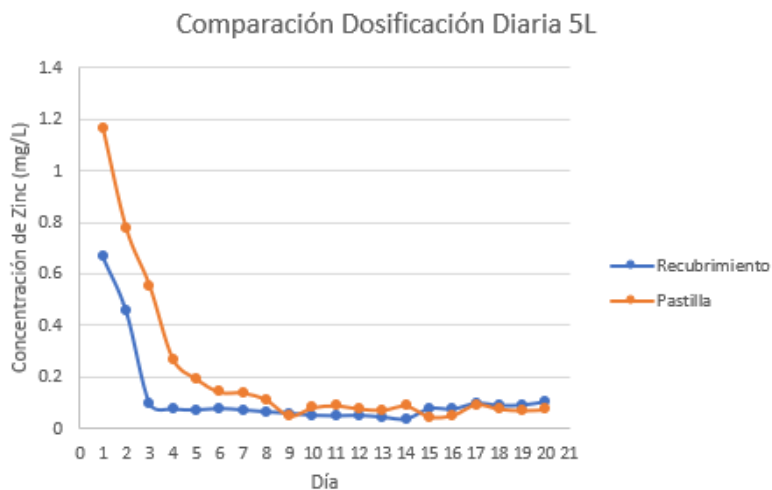


Figura 43: Comparación de la dosificación diaria de zinc para el patrón de uso de 5 litros

La figura anterior compara la dosificación diaria de zinc entre dos de los tres ("Pastilla", y "Recubrimiento") tipos de membrana desarrollados para el patrón de filtrado de 5 litros diarios. Como se aprecia, al igual que en los dos patrones anteriores, la concentración inicial de zinc es diferente, y ambas presentan una disminución elevada de la concentración en los primeros cuatro días. Por su lado, la matriz "Pastilla", continúa la disminución del contenido de zinc hasta el día 9. Este resultado es clave pues demuestra que esta membrana se ve afectada mayormente por las variaciones del patrón de uso. Dicho resultado, es una desventaja para esta matriz ya que el comportamiento de liberación de zinc de la "Pastilla" es sensible a cambios en volúmenes de filtrado. Por tanto, el tamaño de familia será un factor decisivo. Es decir, si el tamaño de la familia es pequeño, y su uso del filtro es bajo tendrá un

comportamiento de liberación de zinc distinto al de una familia numerosa que filtra mayores cantidades de agua al día. Como consecuencia, la venta del filtro tendría que ser sesgado de acuerdo al volumen de agua a filtrar. Para evitar lo anterior, se recomienda evaluar la posibilidad de encapsular las moléculas de zinc a forma que su liberación sea más controlada.

Se determina que ambos tipos de matrices liberan una concentración de zinc promedio de 0.070 mg de zinc por litro al día pasados los primeros 8 días de filtración. El análisis estadístico arrojó un valor de F de 1.48 y un F crítico de 4.10. Estos valores permiten determinar que no existe diferencia significativa en la dosificación diaria de zinc entre las dos distintas matrices al filtrar 5 litros de agua al día. Por lo tanto, se establece que sin importar el tipo de membrana fortificadora que se seleccione se avala un mismo comportamiento de liberación de mineral en el tiempo.

Tomando en cuenta la biodisponibilidad obtenida y la dosificación diaria de zinc, se logra cubrir el 41.71 % de la recomendación diaria recomendada para infantes, y el 29.08 % para adultos. Considerando que la ingesta promedio en áreas rurales del país es de 3mg/día para infantes de 0 a 6 meses y que su dieta es rica en fitatos la recomendación diaria es de 5.5 mg/día (Figura 89). En base a estos datos se considera que es insuficiente el zinc deliberado por medio de la matriz. Sin embargo, el impacto en la salud sería buena ya que de los 5.5 mg diarios se estaría alcanzando 5.29 mg, el equivalente al 96.26 %.

En lo que respecta a los adultos, considerando que la ingesta promedio en áreas rurales del país es de 6mg/día y que la recomendación diaria por la dieta rica en fitatos es de 9.95 mg/día, en promedio para mujeres y hombres (Figura 89), se considera que es insuficiente el zinc deliberado por medio de la matriz. Sin embargo, el impacto en la salud sería buena ya que de los 9.95 mg diarios se estaría alcanzando 8.89 mg, el equivalente al 89.38 %.

Recomendación diaria	Niños	Adultos
Agua fortificada	41.71 %	29.08 %
Agua fortificada + Dieta diaria	96.26 %	89.38 %

Cuadro 22: Alcance de la fortificación por medio de los sistemas desarrollados

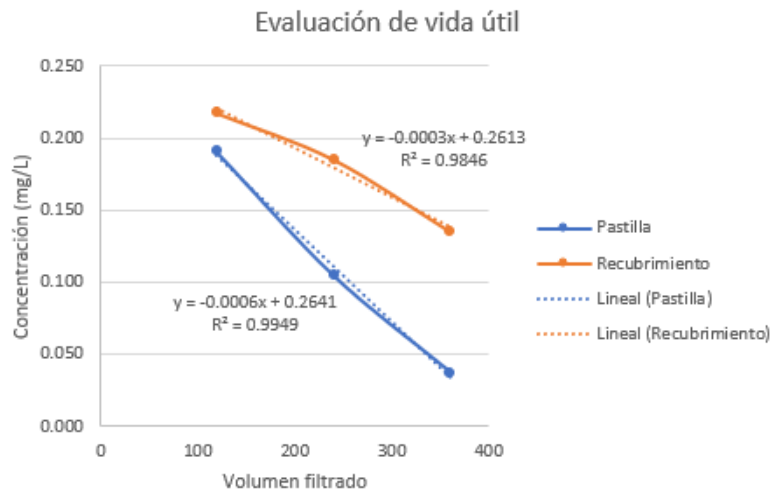


Figura 44: Comparación de la vida útil según la concentración de zinc

La Figura 44 muestra los resultados obtenidos para el análisis de vida útil de las matrices, la cuál se estudio analizando la variación de la concentración de zinc en función del volumen filtrado de agua para las matrices denominadas “Recubrimiento” y “Pastilla”. Como se observa ambas presentan una disminución en el contenido de zinc en agua, siendo la de mayor reducción la de “Pastilla”. Este estudio acelerado que se realizó permite conocer el comportamiento de las matrices a futuro para garantizar al consumidor una acción constante y que este libre de riesgo de intoxicación.

Debido a la tendencia al decremento de zinc en las matrices, y por falta de tiempo para continuar con el análisis, se interpoló utilizando la ecuación de la recta para predecir el tiempo de vida útil. Según la ecuación se determinó que la matriz fortificadora “Recubrimiento” tiene una vida útil de 10.29 meses, mientras que la denominada “Pastilla” 5.22 meses. Esto indica que la vida útil de la segunda matriz es 2 veces menor que la primera. Este tiempo fue calculado (ver anexos) considerando como fin de vida útil el momento en que la matriz llegaba a liberar una concentración de zinc de 0.076 mg/L. En el contexto del Ecofiltro esto implicaría que los usuario deberán adicionar una pastilla nueva al finalizar su vida útil (5 meses). En el caso del recubrimiento, se debe evaluar la forma de extender su vida útil ya que esta membrana no puede renovarse al finalizar su vida de anaquel a menos que se compre un filtro nuevo. Esto convierte en una desventaja para este sistema, ya que el filtro aún poseerá 14 meses más de utilidad desde el punto de vista de purificación en el momento en que la matriz de fortificación caduque.

Este valor fue determinado utilizando los valores de requerimiento diario de zinc establecidos por la Organización Mundial de la Salud (ver la Figura 88), para los consumidores de 6 a 12 meses de edad. Se utilizó este rango de edad ya que es el que posee un menor requerimiento diario, y por ende, es el parámetro para no intoxicar a ningún ser humano que consuma esa agua. Así mismo, se estableció como objetivo cumplir con un 20 % del requerimiento de ingesta diario de zinc, ya que al no existir ninguna normativa en el país que regule este porcentaje, permite libertad de elección de acuerdo con los objetivos y beneficios del proyecto. Se determinó este porcentaje, pues permitía complementar la ingesta de zinc actual de las poblaciones rurales de Guatemala, y a su vez, se lograba una aceptación sensorial del agua fortificada por parte de los consumidores. Debido a que la tasa de decremento de la concentración de zinc en agua es alta, se recomienda para futuros estudios incrementar el porcentaje objetivo de fortificación a un 30 o 40 %.

La línea de tendencia obtenida fue del tipo lineal pues fue la configuración que más se adaptaba a los datos, debido a que únicamente se tienen 3 puntos. Es importante considerar, que la tendencia en los datos puede que no se comporte lineal en el tiempo y resulte en una de tipo exponencial o logarítmica. Por ello, una posible fuente de error es la ecuación de la recta con la que se analizaron los datos. Para futuras investigaciones relacionadas se recomienda realizar el análisis de vida útil por un período prolongado, para lograr la medición de las concentraciones de zinc hasta un incluso de 720L (6 muestras en un lapso de 4 meses). Con este número de muestras sería posible obtener una línea de tendencia más ajustada y real.

Finalmente, se puede observar que los resultados fueron satisfactorios debido a que se lograron los objetivos. Se estableció la vida útil promedio de las matrices fortificadoras desarrolladas “Recubrimiento” y “Pastilla”, y se determinó la dosificación y porcentaje de biodisponibilidad de zinc. Se encontró en términos de dosificación de zinc y vida útil, que la mejor matriz es la de “Recubrimiento”. Sin embargo, para futuras investigaciones relacionadas se

recomienda realizar los análisis por un tiempo más prolongado.

Diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de una unidad filtrante de agua

9.1. Resumen

En Guatemala a lo largo de los años se han detectado persistentes deficiencias en los nutrientes de los niños por la baja calidad y reducida alimentación que reciben. Uno de los nutrientes primordiales que se detectó con deficiencia fue el zinc. Es importante incluir el zinc en la dieta diaria de los niños debido a que este ayuda en la absorción de otros nutrientes ayuda al sistema inmunitario a combatir bacterias, es de vital importancia en los años de desarrollo de los infantes, en el embarazo se necesita de zinc para fabricar proteínas y este favorece la cicatrización de heridas y el buen funcionamiento del sentido del gusto y el olfato.

Al detectar este problema surgió la idea de crear el proyecto de un dosificador de zinc para el agua, así los niños estarán fortificándose de zinc mientras se hidratan o se alimentan, ya que en las casas visitadas por él módulo Estudio mercadológico de una matriz de zinc adaptada a una unidad filtrante de agua se observó que también utilizan el agua filtrada para la preparación de diferentes alimentos y bebidas

9.2. Introducción

En este módulo Se evaluó el proceso productivo actual de la empresa de dosificadores de unidades filtrantes, se recomendaron varias modificaciones para aumentar su producción y se realizaron cambios en la distribución, así como se recomendó maquinaria para realizar el proceso de manera eficiente. Se realizó la producción en masa de ambas propuestas de

dosificadores, se determinó la viabilidad y se realizó la implementación del método que se adaptara de mejor manera al proceso productivo de las unidades filtrantes de agua.

Se evaluaron dos métodos propuestos por los módulos Evaluación comparativa de un sistema de hidrogel polimérico de liberación controlada y una capa de zinc coloidal, como matriz de fortificación de zinc en un sistema de filtración de agua denominado como método de cobertura y Desarrollo de una membrana a base de quitosano que permita la dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua denominado como el método de pastilla, para el análisis de los mismos se realizaron estudios de tiempos, simulaciones, requerimientos de inventarios para los próximos cuatro años para evaluar la factibilidad de cada método propuesto solo el método de cobertura se determinó viable para su implementación en la empresa de unidades filtrantes de agua.

9.3. Antecedentes

9.3.1. Caso Fleetguard

Como compañía integrada verticalmente, proporciona a sus plantas de ensamblaje de filtros láminas de metal, papel, componentes de caucho, mezcla de refrigerante, adhesivos, herramientas y matrices. La implementación de Fleetguard se extendió a lo largo de la cadena de suministro extendida y varias organizaciones, incluyendo proveedores, operaciones internas, socios de distribución, socios de canal, equipos de desarrollo de nuevos productos y departamentos de venta y marketing.

Anterior a la implementación de teoría de restricciones, Fleetguard producía aproximadamente 350 productos diferentes y tenía ventas anuales de \$36 millones dejando una ganancia de \$3 millones.

Fleetguard pasó de la producción de fabricación a pronóstico a la producción de disponibilidad en sus cinco plantas. Se implementaron la programación simplificada del tambor-búfer-cable (DBR) y la gestión del búfer. En lugar de producir a los pronósticos, las plantas comenzaron a producir al consumo. Cuando la producción se correspondía con el consumo, casi se eliminaba el robo de capacidad entre los productos. Con la implementación simplificada de DBR, se liberó más del 50% de la capacidad, mientras que el tiempo de entrega se redujo drásticamente. Otros cambios incluyen:

- informe diario de penetración de amortiguadores basado en la situación del stock para guiar las prioridades.
- Almacenamientos intermedios de materias primas y el correspondiente sistema de reabastecimiento con los proveedores para que las plantas puedan producir cualquier unidad de almacenamiento (SKU) en cualquier día
- Un proceso de fabricación a pedido, sistema DBR simplificado
- Un sistema de reposición basado en el consumo a lo largo de la cadena de suministro.

Desde la implementación inicial de TOC, las ventas anuales aumentaron de \$36 millones a \$113 millones. La organización está muy cerca de lograr su visión viable de multiplicar por cuatro las ventas y multiplicar por siete las ganancias en 2011. [118]

9.3.2. Caso Dirona

Ubicada en Monterrey, Nuevo León – una de las ciudades industria les más importantes de México -, Dirona es una importante fábrica de ejes (delanteros y traseros), diferenciales y frenos para camiones pesados y ómnibus. Los clientes de Dirona incluyen a John Deere, Mercedes Benz, Freightliner, Volvo, Navistar, Kenworth, General Motors, Chrysler y Meritor.

La compañía emplea aproximadamente 1.200 personas y su facturación es superior a \$100 millones de dólares anuales. Como muchos fabricantes de partes para automotores y vehículos pesados, Dirona se organiza alrededor de 4 unidades de negocios separadas, donde cada una provee piezas que finalmente se juntan y entran al Ensamble Final.

Dirona comenzó la implementación entrenando a sus principales ejecutivos en los conceptos de la Teoría de las Restricciones y el Drum-Buffer-Rope (tambor-amortiguador-soga ver nota 1 al pie). Desde los ejecutivos, la capacitación continuó en cascada por los distintos niveles de la empresa involucrados en el proceso de producción hasta llegar a los operarios.

Luego de sólo tres meses de planear sus operaciones según el método de Drum-Buffer-Rope , en agosto de 1998, Dirona incrementó sus entregas a tiempo de 72 a 100 por ciento. También implementó entregas secuenciadas con sus dos mayores clientes – Navistar y Kenworth – reduciendo sus inventarios de productos terminados, en la mayoría de los casos, de 10 días a uno. Entregas secuenciadas significa que cuando el camión con los ejes llega al cliente, estos no van a un almacén, sino directamente a la línea de armado de camiones, justo a tiempo para el montaje. [119]

9.3.3. Caso Blount

Blount manufacturing, una empresa dedicada a la fabricación de municiones y accesorios para armas pequeñas en Idaho USA. Ante la complejidad creciente de su producción, decidió reemplazar su MRP tradicional por teoría de restricciones.

La situación de la empresa era mala presentaban un total de pedidos atrasados de \$60 millones por día, mucho inventario en proceso, mucho inventario de lo que no tenía demanda y poco inventario de los productos que generaban ingresos. Luego de la implementación de teoría de restricciones redujeron a menos de \$20 millones por día el retraso de pedidos. Así mismo lograron mejorar las finanzas en la planta; los ingresos operativos aumentaron de 30.3 % a 35.9 %. [120]

9.4. Justificación

En junio de 2016 se realizó una evaluación de servicios de nutrientes en 55 municipios de Guatemala. Dicho estudio mostro que existe un desabastecimiento de un 47% de zinc en estas comunidades. **Mu\IeC {\~n}oz_2106**

Debido a esta alarmante cifra y a los problemas mencionados anteriormente que provocan la deficiencia de zinc en menores se planteó el proyecto del sistema dosificador de zinc con el objetivo de poder prevenir una deficiencia de zinc.

El objetivo de este módulo del proyecto se centró en el análisis del proceso productivo para la matriz de zinc, con el fin de lograr llegar al proceso óptimo para la fabricación de la matriz dosificadora. La realización del análisis del proceso es fundamental para poder determinar su viabilidad y funcionalidad. Así también determinar y reducir los costos del mismo creando un proceso eficiente y autosustentable.

Conjunto con la empresa Ecofiltro se planea adicionar el proceso de la matriz de zinc a su proceso existente. Debido a esto es de vital importancia realizar un levantamiento del proceso actual de fabricación del equipo artesanal de filtración de agua. Con el fin de mostrar a gran detalle los procesos que se realizan para poder entender y analizar el sistema actual y así evaluar la viabilidad de la implementación del nuevo proceso que se desarrollara en este proyecto.

También se debe realizar simulaciones de los procesos de fabricación de la unidad filtrante de agua y el sistema dosificador de zinc para poder determinar que la distribución planeada sea la adecuada, estas simulaciones son equivalentes a ensayos reales con la gran ventaja que no se necesita de una inversión para llevarlos a cabo y son igual de fiables a los de una representación real. Por lo cual es indispensable para la realización adecuada de los proyectos de producción.

El objetivo de un estudio de factibilidad es auxiliar a una organización a lograr sus objetivos con los recursos actuales, el éxito de un proyecto está determinado por el grado de factibilidad que se presente en cada uno de los aspectos de factibilidad que se utilizaran en este proyecto, por lo cual es de suma importancia realizar los estudios de factibilidad correspondientes para la toma de la mejor decisión. La evaluación de proyectos es el proceso mediante el cual los administradores de una compañía toman decisiones de inversión. Es un proceso iterativo minucioso y compuestos por las etapas que se muestran a continuación.

9.5. Marco teórico

9.5.1. Taylorismo

Se denominó a la aplicación de métodos científicos de orientación positiva y mecanicista al estudio de la relación entre el obrero y las técnicas modernas de producción industrial, con el fin de maximizar la eficiencia de la mano de obra, de las máquinas y herramientas. Su exponente es Frederick W. Taylor, la aplicación de cuatro principios fundamentalmente, que a su vez basado en la observación le permite establecer:

- Utilización de un método científico en la administración: reunir todo el conocimiento tradicional ¿relativo? al trabajo, en un cuerpo sistematizado de servicios, métodos y procesos.
- Permitir seleccionar su personal y a la vez entrenarlo a una tarea específica.
- División del trabajo, en tareas específicas.
- Tarifas de remuneración por unidad producida.

Dentro del estudio científico del trabajo, se comienza a estudiar los movimientos y los tiempos necesarios, con un método determinado para realizar una tarea de la manera más eficientes, junto con las herramientas, materiales y equipo; y de hallar requeridos por cada trabajador.[121]

9.5.2. Análisis de proceso

El análisis de un proceso es el acto de llevar a cabo una revisión exhaustiva y llegar a una comprensión completa de un proceso de negocio con el objetivo de mantener o lograr la excelencia del proceso o lograr mejoras incrementales o transformacionales en un proceso de producción. El análisis de procesos implica observar todos los componentes de un proceso: entradas, salidas, operaciones, transportes, controles, etc. Inspeccionar cada componente individualmente y como interactúan para producir resultados. Para realizar este análisis existen diferentes herramientas, en este proyecto se utilizará el Diagrama de Operaciones Del Proceso (DOP). [122]

9.5.3. DOP

Un diagrama de operaciones de proceso muestra la secuencia cronológica de todas operaciones, inspecciones, tiempo permitidos y materiales que se utilizan en un proceso de manufactura o negocios, este también contempla distancias recorridas, retrasos, almacenamientos temporales, etc. Pasos para realizar un diagrama de operaciones de proceso:

- Determinar los principales componentes del proceso.
- Ordenar las actividades en orden cronológico.
- Determinar los símbolos adecuados para cada actividad del proceso.
- Realizar las conexiones entre las actividades.

[123]

9.5.4. Lote de transferencia y lote de proceso

En el proceso de fabricación, se cuenta con dos diferentes lotes, el primero es el lote de proceso, que se puede definir como el realizado por un determinado centro de trabajo

Símbolo	Significado
	Operación
	Operación e Inspección
	Inspección y Medición
	Transporte
	Entradas de bienes
	Almacenamiento
	Demora
	Conector
	Conector de página

Figura 45: Simbología de un DOP

entre dos preparaciones sucesivas y que, tradicionalmente, con objeto de evitar las grandes ineficiencias de los largos tiempos de preparación de la maquinaria, suelen tener un gran tamaño. Por otra parte, nos encontramos con el lote de transferencia, que es el que se usa para transportar ítems entre dos centros de trabajo. Con frecuencia se utiliza para este un tamaño igual o similar al lote de procesamiento, sin reparar que, con ello, se incrementa el tiempo total de fabricación y se acumulan inventarios en curso.[124]

9.5.5. Cuello de botella

El cuello de botella se define como cualquier recurso cuya capacidad sea menor que su demanda. Un cuello de botella es una restricción en el sistema que limita la producción. En el proceso de manufactura, es el punto donde el caudal se adelgaza hasta ser una corriente flaca. Un cuello de botella puede ser una máquina, falta de trabajadores capacitados o una herramienta especial. En las observaciones de la industria se ha visto que la mayoría de las plantas tienen muy pocas operaciones con cuello de botella. **Pe\IeC {\~n}a_2010**

9.5.6. Estudio de tiempos

El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución establecida. Procedimiento para efectuar sistemáticamente la medición:

- Seleccionar el trabajo que será objeto de estudio.
- Registrar todos los datos relativos a las circunstancias en que se realiza el trabajo, a los métodos y a los elementos de actividad que suponen.
- Examinar los datos registrados y el detalle de los elementos con sentido crítico para verificar si se utilizan los métodos y movimientos más eficaces, y separar los elementos improductivos o extraños de los productivos.
- Medir la cantidad de trabajo de cada elemento, expresándola en tiempo, mediante la técnica más apropiada de medición del trabajo.
- Compilar el tiempo estándar de la operación previniendo, en caso de estudio de tiempos con cronometro, suplementos para breves de cansos, necesidades personales, etc.
- Definir con precisión la serie de actividades y el método de operación a los que corresponde el tiempo computado y notificar que ese será el tiempo estándar para las actividades y métodos especificados. [125]

9.5.7. Layout

La distribución en planta se define como la ordenación física de los elementos que constituyen una instalación sea industrial o de servicios. Esta ordenación comprende los espacios

necesarios para los movimientos, el almacenamiento, los colaboradores directos o indirectos y todas las actividades que tengan lugar en dicha instalación. Una distribución en planta puede aplicarse en una instalación ya existente o en una en proyección.

El objetivo de un trabajo de diseño y distribución en planta es hallar una ordenación de las áreas de trabajo y del equipo que sea la más eficiente en costos, al mismo tiempo que sea la más segura y satisfactoria para los colaboradores de la organización. Específicamente las ventajas de una buena distribución redundan en reducción de costos de fabricación como resultado de los siguientes beneficios:

- Reducción de riesgos de enfermedades profesionales y accidentes de trabajo.
- Mejora la satisfacción del trabajador.
- Incremento de la productividad.
- Disminuyen los retrasos.
- Optimización del espacio.
- Reducción de material en proceso.
- Optimización de la vigilancia.

[125]

9.5.8. Automatización

La palabra automatización engloba un amplio abanico de sistemas y procesos en los cuales se requiere la mínima intervención del ser humano, además debe de ser un sistema flexible el cual se debe ajustar de distintas maneras a los posibles cambios en momentos puntuales.

Tipos de automatización:

- Automatización fija, productos con gran índice de demanda y volumen. Este tipo de producción tiene un alto costo y se ha de tener en cuenta que su ciclo de vida es el mismo que el del producto que se fabrica.
- Automatización programable, productos con bajo índice de demanda y gran diversidad de productos. En este caso los equipos de producción se diseñan para poder adaptarse a las variantes de los distintos productos que se fabrican. Estas adaptaciones se realizan por medio de programación.
- Automatización flexible, productos con un índice medio de demanda. Estos sistemas combinan tanto elementos de automatización fija como automatización programada. Suelen estar constituidas por diferentes estaciones de trabajo interconectadas entre sí y controladas por un ordenador. [126]

9.5.9. Integración de procesos

La integración de procesos permite ofrecer de manera continua algo que resulte atractivo al consumidor, así como también mantiene sano el ciclo comercial de un proceso, sin importar si son proveedores de productos o servicios. La integración de procesos es un tema ligado a la mejora de los productos. Esta consiste en una metodología de 8 pasos.

- Planificación del trabajo, se debe someter a una profunda evaluación la infraestructura de la empresa para determinar si se cuenta con las herramientas necesarias o si es necesario adquirir nuevos equipos, herramientas y/o personal.
- Monitoreo y control del trabajo, se debe definir a los personajes responsables de cada actividad, así como de la persona encargada de realizar la tarea de monitoreo de avances en la actividad para mitigar los riesgos y poder optimizar los recursos, generando un aprovechamiento de la planificación.
- Gestión de acuerdo con proveedores, es necesario una evaluación periódica a los proveedores acerca de ellos acuerdos comerciales previamente establecidos con el afán de que los tiempos de entrega no se modifiquen durante el desarrollo del proyecto.
- Gestión de requerimientos, se realiza para la detección de ciertas vulnerabilidades de las cuales no se estaba consciente.
- Medición y análisis, parte fundamental de la planeación son los KPI's (Key Performance Indicator) de las distintas áreas involucradas. Dependiendo de la magnitud del proyecto, la periodicidad puede variar.
- Aseguramiento de la calidad de los procesos y el producto, con base a los estándares de calidad previamente establecidos, se debe evaluar la calidad del producto.
- Gestión de configuración, el proceso de clasificación de repositorios sirve para delimitar los formatos de nomenclatura y abreviaturas, destinos de almacenamiento y periodicidad de respaldos.
- Entrega del servicio, es necesario para poder finalizar la integración, asegurarse de qué forma se entrega el producto final y como este es percibido. [127]

9.5.10. Simio

SIMIO es un software de modelización, simulación u animación 3D de flujos de procesos por eventos discretos, basado en un enfoque mixto que combina objetos y procedimientos para producir modelos de comportamiento de sistemas logísticos, industriales y de servicios.

Simio es un programa que permite modelizar, captura y describe un funcionamiento, un comportamiento de un sistema real o imaginario; simular, permite estudiar resultados, respuestas del sistema ante nuevas situaciones hipotéticas o futuras; visualiza, presenta los resultados en animaciones 3D y presenta informes de todo tipo.

9.5.11. Estudio de factibilidad

Factibilidad operativa se refiere a identificar las actividades que facilitan alcanzar la meta propuesta determinando los recursos humanos y procesos necesarios para poder ejecutarlo.

Para este se necesita seguir una serie de pasos detallados a continuación:

- Descripción del entorno: se realiza una descripción del entorno organizacional en donde se va a desarrollar el proceso incluyendo una breve reseña del método actual.
- Identificación de los procesos actuales: se identifican los procedimientos generales que se llevan a cabo actualmente.
- Presentación de propuestas de mejora: se presentan al menos tres posibles mejoras al proceso anteriormente identificado.
- Validación de las propuestas de mejora: todas las soluciones deben responder afirmativamente las siguientes preguntas para que estas se consideren factibles.
 - ¿Habrà resistencia al cambio?
 - ¿Es conveniente la relación beneficio costo?
 - ¿Existirá algún tipo de impacto con la implementación del nuevo proceso?
- Posteriormente se realizar un análisis de las ventajas y desventajas de cada propuesta.
- Realizar un comparativo de costos y tiempo de ejecución.
- Por último, se realiza la recomendación final.

[128]

Factibilidad técnica, ayuda a reconocer aquellos recursos físicos o tangibles que se requieren para la implementación del proyecto donde se determinen cuáles son necesarios respecto a planta física, localización, equipos, recursos de dotación, instalaciones, entre otros. Evalúa si el equipo y software están disponibles y si tienen las capacidades técnicas requeridas por cada alternativa del diseño que se esté considerando. Los estudios de factibilidad técnica también consideran las interfaces entre los sistemas actuales y nuevos.

Factibilidad financiera, tiene en cuenta aspectos relacionados con los recursos monetarios donde se determinen los costos totales y de inversión inicial, así como la inclusión de cálculos contables para identificar que los costos que se están generando son justificadas por las ganancias que se esperan obtener. Los estudios de factibilidad financiera también incluyen análisis de costos y beneficios asociados a cada alternativa del proyecto. Con análisis de costo-beneficio, todos los costos y beneficios de adquirir y operar cada sistema alternativo de identifican y se realiza una comparación entre ellos.[129]

9.6. Metodología

9.6.1. Evaluación del proceso actual de producción del sistema purificador de agua

- Se realizaron cuatro visitas a la fábrica de ecofiltro, en las cuales se realizó un levantamiento de tiempos se observó detenidamente las operaciones realizadas por personas en estas actividades se tomó el tiempo por unidad con un cronometro, en total se tomaron 15 muestras, se identificaron las operaciones unitarias, flujos, localización de procesos, materias primas y producto terminado dentro de la planta para poder realizar un layout de la empresa para poder evaluar si su distribución es la adecuada.
- Al obtener la muestra de los datos se utilizó el programa Input Analyzer para poder determinar la distribución de cada operación. Al tener las distribuciones se realizó una simulación con el programa simio. Esta simulación se realizó por un total de dos meses. Con los resultados de la simulación se determinaron cuellos de botella, lotes de transferencia y aumentos de capacidad necesarios para recomendar un flujo y mejorar la producción.
- Se realizaron cotizaciones de maquinaria y equipo y se eligió el equipo adecuado para automatizar el proceso productivo.

9.6.2. Diseño del sistema de dosificación de zinc, para su implementación a la línea actual

- Se realizó la toma de tiempos con un cronometro se tomó un total de 20 muestras para cada una de las matrices, luego se ingresaron los datos al programa Input Analyzer para determinar las distribuciones de cada operación. Al obtener las distribuciones se realizó una simulación en el programa simio donde se determinaron cuellos de botella, se ajustaron capacidades y lotes de transferencia para mejorar el flujo del proceso.
- Con la herramienta Draw.io se realizó un Diagrama de Operaciones de cada uno de los Procesos de los dosificadores de zinc para poder comprender y mostrar gráficamente el flujo del proceso.

9.6.3. Integración de ambos procesos

- Se realizó un análisis cronológico de las operaciones por medio de un diagrama de operaciones de proceso y se determinaron los puntos clave de integración de ambos procesos.
- Se realizó el layout de los procesos integrados, por medio de la plataforma AutoCAD para poder aprovechar adecuadamente el espacio que se tiene y poder procurar el funcionamiento óptimo de los flujos del proceso. Se determinó el lote de transferencia óptimo.
- Se realizó la evaluación del diagrama de operaciones de procesos integrados y layout y se realizaron las mejoras pertinentes.

9.7. Resultados

9.7.1. Análisis del proceso de producción actual de las unidades filtrantes

Descripción del proceso

Para la producción de las unidades filtrantes de agua se necesita de cuatro materias primas principales, barro, aserrín, agua y plata coloidal. El proceso comienza con dos operaciones en paralelo, secar el barro y el aserrín. Estos dos materiales son ingresados a bodega en sacos de 60 libras con lotes de diferente humedad.



Figura 46: Estructura interna de la unidad filtrante de agua

Secar barro: el barro es secado, rompiéndolo y extendiéndose en un patio de secado; se necesitan aproximadamente de seis a ocho horas de clima de soleado.



Figura 47: Patio de secado de barro

Pulverizadora: cuando el barro alcanza una humedad relativa de 12% es llevado a una pulverizadora de martillos, donde es triturado hasta alcanzar una granulometría de 0.425 milímetros.



Figura 48: Pulverizadora de barro

Secar aserrín: el aserrín es llevado a un segundo patio de secado donde es extendido; se necesitan aproximadamente de tres a cuatro horas de clima soleado.

Tamiz de aserrín: El aserrín es retirado cuando alcanza una humedad relativa de 12% y es llevado a un tamiz, removiendo impurezas y obteniendo una granulometría de dos milímetros.



Figura 49: Tamiz de aserrín

Mezclado: se realiza una mezcla de sacos de 69.5 libras, 60 libras de barro y 9.5 libras de aserrín, estos sacos son llevados de dos en dos a la mezcladora la cual consiste en dos partes, un premezclado, la segunda consiste en tres tornillos helicoidales, en esta segunda etapa se agregar cinco galones de agua, una vez la mezcla sea homogénea se abre la compuerta. Esta mezcla ya compactada es cortada en cilindros de 11 centímetros de radio y 14.5 centímetros de alto, cada uno de estos cilindros se denominan macetas.



Figura 50: Mezcladora y extrusora

Extrusora: Cada maceta es colocada en la extrusora por un operario para darle la forma principal de maceta, este molde se deja reposar por un periodo de dos días.



Figura 51: Macetas extraídas de extrusora

Moldeado: Luego de dejar reposar la maceta durante dos días esta es revisada por un operario que retira las imperfecciones en su superficie, esto se realiza para evitar rajaduras en el siguiente proceso que es el de horneado.



Figura 52: Macetas extraídas de extrusora

Horno: Las macetas ya moldeadas son llevadas a dos hornos de 240 unidades cada uno, en esta etapa son llevadas hasta 500°C las primeras tres horas, luego se estabiliza durante dos horas a esta temperatura; se sube a una temperatura de 760°C y se apaga para dejar enfriar durante la noche.



Figura 53: Horno de macetas

Calidad: Los filtros luego de salir del horno se sumergen en agua durante 12 horas, esto se realiza para que lleguen a su nivel óptimo de absorción; luego se realizan pruebas de filtrado, se dejan durante tres horas filtrando. Aquí se descartan todos los filtros que no cumplen con el nivel esperado de filtración de 1.5 litros a 2 litros por hora.



Figura 54: Área de Control de Calidad

Plata coloidal: Aquí se prepara una mezcla de 10 ml de plata coloidal y 100 ml de agua.

A cada maceta se le aplica 20 ml de la mezcla uniformemente por fuera y por dentro de cada maceta, este paso es realizado manualmente con brochas.



Figura 55: Área de aplicación de plata coloidal

Diagrama de secuencia:

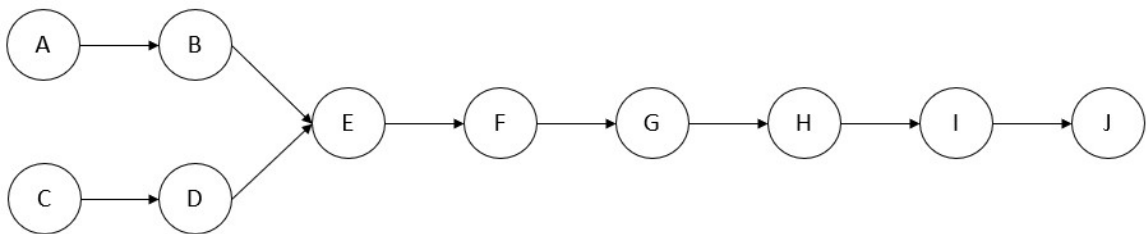


Figura 56: Diagrama de secuencia de actividades

Se tiene 10 operaciones de las cuales siete poseen una dependencia y una posee doble dependencia. Las dos operaciones más largas que posee el proceso pueden elaborarse de manera simultánea dando ventaja en la realización de este ya que se reduce el tiempo de ciclo.

Diagrama de operaciones de proceso actual

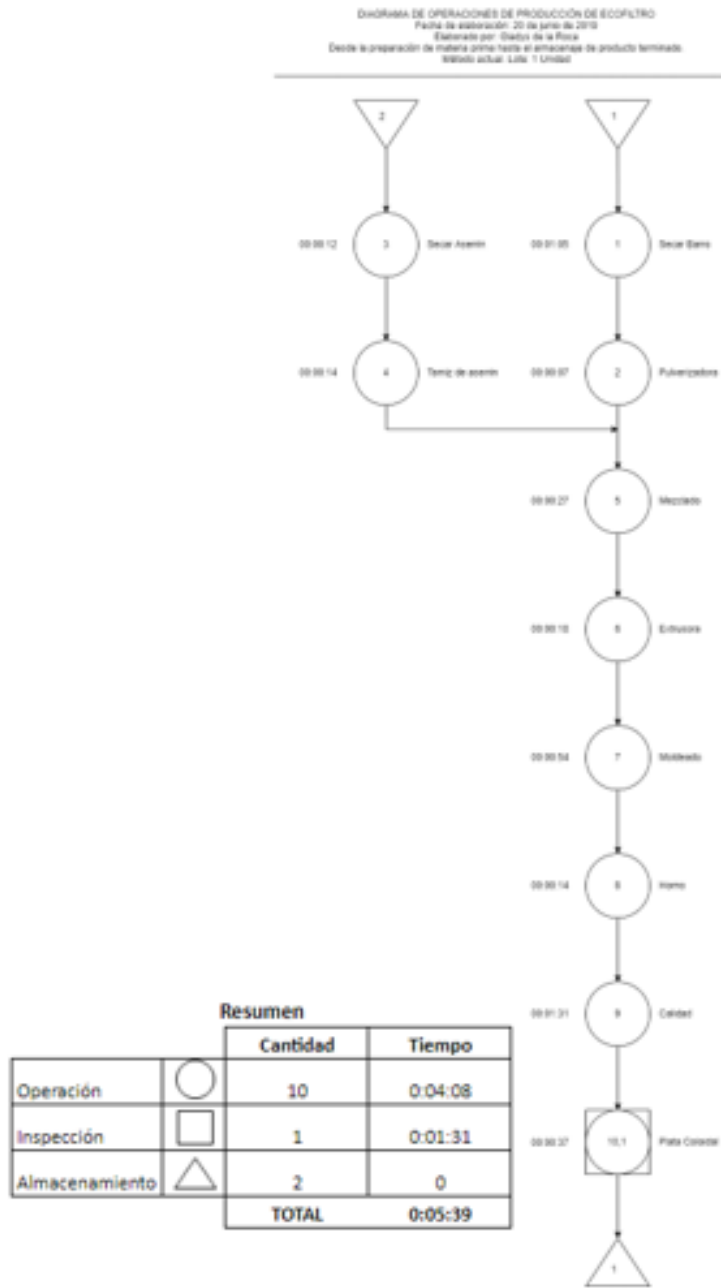


Figura 57: Diagrama de operaciones de las unidades filtrantes

En el diagrama de operaciones del proceso tenemos un total de 10 operaciones, dos almacenes, una inspección y un tiempo de ciclo de 5:39 minutos por unidad. El ritmo del proceso es marcado por el moldeo que es la operación de mayor tiempo con un total de 1:31 minutos; siguiendo la operación de secar barro con un tiempo de 1:05 minutos.

Balance de línea de método actual

	Tarea	Cantidad	Tiempo	Precedencia	
	Secar barro	A	1	64.99	—
	Pulverizadora	B	1	7.11	A
	Secar aserrín	C	1	12.08	—
	Tamiz de aserrín	D	1	14.75	C
	Mezclado	E	1	27.06	D,B
	Extrusora	F	1	18.05	E
	Moldeado	G	3	54.05	F
	Horno	H	1	14.00	G
	Calidad	I	1	90.63	H
	Plata coloidal	J	2	37.41	I
	TOTAL		13	412.61	

Cuadro 23: Resumen de operaciones, secuencia y tiempo unitario

En el cuadro número 23 se muestran los tiempos individuales y la precedencia de cada operación, así mismo podemos observar el tiempo total de todas las operaciones que conllevan el proceso, siendo la operación de calidad la de mayor tiempo, seguida por la operación de secar barro.

Estación	Tarea	Tiempo utilizado	Tiempo disponible	Posibles tareas	Holgura
1	A	64.99	25.64	B	6.46
	B	7.11	18.53	C	
	C	12.08	6.46	—	
2	D	14.75	75.89	E	30.78
	E	27.06	48.83	F	
	F	18.05	30.78	—	
3	G	54.05	36.59	H	22.59
	H	14.00	22.59	—	
4	I	90.63	0.00	—	0.00
5	J	37.41	53.23	—	53.23

Cuadro 24: Resumen de operaciones, secuencia y tiempo unitario

En el balance de líneas del método actual se obtuvo una eficiencia del 91 % debido a la cantidad de estaciones, sin embargo, con este método únicamente se obtiene una producción estimada de 318 unidades. Esto quiere decir que se está teniendo un déficit de 162 unidades al día para poder cumplir con la demanda actual del mercado según el módulo Factibilidad financiera de la aplicación de una dosificación de zinc a una unidad filtrante de agua. Este déficit en la producción representa un desabastecimiento de 3893 unidades filtrantes de agua en el mercado.

Simulación del proceso actual

Para poder realizar la simulación del proceso productivo de unidades filtrantes se obtuvieron las distribuciones de cada operación. Esto se realizó con la toma de tiempos, tomando un total de 20 datos para cada una de las operaciones, luego por medio del programa Input Analyzer se obtuvieron los valores de error cuadrado para cada una de las distribuciones posibles para poder establecer la distribución adecuada para cada operación, para ver tabla de distribuciones ir al Anexo B.

Las distribuciones se ingresaron al programa SIMIO con el cual se realizó la simulación de un mes de trabajo. Con el cual se demostró, al igual que el balance de línea, que existe un déficit que dejará para el año 2020 un total de 53,062 unidades de deuda al mercado.

Para los porcentajes de utilización se puede observar dos operaciones, tamiz de aserrín y moldeado, que están trabajando al máximo de su capacidad al contrario de control de calidad, horno, secar aserrín y la pulverizadora que no llegan ni a un 20 % de utilización. También se puede observar un total de 10,390 unidades de aserrín y 3064 unidades filtrantes esperando ser procesadas. Lo cual representa espacio muerto en bodega.

Operación	Unidades procesadas	Unidades en espera	Porcentaje de utilización
Secar Barro	10,661	0	71 %
Pulverizadora	10,660	0	11 %
Secar Aserrín	57,570	0	13 %
Tamiz de aserrín	47,180	0	100 %
Mezclado	10,660	0	42 %
Extrusora	10,660	0	27 %
Moldeado	8,531	9,972	100 %
Horno	8,529	0	17 %
Calidad	7,594	7,092	10 %
Plata Coloidal	7,593	3,323	42 %

Cuadro 25: Resultados de simulación

Layout del proceso actual

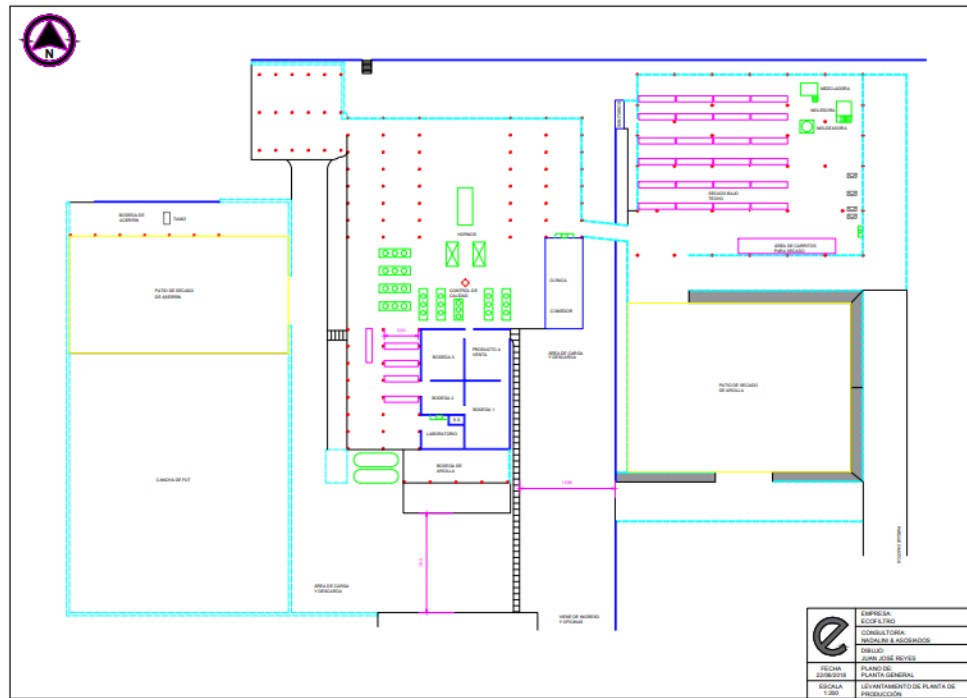


Figura 58: Layout general del proceso actual

Para el proceso actual de fabricación de unidades filtrantes de agua se determinaron varias deficiencias en el proceso, espacios muertos en el layout de la fábrica y un cuello de botella.

Se observó que se tiene un cuello de botella conocido como secar barro esta operación se considera un cuello de botella ya que su capacidad es mucho menor que la demanda actual y esta es una operación que depende directamente del clima. En esta operación se deben colocar el barro esparcido en una torta de asfalto para que esta le dé un aproximado de seis a ocho horas de sol para que pueda llegar a una humedad relativa de 14%, debido a que depende de la cantidad de sol que esta reciba, en días nublados o de lluvia la producción tiene demoras por falta de esta materia prima.

Se detectó que el área de aplicación de plata coloidal era una de las actividades con una capacidad similar a la de la demanda, debido a que se planea realizar una mejora en la capacidad de la operación de secar barro y la actividad de plata coloidal está a su límite se consideró un punto de mejora para no tener problemas a futuro con la nueva capacidad de la actividad mencionada anteriormente.

Para la actividad de secar aserrín y tamiz de aserrín se observó que tienen una capacidad mucho mayor a la de la demanda por lo cual se contempló reducir sus capacidades a medio tiempo para poder aprovechar las horas de las personas designadas a estas áreas para áreas críticas con una capacidad menor a la demanda actual.

9.7.2. Recomendaciones para el proceso de producción de las unidades filtrantes

Diagrama de operaciones de proceso recomendado

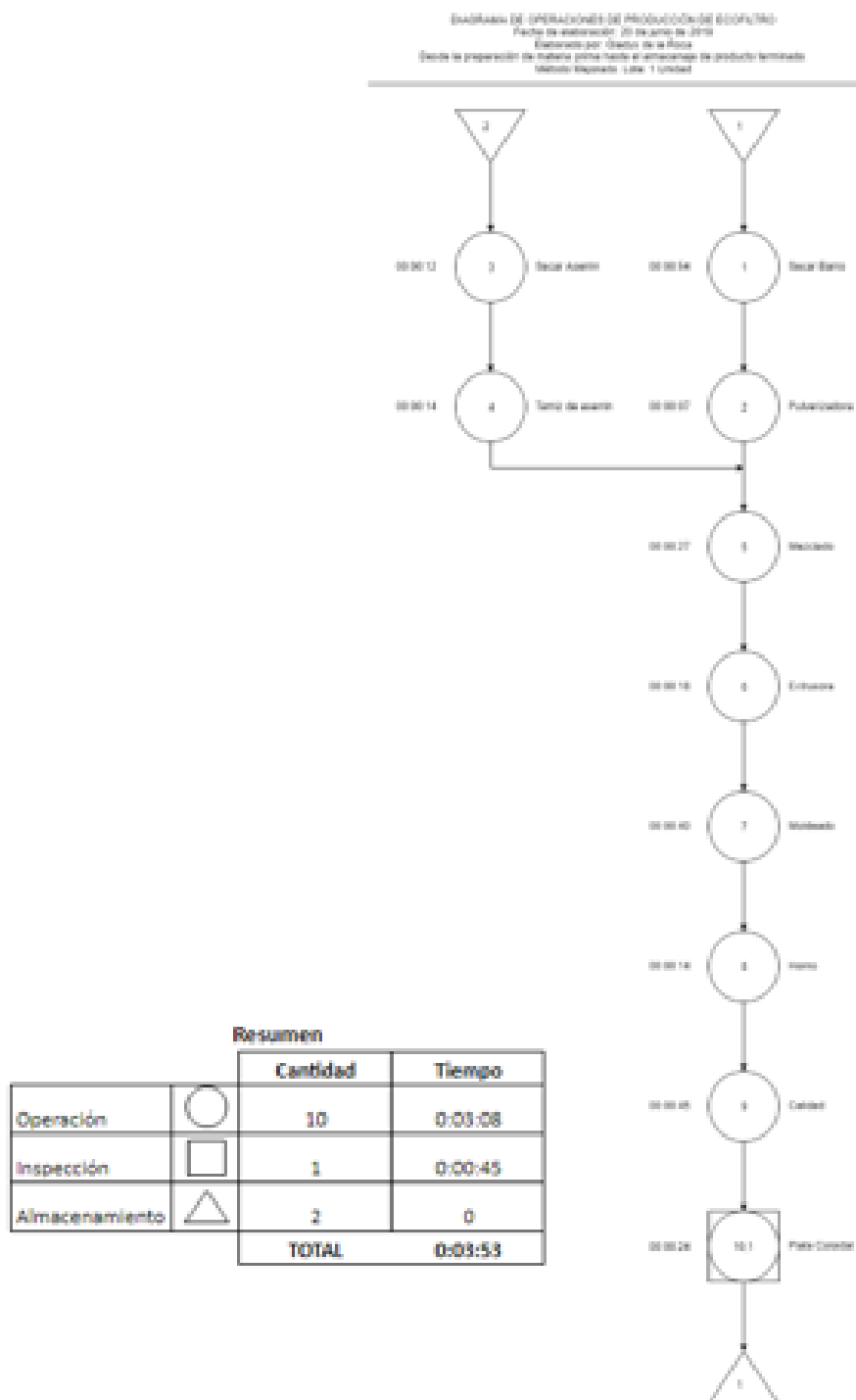


Figura 59: Diagrama de operaciones de las unidades filtrantes

En el diagrama de operaciones del proceso se mantuvieron la cantidad de operaciones y la secuencia del procedimiento actual, sin embargo, se logró reducir el tiempo de ciclo un 66% a 3:53 minutos, este tiempo se redujo de las operaciones: Secar barro, moldeado, control de calidad y aplicación de plata coloidal.

Balance de línea del proceso recomendado

	Tarea0	Cantidad	Tiempo (s)	Precedencia
Secar barro	A	2	32.50	—
Pulverizadora	B	1	7.11	A
Secar aserrín	C	1	1208	—
Tamiz de aserrín	D	1	14.75	C
Mezclado	E	1	27.06	B,D
Extrusora	F	1	18.05	E
Moldeado	G	4	40.53	F
Horno	H	1	14.00	G
Calidad	I	3	30.21	H
Plata coloidal	J	3	24.94	I
	TOTAL	18	221.21	

Cuadro 26: Resumen, secuencia y tiempo unitario

Estación	Tarea	Tiempo utilizado	Tiempo disponible	Posibles tareas	Holgura
1	A	32.50	27.50	B	8.32
	B	7.11	20.40	C	
	C	12.08	8.32	—	
2	D	14.75	45.25	E	0.15
	E	27.06	18.19	F	
	F	18.05	0.15	—	
3	G	40.53	19.47	H	5.47
	H	14.00	5.47	—	
4	I	30.21	29.79	J	4.85
	J	24.94	4.85	—	

Cuadro 27: Estaciones y tiempo de ocio

En el balance de líneas se redujo el tiempo de ciclo de 412.61 segundos a 221.21 segundos, representativo a un 53.6%, el tiempo de ocio también se redujo de 113.06 segundos a 18.79 segundos, representativo a un 83.4% menos, lo cual aumenta las unidades producidas por jornada laboral.

Planificación de los requerimientos de material

Año	2020	2021	2022	2023	2024
Demanda	126,537	144,178	165,212	190,294	220,202
Aserrín (Ton)	9.1	10.4	11.9	13.7	15.8
Agua (Gal)	56,826.8	64,749.3	74,195.5	85,459.6	98,891.1
Barro (Ton)	574.0	654.0	749.4	863.2	998.8
Plata Coloidal (Gal)	668.5	761.8	872.9	1,005.4	1,163.4

Cuadro 28: Requerimiento de material por año

Para la planificación de requerimientos por año se obtuvieron cantidades aceptables ya que se cuenta con el espacio suficiente de bodega para poder almacenar las mismas, la empresa tiene un reglamento de no almacenar un inventario mayor al 20% de la demanda por lo cual no se consideró un inventario de seguridad por la facilidad de acceso de las materias primas utilizadas.

Simulación del proceso recomendado

Operación	Unidades procesadas	Unidades en espera	Porcentaje de utilización
Secar barro	21,316	0	100 %
Pulverizadora	21,315	0	23 %
Secar aserrín	28,769	0	74 %
Tamiz de aserrín	23,581	0	100 %
Mezclado	21,314	0	85 %
Extrusora	21,313	0	55 %
Moldeado	21,305	42,610	100 %
Horno	21,305	0	43 %
Calidad	21,303	29,296	80 %
Plata coloidal	21,301	14,203	78 %

Cuadro 29: Resultados de simulación

Se aumentó en un total de 13,708 unidades la producción mensual de las unidades filtrantes de agua, un 280% más tan solo aumentando un 70% en promedio las unidades en proceso de las operaciones moldeado, calidad y plata coloidal. Se cuantificó que con esta capacidad se puede suplir la demanda hasta 2024 sin ningún inconveniente.

Para reducir el tiempo de ciclo del proceso se modificaron cinco operaciones, secar barro, tamiz de aserrín, moldeado, calidad y plata coloidal.

- Operación secar barro: se aumentó la capacidad al doble con un secador industrial que requerirá dos operarios.
- Este secador industrial tiene una capacidad de 1 a 1.5 toneladas por hora y sus dimensiones son 10 metros de largo con un diámetro de un metro.



Figura 60: Secador industrial de barro

- Operación secar aserrín: de redujo la capacidad al 50 % se liberó una persona la cual se trasladó hacía esta operación aumentado su capacidad de 8531 unidades a 21,305.
- Operación calidad: para esta operación se incrementó el área actual en un factor de 2.5 así mismo se incrementó una persona para poder cumplir con la cantidad esperada, aumentando su capacidad de 7,594 a 21,301.
- Operación plata coloidal: en esta operación se observó una utilización del 48 %, sin embargo, con los cambios realizados en el proceso se requirió incrementar una persona en dicho proceso, aumentando su capacidad de 7,593 unidades a un total de 21,301.

En total para la mejora del proceso productivo se requirió de cuatro personas más, un secador industrial y la ampliación de dos áreas.

1. Nombre del puesto	
Operador de máquina	
2. Funciones generales	
La persona que se ocupe de esta posición deberá intervenir directamente a las actividades propias a la fabricación de unidades.	
1.	Verificación de la localización, disposición y condición adecuada de producto en proceso, materia prima y producto terminado relacionado con su celda de trabajo.
2.	Realización de la operación de acuerdo a las instrucciones de trabajo, especificaciones y/o ayudas visuales que le apliquen y para los cuales sea.
3.	Mantener la limpieza y organización de su área de trabajo.
4.	Documentar rechazos y productos en los registros de las líneas.
5.	Cumplir con las reglas de seguridad industrial y normas disciplinarias.
6.	Garantizar el cumplimiento de las reglas del justo a tiempo.
7.	Suplir materiales a su estación de trabajo desde los bienes de materia prima.
3. Requerimientos académicos	
Bachiller	

Figura 61: Perfil de puesto para trabajador uno, dos y tres

1. Nombre del puesto	
Operador de máquina	
2. Funciones generales	
La persona que se ocupe de esta posición deberá intervenir directamente a las actividades propias a la fabricación de unidades.	
1.	Verificación de la localización, disposición y condición adecuada de producto en proceso, materia prima y producto terminado relacionado con su celda de trabajo.
2.	Realización de la operación de acuerdo con las instrucciones de trabajo, especificaciones y/o ayudas visuales que le apliquen y para los cuales sea.
3.	Mantener la limpieza y organización de su área de trabajo.
4.	Documentar rechazos y productos en los registros de las líneas.
5.	Cumplir con las reglas de seguridad industrial y normas disciplinarias.
6.	Garantizar el cumplimiento de las reglas del justo a tiempo.
7.	Suplir materiales a su estación de trabajo desde los bienes de materia prima.
3. Requerimientos académicos	
Bachiller (no indispensable)	

Figura 62: Perfil de puesto para trabajador cuatro

Layout del proceso recomendado

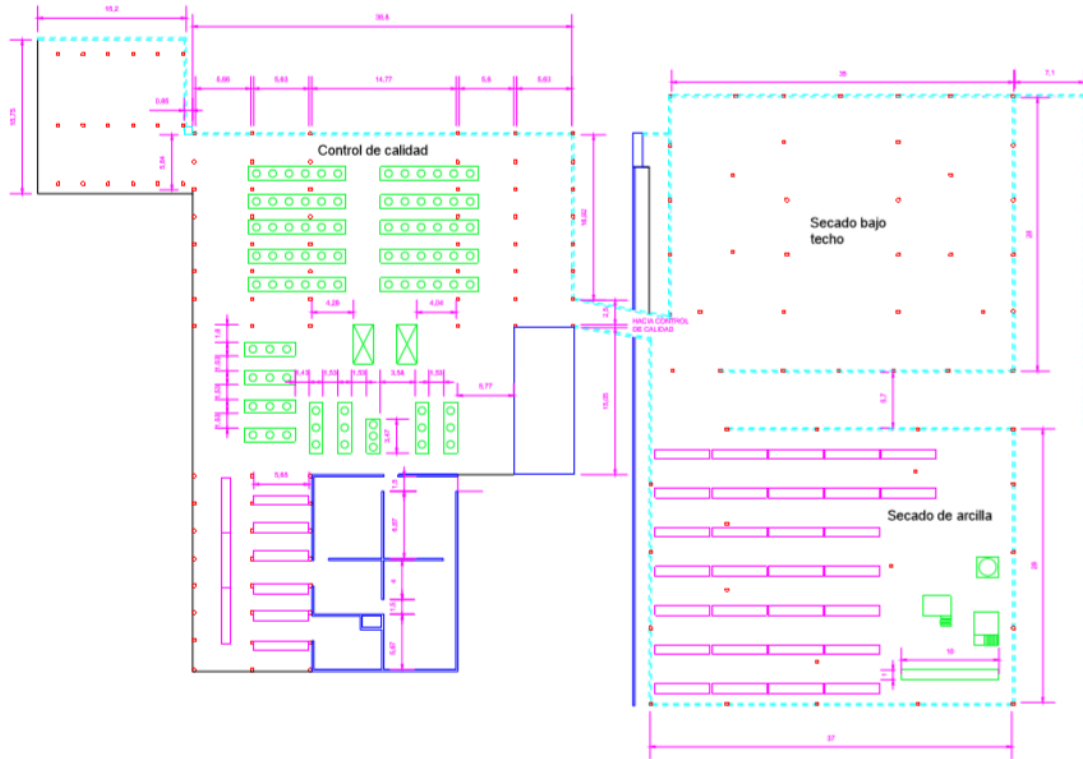


Figura 63: Layout general del proceso recomendado

Las modificaciones realizadas en el plano fueron para poder cumplir con la demanda de la simulación, debido a que al aumentar la capacidad de producción de la planta se aumenta la cantidad de unidades en proceso, con las modificaciones realizadas se aumentaría la capacidad de almacenaje de 14,000 unidades filtrantes a 45,000.

Cambios realizados:

- Área de secado de arcilla: para esta área se colocó un techo de doble altura con el soporte de 20 columnas, se trasladaron las máquinas actuales (mezcladora, pulverizadora extrusora) y se dejó previsto el espacio de la nueva máquina de secado de barro, así mismo se realizó el movimiento de las estanterías del área de secado bajo techo al área de secado de arcilla.
- Área de secado bajo techo: esta galera se dejó vacía para poder almacenar en esta área los filtros que salgan del área de calidad, debido a que en este proceso es donde mayor es la cantidad de unidades en proceso, este dato se obtuvo con la simulación.
- Área de control de calidad: en esta área se agregaron 10 piletas de 10 m de largo por 1.4 m de ancho y para poder evaluar la cantidad de filtros necesaria adicional se agregaron cinco estanterías en el área de plata coloidal debido al tiempo que este debe de permanecer en bodega para secarse.

9.7.3. Análisis del proceso de producción de dosificador de zinc por método de pastilla

Descripción del proceso

- Pesar Quitosano: se deben de pesar 3.5 gramos de quitosano en polvo de grado alimenticio para fabricar una unidad.

- Pesar sulfato de zinc: se deben pesar cuatro gramos de sulfato de zinc en polvo de grado alimenticio para fabricar una unidad.

- Pesar carboximetilcelulosa: se deben pesar tres gramos de carboximetilcelulosa en polvo de grado alimenticio para fabricar una unidad.

- Disolver quitosano en ácido cítrico: se debe de disolver los 3.5 gramos de quitosano previamente pesados en 150 ml de ácido cítrico, esto se realiza a 70° celsius, se debe de disolver durante un tiempo aproximado de 20 minutos.

- Disolver carboximetilcelulosa: se debe de disolver los tres gramos de carboximetilcelulosa previamente pesados en 100 ml de agua destilada, esto se realiza a 70° celsius, se debe de disolver durante un tiempo aproximado de 20 minutos.

- Disolver sulfato de zinc en quitosano: se agregan y disuelven los cuatro gramos de sulfato de zinc en la solución de agua destilada con quitosano, se disuelve por un tiempo aproximado de 20 minutos a 70° Celsius.

- Mezclar soluciones: se mezclan ambas soluciones, quitosano con sulfato de zinc en agua destilada y carboximetilcelulosa en ácido cítrico, a 70° Celsius durante aproximadamente 30 minutos o hasta tener una mezcla homogénea.

- Dejar enfriar: se debe dejar enfriar a temperatura ambiente

- Reposar: una vez la solución llegó a temperatura ambiente (20° - 30° Celsius) se le agregan 40 gramos de hidróxido de sodio se disuelve durante 30 minutos aproximadamente y se deja reposar durante 48 horas.

Diagrama de operaciones de proceso

DIAGRAMA DE OPERACIONES DE PRODUCCIÓN DE PASTILLA DE ZINC
Fecha de elaboración: 24 de julio de 2019
Elaborado por: Gladys de la Roca
Desde la preparación de materia prima hasta el almacenaje de producto terminado.
Lote: 50 Unidades



Figura 64: Diagrama de operaciones método de pastilla parte 1

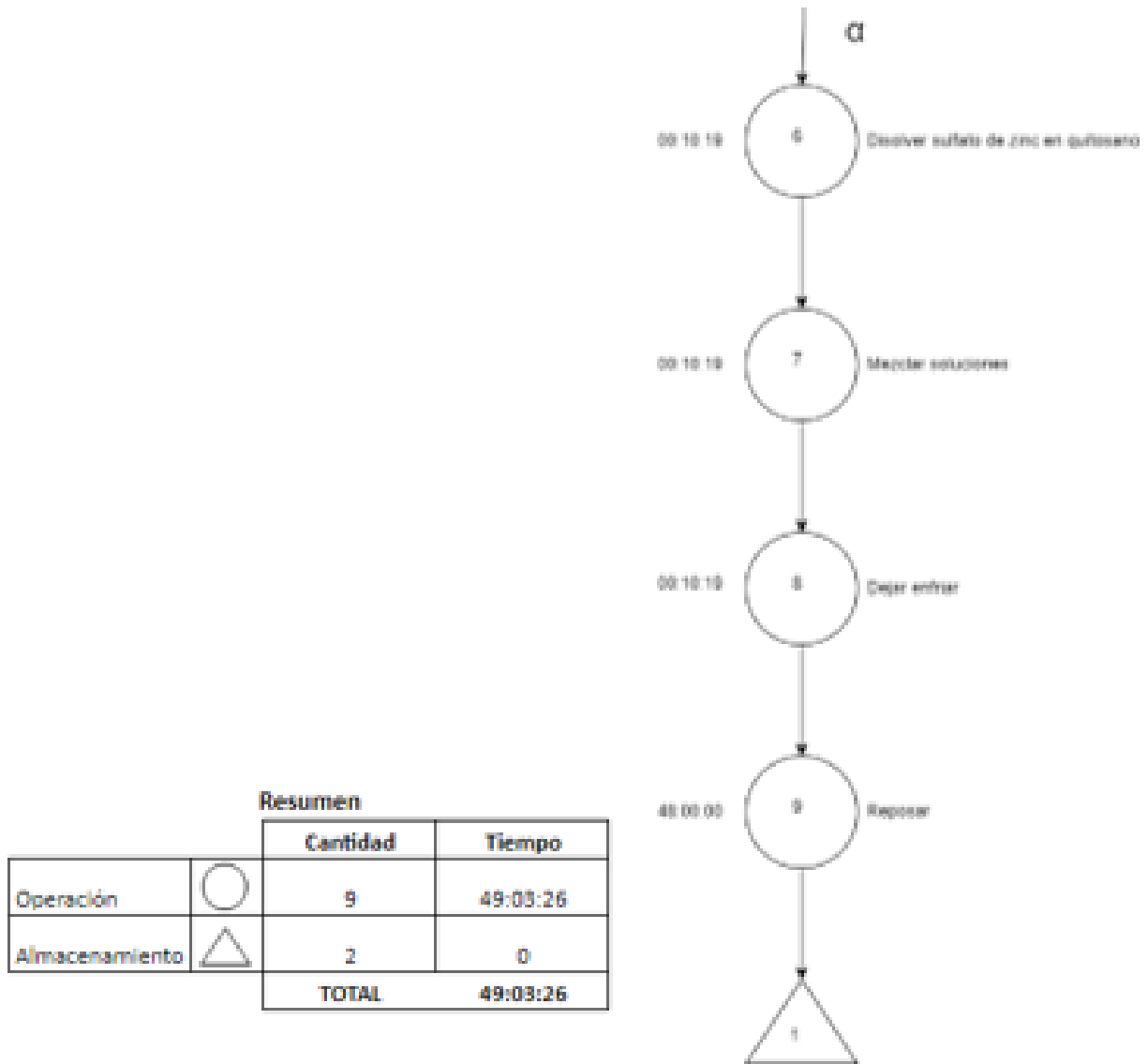


Figura 65: Diagrama de operaciones método de pastilla parte 2

En el diagrama de operaciones se obtuvieron nueve operaciones y dos almacenamientos siendo la de mayor tiempo la operación de reposar con un total de 48 horas, sin embargo, esta operación no necesita una persona las 48 horas para realizarse y se puede dejar en espera lotes grandes debido al poco espacio que esta posee. La segunda operación con mayor tiempo fue disolver carboximetilcelulosa sin embargo por el tamaño de lote esta no se considera cuello de botella. El tiempo total de las operaciones fue de 49 horas con tres minutos el cual, si se considera un tiempo alto, no obstante, cuando se comience a producir se tendrá un retraso de dos días, pero luego de esto se tendrá una producción continua.

Balance de líneas

	Tarea	Cantidad	Tiempo (s)	Precedencia
Pesar quitosano	A	1	47.20	—
Sulfato de zinc	B	1	39.30	A
Carboximetilcelulosa	C	1	34.50	B
Disolver quitosano en AC	D	2	620.00	B
Disolver carboximetilcelulosa	E	2	920.00	D
Disolver sulfato de zinc en quitosano	F	2	620.00	E
Mezclar dos soluciones	H	2	910.00	G
Reposar	I	50	3,456	H
	TOTAL	13	3,811.00	

Cuadro 30: Resumen de operaciones, secuencia y tiempo unitario

Estación	Tarea	Tiempo utilizado	Tiempo disponible	Posible tarea	Holgura
7	A	47.20	3,408.80	B	
	B	39.30	3,369.50	C	
	C	34.50	3,335	D	
	D	620.00	2,715.00	E	
	E	920.00	1,795.00	F	
	F	620.00	1,175.00	G	
	G	650.00	555.00	G	555.00
2	H	910.00	2,546.00	—	2,546.00
3	I	3,456	0.00	—	—

Cuadro 31: Resumen de operaciones, secuencia y tiempo unitario

Para la realización de este producto se obtuvieron tres estaciones y únicamente será necesario contar con un total de dos personas debido a que las actividades que deben de realizarse son sumamente sencillas y no requieren una mayor inversión de tiempo, la actividad más larga que se cuenta en el proceso es reposar que consiste en dejar secar los dosificadores o pastillas un tiempo total de 48 horas.

Simulación

Operación	Unidades procesadas	Unidades en espera	Porcentaje de utilización
Pesar quitosano	29,592	0	99 %
Sulfato de zinc	29,592	0	85 %
Carboximetilcelulosa	29,590	1	73 %
Disolver quitosano en AC	29,534	28	53 %
Disolver carboximetilcelulosa	29,454	40	79 %
Disolver sulfato de zinc en quitosano	29,404	25	53 %
Mezclar soluciones	29,354	25	52 %
Dejar enfriar	29,350	4	57 %
Reposar	29,256	3,192	77 %

Cuadro 32: Resultados de simulación

Se determino una capacidad de 26,256 pastillas mensuales lo cual es suficiente para cubrir la demanda hasta el año 2021 sin ningún inconveniente. Se encontró un cuello de botella, sin embargo, este se redujo aumentando el lote de producción debido a que es la actividad de Reposar, la cual no requiere de mayor supervisión, solo almacenaje.

Planificación de los requerimientos de material

Tamaño de Lote: 100	
Sulfato de zinc	0.4 Kg
Quitosano	0.4 Kg
Carboximetilcelulosa	0.3 Kg
Ácido cítrico	9.6 Kg
Hidróxido de sodio	4.0 Kg

Cuadro 33: Requerimiento de material por lote

Se determino un lote de transferencia de 100 unidades, para poder suplir la demanda proyectada se deben de procesar 10 lotes al día.

Año	2020	2021	2022	2023	2024
Demanda	335,097	352,738	373,772	398,854	428,762
Sulfato de zinc	1,340.4	1,411.0	1,495.1	1,595.4	1,715.0
Quitosano	1,172.8	1,234.6	1,308.2	1,396.0	1,500.7
Carboximetilcelulosa	1,005.3	1,058.2	1,121.3	1,196.6	1,286.3
Ácido cítrico	32,190.1	33,884.7	35,905.3	38,314.7	41,187.7
Hidróxido de sodio	13,402.9	14,108.5	14,949.8	15,953.0	17,149.2

Cuadro 34: Requerimiento de material por año

Como se puede observar en la Tabla 15 la cantidad de material que se debe de comprar y almacenar es sumamente grande y no se posee el espacio adecuado para poder almacenar el material por lo cual no se consideró viable este método tanto en este módulo como en el módulo Factibilidad financiera de la aplicación de una dosificación de zinc a una unidad filtrante de agua. Esto se debe a que los proveedores viables económicamente se encuentran en China y cuentan con una política de pedidos mínimos muy alta. Se pueden observar con más detalle en el ANEXO B.

El segundo factor por el cual este método se descartó fueron los tiempos de espera de solidificación de 48 horas, para poder cumplir la demanda se debe tener aproximadamente 3192 unidades almacenadas diariamente para poder suplir con la demanda, lo cual representa una cantidad de espacio y efectivo sin movimiento para la empresa.

9.7.4. Análisis del proceso de producción de dosificador de zinc por método de cobertura

Descripción del proceso

- Medir un litro de agua destilada: El primer paso para realizar la solución de la cobertura consiste en medir un litro de agua destilada por cada filtro a recubrir y colocarlo en la pileta.

- Pesar y diluir cinco gramos de sulfato de zinc: Se pesan cinco gramos de sulfato de zinc por cada filtro a recubrir y este se diluye en el agua destilada previamente medida.

- Sumergir filtro en solución: Una vez disuelto el sulfato de zinc se debe sumergir el filtro durante aproximadamente 5 minutos

- Dejar secar: El filtro se debe dejar secar por un tiempo aproximado de cuatro horas, luego se debe de repetir el proceso de sumergido y secado dos veces más para completar el ciclo de cobertura.

Diagrama de operaciones de proceso

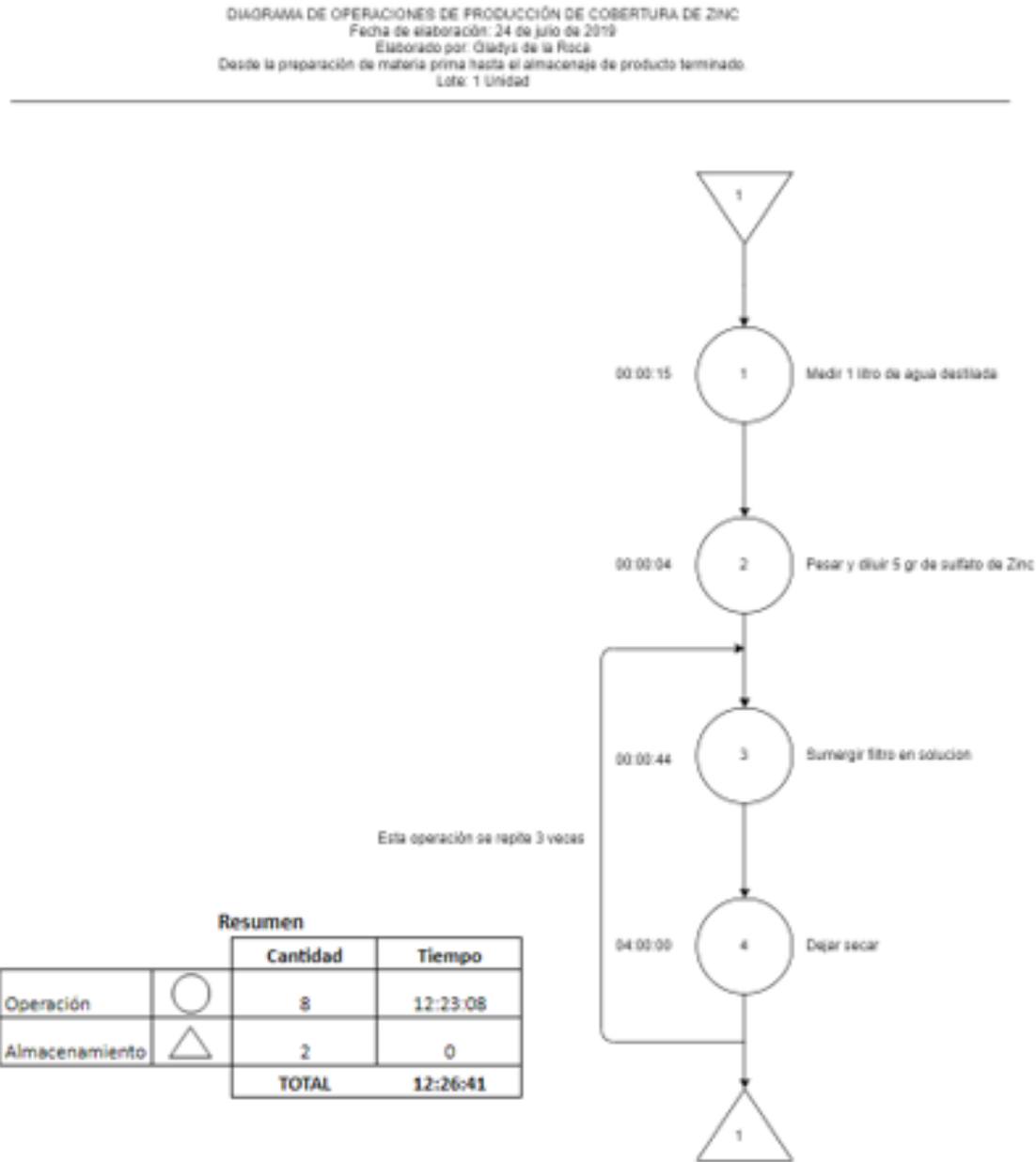


Figura 66: Diagrama de operaciones método de cobertura

Para el diagrama de operaciones del dosificador de zinc por el método de cobertura se obtuvieron ocho operaciones y dos almacenamientos, con un tiempo total de 12 horas con 26 minutos. En este proceso se tienen dos operaciones que se deben realizar un total de tres veces. La operación con mayor duración es la operación de dejar secar con un tiempo total de cuatro horas y esta debe realizarse tres veces; sin embargo, esta no necesita de un operario para su realización por lo que depende únicamente del tamaño del almacenamiento disponible.

	Tarea	Cantidad	Tiempo (s)	Precedencia
Medir agua destilada	A	1	14.93	—
Pesar y diluir sulfato de zinc	B	1	435.50	A
Sumergir filtro en solución	C	1	357.22	C
Dejar secar	D	50	290.94	D
Sumergir nuevamente	E	1	320.30	E
Dejar secar	F	50	290.68	F
Sumergir nuevamente	G	1	322.76	G
Dejar secar	H	50	290.80	H
	TOTAL	155	2,323.13	

Cuadro 35: Resumen de operaciones, secuencia y tiempo unitario

Estación	Tarea	Tiempo utilizado	Tiempo disponible	Posible tarea	Holgura
1	A	14.93	420.57	—	420.57
2	B	435.50	0.00	—	0.00
3	C	357.22	78.28	—	78.28
4	D	290.94	144.56	—	144.56
5	E	320.30	115.20	—	115.20
6	F	290.68	144.82	—	144.82
7	G	322.76	112.74	—	112.74
8	H	290.80	144.70	—	144.70

Cuadro 36: Estaciones y tiempo de ocio

Para el balance de líneas se obtuvo un total de ocho estaciones y únicamente será necesario contar con dos personas debido a que la mayor parte de las operaciones, debido al tiempo que estas representan, no necesitan de una persona para su realización.

Simulación

Operación	Unidades procesadas	Unidades en espera	Porcentaje de utilización
Medir agua destilada	11,808	0	93.65 %
Pesar y diluir sulfato de zinc	11,800	0	92.99 %
Sumergir filtro en solución	11,798	5	4.31 %
Dejar secar	11,548	246	68.23 %
Sumergir nuevamente	11,540	5	7.14 %
Dejar secar	11,298	238	66.06 %
Sumergir nuevamente	11,297	5	6.86 %
Dejar secar	11,058	235	65.36 %

Cuadro 37: Resultados de simulación

Planificación de los requerimientos de material

Tamaño de lote: 50	
Sulfato de zinc	0.3 Kg

Cuadro 38: Requerimientos de material por lote

Año	2020	2021	2022	2023	2024
Demanda	80,170	91,347	104,674	120,565	139,513
Sulfato de zinc (Kg)	400.9	456.7	523.4	602.8	697.6

Cuadro 39: Requerimientos de material por año

Se determino un lote de transferencia de 50 unidades, para poder suplir la demanda proyectada se deben de procesar 10 lotes al día. Para este proceso se cuentan con proveedores más accesibles por lo que se determinó factibilidad en su realización.

9.7.5. Integración del proceso de producción del dosificador de zinc por método de cobertura al proceso de producción de las unidades filtrantes de agua

La integración de ambos procesos se llevará a cabo entre la última operación del proceso de fabricación de unidades filtrantes de agua y la tercera operación del proceso de producción del dosificador de zinc por el método de cobertura.

Para entender un poco mejor el proceso se realizó un diagrama de secuencia de actividades

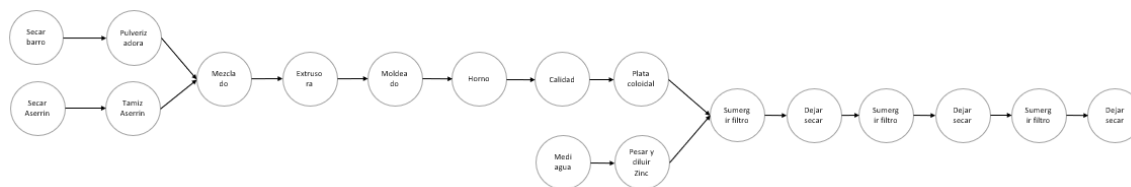


Figura 67: Diagrama de secuencia de las operaciones

Como se puede observar se tienen 13 operaciones de una dependencia, dos operaciones de doble dependencia y tres operaciones que no poseen dependencia, haciendo un total de 18 operaciones. Para la cobertura se determinó en el módulo estudio de la factibilidad financiera de la aplicación de un sistema dosificador de zinc a equipos de purificación de agua dirigido a una empresa dedicada a la producción de unidades filtrantes de agua que únicamente se le aplicaría la cobertura al 69% de la producción mensual. Por lo que, en la segunda dependencia doble, en la operación sumergir filtro, se transferirán únicamente el 60% de las unidades producidas el 31% restante será destinado hacia empaque directamente.

Diagrama de operaciones de proceso

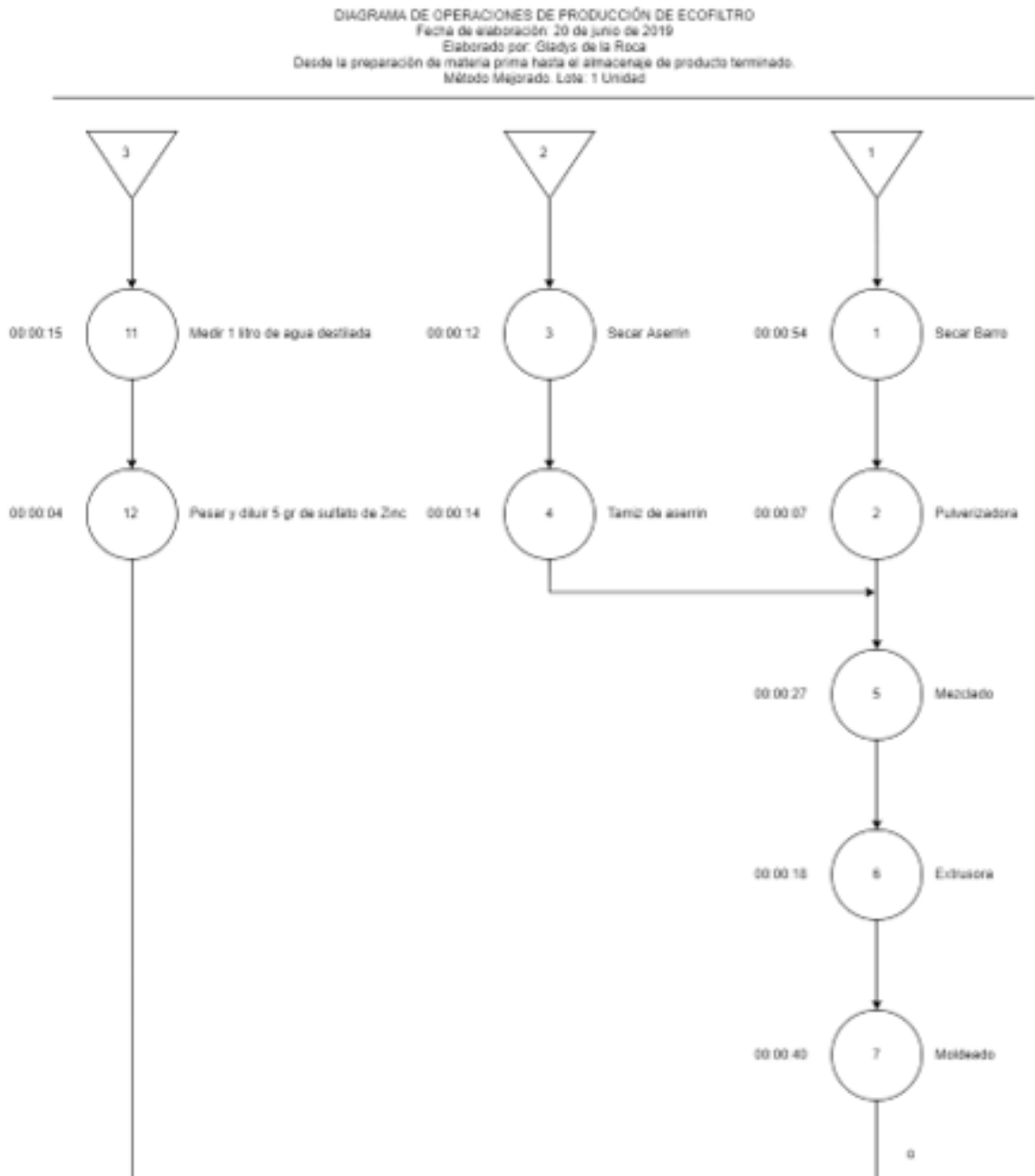


Figura 68: Diagrama de operaciones proceso implementado parte 1

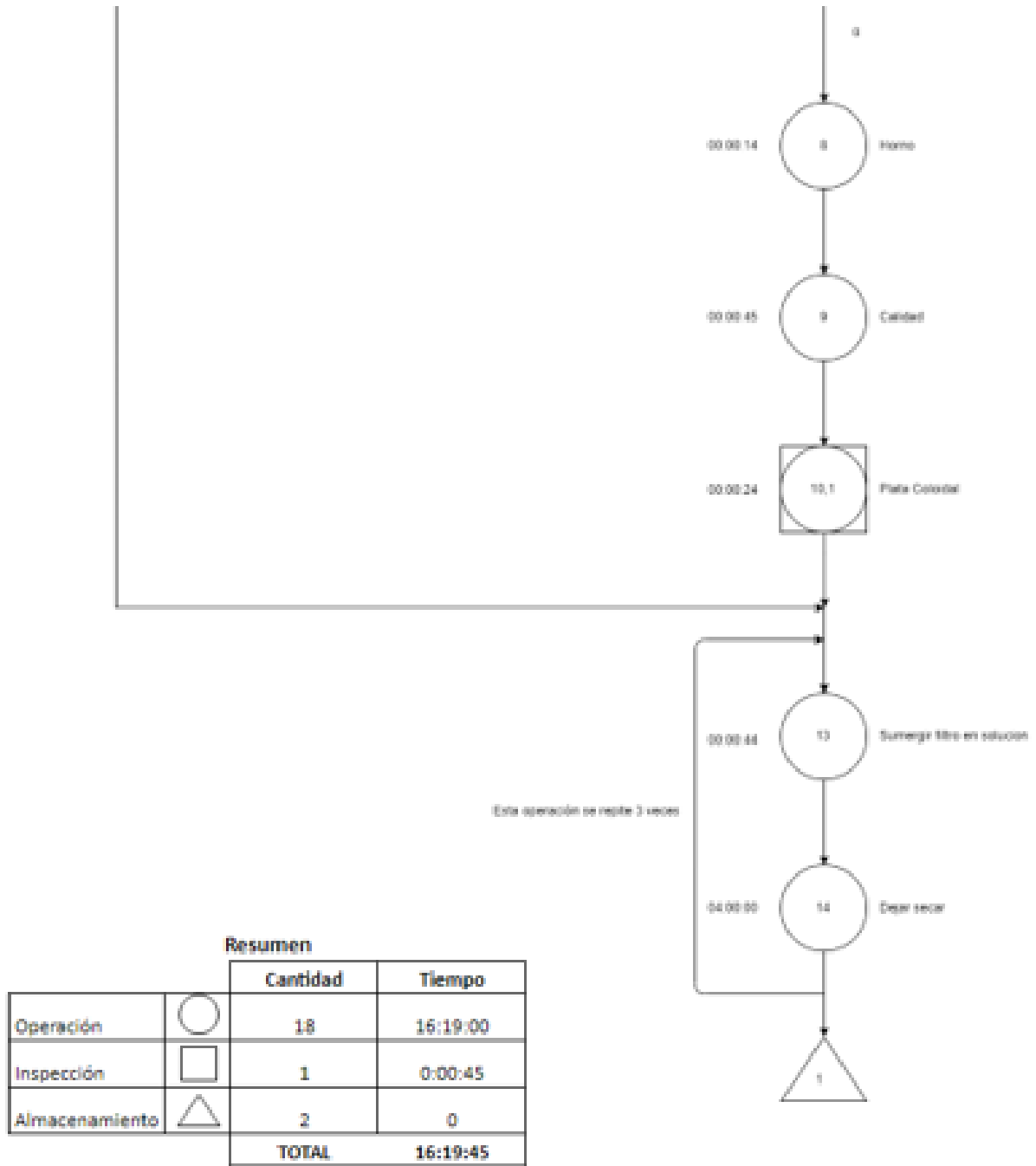


Figura 69: Diagrama de operaciones proceso implementado parte 2

Simulación

Como se puede observar los porcentajes de utilización se mantuvieron estables al igual que la capacidad estimada de unidades filtrantes, por lo cual se considera satisfactoria la implementación de ambos procesos, así mismo se mantuvo la cantidad de personas adicionales, dos personas, para la realización del proceso en conjunto.

Operación	Unidades procesadas	Unidades en espera	Porcentaje de utilización
Secar Barro	21,316.00	0.0	93.09 %
Pulverizadora	21,316.00	0.0	22.76 %
Secar aserrín	23,035.00	0.0	86.14 %
Tamiz de aserrín	23,033.00	0.0	97.67 %
Mezclado	21,315.00	0.0	84.97 %
Extrusora	21,314.00	0.0	54.60 %
Moldeado	21,308.00	42,610.00	99.90 %
Horno	21,307.00	0.0	43.16 %
Calidad	21,307.00	29,296.00	80.13 %
Plata Coloidal	21,305.00	14,203.00	78.32 %
Medir agua destilada	14,158.00	0.0	83.80 %
Pesar y diluir Zn2So4	12,699.00	0.0	100.00 %
Sumergir filtro en solución	12,695.00	5.00	34.81 %
Dejar secar	12,427.00	264.00	73.45 %
Sumergir nuevamente	12,422.00	6.00	57.54 %
Dejar secar	12,138.00	254.00	70.69 %
Sumergir nuevamente	12,133.00	6.00	55.13 %
Dejar secar	11,864.00	252.00	70.13 %

Cuadro 40: Resultados de simulación

Layout

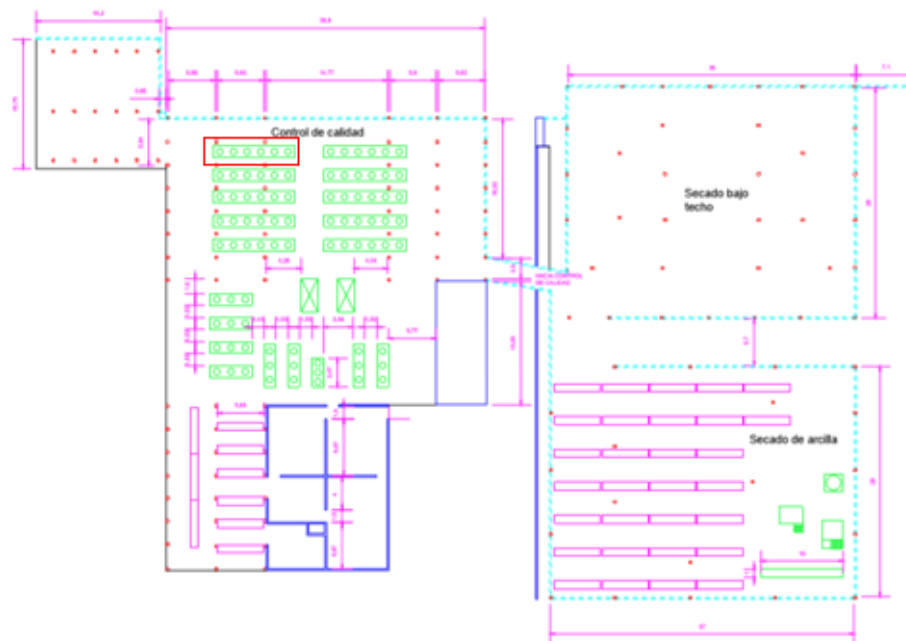


Figura 70: Layout de proceso implementado

Para la implementación del proceso no se requirió realizar modificaciones al plano recomendado del nuevo proceso de las unidades filtrantes debido a la capacidad de esta, el área designada al nuevo proceso fue únicamente una pileta donde se realizará la operación de sumergir filtros, esta área se marcó en rojo. Así mismo no se vio afectado el personal debido al tiempo de ocio que se tiene en la modificación y por la simplicidad de las operaciones agregadas al proceso. Respecto a los inventarios debido a que el único material que se requiere en sulfato de zinc y para este no se obtiene mayor complicación ni requerimientos mínimos de pedido alto se considera que el método es factible en todos los sentidos productivos para su implementación y fabricación adecuada y continua.

Estudio de la factibilidad financiera de la aplicación de un sistema dosificador de zinc a equipos de purificación de agua dirigido a una empresa dedicada a la producción de unidades filtrantes de agua

10.1. Resumen

Esta sección del proyecto consiste en determinar la rentabilidad de la implementación de la dosificación de zinc en filtros purificadores de agua para fortificarla. Se evaluaron dos alternativas de dosificación de zinc, una en forma de pastilla y la otra en forma de cobertura, en donde se utilizaron diferentes materiales y se llevaron a cabo distintos procedimientos para desarrollarlas. La empresa con la que se trabajó es una empresa que se encuentra en buena posición en el mercado, incrementando sus ventas anuales constantemente, y esperando un crecimiento futuro mayor. Utilizando sus datos históricos y realizando estudios de mercado se logró hacer un pronóstico de la demanda de filtros de la empresa. Este pronóstico se utilizó para determinar los costos y los ingresos futuros de la empresa, junto con otras herramientas, para construir un estado de resultados y calcular la utilidad neta de cada año. Utilizando las herramientas de margen de ganancia y plazo de recuperación, se observó que este proyecto sí es rentable (ambos escenarios). Cada escenario presenta sus ventajas como sus desventajas comparado con el otro, pero ya es criterio de la empresa decidir qué opción parece ser más atractiva. Para proporcionarle información adicional a la empresa que les puede servir para tomar decisiones, se realizaron un análisis de sensibilidad y un análisis de escenarios para determinar el impacto que tienen las variables en el proyecto.

10.2. Introducción

Se trabajó con una empresa dedicada a la venta de filtros purificadores de agua para obtener los filtros y así realizar las pruebas de las dosificaciones. El objetivo de este módulo del proyecto fue evaluar la rentabilidad de implementar esta nueva dosificación de zinc, es decir determinar si la empresa puede aplicar este proyecto en sus instalaciones y a la vez es capaz de seguir operando y ganando dinero. Se evaluó la rentabilidad de las 2 alternativas mencionadas para determinar cuál presentaba mejores condiciones. Para llevar a cabo este análisis se aplicaron las siguientes herramientas o metodologías: razones financieras, pronóstico de la demanda, cotizaciones de productos, matrices de costos, ventas por tipo de producto o artículo, Estado de Resultados, análisis de Valor Presente Neto, análisis de sensibilidad, plazo de recuperación y análisis de escenarios.

10.3. Antecedentes

Un análisis financiero juega un papel clave a la hora de tomar decisiones dentro de una empresa. Al momento que una empresa implemente un nuevo plan de producción porque saben que les traerá muchos beneficios, ¿qué pasa si solo tomaron en cuenta lo que les puede traer a futuro, y no lo que deben de sacrificar en el presente para poder llevarlo a cabo? Es probable que la empresa no cuente con los recursos necesarios en la actualidad para llevarlo a cabo o que no se encuentre en buena posición en el mercado para tomar decisiones grandes. No es correcto o adecuado improvisar ya que no se está considerando muchas cosas que podrían suceder y afectar de forma negativa a la empresa. Aquí es donde entra la utilidad de realizar un análisis financiero o económico. El objetivo de éste es hacer una evaluación de todas las variables cuantitativas presentes. A la hora de crear un nuevo proyecto se debe de definir todas las variables económicas o financieras de lo que implicaría dicho proyecto, como los costos, ingresos, inversión inicial y muchos otros, para poder anticipar cualquier problema que se pueda presentar.

La evaluación financiera les permite tomar decisiones que van orientadas a 3 objetivos generales. Uno de ellos es sobrevivir. Esto implica ser capaces de operar a lo largo de los años, atendiendo las necesidades o deseos de los clientes. El siguiente es ser rentables. Al iniciar un negocio, la meta es ganar dinero. Esta es la razón principal que los motiva a entrar en el mercado, para obtener beneficios. Este aspecto va de la mano con sobrevivir, ya que una empresa no puede sobrevivir si no es rentable. Y por último se busca mejorar la situación de la empresa constantemente, ya sea ocupando una mayor cuota del mercado, aumentando su volumen de ventas, innovando o agregando valor a sus productos o servicios, y demás factores. [130]

10.4. Justificación

Con este proyecto se desea mejorar las condiciones de salud del país, pero esto no se puede hacer si no se asegura antes de que el proyecto presente rentabilidad y es posible de llevar a cabo. Para esto se debe de realizar un análisis financiero, en donde se expliquen y

analicen todos los factores financieros que están involucrados y que hay que tomar en cuenta para determinar la rentabilidad del proyecto. La razón de realizar esta parte del proyecto es asegurarse de que la empresa sea capaz de seguir funcionando y operando de manera adecuada luego de implementar este nuevo plan de producción.

La empresa con la que se trabajó le da más importancia al hecho de que este proyecto pueda ocasionar un cambio significativo en las condiciones de salud del país, que a tratar de maximizar sus ingresos; es decir que mientras se esté obteniendo una ganancia y sean capaces de seguir operando, están satisfechos con sus resultados. Pero de todas maneras, no hay forma de saber si este proyecto permitirá que se pueda seguir obteniendo ganancias sin haber hecho un análisis financiero para respaldarlo. El objetivo de este módulo del proyecto no solo es confirmarle a la empresa de que si el proyecto les traerá beneficios, sino que también proporcionarle a la empresa toda la información que se analizó y qué resultados se obtuvieron en cada sección, para que ellos puedan determinar en qué áreas se puede mejorar o empezar a desarrollar nuevas estrategias para mejorar la situación de la empresa. También se les estará proporcionando recomendaciones propias en base a todo el análisis que se hizo para apoyarlos con esta toma de decisiones.

10.5. Marco teórico

10.5.1. ¿Qué es un análisis financiero?

Un análisis financiero es un estudio de la información contable y económica actual de una empresa u organización. Usualmente, toda esta información financiera se puede encontrar en los estados financieros de la empresa, que son el Estado de Resultados (muestra los ingresos y egresos en un período determinado), Balance General (muestra los activos, pasivos y capital contable de la empresa), Estados de Flujo de Efectivo (muestra las entradas y salidas de dinero en efectivo) y Estado de cambios en el Patrimonio Neto (muestra los cambios que ocurren en el capital contable en un determinado tiempo). Hay varias cosas que se pueden analizar en este estudio, como la disponibilidad de recursos que se tiene, las deudas pendientes que se deben de saldar, el capital de la empresa que le pertenece a los accionistas, y muchos otros factores. Todo esto depende de lo que se desee analizar; una vez se tiene un objetivo o un propósito de investigación se sabrá qué factores se deberán de analizar. [131]

El análisis financiero se hace con el objetivo de observar la situación actual de la empresa para poder tomar decisiones futuras. Este análisis puede ser observado desde 2 perspectivas diferentes: la interna y la externa. La perspectiva interna es vista desde los propios administradores y trabajadores de la empresa, permitiéndoles identificar problemas que representen gastos innecesarios, reducir el inventario en bodega, evitar pedidos sin cumplirse y pérdida de clientes, aprovechar oportunidades que se presentan en el mercado, y muchos otros factores. La perspectiva externa es vista desde las personas fuera de la empresa, como los clientes, proveedores, accionistas, etc. Por ejemplo, al realizar un análisis financiero, un posible inversor puede observar cómo se encuentra la empresa en términos financieros para determinar si vale la pena invertir en la empresa. Se mencionó que se hacen los análisis financieros para tomar decisiones, pero hay que tener claro a qué apuntan estas decisiones. Hay 3 factores que toda empresa desea aumentar al máximo; los 3 factores a los que estas

decisiones conllevan: rentabilidad, liquidez y solvencia. [132]

Rentabilidad

El factor de rentabilidad, es de los indicadores más importantes en las evaluaciones financieras. La rentabilidad significa el beneficio que se obtiene de una inversión. Es la relación entre lo que la empresa gana con lo que pierde; si lo que se gana es mayor que lo que se pierde significa que es rentable. Este factor se puede medir con distintos indicadores, dependiendo de la situación que se está analizando, tales como la utilidad, el valor presente neto, el retorno sobre la inversión o el margen de ganancia. Por ejemplo, la utilidad es el valor que se refleja en los estados de resultados, que representa la diferencia entre los ingresos, y los costos y gastos de un período definido (usualmente 1 mes). Si esta resulta ser un valor positivo y alto según el criterio de la empresa, significa que el negocio es bastante rentable, ya que hay una diferencia muy significativa entre lo que se gana (ingresos) y lo que se pierde (costos y gastos).

La rentabilidad puede hacer referencia a diferentes temas como una empresa en general, un proyecto o estrategia. Cuando se hace referencia a la rentabilidad que presenta una empresa, se divide en 2 tipos: la rentabilidad económica y financiera. La rentabilidad económica, es la relación que existe entre la ganancia y los activos que posee la empresa. La ganancia en este caso es la utilidad antes de impuestos e intereses. Esto se traduce a la capacidad que tiene la empresa de generar ganancias solamente con los activos que posee, sin importar cómo los hayan obtenido o cómo se hayan financiado. Para determinar dicha rentabilidad se utiliza el indicador del ROI (Return on investment), el cual se calcula mediante la división de la utilidad o ganancia dentro de los activos totales de la empresa.

El otro tipo de rentabilidad es la rentabilidad financiera. Esta hace referencia a la relación que existe entre la ganancia y los activos propios. Los activos propios son los activos obtenidos por medio de los fondos aportados por los socios y accionistas de la empresa. Este factor es más importante para los accionistas, ya que es donde se reflejan las consecuencias de haber invertido y aportado a la empresa. Otra diferencia importante que tiene este tipo de rentabilidad con la económica es que se toman en cuenta las ganancias netas, es decir la utilidad después de impuestos e intereses. Para determinar este tipo de rentabilidad se utiliza un indicador llamado ROE (Return on equity). Este indicador se calcula mediante la división de ganancia neta dentro de los fondos propios de la empresa. [133]

Liquidez

El segundo factor importante al tomar decisiones financieras es la liquidez. La liquidez es la facilidad que presenta un activo de convertirse en dinero líquido de manera rápida, sin perder su valor original. Cuando un activo presenta esta cualidad se puede decir que es un activo líquido. Se dice que es líquido cuando no se pierde el valor original, ya que si se ofrecieran todos los activos a un precio menor de lo que costó, todos tendrían facilidad de convertirse en dinero líquido, por lo que no habría concepto de liquidez. Los activos circulantes o corrientes son los activos más líquidos que hay, ya que tienen la facilidad de convertirse en dinero líquido en un plazo menor o igual a 1 año. Los más comunes de éstos

son: caja o efectivo (el activo más líquido que existe), dinero en bancos, clientes o cuentas por cobrar, y mercadería o inventario. Algunos ejemplos de activos no líquidos son inmuebles, vehículos, mobiliario, equipo de computación, y otros. [134]

Una empresa siempre debe de tener un grado de liquidez alto, porque éste representa la capacidad que tienen para cubrir sus deudas a corto plazo. El grado de liquidez general que posee una empresa se puede determinar con varios indicadores:

- **Razón corriente:** se calcula mediante la división de los activos corrientes dentro de los pasivos corrientes. Si el resultado es mayor que 1 significa que sí son capaces de cubrir sus deudas a corto plazo. Pero hay que tener cuidado, ya que si el resultado es muy grande significa que tienen demasiada liquidez, es decir que tienen demasiados activos que no están siendo aprovechados al máximo.
- **Prueba ácida:** consiste en lo mismo que la razón corriente, con la diferencia de que a los activos se les resta los inventarios. De esta manera se elimina la preocupación de no poder vender inventario y quedarse con algo que nunca se volverá dinero.
- **Prueba defensiva:** ésta consiste en lo mismo que la prueba ácida, solo que ahora se remueven las cuentas por cobrar de la ecuación. Con esto se elimina la preocupación de la incertidumbre de saber si los clientes les pagarán sus deudas. [135] **Granel**

Ya se habló sobre 2 de los factores que toda empresa busca aumentar, la rentabilidad y la liquidez. Es importante tomar en cuenta que ambos están relacionados. Y éstos se relacionan con otro aspecto, que es el riesgo. Juntos, estos 3 factores forman un triángulo.

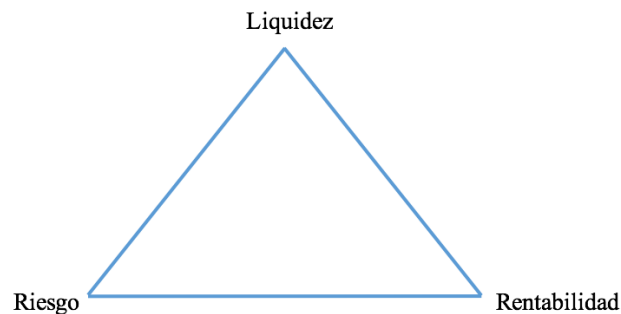


Figura 71: Triángulo de rentabilidad, liquidez y riesgo.

Lo que se debe de hacer es encontrar un equilibrio entre los 3 factores (el centro del triángulo), es decir trabajar en una variable sin afectar o poner en peligro a la otra. Por ejemplo, se desea aumentar la liquidez de la empresa para reducir el riesgo de no poder pagar sus deudas a corto plazo, pero no se puede aumentar tanto porque baja la rentabilidad (más activos sin aprovecharse). [136]

Solvencia

Por último, tenemos el factor de la solvencia. La solvencia es la capacidad que tiene una empresa para pagar todas sus deudas. El concepto es bastante parecido a la liquidez, pero no

son lo mismo. La liquidez es un factor que determina la capacidad que tiene una empresa de pagar sus deudas a corto plazo, mientras que la solvencia se refiere a la capacidad que tiene una empresa de pagar todas sus deudas. Los 2 conceptos no necesariamente van de la mano; es decir que una empresa puede tener bastante liquidez pero poca solvencia, o viceversa. Pero ambas son igual de importantes y no se deben de descuidar. [137]

Al igual que con la liquidez, existen indicadores para determinar la solvencia que tiene una empresa:

- Ratio de endeudamiento: se obtiene al dividir el pasivo total dentro del patrimonio neto. Este indicador muestra la porción del capital contable que abarcan los pasivos de la empresa, por lo que se espera un valor pequeño.
- Ratio de deuda: muestra qué tanto se acercan los pasivos de la empresa a los activos. El resultado se obtiene mediante la división de los pasivos dentro de los activos, que se espera también que sea un valor muy pequeño.
- Ratio de apalancamiento financiero: que se obtiene al dividir los activos dentro del patrimonio neto. Éste último es el opuesto del ratio de endeudamiento, ya que representa cuánto del patrimonio neto abarcan los activos.

Se observa que todos los indicadores llevan a la misma conclusión, que es determinar si la empresa cuenta con más recursos (activos) o más deudas (pasivos). [138]

10.5.2. Aspectos de la rentabilidad

Se mencionó cómo se puede medir la rentabilidad que posee una empresa, pero también es posible determinar la rentabilidad que presenta un proyecto, en lugar de la empresa completa. A este tipo de rentabilidad se le llama rentabilidad social. Ésta hace referencia a los beneficios que se pueden obtener al implementar un nuevo proyecto. Las personas beneficiadas pueden ser parte de la empresa en sí o personas externas. Los proyectos que solo benefician a personas externas suelen ser los proyectos que conllevan únicamente costos para la empresa, y no hay una forma exacta de medir los beneficios que les trae a dichas personas. Un ejemplo de este tipo de proyectos puede ser cuando se coloca una red de internet gratis en un centro comercial. Al centro le habrá costado una gran cantidad de dinero para comprar el internet, los routers, y demás cosas. Y como el internet es gratis para los consumidores, no se está obteniendo ningún beneficio propio; todo el beneficio va dirigido a los consumidores. [139]

Cuándo un proyecto beneficia a la empresa misma, hay muchos factores que se deben de tomar en cuenta para medir la rentabilidad que trae. Una herramienta bastante utilizada para esto es el análisis del valor presente neto (VPN), o a veces llamado valor actual neto (VAN). Esta herramienta es un análisis que determina si una inversión será rentable en una cierta cantidad de tiempo o no. Es una herramienta bastante útil, ya que permite saber si se está haciendo una inversión que traerá beneficio a futuro o no. Consiste en determinar todos los factores financieros involucrados (costos, ingresos, inversión inicial, etc) y colocarlos en una tabla para formar flujos de efectivo de cada año. La cantidad de años para lo cual se

desea evaluar la rentabilidad de un proyecto es decisión propia de la empresa; para esto se toman en cuenta factores como la novedad o volatilidad del producto, la magnitud de los costos o la inversión inicial, y otros. Luego de esto se calcula el valor presente, que es un valor que equivale a todos estos flujos de efectivo, y compararlo con el valor de la inversión inicial. Para calcular este valor se utiliza una tasa de retorno, que hace referencia a una tasa de rendimiento aceptable establecida por la persona o empresa. El VPN es un método muy eficiente para determinar la rentabilidad de un proyecto, pero no siempre es el más adecuado. Por ejemplo, si se quisiera evaluar la rentabilidad de una empresa luego de implementar un nuevo proyecto que solo involucre costos y no genere ingresos, el VPN del proyecto sería muy bajo, porque solo se está perdiendo dinero. En ese caso se puede evaluar la rentabilidad de otra manera, como solo observando la utilidad, o calculando el margen de utilidad. [140] (Granel_M_2018)

Pronóstico de la demanda

Un aspecto muy importante en una evaluación de rentabilidad es el pronóstico de la demanda del producto o servicio. La demanda es un componente esencial en los costos e ingresos, ya que determina cuánto se gastará en insumos y cuánto se venderá, pero el problema es que es uno de los factores más impredecibles en el mundo de los negocios. Es muy poco probable hacer una estimación exacta de cuántos clientes se tendrán en períodos futuros porque ésta depende de muchos factores, como la necesidad o deseo del producto, la competencia, aumento de la población, y demás factores. Entonces lo que se puede hacer es un pronóstico en base a todos estos factores para determinar cuántas unidades se deberán de producir y establecer una cadena de suministro funcional para cumplir con dicha demanda. Estos pronósticos siempre inician con un mismo factor: datos históricos. Existen 2 tipos de pronósticos que se pueden hacer, en donde cada uno utiliza diferentes tipos de datos históricos: pronósticos cuantitativos y cualitativos.

El pronóstico cuantitativo consiste en utilizar datos de resultados anteriores para analizar cómo ha sido el comportamiento de la demanda, que tendencias sigue, si tiene estaciones de mayor o menor demanda, y demás aspectos. Para esto se puede utilizar ciertas herramientas, como la función de Forecast de excel, o desarrollar modelos de regresión lineal. Este método posee la ventaja de que ya existen resultados anteriores por lo que se puede tomar una decisión en base a qué tan benéficos fueron dichos resultados, pero es importante tener en cuenta que el futuro no necesariamente será igual que el pasado, y que cualquier situación inesperada puede llegar a ocurrir.

El otro tipo es el pronóstico cualitativo. A diferencia del anterior, este pronóstico no se basa en resultados anteriores debido a que no hay, o no se tienen. Entonces como la información es escasa, se debe de recurrir a la información del mercado. Para esto se toma en cuenta todos los factores que tienen influencia en la demanda, tales como el tamaño de la población, los ingresos de la población para ver si tienen disponibilidad de compra, las preferencias de las personas, factores externos ambientales (como el clima), y otros. Algunos ejemplos de cómo hacer dicho pronóstico en base a estos factores son estudios de mercado para encontrar una segmentación a la cual se quiere atender o satisfacer, entrevistas o encuestas para entender las necesidades o expectativas que tiene la sociedad, simulaciones para determinar cómo implementar el proyecto correctamente, y otras herramientas. [141]

Otro factor importante que se debe de tomar en cuenta en un pronóstico de la demanda es el ciclo de vida de un producto. Este se define como el progreso de un producto a través del tiempo, el cual se divide en 4 etapas:

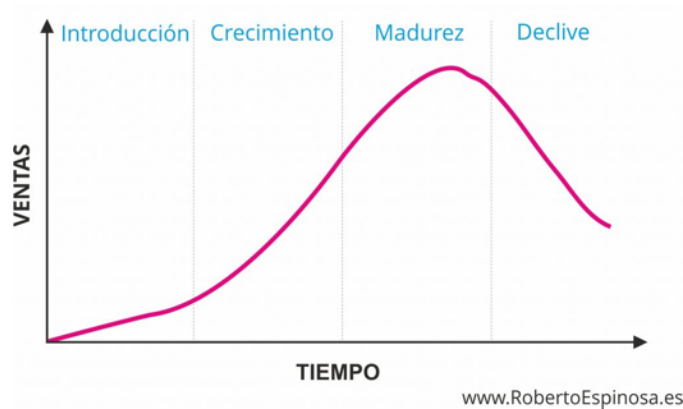


Figura 72: Ciclo de vida de un producto

1. **Introducción:** Es la primera etapa del ciclo, en donde se está dando a conocer el producto, por lo que aún se presenta mucho riesgo e incertidumbre.
2. **Crecimiento:** En esta fase, la empresa se empieza a posicionar dentro del mercado y a ser aceptado por los consumidores, es decir que sus ventas empiezan a crecer.
3. **Madurez:** Todas las empresas desean seguir creciendo todo el tiempo y aumentar sus ventas exponencialmente, pero esto no es posible ya que todas llegan a un punto en donde las ventas siguen creciendo pero a un ritmo más despacio. Esto puede ser por varios factores como la competencia en el mercado, desarrollo de productos sustitutos en el mercado, o simplemente ya dominan casi todo el mercado que las ventas no crecen sino que se mantienen constantes.
4. **Declive:** En esta última fase, las ventas de la empresa ya comienzan a disminuir por razones como las mencionadas anteriormente. Algunas empresas pueden tardar muchos años en llegar a este punto, y más si están innovando o mejorando sus productos constantemente como se debería, pero eventualmente todos llegan a una fase de declive.

Ingresos

El siguiente componente de los flujos de efectivo para el análisis de Valor Presente Neto son los ingresos. Estos representan el dinero que la empresa gana por la venta de sus productos o servicios. Los ingresos provienen del precio de venta que se le establece al producto o servicio. Entonces si se desea determinar los ingresos totales en una cierta cantidad de tiempo, se multiplica este precio establecido, por la cantidad de productos que se vendieron en dicho tiempo, o cantidad de veces que se vendió un servicio en caso que la empresa ofreciera servicios. Pero en el caso que se necesita determinar la rentabilidad de un proyecto que se implementará a futuro, se requiere más trabajo porque en este caso no se tiene la cantidad de unidades vendidas. Entonces aparte de establecer un precio de venta, se debe de hacer un pronóstico de la demanda, para predecir los ingresos que se generarán con dicho proyecto.

Establecer un precio de venta no es una tarea fácil porque éste depende de varios factores. Uno de ellos, y probablemente el más importante, es el costo de venta. Para que un proyecto tenga rentabilidad se debe de asegurar que el precio sea mayor que el costo; de otra manera se estaría perdiendo dinero, o simplemente ganarían nada. Otro factor que hay que tomar en cuenta es la demanda del producto o servicio. Se debe de analizar la necesidad o el deseo que tienen las personas hacia éste producto o servicio. Entre mayor sea la necesidad o deseo, mayor es la demanda, por lo que se puede aprovechar a establecer un precio más alto. Luego se tiene el factor de la competencia en el mercado. La competencia es una amenaza para la empresa porque buscan atraer a los mismos clientes. Debido esto la empresa se ve limitada a la hora de fijar un precio, ya que si es demasiado alto, los clientes escogerán ir con la competencia.

Estos factores son solo algunos de los que se deben de considerar al establecer un precio de venta, pero también hay otros, tales como tendencias en el mercado, exclusividad del producto o servicio, prestigio de la empresa, y otros. La parte complicada se presenta a la hora de encontrar un balance entre todos estos factores. Al igual que con lo que sucede con la rentabilidad, liquidez y riesgo, no se debe de descuidar ninguno de los factores, se debe de trabajar con todos en conjunto. Por ejemplo, se mencionó que el precio debe de ser mayor que el costo para obtener ganancias, por lo que se busca incrementar éste; pero a la vez no se puede incrementar tanto porque hasta cierto punto el público escogerá a la competencia por precios más bajos.

Existen distintos métodos para calcular el precio de venta. Uno de los más utilizados es el método del margen de contribución. El precio se calcula a partir del costo de ventas unitario del producto y el margen de contribución. Este margen representa un porcentaje que sea capaz de cubrir los gastos fijos y a la vez añadirle valor para obtener más ganancia, por lo que es decisión propia de la empresa establecerlo en base a dichos criterios. El valor del precio se obtiene mediante la división entre el costo de ventas unitario, dentro de la diferencia entre 1 y el margen de contribución. De ahí ya se establece el precio tomando en cuenta solamente lo que le conviene económicamente a la empresa. Pero ahora se debe de determinar si el público está de acuerdo con el precio establecido. [142]

Egresos

En el análisis de Valor Presente Neto, los flujos de efectivo netos se componen de los ingresos y egresos. Primero se toma en cuenta los egresos. Hay 2 tipos de salidas de dinero que ocurren en un proyecto, los cuales son la inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento. La inversión inicial es el dinero que se utiliza al inicio del proyecto para la adquisición de todos los recursos que se necesitarán para llevar a cabo el proyecto. El siguiente elemento son los costos. Estos representan la cantidad de dinero que la empresa debe de sacrificar cada cierto tiempo para poder llevar a cabo el proyecto y hacerlo funcional; lo que deben de sacrificar para obtener ingresos. Es muy importante resaltar la diferencia entre los costos y los gastos. Como se mencionó, los costos se relacionan directamente con los ingresos; es el dinero que se pierde para la adquisición de algo, que luego se vende para sacarle un beneficio mayor. Los gastos no se relacionan directamente con las ventas o la producción sino al servicio. Un ejemplo claro de gasto es la publicidad de un producto; no se sacrificó este dinero para adquirir o agregarle valor al producto, sino solamente para darlo

a conocer al público. [143] [144]

Los costos se componen de 3 elementos:

- **Materiales:** Los materiales son todos los insumos que se necesitan para eventualmente transformarlos en un producto final, a través de una o más operaciones. Éstos se pueden clasificar en 2: los materiales directos, que son los que representan la mayor parte del costo del producto terminado, y los materiales indirectos que tienen menos relevancia, pero que de igual manera son necesarios. Toda empresa puede elegir su criterio de separación entre ambos tipos, pero usualmente éste criterio es del 5%; es decir que si un material representa 5% o menos del costo del producto, se considera como indirecto.
- **Mano de obra:** Son todas las personas que se requieren para convertir la materia prima adquirida en un producto final. Al igual que con los materiales, éstas se separan en directos e indirectos. La mano de obra directa es el personal que está involucrado o tiene contacto directo con los materiales y el proceso, mientras que la indirecta es el personal cuya participación tiene menos importancia para la elaboración del producto, como supervisores o conserjes. En una empresa de servicios (institución educativa, salón de belleza, peluquería, etc), los costos por mano de obra suelen representar la mayor parte de los costos.
- **Costos indirectos de fabricación (CIF):** Estos costos son los más difíciles de identificar, ya que no forman parte de los materiales o la mano de obra, pero de igual manera están presentes. Algunos ejemplos son la electricidad necesaria para hacer funcionar la maquinaria, o la renta del local para poder seguir operando. [145]

Es importante llevar registro de todos los costos para tener claro de qué se componen, de dónde salió el monto final. Una forma muy útil de registrar estos valores es a través de una matriz de costos. Esta herramienta consiste en realizar una tabla en donde se definen todos los costos involucrados, junto con el valor que conlleva cada uno. Se hace en forma de tabla, ya que es más fácil de operar, y es una forma ordenada de mostrar todos los costos. Además, también es útil para cuando se desea comparar costos en 2 o más situaciones, por ejemplo si hace un producto de una manera u otra, si se contrata más mano de obra para aumentar la productividad o no, etc. La matriz de costos permite obtener un costo total, y observar todos los costos parciales que condujeron a ese total. [146]

Financiamiento para una inversión inicial

Cuando empresa no tiene los suficientes recursos económicos o no quiere comprometer capital propio para implementar un nuevo proyecto debe recurrir a una forma de financiamiento por parte de otra entidad. Este financiamiento se puede adquirir por medio de inversionistas o instituciones bancarias. Los inversionistas esperan un retorno determinado sobre su inversión; es decir que la empresa genere las ganancias esperadas y proyectadas y con base al criterio contratado recibir la tasa pactada de rentabilidad. En el caso de las instituciones bancarias, se contrata un préstamo bancario, el cuál debe ser devuelto junto con un interés adicional a una tasa que ellos imponen.

Obtener financiamiento por parte de inversionistas puede presentar una ventaja o una desventaja, debido a que los dividendos que se les debe de pagar dependen de las ganancias de la empresa. Si se generan ganancias altas, el porcentaje de dividendos a pagar será muy alto; esto dependerá del tipo de participación que tenga el accionista, el cual puede ser acciones ordinarias (en donde los accionistas tienen derecho a participar en las decisiones de la empresa, y reciben dividendos según dicho nivel de participación) o preferentes (en donde el monto de los dividendos a pagar es fijo). Mientras que con el banco se presenta una situación completamente distinta. Cuando se pide un préstamo bancario, una empresa tiene la obligación de pagar la deuda por completo a lo largo de los años, junto con intereses adicionales a una tasa establecida por el banco. Si no se cumple el pago de la deuda, el banco tiene derecho a penalizar a la empresa. [147]

Tasa de rendimiento o retorno

Para evaluar la rentabilidad de un proyecto por medio del análisis del Valor Presente Neto, se necesita una tasa de rendimiento que represente el porcentaje de ganancia que se desea obtener del proyecto. Este porcentaje depende de la cantidad de entidades que están aportando dinero a la empresa, así como del valor o monto de dicho aporte. La tasa de rendimiento que se utiliza para representar la ganancia deseada sobre el proyecto es el WACC (costo promedio ponderado de capital). Como el nombre lo indica, el WACC es una tasa que pondera los costos de financiamiento obtenidos por las diferentes fuentes o entidades. Como se mencionó, estas entidades pueden ser bancarias o inversionistas.

El cálculo del WACC involucra las siguientes variables:

- Costo de los fondos propios (la tasa de retorno establecida por los inversionistas)
- Costo de la deuda financiera (tasa de interés bancaria)
- Fondos propios (monto del capital)
- Deuda financiera (monto del préstamo bancario)
- Tasa de impuestos sobre las ganancias: esta tasa depende del régimen con el que se está trabajando en la empresa. Si se trabaja con el régimen sobre los ingresos, la tasa de impuestos es de 5%, mientras que si se trabaja con el régimen sobre utilidades, la tasa de impuestos es de 25%. [148]

(Bujan_2018)

Se observa que el WACC se compone principalmente de los valores de la deuda bancaria y el aporte de los accionistas. El objetivo del WACC es ponderar estos valores para obtener la tasa de rendimiento que considere todas las fuentes de financiamiento. Pero existen casos en donde las empresas son capaces de obtener financiamiento únicamente por medio de inversionistas. En estos casos, los inversionistas tienen todo el poder para definir una tasa de retorno sobre el proyecto, sin la interferencia de otras entidades (las instituciones bancarias). Esta tasa de retorno definida por los inversionistas es llamada Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR). La TMAR es la tasa que representa el porcentaje de retorno sobre

la inversión deseado por los inversionistas. Por otra parte, si el financiamiento completo del proyecto viniera por parte de una institución bancaria, la tasa de retorno sería la tasa de interés que imponen éstas sobre el préstamo (tomando en cuenta la parte de impuestos).

El cálculo de la TMAR por parte de los inversionistas es muy importante para ellos, ya que están definiendo cuánto esperan de retorno sobre su inversión. Hay 2 factores que deben de tomar en consideración para dicho cálculo. El primero es la inflación. Cada año, el valor del dinero va cambiando. Cuando se da la inflación, el dinero pierde valor debido a los incrementos en los precios de los productos y servicios. Si se establece una TMAR igual o menor a la inflación, no se estaría ganando ya que el poder adquisitivo del dinero sería el mismo o menor, respectivamente. Debido esto, se desea establecer una TMAR mayor a la inflación. Y el otro factor que se debe de tomar en cuenta es el premio al riesgo. Al realizar una inversión, una persona se está arriesgando, porque no sabe cuál será el resultado de dicha inversión. Debido a este problema por el que pasan, los inversionistas exigen una ganancia alta por parte de la empresa, lo cual le agrega valor a la TMAR. [148]

Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno (TIR) es una tasa que representa la viabilidad de un proyecto. Esta tasa es el valor del WACC que representa el beneficio o la pérdida que se obtendrá sobre una inversión. Al realizar un análisis VPN, la TIR es la tasa que hace que el valor presente neto sea igual a 0, es decir que no se obtienen ganancias ni pérdidas. Las entidades que invirtieron en el proyecto desean establecer una tasa de retorno alta porque esperan ganar la mayor cantidad de dinero posible, pero deben de tomar en cuenta que hay un límite en el valor de dicha tasa que haga que el proyecto sea rentable. Esto se da porque la TIR es el valor del WACC que establece una separación entre el hecho de que el proyecto sea rentable y que no. Si el WACC es menor o igual que la TIR, el proyecto sí resulta ser rentable y será aceptado por la empresa. Cuando el WACC es mayor que la TIR, no es rentable el proyecto, significando que el proyecto no es capaz de generar las ganancias que se deseaban y se tendrá que rechazar el proyecto. [149]

Herramientas complementarias

El análisis del valor presente neto se utiliza para determinar la rentabilidad de un proyecto. Existen herramientas que complementan este trabajo, es decir que ayudan a realizar un análisis más profundo de dicha rentabilidad. Una de estas es el análisis de sensibilidad. Esta herramienta se utiliza para determinar la sensibilidad que tiene un resultado (VPN, utilidad neta o cualquier otro resultado que se desee analizar) con respecto a un cambio en cualquiera de sus variables; por ejemplo si se da un aumento de una cierta cantidad en los costos, qué tanto cambiaría el resultado. De esta manera se puede saber que tan delicadas son las variables que se presentan en el proyecto, o que tanto impacto están generando en éste mismo. El análisis de sensibilidad tiene bastante utilidad, ya que permite analizar el riesgo que presenta cada variable, por si en algún momento se desea hacer una modificación en ella, y permite tomar decisiones estratégicas sabiendo el impacto que se puede tener al realizar estos cambios. [150]

Otra herramienta complementaria al análisis del valor presente neto es el análisis de escenarios. El análisis de escenarios se utiliza para evaluar diferentes alternativas, y determinar cuál de todas es la mejor. Tiene bastante similitud con el análisis de sensibilidad, ya que evalúa variaciones en los factores presentes. La diferencia es que el análisis de sensibilidad solo mide el impacto que tiene una variable en el proyecto, mientras que el análisis de escenarios analiza distintas combinaciones de factores. La herramienta permite analizar distintas situaciones para saber en cuál se puede maximizar la ganancia u obtener los mejores resultados. Una práctica común al realizar un análisis de escenarios es evaluar 3 situaciones específicas, un escenario pesimista, uno optimista, y el más probable. El escenario más probable, valga la redundancia, evalúa los factores con los valores que más probable saldrán. El escenario pesimista es un escenario en donde se tienen los valores menos deseados, como por ejemplo una inversión inicial más alta o demanda más baja. Y el optimista representa el opuesto al pesimista, en donde se tienen los mejores valores, como inversión inicial baja o demanda alta del producto. [151]

Por último se encuentra la herramienta de plazo de recuperación (payback). Ésta se define como el tiempo que tarda en recuperar el monto de la inversión inicial en un proyecto, que normalmente se define en años (depende de la magnitud de la inversión). Si los flujos de caja (ingresos menos egresos) a lo largo del tiempo son iguales, el cálculo del plazo de recuperación es simple, ya que es el resultado de la división entre la inversión inicial y el valor del flujo de caja. Pero pueden presentarse los casos en donde los flujos son variables, por lo que el procedimiento es más complicado. [152]

10.6. Metodología

Para elaborar todo el análisis financiero se le solicitó a la empresa toda la información necesaria para llegar a obtener un resultado concreto y bien respaldado. A continuación se menciona toda la información que la empresa brindó para llevar a cabo este análisis (en cada sección de la metodología se explica que información se utilizó para hacer ese análisis en específico):

- Estado de Resultados de enero hasta diciembre de 2017
- Estado de Resultados de enero hasta diciembre de 2018
- Estado de Resultados de enero hasta agosto de 2019
- Balance general hasta diciembre de 2018
- Registro de ventas por tipo de filtro de 2017
- Registro de ventas por tipo de filtro de 2018
- Registro de ventas por tipo de filtro de 2019 (hasta finales de agosto)
- Registro de ventas de filtros y unidades filtrantes por canal de ventas de 2017
- Registro de ventas de filtros y unidades filtrantes por canal de ventas de 2018

- Registro de ventas de filtros y unidades filtrantes por canal de ventas de 2019 (datos reales hasta julio 2019, datos proyectados por la empresa de agosto hasta diciembre 2019)

10.6.1. Razones financieras

Como primer punto, se analizó la situación actual de la empresa por medio de ratios financieros. Para esto se contó con los estados financieros de la empresa, específicamente el Estado de Resultados y Balance General del año 2018. Se utilizaron los estados financieros del 2018 ya que no se tiene un registro completo de los estados financieros de 2019. Se calcularon 3 tipos de indicadores, los cuales son: de rentabilidad, liquidez y solvencia. Los indicadores utilizados se muestran en la siguiente tabla:

Rentabilidad	Liquidez	Solvencia
ROE	Razón corriente	Ratio de endeudamiento
ROI	Prueba ácida	Ratio de deuda
Margen de utilidad	Prueba defensiva	

Cuadro 41: Resultados razones financieras

Con estas razones financieras se determinó si la empresa se encuentra en condiciones o en una posición para empezar a implementar proyectos.

10.6.2. Inversión inicial

Para esta sección del proyecto, se estuvo comunicando con los otros módulos, especialmente el de Diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de un equipo de filtración de agua, para obtener información de qué se necesita al inicio del proyecto. Los artículos o servicios que se cotizaron fueron los siguientes:

1. 1 Secadora de barro industrial
2. 67 Techos de lámina de 28 x 6 ft
3. 40 Columnas de madera de 12 pies
4. 10 piletas de concreto
5. 2 tanques de calentamiento (para 1 de los 2 escenarios)
6. 10 mesas de acero inoxidable (para 1 de los 2 escenarios)

Cada artículo o servicio se cotizó buscando ya sea proveedores nacionales o internacionales. En caso de ser internacionales también se tomó en cuenta factores como el transporte,

aranceles, y otros. Para cada artículo se investigó también su vida útil para determinar si se necesita hacer una recompra en los siguientes en el tiempo de evaluación y calcular el costo de depreciación de los activos, que se mencionará más adelante. Esta inversión inicial es la misma para los escenarios de cobertura y pastilla.

Cada artículo o servicio se cotizó buscando ya sea proveedores nacionales o internacionales. En caso de ser internacionales también se tomó en cuenta factores como el transporte, aranceles, y otros. Para cada artículo se investigó también su vida útil para determinar si se necesita hacer una recompra en los siguientes en el tiempo de evaluación y calcular el costo de depreciación de los activos, que se mencionará más adelante.

10.6.3. Pronóstico de la demanda

Se trabajó con el módulo de estudio de campo para determinar si este proyecto provocaría un cambio en la demanda. Pero luego de realizar las entrevistas a las personas de la comunidad, se observó que la demanda no cambiaría con esta nueva dosificación de zinc. Esto se debe a que todos los entrevistados que no tienen filtros dijeron que no comprarían el filtro con la dosificación por temas de dinero, a pesar de sí estar interesados. Mientras que todos los que sí tenían filtros dijeron que sí estarían dispuestos a comprar esta dosificación por el beneficio adicional que les estaría brindando. Con esto se observó que las ventas no se verán afectadas por la implementación de la dosificación de zinc, ya que ninguno cambió de opinión respecto a la compra de un filtro con este nuevo beneficio.

Dicho esto, se procedió a hacer una proyección de la demanda de filtros en los siguientes 5 años, para lo cual se utilizaron los datos históricos de la empresa en los años 2017, 2018 y 2019. En estos documentos se mostraban las ventas y donaciones de filtros completos y unidades filtrantes mensuales por canal de venta. Para los últimos 5 meses de 2019 se utilizó una demanda pronosticada por parte de la empresa, basada en resultados de meses y años anteriores. Los canales de venta mostrados fueron los siguientes:

1. Organizaciones no gubernamentales (ONG)
2. El gobierno
3. Escuelas rurales
4. Campo (financiados): son las unidades vendidas en comunidades rurales por medio de personas encargadas de buscar dichas comunidades y hablar con las personas encargadas, o que tengan mayor conocimiento de la comunidad, para encontrar qué familias son las que más necesidad tienen de un filtro.
5. Retail: en este canal solo se toma en cuenta el puesto que se tiene en Eskala Roosevelt.
6. Distribuidores: son las empresas encargadas de comercializar y vender sus productos a los consumidores finales como Walmart, Cemaco, Novex, y otros.
7. Asociación Socorro Maya
8. Exportaciones

9. Corporaciones: son empresas que a diferencia de los distribuidores, son los consumidores finales.
10. Menudeo fábrica: son ventas realizadas directamente de la fábrica.
11. Donaciones: todos las unidades entregadas sin haber recibido ingresos a cambio.
12. Empleados/muestras: son los filtros que se les entregaron a los empleados (vendidos al 50% del precio), y los filtros que se utilizaron de muestras para presentaciones a clientes u otros eventos, respectivamente.

Para facilitar el trabajo y hacer un mejor análisis se realizaron los siguientes cambios:

- Debido a que no hizo ninguna venta al gobierno en los últimos 3 años, se eliminó este rubro.
- Solo se trabajó 1 mes con la Asociación Socorro Maya, por lo que se juntó el valor de las ventas de dicho mes con el de las ONG, ya que ésta también es una organización no lucrativa.
- Se separó el rubro de “Empleados/muestras”, ya que ambos sirven diferentes propósitos y las muestras no generan ningún ingreso, mientras que los entregados a los empleados se venden a mitad de precio.
- Para el año 2017 se tenían 2 secciones de campo (financiados), las cuales eran comunidades nuevas y viejas. Como en los siguientes 2 años se mostraba solo 1 rubro de campo (debido a que la empresa decidió juntarlo), se juntó también los del 2017 para solo tener una sección de campo.

El objetivo de tener los datos históricos de la demanda fue analizar si tenía una tendencia o comportamiento. Pero al graficarlo se observó que se tenían algunos datos atípicos que provocaban que la demanda no pareciera seguir una tendencia, para lo cual se procedió a suavizar o estabilizar la información, es decir averiguar si estos datos atípicos ocurrieron por algún evento especial o no hubo razón específica. La única tendencia que se encontró fue una estacionalidad al inicio del año, en donde la demanda estaba en su punto más bajo. Esto se debe a que al inicio del año todavía se están planificando muchos proyectos, la gente todavía no está pensando en comprar filtros sino que útiles y otras cosas más importantes en ese momento, y demás razones. Para determinar los valores atípicos en los 3 años, se realizó una gráfica en el software Input Analyzer de las ventas totales mensuales de los 3 años, en donde se observó que los datos se acercaban más a una distribución normal. Con esto, se procedió a calcular la media y desviación estándar de los resultados de cada año, para utilizar como límites la media la desviación estándar, es decir que si el valor se salía de los límites se consideró como atípico. Se hizo una gráfica por año, debido a que a pesar de no seguir una tendencia cada mes, sí seguía una tendencia de crecimiento anual. Por esta razón no era adecuado hacer una sola gráfica para todos los años, ya que cada año presentaba valores diferentes.

Luego de hacer las gráficas, se consultó con el personal de la empresa para averiguar si los datos atípicos que se presentaban fueron por ocasiones especiales. Si la respuesta era sí,

se buscó en todos los canales de venta del mes en dónde fue que se dio esta anomalía. Se suavizó ese dato atípico observando en que parte de la gráfica se concentraba la mayor parte de datos, desde el límite inferior de la gráfica hasta el límite superior, con un paso de $1/3$ de la desviación estándar. Por ejemplo: si la mayoría de datos se ubicaban alrededor del promedio más $1/3$ de la desviación estándar, entonces el valor atípico ahora sería el promedio más $1/3$ de la desviación estándar de las ventas del canal en donde se ubicaba el dato atípico, de todos los otros meses del año. Se hizo el mismo procedimiento para los 3 años.

Al finalizar este procedimiento, se tuvo una visualización más estable de la demanda de los últimos 3 años. Con estos nuevos resultados se calculó la variación mensual entre 2017-2018 y 2018-2019, que se utilizaron para pronosticar los resultados de los siguientes 5 años. Se hizo la prueba de hacer la proyección por medio de la función de Forecast, pero al final se rechazó este método porque cada mes crecía a diferente ritmo, cuando la demanda debería de tener el mismo crecimiento todos los meses, según la empresa. Un ejemplo claro de cómo esta función contradecía la teoría era el mes de enero. Del 2017 al 2018 las ventas de enero crecieron un 113%, pero a pesar de este gran crecimiento, las ventas de este mes eran mucho más bajas que las del resto de meses. Entonces la función de Forecast daba como resultado que la demanda de enero en los siguientes años fuera mayor que en varios otros meses, lo cual no coincidía con la tendencia de baja demanda en enero. Debido a esto se utilizó la variación anual como base para pronosticar la demanda.

Otro factor que se tomó en cuenta para el pronóstico fue el ciclo de vida del producto. Si se simulaba que el crecimiento fuera únicamente basado en la variación anual, se hubiera tenido un crecimiento demasiado alto, es decir que se hubiera tenido que aumentar la capacidad de producción aún más. Para disminuir el ritmo de crecimiento se calculó la diferencia entre las unidades vendidas de 2017 y 2018, y lo mismo para 2018 y 2019. Se observó que del 2018 al 2019 se tuvo un crecimiento de 6,707 unidades menos que del crecimiento del 2017 al 2018, es decir alrededor de 559 unidades mensuales menos. Entonces al crecimiento de la variación anual entre cada mes se le restó esta última cantidad. Al final se sumaron todas estas proyecciones mensuales y se obtuvo el pronóstico de la demanda para los siguientes 5 años.

10.6.4. Ingresos

Para proyectar los ingresos se contó con las ventas anuales de la empresa por cada artículo, de los años 2017 a 2019. Estas ventas incluían no solo los filtros completos y unidades filtrantes, sino que también artículos adicionales como tapaderas, chorros, bases para sostener filtros, recipientes, y demás. En estos documentos se contaba con los ingresos y cantidad de artículos vendidos, por lo que se hizo una división entre estos factores para determinar el precio unitario. Se utilizaron los montos de las cantidades vendidas de los últimos 3 años (hasta agosto 2019) para determinar el porcentaje de ventas que representaba cada tipo de filtro. Luego se multiplicó este porcentaje por la demanda proyectada total previamente calculada para determinar las ventas por artículo en los siguientes 5 años.

Las proyecciones de los precios de venta se realizaron únicamente a partir de los precios del 2019, ya que son los datos más recientes, y los precios no seguían una tendencia a lo largo

de los años, o seguían tendencias diferentes, por lo que no se podía establecer un aumento o reducción de precios específico. A estos precios no se les agregó el IVA, ya que el IVA por cobrar que tienen se compensa con el IVA por pagar de sus compras. Como la empresa estableció que no quería cambiar el precio de sus productos, se hizo una proyección en donde los precios se mantuvieron exactamente iguales a los precios del 2019. Una vez calculados los precios, se calculó el producto entre éstos y la demanda de cada uno para obtener los ingresos anuales. También se incluyeron los ingresos por ventas de los productos secundarios (chorros, tapaderas, etc), en donde simplemente se inflaron anualmente, partiendo del 2019. Como solo se tenían los ingresos hasta agosto 2019, se dividió este valor dentro de 8, y luego se multiplicó por 4 para proyectar los ingresos de los meses restantes del 2019. No se hizo ningún cambio en los precios de venta relacionados a la agregación de la dosificación de zinc, debido a que la empresa solicitó que no se cambiaran. Otro factor que se tomó en cuenta fue la cantidad de filtros que no generan ingresos por ser regalados o donados. Se averiguó consultando con la empresa que la mayoría de estos filtros son solamente las unidades filtrantes. Se hizo una relación entre las ventas de los filtros que no generan ingresos y la demanda de los últimos 3 años para determinar el porcentaje de las ventas de unidades filtrantes simples que no generarán ingresos en los siguientes años.

El caso de la pastilla fue un caso especial, ya que una parte de las ventas sí generaría ingresos, mientras que la otra no. La parte que generaría ingresos serían las pastillas que se vendan de forma individual, es decir sin el filtro incluido. Luego de recibir los resultados de las entrevistas realizadas por parte del módulo de estudio de campo se observó que la mayoría de personas que sí tienen filtro estarían dispuestas a comprar una pastilla a no más de Q10. Debido a esto, se estableció Q10 como precio de venta para las pastillas. Pero este precio aplicaba únicamente a las pastillas que se venderían por individual. Luego estaban las pastillas que se venderían junto con los filtros, pero éstas no agregarían valor monetario a los filtros, ya que se solicitó por parte de la empresa que no se modificara el precio de venta.

10.6.5. Cotización de nuevos materiales

Se están evaluando dos alternativas de dosificación de zinc para este proyecto, las cuales son una cobertura y una pastilla. Para ambos escenarios se contactó a diversos proveedores para obtener las cotizaciones de estos materiales y determinar quién era el mejor proveedor, tomando en cuenta los precios, pedidos mínimos, y todos estos factores. Incluso se contactó a proveedores de China, pero se realizó por medio de un intermediario, por lo que no se mencionan los nombres de estos proveedores. Las dosificaciones de zinc van más aplicadas a los filtros de plástico, ya que éstos son los que más se venden en el área rural del país. Para determinar la cantidad de materiales que se necesitan se calculó las ventas proyectadas de estos filtros de plástico, lo cual se explicará más a detalle en la sección de ingresos. Para el caso de la pastilla se tomó este mismo análisis para proyectar la demanda de la pastilla para las personas que desean comprar un filtro completo, pero se hizo otro análisis de proyección para las personas que ya poseen un filtro y solo desean la dosificación adicional. Este último se realizó en base a estadísticas que se muestran en la página de Internet de la empresa y los resultados obtenidos en las encuestas del trabajo de campo.

Se utilizó la herramienta de MRP por parte del módulo de Diseño del proceso de fabri-

cación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de un equipo de filtración de agua, para determinar los pedidos anuales de los materiales para cada proveedor (en donde estaba condicionado a pedidos mínimos). Se multiplicaron estos valores por los precios que ofrecía cada proveedor para determinar quién ofrecía las mejores condiciones. En la siguiente tabla se muestran los materiales que se cotizaron, que son los que se utilizaron para desarrollar las dosificaciones de zinc.

Material	Cantidad
Pastilla	
Quitosano de medio peso molecular	3.5
Carboximetilcelulosa	3
Sulfato de zinc	4
Ácido cítrico	96.062
Hidróxido de sodio	39.997
Cobertura	
Sulfato de zinc	5

Cuadro 42: Cantidades unitarias de materiales para dosificaciones de zinc

Aparte de los ingredientes mencionados anteriormente, se identificó otro material que era necesario de cotizar, el cual fue un suavizador o ablandador de agua. Éste es una máquina encargada de tratar y limpiar el agua, removiendo residuos minerales y otras sustancias indeseadas. No se colocó en la tabla anterior ya que no se tiene una cantidad unitaria de suavizadores por dosificación; se calculó la cantidad de suavizadores que se necesitan en base a la producción total de cada año y la capacidad de éstos mismos. Esta producción total consiste en la demanda proyectada y el inventario que quedará en proceso. Este último valor se obtuvo por parte del módulo Diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de un equipo de filtración de agua, en donde se realizó una simulación en la plataforma de SIMIO. La alternativa de este aparato era comprar agua destilada, pero el volumen de esto hubiera sido demasiado alto, al igual que los precios.

Por último se cotizaron otros dos materiales únicamente para la pastilla, los cuales son el empaque de bolsas plásticas termoencogibles y moldes de acero. La cobertura de zinc ya viene unificada con los filtros al ser entregados por lo que no hay necesidad de empaque, pero la pastilla es un material que se presenta por aparte, por lo que ésta sí requiere empaque. Para esto se escogió utilizar bolsas plásticas termoencogibles ya que presentan un costo bajo y se necesita una cantidad pequeña para empacar una pastilla. Para fabricar la pastilla también es necesario colocar la mezcla de los materiales dentro de un molde para agarre la forma deseada. Se escogió trabajar con moldes de acero debido a que tienen resistencia a altas temperaturas y no son dañados al entrar en contacto con los compuestos químicos.

10.6.6. Egresos

Para hacer la matriz de costos y gastos se contó con los estados de resultados de la empresa de los años 2017, 2018 y 2019 (hasta el mes de agosto). En el anexo 2 se muestra

la manera en que se presentaba el estado de resultados originalmente. Se realizaron los siguientes cambios para la matriz de costos y gastos:

- La sección que se titulaba costos operativos se cambió a gastos operativos ya que estos egresos no se relacionaban al volumen de producción.
- El rubro de costo de servicios se metió en gastos operativos, ya que tampoco está relacionado al volumen de producción. Este rubro se refiere a gastos como el subarrendamiento de quioscos en centros comerciales.
- El rubro de otros costos directos de fábrica se renombró a costos indirectos de fabricación, ya que directos hace referencia a materiales físicos o mano de obra.
- El rubro de costos sobre garantías se juntó con los costos indirectos de fabricación ya que sí se relaciona al volumen de producción y no son materiales ni mano de obra.

El primer factor que se tomó en cuenta para proyectar los egresos fue la tasa de inflación. La proyección de la inflación según el Banguat para finales de 2019 y 2020 fue la misma, con unos valores de 4 mínimo y 5 máximo. Para fines del proyecto se tomó el valor medio entre estos dos para proyectar los egresos de los siguientes 5 años. Los egresos se componen de los costos y los gastos. Para proyectar los gastos únicamente se inflaron respecto al año anterior, partiendo desde el 2019, ya que éstos no se relacionan a la producción, y por ende no se ven afectados a los cambios por la implementación de la dosificación de zinc; no se identificaron nuevos gastos que surjan a partir de la implementación de la dosificación de zinc. El único gasto que no se infló fue el gasto de intereses bancarios, ya que estos son fijos a lo largo de los años. Por otra parte, para proyectar los costos no se siguió este mismo procedimiento ya que hay tomar otras cosas en consideración.

En el caso de los materiales no se podía simplemente agregarle la tasa de inflación, ya que debía de coincidir con la demanda proyectada. Debido a que no se tuvo acceso al costo unitario de cada material, se calculó un costo unitario general para todas las unidades vendidas, dividiendo el costo de materiales dentro de las unidades producidas anuales. Estas unidades producidas consistían en dos partes: las unidades vendidas y el inventario que quedo en proceso, este último siendo obtenido por parte de la simulación de SIMIO del módulo Diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de un equipo de filtración de agua. Con estos valores se obtuvieron los costos unitarios de los artículos, que fue el valor que se fue inflando a lo largo de los años (partiendo del costo unitario del 2019). Luego estos valores se multiplicaron por la producción proyectada del año respectivo, la cual consistía también en la demanda proyectada y el inventario en proceso. Este inventario en proceso también fue resultado de la simulación en SIMIO, pero con las mejoras implementadas en el proceso de producción; a estas unidades se les agregó un 10% más cada año para guardar como inventario de seguridad. El otro costo que se incluyó en el costo de ventas fue el de la compra de los suavizadores de agua a lo largo de los años. Estos suavizadores tiene una vida útil corta de 8 meses, por lo que cada año la compra será diferente, dependiendo si ya pasaron los 8 meses de utilización o no. Por último se incluyeron los costos de los materiales de las cotizaciones que se mencionaron anteriormente, en donde se evaluaron los dos escenarios.

Para la mano de obra se hizo el mismo procedimiento de inflar el costo total, pero luego se le adicionó el costo de la mano de obra nueva. Al consultar con la empresa se averiguó que

hay 26 operadores en el área de producción, por lo que se dividió el costo total de la mano de obra en el área de producción dentro de este valor, para obtener un promedio del salario por operador. Se estableció que se contratarán a 4 empleados más en el área de producción a partir del 2020; 2 para manejar la nueva máquina secadora y otros 2 para trabajar en las dosificaciones de zinc. Esto se multiplicó por el salario anteriormente calculado para obtener el costo de la mano de obra nueva, siempre siendo afectados también por la tasa de inflación. Se confirmó con la empresa que los trabajadores en el área de producción laboran por planilla, es decir que ya se les incluye las prestaciones laborales en el costo mostrado en el Estado de Resultados. Por esta razón, los nuevos operadores también estarán laborando por planilla.

En la sección de costos indirectos de fabricación también se agregaron unos rubros adicionales. El primero fue el consumo de energía por parte de la secadora industrial. Esta secadora tiene una potencia de 4 kW. Se consultó con la empresa para averiguar la tarifa de energía que utilizan, y el tiempo anual de trabajo. Con estos valores se calculó el costo del consumo de energía adicional por parte de la secadora. Para el escenario de la pastilla también se calculó el costo de consumo de energía por parte de los tanques de calentamiento mediante el mismo procedimiento que con la secadora. Luego se calculó el costo del transporte de los materiales hacia la empresa. No todos los proveedores que se contactó ofrecían transporte, o algunos sí ofrecían pero hasta cierta ubicación (no la planta de Ecofiltro). En estos casos se calculó también el costo de este último transporte hacia la empresa, a partir de la distancia entre los puntos, el costo y consumo de gasolina de los carros. Por último se agregó el rubro de depreciación de los materiales comprados. Estos materiales fueron los de la inversión inicial, y los suavizadores incluidos en los costos de los materiales. Para el escenario de la pastilla también se incluyó la depreciación de las mesas de acero inoxidable, los moldes de acero y los tanques de calentamiento. Estos materiales se depreciaron utilizando el método lineal (es el que utiliza la empresa). Para depreciar de esta manera fue necesario definir la vida útil de cada activo. Si el proveedor ya incluía la vida útil del activo, se utilizó esa para calcular la depreciación, de lo contrario se definieron las siguientes:

- Maquinaria: 5 años
- Mobiliario y equipo: 10 años
- Construcciones e instalaciones: 20 años

El último rubro que se observa en la tabla de costos es el de pago de intereses bancarios. Al consultar con la empresa se averiguó que ellos pagan su deuda financiera con una tasa de interés del 6% anual, y que el monto de su deuda actual es de Q11,708,785.74. Se utilizaron estos dos valores para calcular el pago anual de la deuda, simulando que se pagará por completo en los siguientes 5 años. Luego se separó el valor de la deuda anual en dos partes: el pago del capital y el pago de intereses, siendo este último el valor que se incluye en los gastos de intereses bancarios.

10.6.7. Estado de resultados y análisis VPN

El objetivo principal de este proyecto no es generar más ingresos o perseguir fines de lucro a partir de la implementación de la nueva dosificación, sino que ayudar a la mayor

cantidad de gente posible; es por esta razón que se estableció que no se desea cambiar el precio de los productos. En consecuencia a lo descrito anteriormente, se considera que un análisis de Valor Presente Neto no es la mejor herramienta para determinar la rentabilidad del escenario de cobertura de zinc ya que el objetivo de este análisis es determinar si una inversión inicial es capaz de maximizar la ganancia. Pero en el escenario de la pastilla, sí se estaría generando ingresos adicionales, mediante la venta de la pastilla de forma individual, por lo que sí se determinó tanto el Valor Presente Neto como la Tasa Interna de Retorno para este escenario. Entonces para la cobertura se decidió construir un Estado de Resultados en donde se demostrara la utilidad neta de cada año. A partir de dicha utilidad, se analizó la rentabilidad del proyecto utilizando 2 indicadores o herramientas:

- \neg Margen de ganancia: Actualmente la empresa muestra un margen de ganancia de aproximadamente 2 % anual. Debido a que en este proyecto no se espera generar ingresos adicionales, el margen de utilidad debería de disminuir, ya que solo estarían incrementando los costos; pero aunque aumenten los costos, lo que se desea averiguar es si la utilidad neta aún es positiva, indicando que la empresa sí es capaz de seguir operando luego de implementar este proyecto.
- Plazo de recuperación: Para cada escenario se determinó en cuánto tiempo se recuperaría la inversión inicial (la cuál es igual para ambos casos). Se esperaría obtener un resultado bajo para no pasar mucho tiempo con el riesgo y la duda de que sí en algún momento se logrará recuperar la inversión inicial.

Para el escenario de la pastilla también se elaboró este mismo procedimiento, pero también se realizó un análisis VPN. En este análisis se incluyeron solamente los ingresos y egresos que están relacionados al proyecto (incluyendo la inversión inicial), ya que el objetivo de esta herramienta es determinar si el proyecto específicamente puede maximizar los ingresos de la empresa.

10.6.8. Análisis de sensibilidad

Se realizaron distintos análisis de sensibilidad en el proyecto, con el objetivo de proporcionarle a la empresa la mayor cantidad de información que los pueda ayudar a tomar decisiones importantes. En primer lugar se desarrolló un análisis de sensibilidad de los componentes principales del flujo de dinero en el Estado de Resultados, que son los siguientes:

- Ingresos
- Costo de ventas (materiales, mano de obra de producción y costos indirectos de fabricación)
- Gastos operativos
- Intereses bancarios
- Impuesto sobre la renta (se trabajó con el régimen del 25 % de las utilidades ya de que esta forma se paga el ISR en la empresa)

- Inversión inicial

Este análisis de sensibilidad era el de mayor importancia ya que mostraba las variables que más influencia o impacto tenían sobre el resultado. Para el escenario de la cobertura de zinc, el resultado que se evaluó con este análisis fue la utilidad neta acumulada de los 5 años de prueba, ya que no se tenía un Valor Presente Neto. Para el escenario de la pastilla sí se utilizó el Valor Presente Neto para determinar el impacto de cada variable en dicho valor. Adicionalmente se desarrollaron otros dos análisis de sensibilidad dirigidos únicamente a los precios de venta por filtro y cada rubro de los egresos, respectivamente. El análisis de sensibilidad de los precios de los filtros tenía como objetivo indicarle a la empresa qué precios son los que más deben de tener un mejor control, ya que pueden tener un impacto drástico en los ingresos. En este análisis se utilizó los ingresos acumulados de los 5 años de prueba como resultado. Por último se desarrolló el análisis de sensibilidad de los costos y gastos, con el propósito de mostrarle a la empresa que egresos son los que más los están afectando económicamente. De esta manera puede empezar a desarrollar estrategias de reducción de egresos, teniendo en conocimiento en qué costos o gastos se deben de enfocar más. Este último análisis se evaluó utilizando el total de egresos acumulado en los 5 años de prueba.

10.6.9. Análisis de escenarios

Para la alternativa de la pastilla de zinc, se decidió realizar un análisis adicional enfocado en la pastilla específicamente, el cual fue un análisis de escenarios. Como se mencionó, esta alternativa tiene la característica de que la dosificación de zinc puede ser vendida o entregada de forma individual, es decir sin el filtro adjunto. Para esto se estableció un precio de venta de una pastilla individual en base a los resultados de las encuestas y entrevistas realizadas. Este análisis de escenarios tiene como objetivo determinar el impacto que tendría un cambio en este último precio en el margen de utilidad de la empresa. Para esto se evaluaron los siguientes escenarios:

- Pesimista: En este escenario se simuló que la mayoría de personas no estarían dispuestas a pagar más de Q5 por pastilla.
- Más probable: Este es el escenario actual o verdadero que se está evaluando en el proyecto, en donde se estableció un precio de venta por pastilla de Q10, ya que la mayoría de personas entrevistadas. dijeron que éste es lo máximo que pagarían por una pastilla.
- Optimista: En este escenario se simuló que la mayoría de personas estarían dispuestas a pagar hasta Q15 por pastilla, sin tener algún efecto en la demanda.

10.7. Resultados

10.7.1. Razones financieras

En esta sección se puede observar y analizar la situación actual de la empresa, en términos de rentabilidad, liquidez y solvencia. En la siguiente tabla se muestran los resultados de los

indicadores que se utilizaron para evaluar dicha situación.

Razón	Valor
Rentabilidad	
Margen de utilidad	2 %
ROE	0.12
ROI	0.04
Liquidez	
Razón corriente	1.90
Prueba ácida	1.68
Prueba defensiva	0.18
Solvencia	
Ratio de endeudamiento	5.08
Ratio de deuda	0.83

Cuadro 43: Resultados de razones financieras

Rentabilidad

- Margen de utilidad: Actualmente la empresa está ganando solamente 2 % de los ingresos. Por ser una empresa grande esta utilidad aún es significativa pero no cambia el hecho de que se tiene un margen muy bajo, lo cual sucede porque la empresa no está reduciendo sus costos y gastos lo suficiente, o el volumen de ventas no es suficientemente alto para cubrir estos egresos.
- ROE: Se observa que la ganancia generada a partir del capital contable de la empresa también presenta un valor bajo, es decir que no se cuenta con los suficiente fondos propios para generar ganancias.
- : ROI: El ROI presenta un valor aún más bajo que el ROE, lo cual indica que los activos de la empresa tampoco están generando suficientes ganancias.

Liquidez

- Razón corriente: El resultado de la razón corriente indica que la empresa sí es capaz de cubrir sus deudas a corto plazo, es decir que posee más activos corriente de lo que debe a corto plazo.
- Prueba ácida: La diferencia entre la razón corriente y la prueba ácida es mínima, por lo que el inventario representa una pequeña parte de los activos corrientes. Esto es bueno en caso de que la demanda del producto disminuya o pierda popularidad, por lo que no se cuenta con mucho inventario que ya no se podrá utilizar.
- Prueba defensiva: Se puede observar que la prueba defensiva es sumamente menor a la prueba ácida, indicando que la mayor parte de sus activos corrientes son cuentas por cobrar. A pesar de sí tener liquidez, no es ideal que se tenga más cuentas por cobrar que efectivo y bancos porque existe la incertidumbre de cuándo se cobrarán estas cuentas, o si se cobrarán del todo.

Solvencia

- Ratio de endeudamiento: Se observa que la deuda de la empresa es casi 5 veces mayor al capital contable, lo cual significa que la empresa es mucho más dependiente de entidades bancarias u otros acreedores externos que de accionistas.
- Ratio de deuda: No se puede establecer si es completamente bueno o malo que la empresa tenga un ratio de deuda de 0.83, ya que al ser positivo indica que la deuda no sobrepasa los activos, pero sí está cerca.

Actualmente la empresa se encuentra en una situación complicada, especialmente en temas de rentabilidad, ya que se está obteniendo muy pocas ganancias. Esto puede ocurrir porque ésta es una empresa que está más enfocada en ayudar a los necesitados que a maximizar sus ingresos y utilidades, por lo que están satisfechos con los resultados actuales. Pero es importante empezar a desarrollar estrategias que les permitan reducir sus costos y gastos, ya que al ser elevados, los ingresos no son capaces de cubrirlos del todo, y esto puede presentar un peligro si la demanda del producto llegara a disminuir.

10.7.2. Inversión inicial

En la siguiente tabla se muestran los artículos y servicios que se cotizaron para iniciar el proyecto. Se observa que son pocos recursos y que todos ellos están directamente relacionados a la expansión del área de producción de la empresa para contar con un área en donde se pueda trabajar con el zinc.

INVERSIÓN INICIAL			
Artículo/descripción	Costo unitario	Cantidad	Costo
Secadora industrial (Alibaba)	Q23,100	1	Q23,100
Transporte secadora industrial (C807)			
Contenedor 40 ft	Q21,560	1	Q21,560
Gastos por manipulación en terminal	Q2,415	-	Q2,415
Transporte interior	Q3,000	-	Q3,000
Manejo de documentos	Q460	-	Q460
Custodio a bordo	Q600	-	Q600
Arancel	Q5,113	-	Q5,113
Techo de lámina (NOVEX)	Q60	67	Q4,020
Columnas de madera (NOVEX)	Q405	40	Q16,200
Piletas de hormigón (CLARÍN)	Q91,630	10	Q916,300
TOTAL			Q992,768

Cuadro 44: Inversión inicial para escenario de cobertura

INVERSIÓN INICIAL			
Artículo/descripción	Costo unitario	Cantidad	Costo
Secadora industrial (Alibaba)	Q23,100	1	Q23,100
Transporte secadora industrial			
Contenedor 40 ft	Q21,560	1	Q21,560
Gastos por manipulación en terminal	Q2,415	-	Q2,415
Transporte interior	Q3,000	-	Q3,000
Manejo de documentos	Q460	-	Q460
Custodio a bordo	Q600	-	Q600
Arancel	Q5,113	-	Q5,113
Tanques de calentamiento (Mercado Libre)	Q11,480	2	Q22,960
Techo de lámina (NOVEX)	Q60	67	Q4,020
Columnas de madera (NOVEX)	Q405	40	Q16,200
Mesas de acero inoxidable (OLX)	Q3,190	10	Q31,900
Piletas de hormigón (CLARÍN)	Q91,630	10	Q916,300
TOTAL			Q1,047,628

Cuadro 45: Inversión inicial para escenario de pastilla

Se observa en las tablas anteriores que algunos de los productos o servicios que se necesitan al inicio del proyecto se consiguieron por parte de proveedores nacionales y otros por parte de proveedores internacionales. Esto se debe a que son en su mayor parte materiales o servicios de construcción, para lo cual es mucho más sencillo el proceso al contactar a empresas nacionales dedicadas a estos negocios. En el caso de las piletas de hormigón, se encontró un artículo de Clarín de una persona que ha tenido comunicación o experiencias con empresas que se dedican a este servicio, como Piscinas Santa Clara o Arqypiletas, en donde se establecía un precio por metro cuadrado para la construcción de una pileta. El otro artículo que se cotizó fue una secadora de barro industrial. En el módulo de Diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de un equipo de filtración de agua, se encontró una de estas secadoras en Alibaba que contiene los requerimientos solicitados para la producción. Pero como ésta es importada de China, también se cotizó el transporte, con apoyo de la empresa C807 Operador Logístico. La importación de la máquina se realiza con el incoterm de FOB (Free on Board), ya que el transporte es marítimo, no es de entrega directa hasta la fábrica sino que en un puerto de carga, y el vendedor se encarga de contratar el transporte principal. En este caso se ofrece también transporte del puerto de carga a un almacén de la ciudad, pero no hasta la fábrica. El arancel para esta máquina se tomó como el mismo que se obtuvo para las cotizaciones de los materiales químicos, que se explicarán más adelante.

10.7.3. Pronóstico de la demanda

En esta sección se muestra la proyección de la demanda de filtros con base a resultados de los 3 años anteriores. En la siguiente gráfica se puede observar las ventas reales desde enero 2017 hasta julio 2019, y la proyección de la empresa de agosto 2019 hasta diciembre 2019.

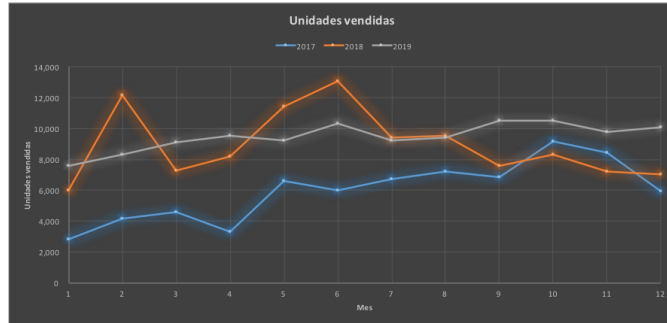


Figura 73: Ventas mensuales reales 2017-2019

En la gráfica anterior se muestran las ventas de todos los meses desde el 2017 hasta el 2019, siendo los últimos 5 meses de 2019 una proyección hecha por la empresa. Se observa que la demanda no sigue una tendencia, ya que se presentan algunos valores atípicos.

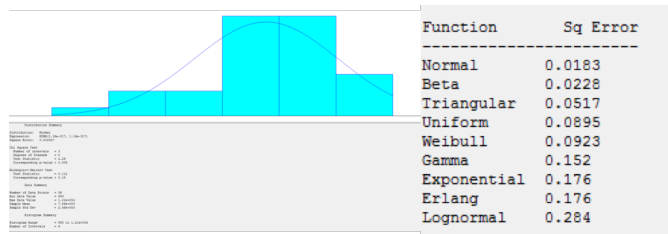


Figura 74: Distribución de la demanda 2017-2019

Utilizando la herramienta de Input Analyzer, se observó que la demanda de los últimos 3 años sigue una distribución normal (la distribución que más se acerca o adapta).

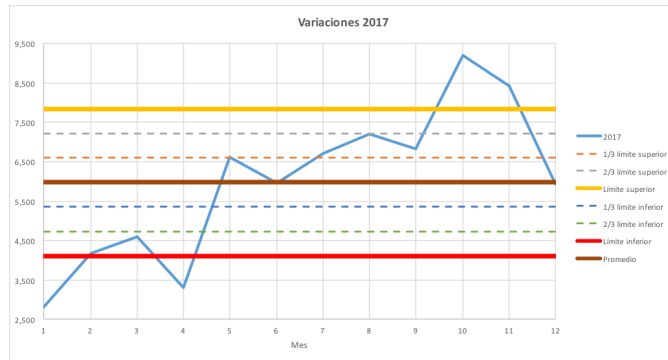


Figura 75: Variaciones en la demanda 2017

Para el año 2017 se identificaron 3 valores atípicos, que ocurrieron en los meses de abril,

octubre y noviembre. El mes de enero no cuenta como atípico ya que es un mes de baja demanda (lo mismo aplica para los otros 2 años). Luego de consultar con el personal de la empresa, se averiguó que en los 3 meses ocurrieron eventos especiales. Para suavizar estos datos se buscó primero en que canal de venta se dio esa variación, y luego se modificó ese valor utilizando el promedio de los otros meses de ese mismo canal. Se utilizó el promedio exacto debido a que por criterio propio se observó que casi todos los datos se encontraban muy dispersos, es decir que no parecían estar concentrados en un área específico de la gráfica.

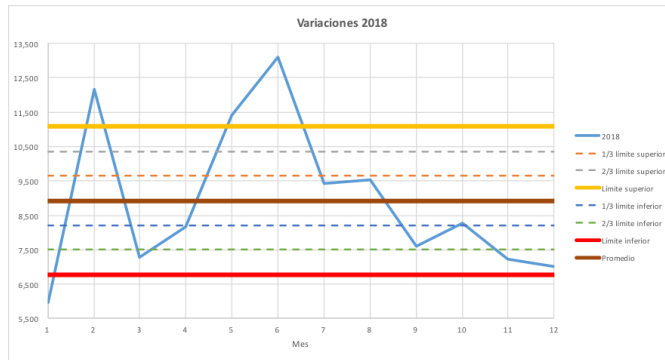


Figura 76: Variaciones en la demanda 2018

Para el año 2018 se identificaron 3 valores atípicos correspondientes a los meses de febrero, mayo y junio. Inicialmente el mes de julio no se tomó como valor atípico, pero el personal de la empresa indicó que ese mes se tuvo un proyecto especial con Coca Cola, por lo que la venta de filtros en el canal de corporaciones también era un valor atípico. Estos datos se modificaron utilizando el promedio menos 1/3 de la desviación estándar de los otros meses del mismo canal de venta, ya que alrededor de esa área se concentraba la mayor parte de datos.

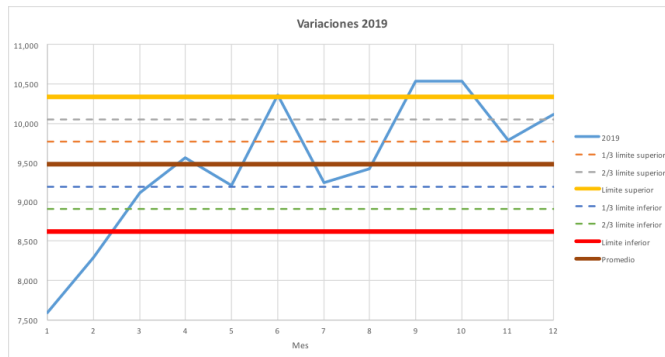


Figura 77: Variaciones en la demanda 2019

Para el año 2019 se identificaron 4 valores atípicos correspondientes a los meses de febrero, junio, septiembre y octubre. Debido a que los meses de septiembre y octubre fueron proyecciones que la empresa consideraba como pesimistas, no se consideró adecuado modificar esta demanda. Se consultó con el personal para los otros 2 valores atípicos, y se averiguó que en el mes de febrero no ocurrió nada fuera de lo normal, por lo que tampoco se suavizó este valor. Entonces el único valor que se modificó fue el de junio. Éste se modificó utilizando el promedio más 1/3 de la desviación estándar de los otros meses del mismo canal de ventas, ya que alrededor de esa área se encontraba la mayor parte de los datos.

Se graficaron los nuevos resultados en donde se observó que ya se presentaba más estabilidad en la demanda, como se muestra a continuación:

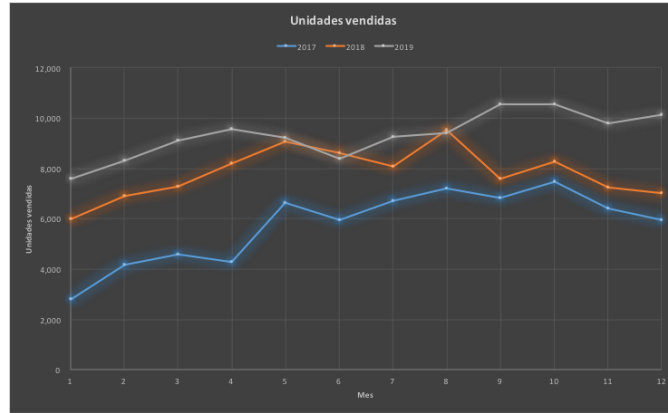


Figura 78: Ventas mensuales modificadas 2017-2019

Año	2017	2018	2019	Variación 2017-2018	Variación 2018-2019
Enero	2,807	5,974	7,588	113 %	27 %
Febrero	4,182	6,892	8,291	65 %	20 %
Marzo	4,596	7,285	9,114	59 %	25 %
Abril	4,280	8,174	9,557	91 %	17 %
Mayo	6,614	9,078	9,210	37 %	1 %
Junio	5,960	8,603	8,365	44 %	-3 %
Julio	6,704	8,058	9,241	20 %	15 %
Agosto	7,204	9,527	9,414	32 %	-1 %
Septiembre	6,823	7,591	10,535	11 %	39 %
Octubre	7,450	8,282	10,535	11 %	27 %
Noviembre	6,415	7,231	9,785	13 %	35 %
Diciembre	5,939	7,017	10,108	18 %	44 %
TOTAL	68,975	93,712	111,743	36 %	19 %

Cuadro 46: Variación mensual porcentual con demanda modificada

El objetivo inicial de calcular la variación mensual porcentual entre cada año era obtener un promedio de las 2 variaciones para pronosticar la demanda de los siguientes años. Pero como se muestra en la tabla anterior, las variaciones entre 2017-2018 y 2018-2019 difieren mucho, entonces el promedio no hubiera reflejado de mejor manera la variación mensual entre cada año. Debido esto, se analizaron las variaciones de los 2 rangos de años, y se observó que los porcentajes de 2017-2018 no eran buena referencia para pronosticar porque existe mucha variación entre todos los meses, cuando según la empresa, todos los meses deberían de tener el mismo comportamiento. La diferencia entre el porcentaje mínimo y el máximo para este rango es más de 100%. En cambio en 2018-2019 se observa que las variaciones mensuales fueron en general más estables. Los últimos meses presentan variaciones altas pero como se mencionó, la empresa hizo las proyecciones del resto de 2019, de una manera que ellos consideran como pesimista. Por esta razón se tomo la variación entre 2018 y 2019

como base para hacer el pronóstico. Pero de igual manera, la demanda debería de ser igual en todos los meses ya que no tiene estacionalidades (a excepción de enero), si no algunos meses incrementarán su demanda a lo largo de los años a un mayor ritmo que otros. Debido esto, se utilizó la variación total del año para pronosticar la demanda de todos los meses (siempre incluyendo la disminución de ventas por el ciclo de vida del producto mencionado en la sección de metodología), en donde se llegó al resultado mostrado en la siguiente tabla:

Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Enero	2,807	5,974	7,588	8,489	9,564	10,845	12,373	14,194
Febrero	4,182	6,892	8,291	9,327	10,563	12,037	13,794	15,889
Marzo	4,596	7,285	9,114	10,309	11,733	13,432	15,458	17,873
Abril	4,280	8,174	9,557	10,837	12,363	14,183	16,353	18,941
Mayo	6,614	9,078	9,210	10,423	11,870	13,595	15,652	18,104
Junio	5,960	8,603	8,365	9,416	10,669	12,163	13,944	16,069
Julio	6,704	8,058	9,241	10,460	11,914	13,647	15,714	18,179
Agosto	7,204	9,527	9,414	10,666	12,160	13,941	16,064	18,596
Septiembre	6,823	7,591	10,535	12,003	13,754	15,841	18,330	21,298
Octubre	7,450	8,282	10,535	12,003	13,754	15,841	18,330	21,298
Noviembre	6,415	7,231	9,785	11,109	12,687	14,570	16,814	19,490
Diciembre	5,939	7,017	10,108	11,494	13,147	15,117	17,467	20,269
TOTAL	68,975	93,712	111,743	126,537	144,178	165,212	190,294	220,202

Cuadro 47: Pronóstico de la demanda para los siguientes 5 años

10.7.4. Cotizaciones

En primer lugar se cotizó los suavizadores de agua necesarios para tratar el agua utilizada. Se encontró un proveedor que ofrecía suavizadores de agua con las siguientes características:

- Marca: Sinsarro
- Altura: 10 pies
- Capacidad: No se mostraba la capacidad exacta, pero luego de observar a otros proveedores de suavizadores y utilizarlos como base se estimó una capacidad de 8 litros/hora.
- Pedido mínimo: 2
- Precio (2 unidades): MX\$4,550
- Vida útil: 8 meses

Sabiendo la capacidad, y el hecho de que la empresa trabaja 8 horas al día, 308 días al mes, se calculó la cantidad de suavizadores que se necesitan anualmente. Pero también se tomó en cuenta de que por tener una vida útil de 8 meses, en algunos años se deben de comprar el doble de unidades. Con esta información, se obtuvieron los siguientes resultados:

	2020	2021	2022	2023	2024
Cantidad	58	30	64	34	74
Costo	Q53,912	Q28,375	Q60,134	Q32,085	Q68,981

Cuadro 48: Cantidad y costo anual de suavizadores, sin inflación

Se observa que los años 2021 y 2023 representan un costo menor ya que en estos años se pueden utilizar los suavizadores del segundo lote que se compró el año anterior, por tener una vida útil de 8 meses.

Cobertura

La cobertura de zinc solo involucra un material, el cual es sulfato de zinc. El requerimiento de sulfato de zinc para cada año se muestra en la siguiente tabla:

Requerimiento total					
Año	2020	2021	2022	2023	2024
Sulfato de zinc (kg)	400.9	456.7	523.4	602.8	697.6

Cuadro 49: Requerimiento de sulfato de zinc para cobertura

Cada año se muestra un incremento en el requerimiento de sulfato de zinc ya que se proyectó un incremento constante a lo largo de los años. Utilizando el MRP realizado por el módulo Diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de un equipo de filtración de agua, se calcularon los siguientes costos:

SULFATO DE ZINC			
Proveedor	Empresa China	Quirsa	MERCK
Precio (US\$/kg)	\$4.08	\$12.34	\$225.22
Pedido mínimo (kg)	500	1	0.50
2020	\$2,040	\$4,946	\$90,280
2021	\$2,040	\$5,636	\$102,866
2022	\$2,040	\$6,458	\$117,873
2023	\$2,040	\$7,438	\$135,768
2024	\$2,780	\$8,607	\$157,106
TOTAL (\$)	\$10,940	\$33,085	\$603,893
TOTAL (Q)	Q84,236	Q254,755	Q4,649,976

Cuadro 50: Costos de sulfato de zinc por proveedor para cobertura

En la tabla anterior se observa que la empresa china ofrece los mejores precios de sulfato de zinc, con un monto total de los 5 años de Q84,236. El segundo mejor proveedor es casi

Q170,000 más costoso que el proveedor de China. Una característica diferente que tiene la empresa china en comparación a los otros dos, es que el pedido mínimo es muy elevado, siendo de 500 kg el de la empresa china, y 0.5 kg el de la empresa MERCK; pero como el requerimiento de sulfato de zinc es similar al pedido mínimo, esto no es un problema. Para el envío del sulfato de zinc se utiliza el incoterm CIF, que indica que el vendedor se encarga de pagar los fletes, seguros y transporte hasta la ciudad de Guatemala. A partir de ese momento la responsabilidad del producto recae en el comprador.

Pastilla

A diferencia de la cobertura, para la pastilla hubo necesidad de cotizar más de un material. En la siguiente tabla se muestra el requerimiento anual de cada material para cumplir con la demanda proyectada.

Cantidad total por material (1 pastilla por filtro)					
Año	2020	2021	2022	2023	2024
Quitosano de medio peso molecular (kg)	1,091	1,148	1,243	1,374	1,545
Carboximetilcelulosa (kg)	935	984	1,065	1,178	1,324
Sulfato de zinc (kg)	1,247	1,312	1,420	1,570	1,765
Ácido cítrico (concentración 0.5M)	29,943	31,519	34,105	37,710	42,395
Hidróxido de sodio (concentración 1M)	12,467	13,124	14,200	15,701	17,652

Cuadro 51: Requerimiento de materiales para pastilla

Se observa que las cantidades de materiales requeridos varía dependiendo del material. Para el ácido cítrico e hidróxido de sodio se tienen cantidades mucho más elevadas que para los otros materiales. Cada año van incrementando estas cantidades debido que se proyectó un incremento constante a lo largo de los años. A continuación se muestran las cotizaciones por proveedor de cada material para fabricar la pastilla.

QUITOSANO DE MEDIO PESO MOLECULAR	
Proveedor	Empresa china
Precio (US\$/kg)	\$36.25
Pedido mínimo (kg)	500
2020	\$39,875
2021	\$41,325
2022	\$45,313
2023	\$49,663
2024	\$56,188
TOTAL (\$)	\$232,363
TOTAL (Q)	Q1,789,191

Cuadro 52: Costos de quitosano por proveedor para pastilla

CARBOXIMETILCELULOSA			
Proveedor	Empresa china	MERCK	Quimiprova
Precio (US\$/kg)	\$5.77	\$208.50	\$10.94
Pedido mínimo (kg)	1000	1	1
2020	\$5,770	\$195,990	\$10,283
2021	\$5,770	\$204,330	\$10,721
2022	\$5,770	\$223,095	\$11,705
2023	\$6,809	\$244,988	\$12,854
2024	\$7,616	\$276,263	\$14,495
TOTAL (\$)	\$31,735	\$1,144,665	\$60,058
TOTAL (Q)	Q244,360	Q8,813,921	Q462,446

Cuadro 53: Costos de carboximetilcelulosa por proveedor para pastilla

SULFATO DE ZINC			
Proveedor	Empresa china	Quirsa	MERCK
Precio (US\$/kg)	\$4.08	\$12.23	\$225.22
Pedido mínimo (kg)	500	1	1
2020	\$5,100	\$15,283	\$281,525
2021	\$5,345	\$16,017	\$297,290
2022	\$5,794	\$17,362	\$317,560
2023	\$6,406	\$19,196	\$353,595
2024	\$7,201	\$21,580	\$398,639
TOTAL (\$)	\$29,845	\$89,437	\$1,648,610
TOTAL (Q)	Q229,808	Q688,664	Q12,694,300

Cuadro 54: Costos de sulfato de zinc por proveedor para pastilla

ÁCIDO CÍTRICO					
Proveedor	Empresa china	Quirsa	Solmer	Génesis	Quimiprova
Precio (US\$/kg)	\$11.98	\$3.22	\$88.44	\$47.01	\$1.54
Pedido mínimo (kg)	3,000	1	1	25	1
2020	\$359,400	\$96,525	\$2,653,166	\$1,410,232	\$46,332
2021	\$377,370	\$101,351	\$2,785,824	\$1,480,743	\$48,649
2022	\$408,518	\$109,717	\$3,015,765	\$1,602,963	\$52,664
2023	\$451,646	\$121,300	\$3,334,145	\$1,772,191	\$58,224
2024	\$507,712	\$136,358	\$3,748,039	\$1,992,187	\$65,452
TOTAL (\$)	\$2,104,646	\$565,251	\$15,536,940	\$8,258,317	\$271,320
TOTAL (Q)	Q16,205,777	Q4,352,432	Q119,634,440	Q63,589,038	Q2,089,168

Cuadro 55: Costos de ácido cítrico por proveedor para pastilla

HIDRÓXIDO DE SODIO		
Proveedor	Empresa china	Brenntag
Precio (US\$/kg)	\$1.38	\$3.22
Pedido mínimo (kg)	20,000	250
2020	\$27,600	\$40,219
2021	\$27,600	\$42,149
2022	\$0	\$45,689
2023	\$27,600	\$50,515
2024	\$27,600	\$56,789
TOTAL (\$)	\$110,400	\$235,360
TOTAL (Q)	Q850,080	Q1,812,275

Cuadro 56: Costos de hidróxido de sodio por proveedor para pastilla

Se observa que los proveedor chinos son los que ofrecen los productos más baratos en general, ya que en 4 de los 5 componentes anteriores se obtuvo un costo total más bajo que el resto. La excepción fue el caso del ácido cítrico, en donde el proveedor con las mejores condiciones económicas fue Quimiprova. Para el caso de compras a los proveedores de China, se utilizó el incoterm CIF para el envío de los productos, en donde el vendedor se encarga de pagar los fletes, seguros y transportes hasta la ciudad de Guatemala.

10.7.5. Egresos

A continuación se muestran las matrices de costos y gastos reales de la empresa de los años 2017 a 2019 y los proyectados de los años 2020 a 2024. Antes de mostrar los resultados de los egresos, es importante mencionar de antemano que en estas matrices no se incluyen todavía los gastos de impuestos ISR, ya que estos se calculan por medio del 25 % de las utilidades, las cuales no se tienen hasta el final. Estos gastos se mostrarán en el estado de resultados posteriormente. En el anexo 3 se puede observar el cálculo que se hizo para obtener los gastos de intereses bancarios, utilizando una tasa del 6 % anual, período de 5 años y el monto de la deuda mencionado anteriormente. En los anexos 4 y 5 se pueden observar las matrices de costos completas, es decir con todos los rubros agregados, relacionados al proyecto.

Cobertura

Nombre	2020	2021	2022	2023	2024
COSTO DE VENTAS					
Materiales	Q14,711,300	Q16,152,081	Q17,917,109	Q19,941,859	Q22,447,573
Mano de obra	Q1,542,136	Q1,611,532	Q1,684,051	Q1,759,833	Q1,839,026
Costos indirectos de fabricación	Q1,715,568	Q1,748,509	Q1,870,032	Q1,905,166	Q2,041,194
Total costo de ventas	Q17,969,004	Q19,512,122	Q21,471,191	Q23,606,858	Q26,327,793
GASTOS OPERATIVOS					
Gastos de venta	Q3,560,912	Q3,721,153	Q3,888,605	Q4,063,592	Q4,246,454
Gastos de capacitación	Q2,123,989	Q2,219,568	Q2,319,449	Q2,423,824	Q2,532,896
Gastos de administración	Q4,660,053	Q4,869,756	Q5,088,895	Q5,317,895	Q5,557,200
Gastos de servicios extras	Q546,791	Q571,397	Q597,110	Q623,980	Q652,059
Cafetería	Q156,116	Q163,142	Q170,483	Q178,155	Q186,172
Jardinería	Q127,550	Q133,290	Q139,288	Q145,556	Q152,106
Logística	Q744,047	Q777,529	Q812,518	Q849,081	Q887,290
Contabilidad	Q974,209	Q1,018,048	Q1,063,861	Q1,111,734	Q1,161,762
Total gastos operativos	Q12,893,668	Q13,473,883	Q14,080,208	Q14,713,817	Q15,375,939
GASTOS BANCARIOS					
Intereses bancarios	Q702,527	Q577,901	Q445,798	Q305,768	Q157,337

TOTAL EGRESOS	Q31,565,199	Q33,563,906	Q35,997,197	Q38,626,444	Q41,861,069
----------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Cuadro 57: Egresos totales para cobertura de zinc

Casi todos los costos y gastos se proyectaron a partir de los resultados del año 2019. Como se contaba con la información hasta el mes de agosto 2019, se estimaron los de los siguientes 4 meses, simplemente dividiendo el valor mostrado dentro de 8 meses y multiplicándolo por 4. Se observa que con las proyecciones realizadas y la adición de los nuevos materiales, se incrementan los costos de ventas casi 5 millones de quetzales de 2019 a 2020, lo cual equivale a un incremento del 44 % entre esos años.

Pastilla

Nombre	2020	2021	2022	2023	2024
COSTO DE VENTAS					
Materiales	Q15,739,139	Q17,185,589	Q18,837,985	Q21,247,360	Q23,942,360
Mano de obra	Q1,542,136	Q1,611,532	Q1,684,051	Q1,759,833	Q1,839,026
Costos indirectos de fabricación	Q1,743,198	Q1,762,349	Q1,884,741	Q1,920,783	Q2,057,812
Total costo de ventas	Q19,024,472	Q20,559,470	Q22,406,777	Q24,927,976	Q27,839,198
GASTOS OPERATIVOS					
Gastos de venta	Q3,560,912	Q3,721,153	Q3,888,605	Q4,063,592	Q4,246,454
Gastos de capacitación	Q2,123,989	Q2,219,568	Q2,319,449	Q2,423,824	Q2,532,896
Gastos de administración	Q4,660,053	Q4,869,756	Q5,088,895	Q5,317,895	Q5,557,200
Gastos de servicios extras	Q546,791	Q571,397	Q597,110	Q623,980	Q652,059
Cafetería	Q156,116	Q163,142	Q170,483	Q178,155	Q186,172
Jardinería	Q127,550	Q133,290	Q139,288	Q145,556	Q152,106
Logística	Q744,047	Q777,529	Q812,518	Q849,081	Q887,290
Contabilidad	Q974,209	Q1,018,048	Q1,063,861	Q1,111,734	Q1,161,762
Total gastos operativos	Q12,893,668	Q13,473,883	Q14,080,208	Q14,713,817	Q15,375,939
GASTOS BANCARIOS					
Intereses bancarios	Q702,527	Q577,901	Q445,798	Q305,768	Q157,337
TOTAL EGRESOS	Q32,620,667	Q34,611,255	Q36,932,783	Q39,947,561	Q43,372,474

Cuadro 58: Egresos totales para pastilla de zinc

Se observa en la tabla anterior que los costos de los materiales incrementan casi Q6,000,000 de 2019 a 2020 con la adición de los nuevos materiales. Esto se refleja más que todo en los costos del quitosano de medio peso molecular (que es el más caro) y el ácido cítrico (que es el de mayor volumen). Al compararlo con los costos de la cobertura, se observa que estos son mucho más elevados.

10.7.6. Ingresos

Utilizando el registro de ventas de la empresa, se hizo la separación de ventas por cada tipo de filtro para analizar individualmente los ingresos que genera cada tipo de filtro. Se identificaron 8 tipos de filtro, aunque cabe mencionar que el tipo de “Especiales” son en realidad filtros de cualquiera de los otros materiales, pero se tomó como otro rubro ya que tienen un precio diferente por tener muchos toques de personalización.

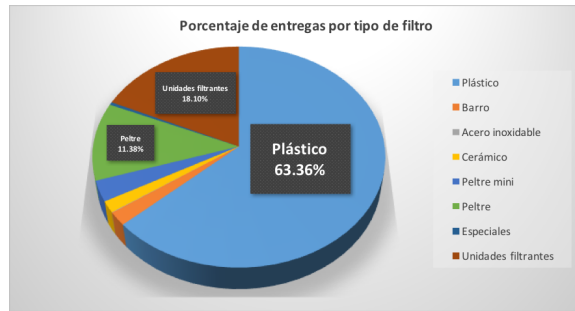


Figura 79: Porcentaje de entregas por tipo de filtro

En la gráfica anterior se muestra que los filtros de plástico son los filtros más vendidos en los años de 2017 a 2019, dominando las ventas con 63.36 %. A éstos le siguen las unidades filtrantes, con un 18.10 %, lo cual es menos de la mitad respecto al anterior. Los filtros de plástico son los filtros más vendidos ya que presentan un bajo precio, lo cual influye bastante en el área rural, en donde hay mucha escasez de recursos económicos. Las unidades filtrantes son más baratas que los filtros de plástico, pero la mayoría de consumidores aún escogen filtros de plástico por la presentación y porque la diferencia de precios entre estos dos tipos es mínima.

% de ventas por canal	NGOs	Schools	Financed new	Retail (Urban)	Distributors (Urban+Rural)	Exports (Rural)	Corporate (Urban+Rural)	Menudeo Eléctrico	Donations (Rural)	Employees	Samples
2017	16.0%	3.4%	12.8%	7.0%	47.7%	16.8%	2.8%	2.2%	1.2%	0.6%	2.4%
2018	16.2%	3.0%	12.3%	3.0%	49.2%	14.3%	4.0%	5.1%	0.7%	0.3%	1.0%
2019	14.0%	1.7%	13.3%	2.7%	47.9%	13.1%	2.8%	1.9%	0.5%	0.3%	1.3%
Total	15.4%	2.6%	13.0%	3.9%	41.5%	14.6%	3.7%	3.1%	0.8%	0.4%	1.4%
% vendidos	97.6%										

Figura 80: Porcentaje de ventas de filtros por canal

Se mencionó que únicamente las donaciones no generan ingresos, mientras que las muestras entregadas a los empleados se venden a 50 % del precio real. Después de obtener el porcentaje de ventas que ha representado cada canal en los últimos 3 años, se observó que estas donaciones y muestras hacen que solo un 2.4 % de los filtros no generen ingresos. Como se asumió que este 2.4 % de filtros pertenecen todos a la categoría de unidades filtrantes entre el porcentaje de filtros no vendidos en los últimos 3 años, el total de filtros vendidos

en los últimos 3 años, y el porcentaje de ventas que ocupan las unidades filtrantes, en donde se encontró que el 13.11 % de estas unidades no generan ingresos. Este factor se tomó en cuenta al calcular los ingresos por ventas de unidades filtrantes.

Ingresos	2020	2021	2022	2023	2024
Filtros completos					
Plástico	Q17,102,063	Q19,486,230	Q22,329,134	Q25,719,040	Q29,761,195
Barro	Q1,083,909	Q1,235,015	Q1,415,194	Q1,630,043	Q1,886,230
Acero inoxidable	Q7,185	Q8,187	Q9,381	Q10,805	Q12,504
Cerámico	Q1,550,895	Q1,767,103	Q2,024,911	Q2,332,323	Q2,698,885
Peltre mini	Q1,034,960	Q1,179,242	Q1,351,285	Q1,556,430	Q1,801,048
Peltre	Q5,692,213	Q6,485,753	Q7,431,979	Q8,560,268	Q9,905,650
Especiales	Q210,843	Q240,236	Q275,284	Q317,077	Q366,911
Unidades filtrantes	Q1,983,252	Q2,259,734	Q2,589,413	Q2,982,525	Q3,451,277
Otros productos	Q1,204,627	Q1,204,627	Q1,204,627	Q1,204,627	Q1,204,627
TOTAL	Q29,869,947	Q33,866,126	Q38,631,209	Q44,313,138	Q51,088,326

Cuadro 59: Ingresos proyectados con cobertura de zinc 2020-2024

Se observa que las ventas de filtros de plástico generan más de la mitad de los ingresos en todos los años debido al volumen de ventas. Los filtros de peltre también ocupan un volumen de ventas alto, pero más que todo genera bastantes ingresos por el precio elevado. Como se mencionó, la dosificación de zinc no tuvo ningún efecto en los ingresos, ya que se solicitó por parte de la empresa que éstos no se modificaran.

Ingresos	2020	2021	2022	2023	2024
Filtros completos					
Plástico	Q17,102,063	Q19,486,230	Q22,329,134	Q25,719,040	Q29,761,195
Barro	Q1,083,909	Q1,235,015	Q1,415,194	Q1,630,043	Q1,886,230
Acero inoxidable	Q7,185	Q8,187	Q9,381	Q10,805	Q12,504
Cerámico	Q1,550,895	Q1,767,103	Q2,024,911	Q2,332,323	Q2,698,885
Peltre mini	Q1,034,960	Q1,179,242	Q1,351,285	Q1,556,430	Q1,801,048
Peltre	Q5,692,213	Q6,485,753	Q7,431,979	Q8,560,268	Q9,905,650
Especiales	Q210,843	Q240,236	Q275,284	Q317,077	Q366,911
Unidades filtrantes	Q1,983,252	Q2,259,734	Q2,589,413	Q2,982,525	Q3,451,277
Pastilla individual	Q3,117,045	Q3,281,135	Q3,550,265	Q3,925,544	Q4,413,262
Otros productos	Q1,204,627	Q1,204,627	Q1,204,627	Q1,204,627	Q1,204,627
TOTAL	Q32,986,991	Q37,147,261	Q42,181,473	Q48,238,683	Q55,501,587

Cuadro 60: Ingresos proyectados con pastilla de zinc 2020-2024

La situación de los ingresos en este escenario es la misma que para la cobertura, con la excepción de que en este caso se presentó otra fuente de ingresos, que fue por parte de la venta de pastillas individuales. Se observa que sí se obtuvieron ingresos altos por parte de esta fuente (únicamente siendo superados por las ventas de filtros de plástico y peltre), ya que a pesar de tener un precio bajo, se tiene un volumen de ventas bastante alto, alcanzando el último año un valor aproximado de Q4.4 millones.

10.7.7. Estado de resultados y análisis VPN

Con los ingresos y egresos calculados, se procedió a construir los Estados de Resultados, y para el caso de la pastilla, el análisis de Valor Presente Neto. Se empezó analizando el escenario de la cobertura de zinc, para lo cual se muestra a continuación el Estado de Resultados completo con la implementación de la dosificación de zinc.

Cobertura

Estado de resultados 2017-2024						
AÑO	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ingresos (+)	Q16,870,900	Q29,869,947	Q33,866,126	Q38,631,209	Q44,313,138	Q51,088,326
Costo de ventas (-)	Q8,326,663	Q17,969,004	Q19,512,122	Q21,471,191	Q23,606,858	Q26,327,793
UTILIDAD BRUTA	Q8,544,237	Q11,900,943	Q14,354,004	Q17,160,017	Q20,706,280	Q24,760,533
Gastos (-)	Q8,225,626	Q12,893,668	Q13,473,883	Q14,080,208	Q14,713,817	Q15,375,939
UTILIDAD OPERATIVA	Q318,612	-Q992,725	Q880,121	Q3,079,810	Q5,992,463	Q9,384,594
Intereses (-)	Q189,479	Q702,527	Q577,901	Q445,798	Q305,768	Q157,337
Otros ingresos	Q54,165					
UTILIDAD OPERATIVA ANTES DE IMPUESTOS	Q183,298	-Q1,695,252	Q302,220	Q2,634,012	Q5,686,695	Q9,227,257
Impuestos (-)		Q0	Q75,555	Q658,503	Q1,421,674	Q2,306,814
UTILIDAD NETA	Q183,298	-Q1,695,252	Q226,665	Q1,975,509	Q4,265,021	Q6,920,443
Inversión inicial	Q992,768					
Margen de utilidad neta	1.09 %	-5.68 %	0.67 %	5.11 %	9.62 %	13.55 %

Cuadro 61: Estado de resultados con cobertura de zinc

Se observa en el Estados de Resultados anteriores que se está proyectando un incremento anual en las utilidades netas para ambos escenarios. Esto contradice lo que se pensó al inicio del proyecto porque al aumentar los costos y dejar los ingresos iguales debió de disminuir la utilidad neta. Pero esto no ocurrió así por una razón en específico: se proyectó un incremento constante anual en la demanda de los filtros. Cada año la empresa ha ido aumentando sus ventas, por lo que si se sigue esta tendencia, puede contrarrestar los efectos negativos del incremento de los costos y gastos para obtener una ganancia. Se observa que solamente el primer año se tuvo una utilidad negativa (pérdida), pero ya en el siguiente año se empezó a obtener ganancias.

Pastilla

Para el escenario de la pastilla, sí se estaría generando ingresos mediante la venta de la pastilla por individual, por lo que se desarrolló un análisis de Valor Presente Neto que se muestra en la siguiente tabla.

ANÁLISIS VPN 2020-2024						
AÑO	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ingresos (+)		Q3,117,045	Q3,281,135	Q3,550,265	Q3,925,544	Q4,413,262
Costo de ventas (-)		Q5,245,239	Q5,354,713	Q5,514,150	Q6,024,557	Q6,526,764
UTILIDAD BRUTA		-Q2,128,194	-Q2,073,579	-Q1,963,885	-Q2,099,013	-Q2,113,502
Gastos (-)		Q0	Q0	Q0	Q0	Q0
UTILIDAD OPERATIVA		-Q2,128,194	-Q2,073,579	-Q1,963,885	-Q2,099,013	-Q2,113,502
Intereses (-)		Q0	Q0	Q0	Q0	Q0
UTILIDAD OPERATIVA ANTES DE IMPUESTOS		-Q2,128,194	-Q2,073,579	-Q1,963,885	-Q2,099,013	-Q2,113,502

Impuestos (-)		Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Inversión inicial	Q1,047,628					
UTILIDAD NETA	-Q1,047,628	-Q2,128,194	-Q2,073,579	-Q1,963,885	-Q2,099,013	-Q2,113,502
VPN	-Q9,791,698					
TIR	-					

Cuadro 62: Análisis VPN con pastilla de zinc

Para calcular el Valor Presente Neto se utilizó una tasa de descuento del 6%, la cual se tomó la tasa de costo promedio ponderado de capital (WACC) ya que esta es la tasa que utiliza la empresa para pagar sus intereses y no se cuenta con accionistas. Con esta tasa se calculó el Valor Presente Neto, el cual dio como resultado -Q9,791,698. Este valor indica que el proyecto en sí no es rentable, ya se tienen más costos que ingresos. La razón de esto es que a pesar de generar bastantes ingresos como se mencionó anteriormente, solo una parte de las pastillas producidas están generando ingresos, que son las que se venden individualmente. Las que se venden junto con los filtros no están agregando valor monetario ya que se solicitó que no se modificara el precio de los filtros. Pero obtener ganancias de solo una parte de las ventas de pastillas no cambia el hecho de que todas las pastillas sí tienen un costo de fabricación, y por esta razón los costos de ventas superan a los ingresos en todos los años. Al evaluar la tasa interna de retorno, se observa que la plataforma de Excel no fue capaz de encontrar un valor debido a que los flujos de todos los años son negativos. Para que haya una tasa interna de retorno, debe de existir un retorno, pero en cada año se muestra que solo se tienen utilidades negativas (pérdidas). También se muestra que no hay valores en los rubros de gastos operativos, intereses e impuestos. En el caso de impuestos, siempre es 0 ya que todos los años se está teniendo pérdidas. Para los gastos operativos e intereses bancarios tampoco hay valores ya que éstos no están relacionados a la implementación de la dosificación de zinc, que es el tema del proyecto.

Costo y precio unitario de pastilla					
Año	2020	2021	2022	2023	2024
Costo	Q17	Q16	Q16	Q15	Q15
Precio	Q10	Q10	Q10	Q10	Q10
Utilidad	-Q7	-Q6	-Q6	-Q5	-Q5

Cuadro 63: Comparación costo y precio unitario de pastilla

A partir de los costos de ventas del proyecto de cada año se logró calcular el costo unitario de la pastilla, los cuales se muestran en la tabla anterior. El costo unitario toma valores de

Q15 mínimo y Q17 máximo, mientras que el precio unitario siempre permanece en Q10. Esto indica que se tendría una utilidad negativa por pastilla ya que los costos superan a los gastos en todos los años.

Estado de resultados 2017-2024						
AÑO	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ingresos (+)	Q16,870,900	Q32,986,991	Q37,147,261	Q42,181,473	Q48,238,683	Q55,501,587
Costo de ventas (-)	Q8,326,663	Q19,024,472	Q20,559,470	Q22,406,777	Q24,927,976	Q27,839,198
UTILIDAD BRUTA	Q8,544,237	Q13,962,519	Q16,587,790	Q19,774,696	Q23,310,707	Q27,662,389
Gastos (-)	Q8,225,626	Q12,893,668	Q13,473,883	Q14,080,208	Q14,713,817	Q15,375,939
UTILIDAD OPERATIVA	Q318,612	Q1,068,851	Q3,113,907	Q5,694,489	Q8,596,890	Q12,286,450
Intereses (-)	Q189,479	Q702,527	Q577,901	Q445,798	Q305,768	Q157,337
Otros ingresos	Q54,165					
UTILIDAD OPERATIVA ANTES DE IMPUESTOS	Q183,298	Q366,324	Q2,536,006	Q5,248,690	Q8,291,121	Q12,129,113
Impuestos (-)		Q91,581	Q634,001	Q1,312,173	Q2,072,780	Q3,032,278
UTILIDAD NETA	Q183,298	Q274,743	Q1,902,004	Q3,936,518	Q6,218,341	Q9,096,834
Inversión inicial	Q1,047,628					
Margen de utilidad neta	1.09 %	0.83 %	5.12 %	9.33 %	12.89 %	16.39 %

Cuadro 64: Estado de resultados con pastilla de zinc

A diferencia de lo que se muestra en el análisis VPN, el Estado de Resultados para la implementación de la pastilla presenta unos números bastante atractivos. Se observa que a pesar de que el proyecto no es rentable, la empresa sí sería capaz de seguir operando luego de haber implementado el proyecto, lo cual se debe principalmente a la misma razón que se mencionó con la cobertura: se proyectó que la demanda y las ventas incrementarán a lo largo de los años. En el caso de la pastilla también influye el hecho de que se puedan vender pastillas por separado, ya que está satisfaciendo otro segmento del mercado que la cobertura no es capaz de satisfacer, que es el de las personas que ya poseen un filtro. Utilizando la cobertura, si una persona que ya tiene un filtro desea obtener este beneficio adicional tendría que comprar otro filtro completo, pero en el caso de la pastilla, si la persona quisiera obtener este beneficio solo tendría que comprar la pastilla, la cual es mucho más barata que el filtro completo.

Se observa que la alternativa de la pastilla presenta un margen de utilidad levemente mayor que el de la cobertura en todos los años, que se dio principalmente por la venta individual de la pastilla. Para el año 2024 se alcanzó un margen de utilidad de 16.39% sobre los ingresos, mientras que para la cobertura es de 13.55%. La variación entre estos es mínima, pero ambos llegan a la conclusión de que se están generando más ingresos que antes, a pesar de que estos proyectos no son rentables. El margen de ganancia para el 2019 (con los últimos 4 meses proyectados) fue de 1.09%. Para la cobertura se obtuvo un margen menor en los siguientes 2 años (el primer año teniendo pérdidas), pero éste ya aumentó en el año 2022, mientras que para la pastilla solo en el 2020 se obtuvo un margen menor respecto al 2019. Es un gran cambio el que se dio en el margen de utilidad neta, pero es razonable ya que la empresa está actualmente en constante crecimiento, y para los otros años ya se tiene planificada una expansión a nivel internacional. Si esto llegara a cumplirse, el proyecto sí presentaría bastante rentabilidad.

La otra herramienta que se utilizó para evaluar la rentabilidad fue el plazo de recuperación. Este plazo de recuperación representa el tiempo en que se recuperará la inversión inicial, tomando en cuenta todos los ingresos y egresos de la empresa, no solo los que están relacionados al proyecto ya que de esta forma nunca se recuperará la inversión. Los resultados para ambos escenarios fueron los siguientes:

- Cobertura: 3.10 años

- Pastilla: 1.41 años

Ambos escenarios presentan un resultado similar; la empresa sí es capaz de recuperar esa inversión inicial en el tiempo de prueba definido (5 años). Se considera que ambos son bajos tiempos de recuperación, pero ya es cuestión de la empresa decidir si es adecuado o no arriesgarse y buscar otra opción con tiempo de recuperación más bajo. Otro factor que afecta estos resultados es el hecho de la inversión inicial es relativamente baja, como se muestra después en el análisis de sensibilidad. Al tener una inversión inicial baja hay más probabilidad de que ésta se pueda recuperar más rápido.

10.7.8. Análisis de sensibilidad

Los análisis de sensibilidad para los dos escenarios son bastante parecidos con variaciones mínimas, principalmente en las fuentes de ingresos ya que en el escenario de la pastilla sí se está obteniendo ingresos adicionales mientras que en la cobertura no.

Cobertura

A continuación se muestra el análisis de sensibilidad elaborado para la cobertura de zinc.

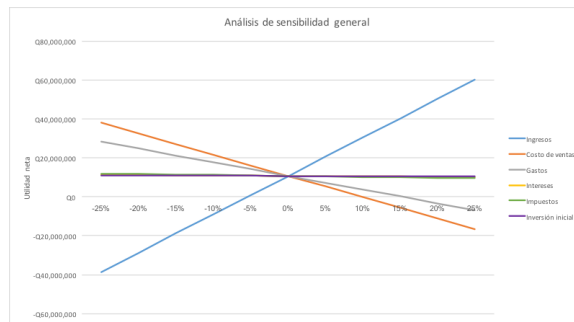


Figura 81: Análisis de sensibilidad general para cobertura

Se muestra claramente en la gráfica anterior que los ingresos son los rubros que más impacto tienen en la utilidad neta acumulada de 5 años. Estos dependen principalmente de 2 factores, los cuales son la demanda y los precios de venta. Como no se puede tener mucho control de la demanda ya que esto depende de los consumidores, se debe de tener un buen control de los precios de los productos, que son variables que fácilmente se puede controlar por parte de la empresa, ya que estos tienen un alto impacto en los ingresos y utilidad neta de cada año.

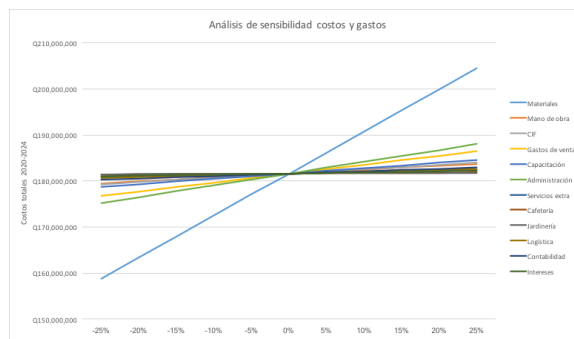


Figura 82: Análisis de sensibilidad de egresos para cobertura

Se observa en la gráfica anterior que los costos de los materiales son los costos que más impacto tienen en los egresos totales de la empresa, representando casi el 50% de éstos de los últimos 5 años. Debido a esto, es de suma importancia tener un buen control y manejo de los costos de la materia prima ya que un pequeño cambio en ellos puede provocar un gran cambio en la utilidad.

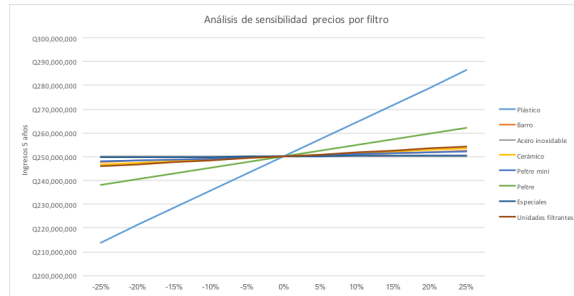


Figura 83: Análisis de sensibilidad de precios de filtro para cobertura

Se hizo otro análisis de sensibilidad de los ingresos totales de los siguientes 5 años, con respecto a los precios de los filtros. Se observa claramente en la gráfica anterior que los precios de los filtros de plástico tienen el mayor impacto en los ingresos, que se debe a su demanda elevada por tener un precio más bajo que los otros. El precio de los filtros de peltre también tiene un alto impacto en los ingresos (alto respecto a los demás), ya que a pesar de tener un precio elevado, tiene una demanda alta, por lo que si se diera un pequeño incremento en el precio pero la demanda continúa siendo la misma, se estaría generando más ingresos.

Pastilla

Como se mencionó anteriormente, el análisis de sensibilidad de la pastilla es similar al de la cobertura como se muestra en las siguientes gráficas.

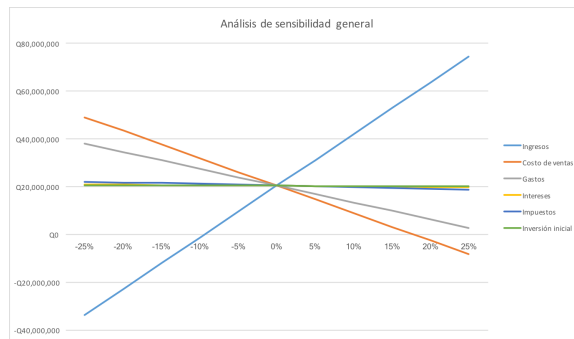


Figura 84: Análisis de sensibilidad general para pastilla

Se observa que el análisis de sensibilidad general para el método de la pastilla es prácticamente igual al de la cobertura, en donde los ingresos son las variables que más impacto tienen en la utilidad, mientras que la inversión inicial y los impuestos son los que menos impacto tienen.

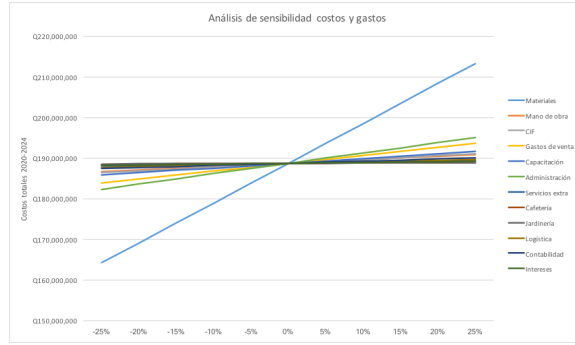


Figura 85: Análisis de sensibilidad de egresos para pastilla

Al igual que el general, el análisis de sensibilidad de los costos y gastos es similar en ambos escenarios, siendo el rubro de costo de materiales el que más impacto tiene en los egresos. Solo que en este caso el impacto es mayor que en el de la cobertura, ya que la pastilla involucra más materiales, y materiales costosos.

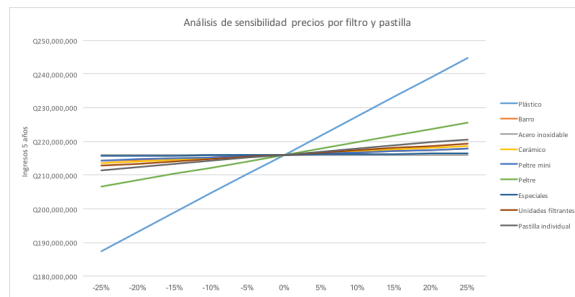


Figura 86: Análisis de sensibilidad de precios de filtro y pastilla

Esta gráfica sí presenta una diferencia crucial con respecto a la de la cobertura, debido a la adición de los ingresos generados a partir de la venta de pastillas individuales. Se alcanza a observar que esta es la tercera fuente de ingresos más grande de la empresa, únicamente superado por la venta de filtros de plástico, y filtros de peltre.

10.7.9. Análisis de escenarios para precio de pastilla

Se evaluaron los tres escenarios para cada año de forma separada, ya que no se puede utilizar un acumulado o un promedio del resultado porque el valor o poder adquisitivo del dinero se va perdiendo con el tiempo debido a temas de inflación. En la siguiente tabla se muestran los resultados anuales de los tres escenarios.

Escenario	Pesimista	Más probable	Optimista
Precio	5	10	15
Margen_2020	-2.85 %	0.83 %	4.18 %
Margen_2021	1.89 %	5.12 %	8.08 %
Margen_2022	6.45 %	9.33 %	11.98 %
Margen_2023	10.26 %	12.89 %	15.32 %
Margen_2024	13.96 %	16.39 %	18.63 %

Cuadro 65: Análisis de escenarios con precio de pastilla

Se observa que el precio de la pastilla sí tiene un alto impacto en el margen de utilidad, como se había mencionado anteriormente. Debido a que es una fuente de ingresos significativa, el hecho de aumentarle Q5 al precio de la pastilla provoca que el margen de utilidad incremente cerca de 3% en cada año. También se puede notar que el único momento en donde se tendría una pérdida sería en el año 2020 para el escenario pesimista, pero esto se recupera en los siguientes años, en donde ya se obtienen ganancias (margen positivo). Es importante mencionar que para estos escenarios se está tomando en cuenta que no cambia la demanda, solamente el precio. Por eso el escenario optimista establece que la misma cantidad de personas comprarán la pastilla a un precio mayor, y el escenario pesimista establece que la demanda no aumentará al declarar un precio menor.

11.1. Conclusiones generales

- Es viable la elaboración y adaptación de un sistema de fortificación de zinc a una unidad filtrante de agua.
- En base a costos, facilidad de implementación y vida útil se establece que el sistema más viable para su implementación es el recubrimiento.
- El sistema de fortificación del tipo pastilla tiene la ventaja de poseer mayor facilidad de manipulación, es el único que no presenta cambios sensoriales y puede ser renovado por el usuario al finalizar su vida útil (instalación de una nueva pastilla).

11.2. Módulo determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante

- Se estableció el umbral individual y grupal de tres solutos de zinc con un grupo de cincuenta personas en la Universidad del Valle de Guatemala, obteniendo un umbral de detección individual de 15mg/L para óxido de zinc, 25mg/L para cloruro de zinc y 40mg/L para sulfato de zinc. El umbral de detección grupal fue de 46.65mg/L para óxido de zinc, 52.01mg/L para cloruro de zinc y 50.97 mg/L para sulfato de zinc.
- Se determinó que el cloruro de zinc y sulfato de zinc son los solutos con mayor umbral de detección tanto individual como grupal, por lo cual son aptos para ser utilizados en la elaboración de una unidad filtrante de agua integrado a un sistema viable de dosificación de zinc.
- La membrana a base de quitosano no posee diferencia sensorial con el agua original de la unidad filtrante de agua a través de pruebas triangulares.

- La cobertura de zinc coloidal modificada no pasó la segunda etapa de la prueba de triángulo, por lo cual no prosigue a ser evaluada en la comunidad con la prueba de diferencia simple.
- Se verificó a través de una prueba de diferencia simple entre agua regular y agua pura fortificada con zinc de la unidad filtrante integrada con la membrana a base de quitosano que los consumidores de la comunidad del Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe; no detectaron la presencia del soluto.

11.3. Módulo de desarrollo de una membrana a base de quitosano que permita la dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua

- La gelificación, la textura y la vida útil, son los criterios de selección adecuados para la estandarización del proceso de elaboración de la membrana.
- Se determinó que la membrana a base de biopolímeros como quitosano y carboximetilcelulosa cumple con las características deseadas de liberación de zinc a lo largo de 30 días de uso continuo.
- La formulación final a base de 3.5 % quitosano, 3.0 % CMC y 4 % sulfato de zinc, hacen posible desarrollar un sistema de fortificación para ser utilizado en una unidad filtrante de agua.

11.4. Módulo de evaluación comparativa de un hidrogel de liberación controlada y una capa de zinc, como matriz de fortificación de zinc

- El procedimiento seleccionado para la fortificación de zinc fue una cobertura de sulfato de zinc grado reactivo en solución con agua destilada (5 g/L), en la cual fue sumergida la unidad filtrante. Esta se dejó secar por cuatro horas y luego se repitió el mismo procedimiento hasta formar tres capas de recubrimiento.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de liberación de zinc en agua por espectroscopía de absorción atómica, se seleccionó la cobertura de sulfato de zinc, ya que esta presentó una dosificación diaria constante promedio de 0.067 mg/L a lo largo de su vida útil simulada.
- Se estandarizó el proceso de elaboración de la cobertura en un diagrama de bloques (ver figura 18) para la implementación industrial de la misma en la unidad filtrante existente, el cual consiste en la preparación de la solución, su aplicación, secado y repetición de los pasos hasta formar las tres capas.
- El hidrogel elaborado presentó una dosificación diaria promedio de 0.0501 mg/L a lo largo de su vida útil simulada según los resultados obtenidos de espectroscopía de absorción atómica, pero debido a que influyó en la velocidad de filtración del agua, afectando así la funcionalidad de la unidad filtrante, se procedió a descartar esta matriz.

11.5. Módulo de evaluación de dosificación, vida útil y absorción fisiológica de zinc del sistema de fortificación

- Los resultados de la metodología de biodisponibilidad son coherentes con datos previos de estudios in vitro. Este procedimiento es simple, rápido y confiable para la predicción de biodisponibilidad de zinc en los alimentos.
- Se obtuvo una media del porcentaje de biodisponibilidad de 45.29 %, con el método in vitro desarrollado en base a estudios previos.
- El porcentaje de biodisponibilidad obtenido permite cubrir el 41.71 % de la recomendación diaria recomendada para infantes, y el 29.08 % para adultos.
- Se establece que no existe diferencia en la concentración de zinc al variar el volumen de agua filtrada a diario en las matrices "Recubrimiento" (2L, 3.5L o 5L), medida por medio de espectrometría de absorción atómica en llama, más no para la matriz "Hidrogel".
- No se logró establecer si existe o no una diferencia significativa en la concentración de zinc al dejar de filtrar agua por 2 días (desuso), para su determinación se requiere mayor tiempo de estudio.
- El tiempo de vida útil de la matriz de fortificación de zinc Recubrimiento.^{es} de 10 meses, mientras que la de "Pastilla.^{es} de 5 meses.
- La matriz desarrollada denominada "Hidrogel" se descartó en el día 10 de estudio debido a que reducía la tasa de filtración de agua estándar del filtro artesanal.

11.6. Módulo de diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de una unidad filtrante de agua

- 1. Se determinó que con el proceso actual se tiene un déficit de 162 unidades diarias con respecto a la demanda del año en curso. Se realizó una propuesta en la cual se modifica la cantidad de operarios y capacidades del proceso, para aumentar la capacidad en un 280 % y eliminar el déficit.
- Se diseñó el proceso para dos tipos de dosificadores y se determinó que solo uno de ellos es viable para llevar a cabo su proceso productivo. El dosificador viable fue el método de cobertura, el método de pastilla se descartó debido a la alta cantidad de inventario necesaria en la importación por políticas del proveedor.
- La incorporación del proceso productivo de unidades filtrantes con el proceso productivo de dosificadores de zinc por el método de cobertura fue satisfactorio y viable. Fue satisfactorio al realizar las simulaciones dado que no se observaron cuellos de botella, demoras y la cantidad de unidades que se produce por separado tanto en el proceso de fabricación de unidades filtrantes de agua como en el de dosificadores de zinc por método de cobertura se mantuvo al unirlos.

- Se determinó el equipo necesario para automatizar la operación de secar barro con un secador industrial. Se elaboró un layout en el cual se especificó el espacio, la ubicación y dimensiones de la maquinaria para su óptimo funcionamiento.

11.7. Módulo de estudio de la factibilidad financiera de la aplicación de un sistema dosificador de zinc a equipos de purificación de agua dirigido a una empresa dedicada a la producción de unidades filtrantes de agua

- El proyecto no es rentable con ambos escenarios, pero la empresa sí es capaz de seguir operando luego de implementarlo principalmente por el incremento de la demanda. Esto refleja principalmente en el incremento del margen de utilidad y el plazo de recuperación, que muestra que para ambos escenarios se puede recuperar la inversión inicial en el tiempo de prueba que se analizó. Pero se considera que el método de la pastilla no es factible de implementar debido al gran volumen de materiales que se requieren para fabricarla. Para almacenar y transportar estas cantidades de insumos se requeriría una expansión de la fábrica, con instalaciones adecuadas para el almacenaje de cada producto.
- Con base al incremento de ventas del 2018 al 2019, se espera que cada año la empresa incremente sus ventas aproximadamente un 19 %, no solo para llegar a obtener esta utilidad positiva y alta sino que también para cambiar drásticamente las condiciones de deficiencia de zinc en las que se encuentra el país.
- Con el análisis de sensibilidad se observó que la variable con más impacto en la utilidad neta es la de los ingresos. De este rubro se confirma que la demanda tuvo un alto impacto en la utilidad, habiendo aumentado el margen de utilidad del último año a 13.55 % para la cobertura y 16.39 % para la pastilla, porque éste es un proyecto que no persigue fines lucrativos, por lo que en teoría solo debieron de aumentar los costos, pero gracias a la alta demanda proyectada, se pudo obtener ganancias.

12.1. Recomendaciones generales

- Darle seguimiento a la implementación de dosificación por el método de cobertura ya que este mostró resultados factibles de comportamiento de dosificación, implementación industrial y rentabilidad.
- Se recomienda llevar a cabo un panel sensorial donde se realice un análisis de aceptación, para determinar si el agua proveniente de la unidad filtrante con la cobertura de zinc posee un sabor aceptable al momento de ingerirla.
- Realizar pruebas de dosificación de zinc de ambos métodos en tiempo real para obtener datos más exactos, también analizar si las matrices dosificadoras pueden llegar a afectar la calidad de filtración y el tiempo de vida útil de la unidad filtrante de agua.
- Realizar un estudio de mercado a nivel Centro América para poder segmentar el mercado y determinar la aceptación de la implementación de la matriz dosificadora de zinc para poder estimar de mejor manera la demanda.

12.2. Módulo de determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante en un sistema viable de dosificación de zinc

- Segmentar por género y edad para evaluar si ellos influyen directamente en el resultado presentado por cada panelista.
- Analizar la dosificación que liberan las matrices que constituyen los posibles sistemas de dosificación de zinc integradas a una unidad filtrante de agua para no sobrepasar

los 4mg de zinc que indica la Institución NIH (National Institutes of Health) y evitar llegar a los niveles tóxicos de ingesta en bebés de 6 meses.

- Efectuar variaciones en la cantidad de zinc utilizado en la cobertura de zinc coloidal modificada para observar cual porcentaje no posee una diferencia significativa en cuanto al sabor con el agua regular de la unidad filtrante ya existente.
- Realizar un análisis de aceptación luego de la prueba triangular, para observar si los cambios de sabor que detectaron los panelistas en las matrices son aceptables o no.
- Dejar correr la unidad filtrante de agua integrado al sistema de dosificación de zinc mediante una membrana de quitosano tres días antes de su consumo para eliminar el color amarillento que desprende en los primeros días
- Realizar el estudio de la comunidad en las afueras de la capital y realizarlo en diversos puntos estratégicos para tener una muestra de la población de las 8 regiones que compone el país de Guatemala.

12.3. Módulo de desarrollo de una membrana a base de quitosano que permita la dosificación de zinc en una unidad filtrante de agua

- Evaluar distintos tipos de vitaminas y minerales para la elaboración de la membrana, como el magnesio, hierro, ácido fólico o complejo B_{12} entre otros para determinar su campo de aplicación en la fortificación de alimentos.
- Formular la membrana utilizando otros polímeros, como el carboximetilquitosano, permitiendo mayor versatilidad en la elaboración de la misma de acuerdo a los insumos disponibles.
- Utilizar otros compuestos químicos de zinc, como el gluconato o el acetato de zinc, que son frecuentemente utilizados en la industria alimenticia y comparar su interacción con la membrana.

12.4. Módulo de evaluación comparativa de un hidrogel de liberación controlada y una capa de zinc, como matriz de fortificación de zinc

- Evaluar, luego de la implementación en el proceso de producción, que los resultados de dosificación de zinc en el agua de la cobertura sean equivalentes a los resultados de las pruebas experimentales realizadas.
- Evaluar el resultado de dosificación de la cobertura, comparando con un diferente número de capas aplicadas a la superficie de la unidad filtrante.

- Realizar un análisis de impacto ambiental para asegurar que la cobertura no implique ninguna consecuencia hacia el medio ambiente, tomando en cuenta el potencial de calentamiento global, la demanda de acumulación de energía, el uso de agua y el potencial de toxicidad en humanos.
- Realizar un estudio del agua ya filtrada con presencia de zinc y evaluar si esta se ve afectada por el tiempo y la luz, ya que una solución con zinc puede llegar a degradarse si se almacena en contacto directo con la luz.
- Aunque el hidrogel logró los resultados físicos y de liberación de zinc deseados, se recomienda para futuros estudios con hidrogeles, alterar la formulación para obtener una matriz dosificadora de zinc que no afecte la percepción sensorial del agua, modificando la cantidad o presencia del aditivo GDL, el cual a pesar de acelerar la gelificación y reducir la porosidad del hidrogel, también es utilizado en la industria de alimentos como acidulante, lo cual podría ser la causa de la percepción ácida en el agua.
- Evaluar la elaboración de la cobertura con otros micronutrientes que son de alta deficiencia en países tercermundistas, tales como el ácido fólico y el hierro, para evaluar su versatilidad de fortificación, tanto en agua como en alimentos.

12.5. Módulo de evaluación de dosificación, vida útil y absorción fisiológica de zinc del sistema de fortificación

- Para una adecuada y mejor determinación del cumplimiento de la ingesta diaria de zinc debe evaluarse: 1) la ingesta diaria real de zinc y fitatos en la dieta tradicional, generando una base de datos de la composición de los alimentos, 2) ajustar la distribución de las ingestas de zinc observadas eliminando la variabilidad que generan los cambios diarios en la ingesta de zinc de una persona, para representar las ingestas de zinc habituales reales, 3) aplicar el método EAR para calcular y segmentar la ingesta diaria necesaria de zinc de acuerdo a edades y poblaciones
- Evaluar y ajustar la metodología de biodisponibilidad a la digestión de un menor de 0 a 6 meses, a fin de recrear de mejor manera el proceso de absorción de minerales
- Estudiar la dosificación diaria de zinc por un periodo de tiempo más prolongado, para poder aclarar las variaciones entre los patrones de uso, y los tiempos de desuso del filtro.
- Realizar el análisis de vida útil ya sea por mayor tiempo para filtrar el equivalente al consumo de agua de dos años, o bien, emplear otro método de análisis.
- Asegurar una constante agitación en el período de incubación de la metodología de biodisponibilidad para garantizar que la acción de absorción de la membrana es total.
- Para el sistema de fortificación desarrollado de “Pastilla” se debe aplicar un lavado al finalizar el proceso de elaboración para evitar la elevada concentración de zinc los primeros días de filtrado.

- Validar la información recopilada por el espectrómetro de absorción atómica por medio de una análisis en horno de grafito debido a que el límite de detección del equipo usado es bajo, aproximadamente 0.1g/L.

12.6. Módulo de diseño del proceso de fabricación de un sistema dosificador de zinc y adaptación del mismo a la cadena de producción de una unidad filtrante de agua

- Es recomendable realizar la implementación de las modificaciones recomendadas, aunque no se realice la implementación del dosificador de zinc por método de cobertura, para poder cumplir con la demanda futura y no perder clientes por desabastecimiento.
- Se recomienda realizar pruebas para los dosificadores de zinc de lotes entre 50 y 100 unidades para ajustar los tiempos y distribuciones de una mejor manera.
- Se recomienda evaluar la implementación de ventiladores industriales para reducir los tiempos de secado para el proceso de fabricación de unidades filtrantes.

12.7. Módulo de estudio de la factibilidad financiera de la aplicación de un sistema dosificador de zinc a equipos de purificación de agua dirigido a una empresa dedicada a la producción de unidades filtrantes de agua

- Darle seguimiento a las pruebas de la implementación de la cobertura de zinc en los filtros para encontrar la mezcla adecuada de materiales y el procedimiento correcto para evitar que el agua tenga un sabor, olor o apariencia no deseada. Se recomienda darle seguimiento a esta alternativa, ya que sí presenta rentabilidad, y a diferencia de la pastilla se necesitan pocos materiales y el procedimiento es mucho más sencillo.
- Monitorear constantemente los precios de los filtros de plástico y peltre debido a que éstos son los más ingresos generan, el primero por el volumen de ventas y el segundo por el precio elevado. Un pequeño cambio en estos precios puede causar un gran impacto en los ingresos.
- Formar alianzas o establecer contratos con proveedores de materia prima internacionales, ya que se observó en este proyecto que ofrecen precios bastante atractivos.

- [1] F. Arredondo y *et al*, *Encuesta Nacional de Micronutrientes 2009-2010*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2012, pág. 78.
- [2] B. Allen L.; de Benoist y R. Hurrell, *Guidelines on Food Fortification with Micronutrients*. World Health Organization, 2017.
- [3] Ecofiltro, «Proceso de Purificación de Agua», 2019.
- [4] K. de la Caba y *et al*, «Chitosan as bioactive polymer: Processing, properties and applications.», *University of the Basque Country (UPV/EHU), Department of Chemical and Environmental Engineering, Faculty of Engineering of Gipuzkoa, Plaza de Europa, 1, 20018 Donostia-San Sebastián, Spain. 0141-8130/© 2017 Elsevier B.V.*, págs. 1358-1368, jul. de 2017.
- [5] H. Ahmad y *et al*, *Application of active layering and coating techniques in the development of a multiparticulate, controlled release dosage form of a high-dose, highly soluble drug*, 1ra. Pharmaceutical Development y Technology, 2013.
- [6] C. Hotz y K. Brown, *International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG) Technical Document 1, 2. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations, options for its control*. Food y Nutrition Bulletin, 2004, vol. 25, págs. 94-203.
- [7] INCAP, «Que hacer de la cooperación técnica INCAP en Guatemala al consejo consultivo del INCAP.», *XXXVIII Reunión del Consejo Consultivo del INCAP*, pág. 12, jun. de 2013.
- [8] M. de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) e Insituto Nacional de Estadística (INE), «VI Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil 2014-2015, Guatemala.»,
- [9] SESAN, «Evaluación de impacto del Plan del Pacto Hambre Cero, segunda encuesta de monitoreo en los 166 municipios priorizados: Estado nutricional de menores de cinco años y mujeres en edad fértil, Volumen 1», *Gobierno de Guatemala, Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional SESAN*, 2014.
- [10] M. Mazariegos y *et al*, «Análisis de la situación y tendencias de los micronutrientes clave en Guatemala, con un llamado a la acción desde las políticas públicas»,

- [11] N. del Rorasio Rojas, «Aceptabilidad de Alimentos Fortificados con Vitaminas y Minerales Espolvorados, en Niños de la .Escuela de Párvulos de Tierra Nueva", Chinnautla, Guatemala.», *Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia*, pág. 15, nov. de 2015.
- [12] S. Morales, «Importancia de la Evaluación Sensorial en la Industria de Alimentos», *Revista Industria y Alimentos No. 71*, págs. 23-25, 2016.
- [13] O. Vergara y *et al*, «Evaluación sensorial de arroz biofortificado, variedad IDIAP Santa Cruz 11, en granjas autosostenibles del Patronato de Nutrición en la Provincia de Coclé, Panamá.», *Perspectivas en Nutrición Humana, Escuela de Nutrición y Dietética, Vol. 13*, págs. 147-160, 2011.
- [14] MSPAS, «Encuesta Nacional de Micronutrientes 2009-2010 (ENMICRON 2009-2010)», 2012.
- [15] A. Bonilla, «Fortificación de alimentos en Centroamérica y el Caribe.», *Escuela Tecnológica de Alimentos, Universidad de Costa Rica.*, pág. 54, mayo de 2016.
- [16] C. Martínez, «Análisis de situación, tendencias y ruta a seguir para la reducción de las deficiencias por micronutrientes en Guatemala»,
- [17] A. Obregón y *et al*, «Evaluación Sensorial y Fisicoquímica de panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harinas de maíz y papa. .», *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, págs. 73-76, 2013.
- [18] V. Puldón y *et al*, «Preferencia y Aceptabilidad de la variedad de arroz IACuba 30 con alto contenido de hierro y zinc por mujeres gestantes en Cuba.», *Perspectivas en Nutrición Humana, Escuela de Nutrición y Dietética, Vol. 13*, págs. 123-134, 2011.
- [19] M. Ayala, «Yogurt fortificado con Vitamina A, Ácido Fólico, Hierro y Zinc en Animales Experimentales con Anemia Inducida.», *Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias*, 2015.
- [20] A. Barrio, «El 76 % de los lanzamientos en gran consumo fracasan en su primer año de vida.», 2014.
- [21] S. Expansión, «3 lanzamientos que a Coca-Cola le fallaron», 2014.
- [22] R. Varona, «Las razones por las que Bolivia es el único país donde ha quebrado McDonald´s», 2017.
- [23] D. Fernández, «El INE sobreestima la pobreza en Guatemala.», 2017.
- [24] SIINSAN, «Cuarto Censo Nacional de Talla en Escolares del Primer Grado de Educación Primaria del Sector Público de la República de Guatemala.», *Gobierno de la República de Guatemala*, 2015.
- [25] OPS/OMS, «Situación de Alimentos Fortificados.», 2009.
- [26] MSPAS, «Análisis de la situación epidemiológica de las enfermedades transmitidas por agua y alimentos en Guatemala 2016.», 2017.
- [27] M. Latham, «Nutrición humana en el mundo en desarrollo.», *FAO, Alimentación y nutrición No 29*, 2002.
- [28] CODEX, «Principios Generales para la Adición de Nutrientes Esenciales a los Alimentos», *Organización Mundial de la Salud*, 2015.

- [29] J. Martínez y R. Ramírez, «Factores asociados a la deficiencia de zinc en niños colombianos; resultados de la Encuesta Nacional de Salud 2010.», *Nutrición Hospitalaria Vol. 29*,
- [30] NIH, «Datos sobre el zinc.»
- [31] D. López y *et al*, «El zinc en la salud humana I.», *Revista chilena de nutrición Vol. 37 No. 2*, págs. 240-247, jun. de 2010.
- [32] G. Grandy y *et al*, «Deficiencia de hierro y zinc en niños», *Revista de la Sociedad Boliviana de Pediatría Vol. 49*, págs. 25-31, 2010.
- [33] G. Cordero, *Aplicación del Análisis Sensorial de los Alimentos en la Cocina y en la Industria Alimentaria*, 2da. Antonio Madrid Vicente, 2013, págs. 9-19.
- [34] W. Lawless y *et al*, *Sensory Evaluation of Food*. 1ra. Springer Science Business Media New York, 2010, págs. 125-144.
- [35] Y. Rodríguez, «Determinación de los umbrales sensoriales de detección, de identificación, de diferenciación y el umbral máximo en el sabor ácido, mediante metodología de elección forzada entre tres alternativas (3-AFC).», *Universidad Nacional de Colombia*, 2017.
- [36] C. Salazar y S. Castillo, *Fundamentos Básicos de Estadística*. 1ra. 2018, págs. 49-79.
- [37] R. Olivas, «Las pruebas de diferencia en el análisis sensorial de los alimentos.», *Tecnología Chihuahua*, págs. 1-7, Enero de 2009.
- [38] I. Anderson, «Chi-cuadrado de lo-bello.», 2016.
- [39] L. Allen y *et al*, *Guidelines on Food Fortification with Micronutrients*, 1ra. World Health Organization, Food y Agriculture Organization of the United Nations, 2006, pág. 376.
- [40] Y. Qin y *et al*, «Absorption and Release of Zinc and Copper Ions by Chitosan Fibers.», *Journal of Applied Polymer Science, Vol. 105. Wiley Periodicals, Inc.*, págs. 527-532, nov. de 2007.
- [41] C. Duffy, «Preparation of novel chitosan iron microgel beads for fortification applications», *Food Hydrocolloids, Food for Health Ireland, UCD Institute of Food and Health, University College Dublin, Belfield, Dublin 4, Ireland*, págs. 608-615, jun. de 2018.
- [42] M. López, «EFECTO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES DE QUITOSANO EN LA REDUCCIÓN MICROBIANA Y CONSERVACIÓN DE LA CALIDAD DE FRESAS», *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, págs. 33-43, mar. de 2012.
- [43] W. McCabe y *et al*, *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7ma. McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A. de C.V. México., 2007, págs. 1054-1087.
- [44] P. Fellows, *Food processing technology: principles and practice*. 3ra. Editorial Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Granta Park, Great Abington, Cambridge CB21 6AH, UK., 2009, pág. 894.
- [45] V. Jiménez, «Recuento de coliformes en agua por medio de la técnica del número más probable (NMP).», *Laboratorio de microbiología de alimentos 2, facultad de Ingeniería, Universidad del Valle de Guatemala.*, pág. 8, Ago de 2019.
- [46] W. Köster y *et al*, «ANALYTICAL METHODS FOR MICROBIOLOGICAL WATER QUALITY TESTING.», 2018.

- [47] V. Juneja y J. Sofos, *Pathogens and Toxins in Foods: Challenges and interventions*. 1ra. Editorial ASM Press 1752 N St. NW, Washington, DC 20036-2904, USA., 2010, págs. 71-94.
- [48] FDA, *Bad Bug Book, Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins*. 2da. Food y Drug Administration, 2012, págs. 68-71.
- [49] S. Skipton y *et al*, «Tratamiento de agua potable: la cloración de choque.», *Universidad de Nebraska-Lincoln extension, Institute of Agricultura and Natural Resources.*, pág. 13, sep. de 2007.
- [50] A. Bonilla, «Fortificación de alimentos en Centroamérica y el Caribe.», *Escuela Tecnológica de Alimentos, Universidad de Costa Rica.*, pág. 54, mayo de 2016.
- [51] R. Flowers y C. Ayala, «Food Fortification: Programs.», *In Caballero, B. Encyclopedia of Human Nutrition. Elsevier, Holanda.*, págs. 296-305, 2013.
- [52] H. Polaki y N. Sastry, «Water as a New Vehicle for Nutrition.», *Journal of Nutrition Food Sciences. Department of Food Science and Technology, National Institute Of Food Technology Entrepreneurship and Management (NIFTEM), (An autonomous institution under Ministry of Food Processing Industries, Govt. of India), Plot No. 97, Sector 56, HSIIDC Industrial Estate, Kundli, District- Sonapat, Haryana, India.*, pág. 4, jul. de 2014.
- [53] D. da Silva y *et al*, «Effectiveness of fortification of drinking water with iron and vitamin C in the reduction of anemia and improvement of nutritional status in children attending day-care centers in Belo Horizonte, Brazil.», *Food and Nutrition Bulletin, vol. 32, no. 4 ©. The United Nations University.*, págs. 340-346, 2011.
- [54] J. Das y *et al*, «Zinc Fortification.», *Elsevier*, págs. 213-219, 2018.
- [55] E. Whitney y S. Rolfes, *Understanding Nutrition*. 13va. adsworth, 20 Davis Drive, Belmont, CA 94002-3098 USA. ISBN-13: 978-1-133-58752-1. Wadsworth, Cengage Learning ©., 2013, pág. 976.
- [56] N. Saavedra, «El zinc como aditivo para la industria de alimentos: una alternativa de ingrediente funcional.», *Corporación Universitaria Lasallista. Facultad de Ingeniería Especialización en Alimentación Y Nutrición. Caldas, Antioquia.*, pág. 43, 2013.
- [57] U. N. de Heredia Costa Rica (UNHCR), «Hoja de seguridad Cloruro de Zinc MSDS.», *UEscuela de química. TRANSMEDIC 2280-0999 / 2245-3757 (TM 203 503 Campus Omar Dengo, TM 203 504 Campus Benjamín Nuñez).*, pág. 6, jun. de 2014.
- [58] G. Betageri y K. Veeran, «Water Soluble Polymers of Pharmaceutical Applications.», *Department of Pharmaceutical Sciences, Western University of Health Sciences, Pomona, CA 91766, USA*, págs. 1972-2009, 2011.
- [59] Z. Shariatinia y A. Mazloom, «Chitosan-based hydrogels: Preparation, properties and applications.», *Department of Chemistry, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), P.O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran. International Journal of Biological Macromolecules 115. 0141-8130/© 2018 Elsevier B.V.*, págs. 194-220, Abr de 2018.
- [60] J. Abadía, «Preparación y caracterización mecánica de hidrogeles de quitosano para soporte de células de cartílago», *Escuela Universitaria de Zaragoza, España*, pág. 50, sep. de 2010.

- [61] R. Antonio y *et al*, «Gel de carboximetilcelulosa (CMC) a partir del bagazo de piña», *Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Av. 1o de Mayo S/N, Col. Los Mangos, Ciudad Madero, Tamps. C.P. 89440.*, págs. 202-208, 2014.
- [62] S. Valle y *et al*, «Recubrimiento comestible basado en goma arábica y carboximetilcelulosa para conservar frutas en atmósferas controladas.», *Departamento de ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. Revista Chapingo, serie horticultura 14(3)*, págs. 235-241, mayo de 2008.
- [63] D. Anderson y *et al*, *Estadística para negocios y economía*. 11va. Cengage Learning Editores, S.A. de C.V., una compañía de Cengage Learning, Inc. Corporativo Santa Fe Av. Santa Fe, núm. 505, piso 12 Col. Cruz Manca, Santa Fe C.P. 05349, México, D.F., 2012, págs. 537-542.
- [64] OMS, «Administración de Suplementos de Zinc para Mejorar los Resultados Terapéuticos en Niños Diagnosticados de Infección Respiratoria», 2011.
- [65] L. Iordanskii y *et al*, «Controlled Release of Antiseptic Drug from Poly(3-Hydroxybutyrate)-Based Membranes», *Pharmaceutical Chemistry Journal*, vol. 41, n.º 12, págs. 652-653, 2007.
- [66] J. Escobar y *et al*, «Hidrogeles. Principales Características en el Diseño de Sistemas de Liberación Controlada de Fármacos», *Revista Iberoamericana Polímeros*, vol. 3, n.º 3, págs. 1-25, 2009.
- [67] C. N. P. Hassan, «Structure and Applications of Poly(vinyl alcohol) Hydrogels Produced by Conventional Crosslinking or by Freezing/Thawing Methods», *School of Chemical Engineering, USA*, n.º 153, págs. 37-62, 2000.
- [68] H. Hjorth y J. Karlsen, «Alginate in Drug Delivery Systems», vol. 28, n.º 6, págs. 621-630, 2002.
- [69] H. Valle, «Preparación, caracterización y actividad antibacteriana de compositos hidrogel-nanoplatea basados en copolímeros de 2-acrilamido-2-metilpropanosulfonato de sodio», *Universidad de Concepción, Chile*, pág. 102, 2014.
- [70] M. Nazar y *et al*, «Study of swelling and verapamil release from pH sensitive hydrogels based on chitosan/acrylic acid and pectin/acrylic acid prepared by free radical copolymerization technique: comparative review», *Iranian Polymer Journal*, vol. 20, n.º 2, pág. 147, 2011.
- [71] C. for Disease Control y Prevention, «Ceramic Filtration», *U.S. Department of Health Human Services*, pág. 2, 2012.
- [72] A. Alvarado, «Diseño, construcción y evaluación de un sistema viable de dosificación de zinc, integrado a una unidad filtrante de agua, Módulo: Evaluación de la dosificación, vida útil y absorción fisiológica de Zinc del sistema de fortificación integrado a la unidad filtrante elaborada artesanalmente», *Universidad del Valle de Guatemala*, 2019.
- [73] M. Arias, «Diseño, construcción y evaluación de un sistema viable de dosificación de zinc, integrado a una unidad filtrante de agua, Módulo: Determinación del mejor compuesto de zinc como medio de fortificación de agua integrado a una unidad filtrante en un sistema viable de dosificación de zinc», *Universidad del Valle de Guatemala*, 2019.

- [74] L. Allen y *et al*, *Guías para la Fortificación de Alimentos con Micronutrientes*. 2017, pág. 416.
- [75] NIH, «Datos sobre el zinc», *Department of Health and Human Services, USA*, pág. 3, 2016.
- [76] W. D. Assessment, «International Minilist Dietary Assessment System, 2.0», *University of California, Berkeley*, 2004.
- [77] V. Saez y *et al*, «Liberación Controlada de Fármacos. Hidrogeles», *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 4, n.º 5, págs. 21-91, 2003.
- [78] A. M. L. Arredondo, «Hidrogeles. Potenciales biomateriales para la Liberación Controlada de Medicamentos», vol. 3, n.º 5, págs. 83-94, 2009.
- [79] J. C. F. Fresneda, «Utilización de Hidrogeles como Liberadores de Fármacos», *Universidad Tecnológica de La Habana*, pág. 11, 2016.
- [80] E. Diez, «Desarrollo y Caracterización de Hidrogeles Poliméricos con Aplicación en la Liberación Controlada de Fármacos», *Universidad Complutense de Madrid*, pág. 192, 2002.
- [81] S. Booty, «Ionically Cross-Linked Alginate Hydrogels as Drug Delivery Systems for Analgesics in Broiler Chickens», *Massey University*, pág. 105, 2017.
- [82] T. Marras, «Diseño, preparación y caracterización de hidrogeles de agarosa para liberación controlada de fármacos», *España, Universidad Complutense de Madrid*, pág. 151, 2016.
- [83] A. O. S. Haug, «Strontium-calcium selectivity of alginates», *Nature*, pág. 757, 1967.
- [84] M. Straccia y *et al*, «Alginate Hydrogels Coated with Chitosan for Wound Dressing», *Marine Drugs Journal*, n.º 13, págs. 2890-2908, 2015.
- [85] A. A. y *et al*, «Alginate hydrogels as biomaterials», n.º 6, págs. 623-633, 2006.
- [86] B. Alexander, «Characterisation and Investigation of Alginate Dressings Containing Hydrogen Peroxide for the Promotion of Wound Healing», *Letterkenny Institute of Technology*, pág. 141, 2011.
- [87] T. Rahman y *et al*, «Electrodeposition of zinc-silica composite coatings: challenges in incorporating functionalized silica particles into a zinc matrix», *Science and Technology of Advanced Materials*, pág. 9, 2011.
- [88] A. Vega y P. Vélez, «Validación del método de determinación de cobre y zinc por espectroscopia de absorción atómica de llama en agua cruda y tratada para el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad tecnológica de Pereira.», *Universidad tecnológica de Pereira, facultad de tecnologías, escuela de química, Pereira (Risaralda), Colombia.*, pág. 90, 2011.
- [89] N. Alfaro y *et al*, *Glosario Diplomado Nutrición materno-infantil*. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 2016, pág. 18.
- [90] M. Monroy-Valle y *et al*, «Determinantes dietéticos del consumo de zinc en menores de cinco años con retardo del crecimiento en comunidades mayas de Guatemala.», *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, vol. 34, jul. de 2017. DOI: 10.17843/rpmesp.2017.343.2276.

- [91] W. Brooks y *et al*, «Efficacy of zinc in young infants with acute watery diarrhea.», *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 82, págs. 605-610, sep. de 2005. DOI: 10.1093/ajcn/82.3.605.
- [92] B. Haider y Z. Bhutta, «The effect of therapeutic zinc supplementation among young children with selected infections: A review of the evidence.», *Food and Nutrition Bulletin*, vol. 30, págs. 41-59, mar. de 2009. DOI: 10.1177/15648265090301S104.
- [93] R. Wegmüller y *et al*, «Zinc absorption by young adults from supplemental zinc citrate is comparable with that from zinc gluconate and higher than from zinc oxide.», *The Journal of Nutrition*, vol. 144, págs. 132-136, feb. de 2014. DOI: 10.3945/jn.113.181487.
- [94] J. Dutra y *et al*, «Drinking water as an iron carrier to control anemia in preschool children in a day-care center», *Journal of American College of Nutrition*, vol. 13, Abr de 1994. DOI: 10.1080/07315724.1994.10718395.
- [95] D. Da Silva y *et al*, «Effectiveness of fortification of drinking water with iron and vitamin C in the reduction of anemia and improvement of nutritional status in children attending day-care centers in Belo Horizonte, Brazil.», *Food and Nutrition Bulletin*, vol. 32, págs. 340-346, Dic de 2011. DOI: 10.1177/156482651103200405.
- [96] L. Sian y *et al*, «Influence of a meal and incremental doses of zinc on changes in zinc absorption.», *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 58, págs. 533-536, oct. de 1993. DOI: 10.1093/ajcn/58.4.533.
- [97] C. Tran y *et al*, «Zinc absorption as a function of the dose of zinc sulfate in aqueous solution.», *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 80, págs. 1570-1573, Dic de 2004. DOI: 10.1093/ajcn/80.6.1570.
- [98] D. Bosscher y *et al*, «In vitro availability of calcium, iron, and zinc from First-Age infant formula and human milk.», *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition.*, vol. 32, págs. 54-58, Ene de 2001. DOI: 10.1097/00005176-200101000-00016.
- [99] I. Aragón y *et al*, «Comparison between in vitro and in vivo methods to screen iron bioavailability», *Journal of Food*, vol. 10, pág. 9, mayo de 2012. DOI: 10.1080/19476337.2011.596283.
- [100] V. Galetti, «Combining water treatment and zinc fortification against zinc deficiency and diarrhea in low-income settings.», *ETH Zurich*, pág. 217, 2014.
- [101] N. Sastry y H. Polaki, «Water as a New Vehicle for Nutrition», *Journal of Nutrition and Food Sciences*, vol. 4, pág. 5, Ago de 2014. DOI: 10.4172/2155-9600.1000294.
- [102] N. Potischman y J. Freudenheim, «Biomarkers of nutritional exposure and nutritional status: an overview.», *The Journal of Nutrition*, vol. 133, mar. de 2003. DOI: 10.1093/jn/133.3.873S..
- [103] R. Gibson y *et al*, «Indicators of zinc status at the population level: a review of the evidence», *The British Journal of Nutrition*, vol. 99, jun. de 2008. DOI: 10.1017/S0007114508006818.
- [104] A. Hennigar y *et al*, «Metallothionein and Zinc Transporter Expression in Circulating Human Blood Cells as Biomarkers of Zinc Status: a Systematic Review.», *Advances in Nutrition*, vol. 7, págs. 735-746, jul. de 2016. DOI: 10.3945/an.116.012518.

- [105] C. Fischer Walker y R. Black, «Zinc for the treatment of diarrhoea: effect on diarrhoea morbidity, mortality and incidence of future episodes.», *International Journal of Epidemiology*, vol. 39, págs. 63-69, Abr de 2010. DOI: 10.1093/ije/dyq023.
- [106] D. C. Harris, *Análisis Químico Cuantitativo*, 3ra. Reverté, 2007, pág. 513.
- [107] D. Perry, «Flame Atomic Absorption Spectrometric Determination of Serum Zinc: Collaborative Study.», *Association of Official Analytical Chemists*, vol. 73, págs. 619-621, jul. de 1990.
- [108] A. Taylor, «Measurement of Zn in clinical samples», *Annals of Clinical Biochemistry*, vol. 34, págs. 142-150, 2011.
- [109] J. Shaw y *et al*, «A micromethod for the analysis of zinc in plasma or serum by atomic absorption spectrophotometry ashing graphite furnace.», *Clinica Chimica Acta*, vol. 118, págs. 229-239, feb. de 1982. DOI: 10.1016/0009-8981(82)90010-9.
- [110] P. Subramaniam, *The Stability and Shelf Life of Food*. 2da. WoodHead Publishing, 2016, pág. 575.
- [111] R. Sampieri, *Food Texture and Viscosity, Food Echnology*. 2da. Elsevier, 2002, pág. 289.
- [112] T. Singh y K. Cadwallder, «Ways of measuring shelf-life and spoilage.», *Understanding and Measuring the Shelf-Life of Foods*, págs. 165-183, 2004. DOI: 10.1533/9781855739024.2.165.
- [113] G. Hough, *Sensory Shelf Life Estimation of Food Products*. CRC Press, 2010, pág. 264.
- [114] B. ODell, «Bioavailability of essential and toxic trace elements. Introduction.», *Federation Proceedings*, vol. 42, Abr de 1983.
- [115] K. Argyri y *et al*, «Predicting relative concentrations of bioavailable iron in foods using *in vitro* digestion: New developments», *Food Chemistry.*, vol. 113, págs. 602-607, mar. de 2010. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.07.089.
- [116] F. Cámara y *et al*, «Bioaccessibility of minerals in school meals: Comparison between dialysis and solubility methods», *Food Chemistry*, vol. 92, sep. de 2005. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.08.009.
- [117] D. Anderson D.; Sweeney y T. Williams, *Estadística para negocios y economía*. 11va. Cengage Learning, 2011, pág. 1116.
- [118] James.F, «Visión Viable: Caso de Éxito», <https://mejoramientoenfocado.wordpress.com/>, 20011.
- [119] Velez.C, «Teoría de las Restricciones Caso Dirona», <https://www.cimatic.com.mx/toc-casos-practicos>, 20014.
- [120] «El caso de Blount de USA. Un tiro en el blanco»,
- [121] Rodriguez.F, «Incidencia y Vigencia del Taylorismo y Fordismo en la Producción Industrial Moderna», <file:///C:/Users/freno/Downloads/178-670-1-PB.pdf>, 2011.
- [122] Niebel.W, «Igeniería Industrial Metodos, Estandares y Diseño del Trabajo», *12va Edicion. MCGraw Hill*, pág. 586, 2016.
- [123] Siguenza.V, «Diagrama de Operaciones de Procesos», *Ppt*, pág. 28, 2018.
- [124] Artola.C, «Modelo DBR en procesos productivos - Aplicando la teoria de restricciones», *Artola*, pág. 47, 2004.

- [125] Salazar.B, «Estudio de Tiempos», <https://www.ingenieriaindustrialonline.com>, 2016.
- [126] Martínez.A, «Que es la Automatizacion», <https://www.seas.es/blog/automatizacion/que-es-la-automatizacion/>, 2017.
- [127] Fernández.S, «8 pasos para Implementar una Integracion de Procesos en tu Empresa», <https://www.entrepreneur.com/article/275712>, 2016.
- [128] Lacayo.G, «Factibilidad Operativa», <https://es.slideshare.net/gabriellacayo/factibilidad-operativa-16734375>, 2013.
- [129] Garcia.A, «Estudio de Factibilidad Operativa para la Creacion de un Centro de Actividades Extraescolar para Estudiantes de Primaria y Secundaria en Cantón Guayaquil», <http://atlante.eumed.net/wp-content/uploads/canton.pdf>, 2012.
- [130] ClickBalance, «La importancia del análisis financiero para la toma de decisiones», <https://clickbalance.com>, 26 de junio de 2018.
- [131] A. Sevilla, «Estados financieros», <https://economipedia.com>, s/f.
- [132] P. Roldán, «Análisis financiero», <https://economipedia.com>, s/f.
- [133] Edenred, «Rentabilidad económica y financiera: diferencia entre ROI y ROE», <https://www.edenred.es>, s/f.
- [134] A. Sevilla, «Liquidez», <https://economipedia.com>, s/f.
- [135] F. Circle, «¿Qué es el ratio de liquidez?», <https://www.fundingcircle.com>, s/f.
- [136] Y. Montero, «Relación entre rentabilidad, riesgo y liquidez», <https://www.rankia.cl>, s/f.
- [137] D. Lorenzana, «¿Cuál es la diferencia entre liquidez y solvencia?», <https://www.pymesyautonomos.com>, 2013.
- [138] A. Sevilla, «Ratios de solvencia», <https://economipedia.com>, s/f.
- [139] M. Kiziryan, «Rentabilidad», <https://economipedia.com>, s/f.
- [140] Eco-finanzas, «RENTABILIDAD SOCIAL», <https://www.eco-finanzas.com>, s/f.
- [141] K. Academy, «¿Qué factores modifican la demanda?», <https://es.khanacademy.org>, s/f.
- [142] E. Núñez, «¿Como se debe calcular el precio de venta de un producto?», <https://www.fundapymes.com>, s/f.
- [143] Empredepyme, «Diferencia entre costes y gastos», <https://www.empredepyme.net>, s/f.
- [144] M. Granel, «¿Como calcular el valor presente neto? Ejemplos», <https://www.rankia.cl>, 3 de mayo de 2018.
- [145] G. Experto, «¿Cuáles son los elementos del costo de producción?», <https://www.gestiopolis.com>, 24 de junio de 2002.
- [146] Consulexport, «La matriz de costos DFI», <https://camcop2010.wordpress.com>, 2016.
- [147] J. Llorente, «Tipos de acciones», <https://economipedia.com>, s/f.
- [148] P. Pública, «Plaza Pública», <https://www.plazapublica.com.gt>, s/f.
- [149] A. Sevilla, «Tasa interna de retorno (TIR)», <https://economipedia.com>, s/f.

- [150] J. Duque, «¿Qué es un análisis de sensibilidad?», <https://www.abcfinanzas.com>, 25 de enero de 2018.
- [151] Economipedia, «Análisis de escenarios», <https://economipedia.com>, s/f.
- [152] V. Velayos, «Payback o plazo de recuperación», <https://economipedia.com>, s/f.

14.1. Cálculos

14.1.1. Media geométrica para las pruebas de umbral de cada soluto de zinc

Ecuación: *media geométrica*: $\sqrt[n]{x_1 * x_2 * x_3 * \dots * x_n}$

$$\begin{aligned} \text{media geométrica individual Umbral No. 1 óxido de zinc panelista 1: } & \sqrt[2]{50 * 75} \\ & = 61.237 \text{mg/L} \end{aligned}$$

*Del mismo modo se realizaron cada una de las medias geométricas individuales para realizar de la misma manera la media geométrica grupal de cada umbral de soluto de zinc

14.1.2. Número mínimo de respuestas correctas para la prueba triangular

Ecuación:
$$X = (0.4714)(z)(\sqrt{N}) + \left(\frac{2N+3}{6}\right)$$

$$\text{con 50 panelistas: } X = (0.4714)(1.64)(\sqrt{50}) + \left(\frac{2(50)+3}{6}\right) = 22.63 = 23$$

$$\text{con 100 panelistas: } X = (0.4714)(1.64)(\sqrt{100}) + \left(\frac{2(100)+3}{6}\right) = 41.56 = 42$$

14.1.3. Prueba chi-cuadrado para la prueba de diferencia simple

Respuestas Panelistas		Recibieron		
		Igual	Diferente	Total
Dijeron	Igual	8	13	21
	Diferente	17	12	29
	Total	25	25	50

Ecuación: $\chi^2 = \sum \frac{(o-e)^2}{e}$

Ecuación: $E = \frac{\text{total fila} * \text{total columna}}{\text{total}}$

$$E \text{ para } (8,13) = \frac{21 * 25}{50} = 10.5$$

$$E \text{ para } (17,12) = \frac{29 * 25}{50} = 14.5$$

$$\chi^2 = \frac{(14.5 - 10.5)^2}{10.5} + \frac{(13 - 10.5)^2}{10.5} + \frac{(10.5 - 14.5)^2}{14.5} + \frac{(12 - 14.5)^2}{14.5} = 3.65 < \chi^2_{\text{critico}} (3.84)$$

14.2. Sección tablas

14.2.1. Chi-cuadrado

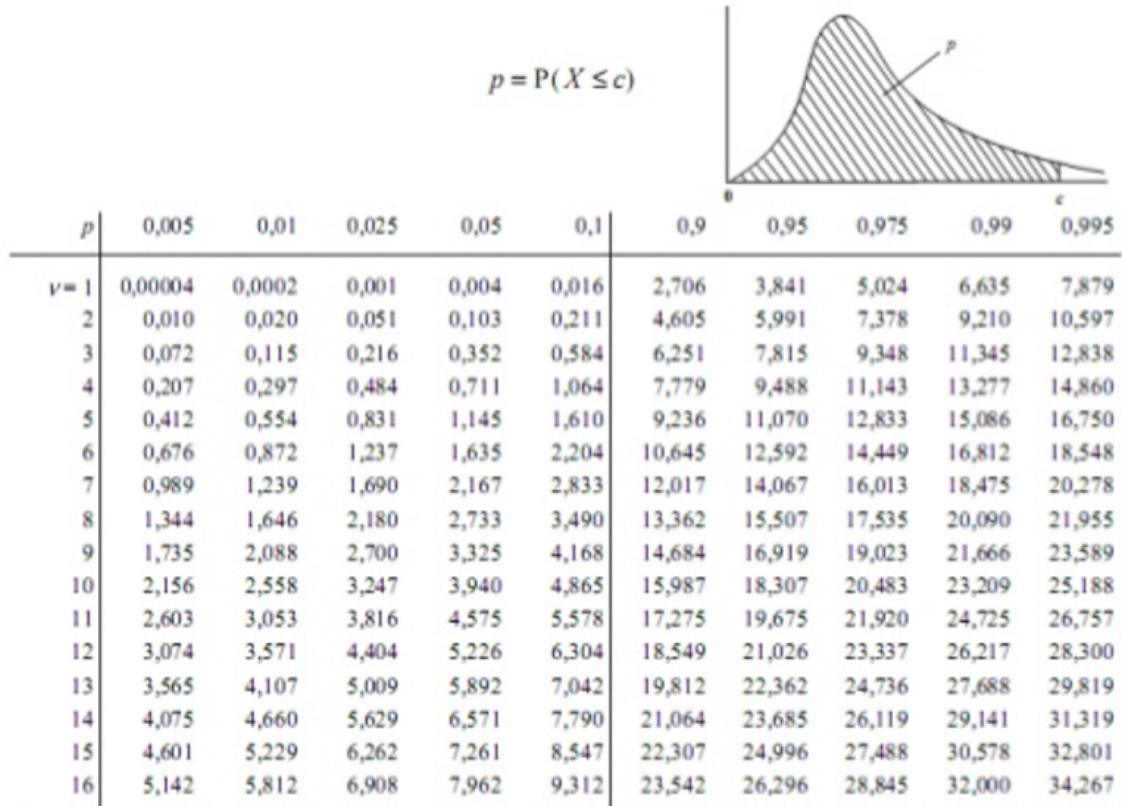


Figura 87: Distribución chi-cuadrado.

*Valor P es: 1-Nivel de significancia

14.2.2. Hoja maestra para la evaluación sensorial de umbral

Muestra	Código de letra	Código numérico	
[0.025mg/L] óxido zinc	A	770	152
agua pura	B	805	937

No. Panelista	Orden de presentación			
1	AAB	770	152	805
2	ABA	770	805	152
3	BAA	805	770	152
4	ABB	770	805	937
5	BAB	805	770	937
6	BBA	805	937	770

7	AAB	770	152	805
8	ABA	770	805	152
9	BAA	805	770	152
10	ABB	770	805	937
11	BAB	805	770	937
12	BBA	805	937	770
13	AAB	770	152	937
14	ABA	770	805	152
15	BAA	937	770	152
16	ABB	770	805	937
17	BAB	805	770	937
18	BBA	805	937	770
19	AAB	770	152	805
20	ABA	770	805	152
21	BAA	805	770	152
22	ABB	770	805	937
23	BAB	805	770	937
24	BBA	805	937	770
25	AAB	770	152	805
26	ABA	770	805	152
27	BAA	805	770	152
28	ABB	770	805	937
29	BAB	805	770	937
30	BBA	805	937	770
31	AAB	770	152	937
32	ABA	770	805	152
33	BAA	937	770	152
34	ABB	770	805	937
35	BAB	805	770	937
36	BBA	805	937	770
37	AAB	770	152	805
38	ABA	770	805	152
39	BAA	805	770	152
40	ABB	770	805	937
41	BAB	937	770	805
42	BBA	805	937	770
43	AAB	770	152	805
44	ABA	770	805	152
45	BAA	805	770	152
46	ABB	770	805	937
47	BAB	805	770	937
48	BBA	805	937	770
49	AAB	770	152	805
50	ABA	770	805	152

Muestra	Código de letra	Código numérico	
[0.05mg/L] óxido zinc	A	390	470
agua pura	B	811	904

No. Panelista	Orden de presentación			
1	BAA	811	390	470
2	ABB	390	811	904
3	BAB	811	390	904
4	BBA	811	904	390
5	AAB	390	470	811
6	ABA	390	811	470
7	BAA	811	390	470
8	ABB	390	811	904
9	BAB	811	390	904
10	BBA	811	904	390
11	AAB	390	470	811
12	ABA	390	811	470
13	BAA	811	390	470
14	ABB	390	811	904
15	BAB	811	390	904
16	BBA	811	904	390
17	AAB	390	470	811
18	ABA	390	811	470
19	BAA	811	390	470
20	ABB	390	811	904
21	BAB	811	390	904
22	BBA	811	904	390
23	AAB	390	470	811
24	ABA	390	811	470
25	BAA	811	390	470
26	ABB	390	811	904
27	BAB	811	390	904
28	BBA	811	904	390
29	AAB	390	470	811
30	ABA	390	811	470
31	BAA	811	390	470
32	ABB	390	811	904
33	BAB	811	390	904
34	BBA	811	904	390
35	AAB	390	470	811
36	ABA	390	811	470
37	BAA	811	390	470
38	ABB	390	811	904
39	BAB	811	390	904
40	BBA	811	904	390
41	AAB	390	470	811

42	ABA	390	811	470
43	BAA	811	390	470
44	ABB	390	811	904
45	BAB	811	390	904
46	BBA	811	904	390
47	AAB	390	470	811
48	ABA	390	811	470
49	BAA	811	390	470
50	ABB	390	811	904

Muestra	Código de letra	Código numérico	
[0.075mg/L] óxido zinc	A	311	458
agua pura	B	184	420

No. Panelista	Orden de presentación			
1	BAB	184	311	420
2	BBA	184	420	311
3	AAB	311	458	184
4	ABA	311	184	458
5	BAA	184	311	458
6	ABB	311	184	420
7	BAB	184	311	420
8	BBA	184	420	311
9	AAB	311	458	184
10	ABA	311	184	458
11	BAA	184	311	458
12	ABB	311	184	420
13	BAB	184	311	420
14	BBA	184	420	311
15	AAB	311	458	184
16	ABA	311	184	458
17	BAA	184	311	458
18	ABB	311	184	420
19	BAB	184	311	420
20	BBA	184	420	311
21	AAB	311	458	184
22	ABA	311	184	458
23	BAA	184	311	458
24	ABB	311	184	420
25	BAB	184	311	420
26	BBA	184	420	311
27	AAB	311	458	184
28	ABA	311	184	458
29	BAA	184	311	458

30	ABB	311	184	420
31	BAB	184	311	420
32	BBA	184	420	311
33	AAB	311	458	184
34	ABA	311	184	458
35	BAA	184	311	458
36	ABB	311	184	420
37	BAB	184	311	420
38	BBA	184	420	311
39	AAB	311	458	184
40	ABA	311	184	458
41	BAA	184	311	458
42	ABB	311	184	420
43	BAB	184	311	420
44	BBA	184	420	311
45	AAB	311	458	184
46	ABA	311	184	458
47	BAA	184	311	458
48	ABB	311	184	420
49	BAB	184	311	420
50	BBA	184	420	311

Muestra	Código de letra	Código numérico	
[0.10mg/L] óxido zinc	A	260	344
agua pura	B	595	136

No. Panelista	Orden de presentación			
1	ABA	260	595	344
2	BAA	595	260	344
3	ABB	260	595	136
4	BAB	595	260	136
5	BBA	595	136	260
6	AAB	260	344	595
7	ABA	260	595	344
8	BAA	595	260	344
9	ABB	260	595	136
10	BAB	595	260	136
11	BBA	595	136	260
12	AAB	260	344	595
13	ABA	260	595	344
14	BAA	595	260	344
15	ABB	260	595	136
16	BAB	595	260	136
17	BBA	595	136	260

18	AAB	260	344	595
19	ABA	260	595	344
20	BAA	595	260	344
21	ABB	260	595	136
22	BAB	595	260	136
23	BBA	595	136	260
24	AAB	260	344	595
25	ABA	260	595	344
26	BAA	595	260	344
27	ABB	260	595	136
28	BAB	595	260	136
29	BBA	595	136	260
30	AAB	260	344	595
31	ABA	260	595	344
32	BAA	595	260	344
33	ABB	260	595	136
34	BAB	595	260	136
35	BBA	595	136	260
36	AAB	260	344	595
37	ABA	260	595	344
38	BAA	595	260	344
39	ABB	260	595	136
40	BAB	595	260	136
41	BBA	595	136	260
42	AAB	260	344	595
43	ABA	260	595	344
44	BAA	595	260	344
45	ABB	260	595	136
46	BAB	595	260	136
47	BBA	595	136	260
48	AAB	260	344	595
49	ABA	260	595	344
50	BAA	595	260	344

Muestra	Código de letra	Código numérico	
[0.125mg/L] óxido zinc	A	933	518
agua pura	B	369	219

. Panelista	Orden de presentación			
1	ABB	933	369	219
2	BAB	369	933	219
3	BBA	369	219	933
4	AAB	933	518	369
5	ABA	933	369	518

6	BAA	369	933	518
7	ABB	933	369	219
8	BAB	369	933	219
9	BBA	369	219	933
10	AAB	933	518	369
11	ABA	933	369	518
12	BAA	369	933	518
13	ABB	933	369	219
14	BAB	369	933	219
15	BBA	369	219	933
16	AAB	933	518	369
17	ABA	933	369	518
18	BAA	369	933	518
19	ABB	933	369	219
20	BAB	369	933	219
21	BBA	369	219	933
22	AAB	933	518	369
23	ABA	933	369	518
24	BAA	369	933	518
25	ABB	933	369	219
26	BAB	369	933	219
27	BBA	369	219	933
28	AAB	933	518	369
29	ABA	933	369	518
30	BAA	369	933	518
31	ABB	933	369	219
32	BAB	369	933	219
33	BBA	369	219	933
34	AAB	933	518	369
35	ABA	933	369	518
36	BAA	369	933	518
37	ABB	933	369	219
38	BAB	369	933	219
39	BBA	369	219	933
40	AAB	933	518	369
41	ABA	933	369	518
42	BAA	369	933	518
43	ABB	933	369	219
44	BAB	369	933	219
45	BBA	369	219	933
46	AAB	933	518	369
47	ABA	933	369	518
48	BAA	369	933	518
49	ABB	933	369	219
50	BAB	369	933	219

Muestra	Código de letra	Código numérico	
[0.15mg/L] óxido zinc	A	522	171
agua pura	B	688	996

No. Panelista	Orden de presentación			
1	BBA	688	996	522
2	AAB	522	171	688
3	ABA	522	688	171
4	BAA	688	522	171
5	ABB	522	688	996
6	BAB	688	522	996
7	BBA	688	996	522
8	AAB	522	171	688
9	ABA	522	688	171
10	BAA	688	522	171
11	ABB	522	688	996
12	BAB	688	522	996
13	BBA	688	996	522
14	AAB	522	171	688
15	ABA	522	688	171
16	BAA	688	522	171
17	ABB	522	688	996
18	BAB	688	522	996
19	BBA	688	996	522
20	AAB	522	171	688
21	ABA	522	688	171
22	BAA	688	522	171
23	ABB	522	688	996
24	BAB	688	522	996
25	BBA	688	996	522
26	AAB	522	171	688
27	ABA	522	688	171
28	BAA	688	522	171
29	ABB	522	688	996
30	BAB	688	522	996
31	BBA	688	996	522
32	AAB	522	171	688
33	ABA	522	688	171
34	BAA	688	522	171
35	ABB	522	688	996
36	BAB	688	522	996
37	BBA	688	996	522
38	AAB	522	171	688
39	ABA	522	688	171
40	BAA	688	522	171
41	ABB	522	688	996

42	BAB	688	522	996
43	BBA	688	996	522
44	AAB	522	171	688
45	ABA	522	688	171
46	BAA	688	522	171
47	ABB	522	688	996
48	BAB	688	522	996
49	BBA	688	996	522
50	AAB	522	171	688

Cuadro 77: Hoja maestra para la evaluación del primer umbral de óxido de zinc.

14.2.3. Hoja maestra para la evaluación sensorial prueba de triángulo

Muestras	Código Letra	Código numérico	
Agua fortificada	A	129	336
Agua original del filtro	B	765	092

Panelista	Orden de presentación			
1	AAB	129	336	765
2	ABA	129	765	336
3	BAA	765	129	336
4	BBA	765	92	129
5	BAB	765	336	92
6	ABB	336	765	92
7	AAB	129	336	765
8	ABA	129	765	336
9	BAA	765	129	336
10	BBA	765	92	129
11	BAB	765	336	92
12	ABB	336	765	92
13	AAB	129	336	765
14	ABA	129	765	336
15	BAA	765	129	336
16	BBA	765	92	129
17	BAB	765	336	92
18	ABB	336	765	92
19	AAB	129	336	765
20	ABA	129	765	336
21	BAA	765	129	336
22	BBA	765	92	129
23	BAB	765	336	92
24	ABB	336	765	92
25	AAB	129	336	765

26	ABA	129	765	336
27	BAA	765	129	336
28	BBA	765	92	129
29	BAB	765	336	92
30	ABB	336	765	92
31	AAB	129	336	765
32	ABA	129	765	336
33	BAA	765	129	336
34	BBA	765	92	129
35	BAB	765	336	92
36	ABB	336	765	92
37	AAB	129	336	765
38	ABA	129	765	336
39	BAA	765	129	336
40	BBA	765	92	129
41	BAB	765	336	92
42	ABB	336	765	92
43	AAB	129	336	765
44	ABA	129	765	336
45	BAA	765	129	336
46	BBA	765	92	129
47	BAB	765	336	92
48	ABB	336	765	92
49	AAB	129	336	765
50	ABA	129	765	336

Cuadro 79: Hoja maestra para las pruebas triangulares.

14.2.4. Hoja maestra para la evaluación sensorial prueba de diferencia simple

Muestras	Código	Descripción muestra
A	312/593	Agua de filtro ya existente
B	747/634	Agua de filtro fortificado

Panelista	Orden de presentación		
	Patrón	Muestras	
1	A-A	312	593
2	A-B	312	747
3	B-A	634	593
4	B-B	747	634
5	A-A	312	593
6	A-B	312	747
7	B-A	634	593

8	B-B	747	634
9	A-A	312	593
10	A-B	312	747
11	B-A	634	593
12	B-B	747	634
13	A-A	312	593
14	A-B	312	747
15	B-A	634	593
16	B-B	747	634
17	A-A	312	593
18	A-B	312	747
19	B-A	634	593
20	B-B	747	634
21	A-A	312	593
22	A-B	312	747
23	B-A	634	593
24	B-B	747	634
25	A-A	312	593
26	A-B	312	747
27	B-A	634	593
28	B-B	747	634
29	A-A	312	593
30	A-B	312	747
31	B-A	634	593
32	B-B	747	634
33	A-A	312	593
34	A-B	312	747
35	B-A	634	593
36	B-B	747	634
37	A-A	312	593
38	A-B	312	747
39	B-A	634	593
40	B-B	747	634
41	A-A	312	593
42	A-B	312	747
43	B-A	634	593
44	B-B	747	634
45	A-A	312	593
46	A-B	312	747
47	B-A	634	593
48	B-B	747	634
49	A-A	312	593
50	A-B	312	747

Cuadro 81: Hoja maestra para las pruebas de diferencia simple.

14.3. Cuestionarios

14.3.1. Umbral

Panelista No. 1 cabina No. 1

CUESTIONARIO

Pregunta No. 1

Por favor indique su género

Hombre _____

Mujer _____

Pregunta No. 2

Indique su rango de edad

	<18 años
	18-29 años
	30-49 años
	> 50 años

POR FAVOR LEVANTE LA VENTANA PARA RECIBIR SUS MUESTRAS

Pruebe las muestras en el orden presentado y de izquierda a derecha. Revise que el código de sus muestras sea igual a los códigos de su hoja de respuestas.

Encierre en un círculo la muestra en cada nivel que es **LA MÁS DIFERENTE. DEBE ELEGIR UNA.**

Limpie su paladar con agua y galletas entre cada muestra y espere 30 segundos entre filas.

Nivel 1	770	152	805
Nivel 2	811	390	470
Nivel 3	184	311	420
Nivel 4	260	595	344
Nivel 5	933	369	219
Nivel 6	688	996	522

Comentarios: _____

Figura 88: Cuestionario para la prueba sensorial de umbral.

14.3.2. Triángulo

CUESTIONARIO

Panelista No. 1 cabina No. 1

Pregunta No. 1

Por favor indique su género

Hombre _____

Mujer _____

Pregunta No. 2

Indique su rango de edad

	<18 años
	18-29 años
	30-49 años
	> 50 años

TOME UN BOCADO DE GALLETA Y UN SORBO DE AGUA PARA ENJUAGARSE LA BOCA.

Recuerde hacer esto antes de probar cada muestra.

INSTRUCCIONES

Dos de las muestras son idénticas y una es diferente. **ENCUENTRE LA MUESTRA DIFERENTE.** Por favor, examine de izquierda a derecha y coloque un círculo alrededor del código de la muestra que es **DIFERENTE**.

129	336	765
------------	------------	------------

Comentarios

Figura 89: Cuestionario para la prueba sensorial triangular.

14.3.3. Diferencia simple

CUESTIONARIO

Panelista No. 1 cabina No. 1

Pregunta No. 1

Por favor indique su género

Hombre _____ Mujer _____

Pregunta No. 2

Indique su rango de edad

	<18 años
	18-29 años
	30-49 años
	> 50 años

TOME UN BOCADO DE GALLETA Y UN SORBO DE AGUA PARA ENJUAGARSE LA BOCA. **Recuerde hacer esto antes de probar cada muestra.**

INSTRUCCIONES

Se le proporcionan dos muestras. Pruebe las muestras de izquierda a derecha y **DETERMINE SI LAS MUESTRAS SON IGUALES O DIFERENTES.**

Marque su respuesta

	Los productos son IGUALES
	Los productos son DIFERENTES

Comentarios

Figura 90: Cuestionario para la prueba sensorial de diferencia simple.

14.4. Figuras

14.4.1. Cabina de prueba temporal portátil

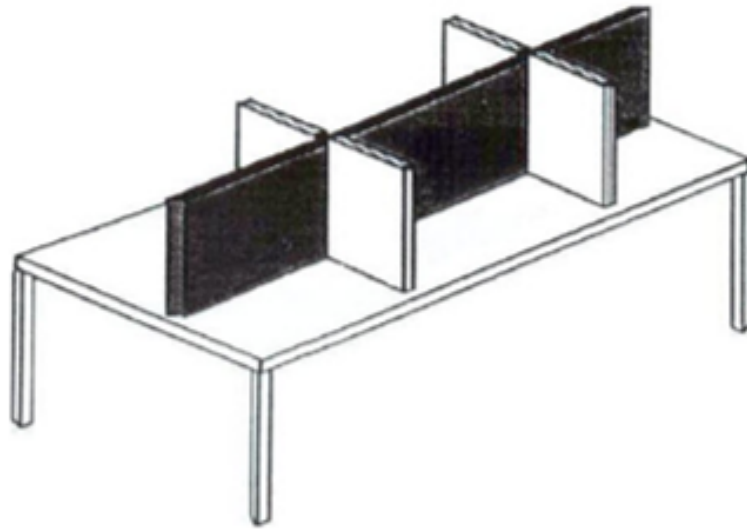


Figura 91: Cabina de prueba temporal portátil estándar.

14.4.2. Propaganda para el reclutamiento de panelistas



QUIERES COMIDA GRATIS?

**VEN HOY AL
PANEL
SENSORIAL**

Ve al edificio E en el primer piso



**TE ESPERAMOS HOY DE 10:00 AM A
4:00PM**

FOOOD!!!

14.5. Datos originales

14.5.1. Umbrales de los solutos de zinc

*Los números con color son las concentraciones que cada panelista acertó.

No. Panelista	25mg/L	50mg/L	75mg/L	100mg/L	125mg/L	150mg/L
1	805	811	311	595	933	522
2	805	390	311	595	933	688
3	805	390	184	260	933	688
4	770	390	184	260	369	688
5	770	811	184	260	369	522
6	770	811	311	595	369	522
7	805	811	311	595	933	522
8	805	390	311	595	933	688
9	805	390	184	260	933	688
10	770	390	184	260	369	688
11	770	811	184	260	369	522
12	770	811	311	595	369	522
13	805	811	311	595	933	522
14	805	390	311	595	933	688
15	805	390	184	260	933	688
16	770	390	184	260	369	688
17	770	811	184	260	369	522
18	770	811	311	595	369	522
19	805	811	311	595	933	522
20	805	390	311	595	933	688
21	805	390	184	260	933	688
22	770	390	184	260	369	688
23	770	811	184	260	369	522
24	770	811	311	595	369	522
25	805	811	311	595	933	522
26	805	390	311	595	933	688
27	805	390	184	260	933	688
28	770	390	184	260	369	688
29	770	811	184	260	369	522
30	770	811	311	595	369	522
31	805	811	311	595	933	522
32	805	390	311	595	933	688
33	805	390	184	260	933	688
34	770	390	184	260	369	688
35	770	811	184	260	369	522
36	770	811	311	595	369	522
37	805	811	311	595	933	522
38	805	390	311	595	933	688
39	805	390	184	260	933	688

40	770	390	184	260	369	688
41	770	811	184	260	369	522
42	770	811	311	595	369	522
43	805	811	311	595	933	522
44	805	390	311	595	933	688
45	805	390	184	260	933	688
46	770	390	184	260	369	688
47	770	811	184	260	369	522
48	770	811	311	595	369	522
49	805	811	311	595	933	522
50	805	390	311	595	933	688

Cuadro 82: Respuestas de los panelistas en el umbral No.1 óxido de zinc.

*Los números con color son las concentraciones que cada panelista acertó.

No. Panelista	15mg/L	30mg/L	45mg/L	60mg/L	75mg/L	90mg/L
1	171	306	109	871	781	994
2	171	439	109	871	781	123
3	171	439	681	102	781	123
4	414	439	681	102	999	123
5	414	306	681	102	999	994
6	414	306	109	871	999	994
7	171	306	109	871	781	994
8	171	439	109	871	781	123
9	171	439	681	102	781	123
10	414	439	681	102	999	123
11	414	306	681	102	999	994
12	414	306	109	871	999	994
13	171	306	109	871	781	994
14	171	439	109	871	781	123
15	171	439	681	102	781	123
16	414	439	681	102	999	123
17	414	306	681	102	999	994
18	414	306	109	871	999	994
19	171	306	109	871	781	994
20	171	439	109	871	781	123
21	171	439	681	102	781	123
22	414	439	681	102	999	123
23	414	306	681	102	999	994
24	414	306	109	871	999	994
25	171	306	109	871	781	994
26	171	439	109	871	781	123
27	171	439	681	102	781	123
28	414	439	681	102	999	123
29	414	306	681	102	999	994

30	414	306	109	871	999	994
31	171	306	109	871	781	994
32	171	439	109	871	781	123
33	171	439	681	102	781	123
34	414	439	681	102	999	123
35	414	306	681	102	999	994
36	414	306	109	871	999	994
37	171	306	109	871	781	994
38	171	439	109	871	781	123
39	171	439	681	102	781	123
40	414	439	681	102	999	123
41	414	306	681	102	999	994
42	414	306	109	871	999	994
43	171	306	109	871	781	994
44	171	439	109	871	781	123
45	171	439	681	102	781	123
46	414	439	681	102	999	123
47	414	306	681	102	999	994
48	414	306	109	871	999	994
49	171	306	109	871	781	994
50	171	439	109	871	781	123

Cuadro 83: Respuestas de los panelistas en el umbral No.2 óxido de zinc.

*Los números con color son las concentraciones que cada panelista acertó.

No. Panelista	25mg/L	50mg/L	75mg/L	100mg/L	125mg/L	150mg/L
1	186	393	469	536	333	217
2	186	420	469	536	333	589
3	186	420	525	337	333	589
4	950	420	525	337	221	589
5	950	393	525	337	221	217
6	950	393	469	536	221	217
7	186	393	469	536	333	217
8	186	420	469	536	333	589
9	186	420	525	337	333	589
10	950	420	525	337	221	589
11	950	393	525	337	221	217
12	950	393	469	536	221	217
13	186	393	469	536	333	217
14	186	420	469	536	333	589
15	186	420	525	337	333	589
16	950	420	525	337	221	589
17	950	393	525	337	221	217
18	950	393	469	536	221	217
19	186	393	469	536	333	217

20	186	420	469	536	333	589
21	186	420	525	337	333	589
22	950	420	525	337	221	589
23	950	393	525	337	221	217
24	950	393	469	536	221	217
25	186	393	469	536	333	217
26	186	420	469	536	333	589
27	186	420	525	337	333	589
28	950	420	525	337	221	589
29	950	393	525	337	221	217
30	950	393	469	536	221	217
31	186	393	469	536	333	217
32	186	420	469	536	333	589
33	186	420	525	337	333	589
34	950	420	525	337	221	589
35	950	393	525	337	221	217
36	950	393	469	536	221	217
37	186	393	469	536	333	217
38	186	420	469	536	333	589
39	186	420	525	337	333	589
40	950	420	525	337	221	589
41	950	393	525	337	221	217
42	950	393	469	536	221	217
43	186	393	469	536	333	217
44	186	420	469	536	333	589
45	186	420	525	337	333	589
46	950	420	525	337	221	589
47	950	393	525	337	221	217
48	950	393	469	536	221	217
49	186	393	469	536	333	217
50	186	420	469	536	333	589

Cuadro 84: Respuestas de los panelistas en el umbral No.1 cloruro de zinc.

*Los números con color son las concentraciones que cada panelista acertó.

No. Panelista	15mg/L	30mg/L	45mg/L	60mg/L	75mg/L	90mg/L
1	451	879	908	953	323	238
2	451	656	908	953	323	983
3	451	656	137	238	323	983
4	841	656	137	238	844	983
5	841	879	137	238	844	238
6	841	879	908	953	844	238
7	451	879	908	953	323	238
8	451	656	908	953	323	983
9	451	656	137	238	323	983

10	841	656	137	238	844	983
11	841	879	137	238	844	238
12	841	879	908	953	844	238
13	451	879	908	953	323	238
14	451	656	908	953	323	983
15	451	656	137	238	323	983
16	841	656	137	238	844	983
17	841	879	137	238	844	238
18	841	879	908	953	844	238
19	451	879	908	953	323	238
20	451	656	908	953	323	983
21	451	656	137	238	323	983
22	841	656	137	238	844	983
23	841	879	137	238	844	238
24	841	879	908	953	844	238
25	451	879	908	953	323	238
26	451	656	908	953	323	983
27	451	656	137	238	323	983
28	841	656	137	238	844	983
29	841	879	137	238	844	238
30	841	879	908	953	844	238
31	451	879	908	953	323	238
32	451	656	908	953	323	983
33	451	656	137	238	323	983
34	841	656	137	238	844	983
35	841	879	137	238	844	238
36	841	879	908	953	844	238
37	451	879	908	953	323	238
38	451	656	908	953	323	983
39	451	656	137	238	323	983
40	841	656	137	238	844	983
41	841	879	137	238	844	238
42	841	879	908	953	844	238
43	451	879	908	953	323	238
44	451	656	908	953	323	983
45	451	656	137	238	323	983
46	841	656	137	238	844	983
47	841	879	137	238	844	238
48	841	879	908	953	844	238
49	451	879	908	953	323	238
50	451	656	908	953	323	983

Cuadro 85: Respuestas de los panelistas en el umbral No.2 cloruro de zinc.

*Los números con color son las concentraciones que cada panelista acertó.

No. Panelista	25mg/L	50mg/L	75mg/L	100mg/L	125mg/L	150mg/L
1	310	122	631	900	547	447
2	310	917	631	900	547	988
3	310	917	936	685	547	988
4	587	917	936	685	679	988
5	587	122	936	685	679	447
6	587	122	631	900	679	447
7	310	122	631	900	547	447
8	310	917	631	900	547	988
9	310	917	936	685	547	988
10	587	917	936	685	679	988
11	587	122	936	685	679	447
12	587	122	631	900	679	447
13	310	122	631	900	547	447
14	310	917	631	900	547	988
15	310	917	936	685	547	988
16	587	917	936	685	679	988
17	587	122	936	685	679	447
18	587	122	631	900	679	447
19	310	122	631	900	547	447
20	310	917	631	900	547	988
21	310	917	936	685	547	988
22	587	917	936	685	679	988
23	587	122	936	685	679	447
24	587	122	631	900	679	447
25	310	122	631	900	547	447
26	310	917	631	900	547	988
27	310	917	936	685	547	988
28	587	917	936	685	679	988
29	587	122	936	685	679	447
30	587	122	631	900	679	447
31	310	122	631	900	547	447
32	310	917	631	900	547	988
33	310	917	936	685	547	988
34	587	917	936	685	679	988
35	587	122	936	685	679	447
36	587	122	631	900	679	447
37	310	122	631	900	547	447
38	310	917	631	900	547	988
39	310	917	936	685	547	988
40	587	917	936	685	679	988
41	587	122	936	685	679	447
42	587	122	631	900	679	447
43	310	122	631	900	547	447

44	310	917	631	900	547	988
45	310	917	936	685	547	988
46	587	917	936	685	679	988
47	587	122	936	685	679	447
48	587	122	631	900	679	447
49	310	122	631	900	547	447
50	310	917	631	900	547	988

Cuadro 86: Respuestas de los panelistas en el umbral No.1 sulfato de zinc.

*Los números con color son las concentraciones que cada panelista acertó.

No. Panelista	15mg/L	30mg/L	45mg/L	60mg/L	75mg/L	90mg/L
1	710	731	498	404	813	579
2	710	560	498	404	813	789
3	710	560	938	711	813	789
4	583	560	938	711	951	789
5	583	731	938	711	951	579
6	583	731	498	404	951	579
7	710	731	498	404	813	579
8	710	560	498	404	813	789
9	710	560	938	711	813	789
10	583	560	938	711	951	789
11	583	731	938	711	951	579
12	583	731	498	404	951	579
13	710	731	498	404	813	579
14	710	560	498	404	813	789
15	710	560	938	711	813	789
16	583	560	938	711	951	789
17	583	731	938	711	951	579
18	583	731	498	404	951	579
19	710	731	498	404	813	579
20	710	560	498	404	813	789
21	710	560	938	711	813	789
22	583	560	938	711	951	789
23	583	731	938	711	951	579
24	583	731	498	404	951	579
25	710	731	498	404	813	579
26	710	560	498	404	813	789
27	710	560	938	711	813	789
28	583	560	938	711	951	789
29	583	731	938	711	951	579
30	583	731	498	404	951	579
31	710	731	498	404	813	579
32	710	560	498	404	813	789
33	710	560	938	711	813	789

34	583	560	938	711	951	789
35	583	731	938	711	951	579
36	583	731	498	404	951	579
37	710	731	498	404	813	579
38	710	560	498	404	813	789
39	710	560	938	711	813	789
40	583	560	938	711	951	789
41	583	731	938	711	951	579
42	583	731	498	404	951	579
43	710	731	498	404	813	579
44	710	560	498	404	813	789
45	710	560	938	711	813	789
46	583	560	938	711	951	789
47	583	731	938	711	951	579
48	583	731	498	404	951	579
49	710	731	498	404	813	579
50	710	560	498	404	813	789

Cuadro 87: Respuestas de los panelistas en el umbral No.2 sulfato de zinc.

14.5.2. Pruebas triangulares

Sistema de hidrogel polimérico de liberación controlada

No. Panelista	Correcto	Incorrecto
1		x
2	x	
3		x
4		x
5	x	
6	x	
7		x
8	x	
9		x
10	x	
11		x
12		x
13	x	
14	x	
15	x	
16	x	
17	x	
18	x	
19		x

20		x
21		x
22	x	
23	x	
24	x	
25		x
26		x
27	x	
28	x	
29	x	
30		x
31		x
32		x
33	x	
34	x	
35	x	
36		x
37	x	
38	x	
39		x
40		x
41		x
42		x
43		x
44	x	
45		x
46	x	
47	x	
48		x
49		x
50	x	
TOTAL	26	24

Cuadro 88: Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba triangular del sistema de hidrogel polimérico de liberación controlada.

Cobertura de zinc coloidal

No Panelista	Correcto	Incorrecto
1	x	
2		x
3	x	
4	x	
5	x	
6	x	
7		x
8	x	
9	x	
10	x	
11	x	
12	x	
13		x
14	x	
15	x	
16	x	
17		x
18	x	
19	x	
20	x	
21	x	
22	x	
23	x	
24		x
25	x	
26	x	
27	x	
28	x	
29	x	
30	x	
31	x	
32		x
33	x	
34	x	
35	x	
36	x	
37	x	
38	x	
39	x	
40	x	
41		x
42		x
43	x	

44		x
45	x	
46	x	
47		x
48		x
49	x	
50	x	
TOTAL	39	11

Cuadro 89: Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba triangular de la cobertura de zinc coloidal.

Cobertura de zinc coloidal modificada

No. Panelista	Correcto	Incorrecto
1		x
2		x
3		x
4	x	
5	x	
6		x
7		x
8		x
9		x
10		x
11	x	
12	x	
13	x	
14		x
15		x
16	x	
17		x
18	x	
19	x	
20	x	
21	x	
22	x	
23		x
24		x
25		x
26		x
27		x
28	x	
29	x	
30	x	

31	x	
32	x	
33	x	
34	x	
35	x	
36		x
37		x
38		x
39		x
40		x
41	x	
42		x
43		x
44		x
45		x
46	x	
47		x
48	x	
49		x
50		x
TOTAL	22	28

Cuadro 90: Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba triangular de la cobertura de zinc coloidal modificada.

Membrana de quitosano

No. Panelista	Correcto	Incorrecto
1		x
2		x
3	x	
4	x	
5	x	
6		x
7		x
8	x	
9		x
10	x	
11		x
12		x
13		x
14	x	
15	x	
16		x
17		x

18		x
19	x	
20	x	
21		x
22		x
23	x	
24	x	
25		x
26		x
27		x
28		x
29		x
30		x
31	x	
32		x
33		x
34	x	
35	x	
36	x	
37	x	
38		x
39	x	
40	x	
41		x
42		x
43		x
44	x	
45	x	
46	x	
47		x
48		x
49	x	
50		x
TOTAL	22	28

Cuadro 91: Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba triangular de la membrana de quitosano.

Primera matriz electa: membrana de quitosano

No. Panelista	Correcto	Incorrecto
1		x
2		x
3		x
4		x

5		x
6	x	
7		x
8		x
9	x	
10		x
11	x	
12	x	
13	x	
14		x
15	x	
16		x
17		x
18		x
19	x	
20	x	
21		x
22		x
23		x
24		x
25		x
26		x
27		x
28		x
29		x
30		x
31		x
32		x
33		x
34		x
35	x	
36		x
37		x
38		x
39	x	
40		x
41	x	
42	x	
43		x
44	x	
45		x
46	x	
47		x
48	x	
49	x	

50		x
51	x	
52	x	
53		x
54		x
55	x	
56	x	
57	x	
58		x
59		x
60		x
61		x
62		x
63		x
64		x
65	x	
66		x
67		x
68		x
69		x
70		x
71	x	
72		x
73		x
74		x
75	x	
76		x
77	x	
78		x
79	x	
80		x
81	x	
82	x	
83	x	
84	x	
85	x	
86		x
87	x	
88	x	
89	x	
90	x	
91	x	
92	x	
93		x
94	x	

95		x
96		x
97		x
98	x	
99	x	
100		x
TOTAL	40	60

Cuadro 92: Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba triangular de la primera matriz electa: membrana de quitosano.

Segunda matriz electa: cobertura de zinc coloidal modificada

No. Panelista	Correcto	Incorrecto
1	x	
2	x	
3	x	
4		x
5		x
6	x	
7	x	
8	x	
9		x
10	x	
11		x
12		x
13		x
14		x
15	x	
16	x	
17		x
18		x
19	x	
20	x	
21	x	
22	x	
23	x	
24		x
25	x	
26		x
27	x	
28		x
29		x
30	x	
31	x	

32	x	
33	x	
34		x
35	x	
36		x
37	x	
38	x	
39	x	
40	x	
41		x
42	x	
43	x	
44	x	
45		x
46		x
47	x	
48	x	
49	x	
50	x	
51	x	
52		x
53		x
54		x
55	x	
56		x
57		x
58		x
59	x	
60		x
61	x	
62	x	
63		x
64	x	
65	x	
66	x	
67	x	
68		x
69		x
70	x	
71		x
72	x	
73	x	
74	x	
75	x	
76		x

77		x
78		x
79	x	
80	x	
81		x
82	x	
83		x
84		x
85	x	
86	x	
87	x	
88		x
89	x	
90	x	
91		x
92	x	
93		x
94	x	
95		x
96	x	
97		x
98		x
99		x
100		x
TOTAL	57	43

Cuadro 93: Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba triangular de la segunda matriz electa: cobertura de zinc coloidal modificada.

14.5.3. Prueba de diferencia simple

No. Panelista	Correcto	Incorrecto
1		x
2		x
3	x	
4	x	
5		x
6	x	
7	x	
8	x	
9		x
10		x
11	x	
12		x
13	x	

14	x	
15	x	
16		x
17		x
18	x	
19	x	
20		x
21		x
22	x	
23		x
24	x	
25		x
26		x
27	x	
28		x
29		x
30	x	
31		x
32	x	
33		x
34		x
35		x
36		x
37	x	
38		x
39		x
40		x
41		x
42		x
43		x
44		x
45	x	
46	x	
47		x
48		x
49	x	
50		x
TOTAL	20	30

Cuadro 94: Respuestas correctas e incorrectas de los panelistas en la prueba de diferencia simple elaborada con la membrana de quitosano en el Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, zona 13 en la Ciudad de Guatemala.

14.6. Imágenes

14.6.1. Universidad del Valle de Guatemala

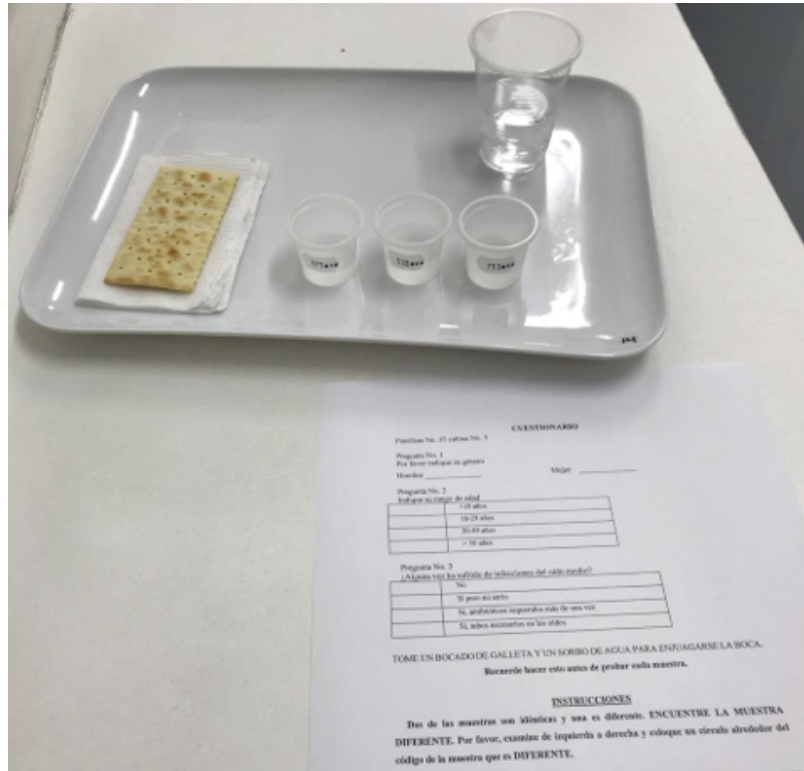


Figura 92: Presentación de las muestras para el panel sensorial elaborado en la Universidad del Valle de Guatemala en la prueba sensorial triangular.





Figura 93: Panel sensorial en la Universidad del Valle de Guatemala.

14.6.2. Centro Educativo San Judas Tadeo

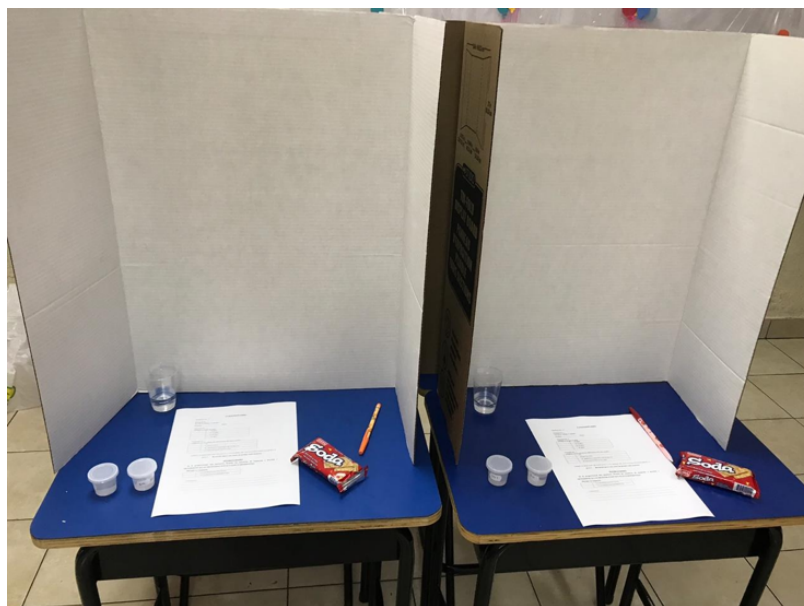
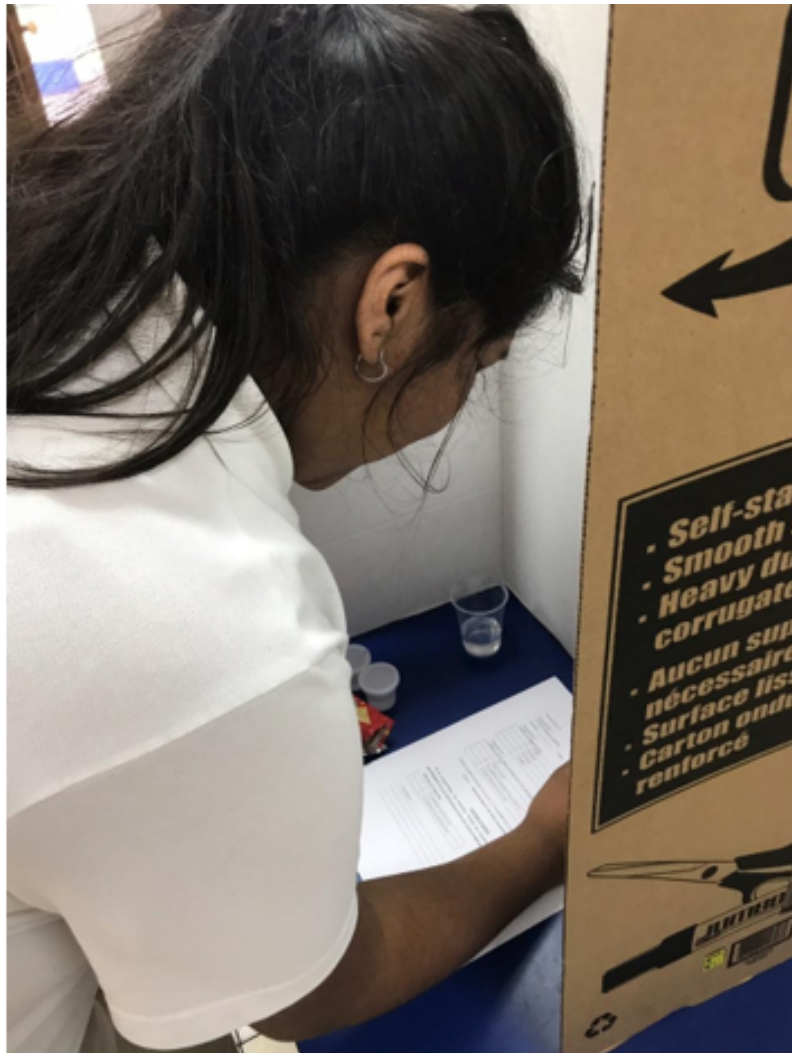


Figura 94: Cabina de prueba portátil utilizada en el Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, zona 13.





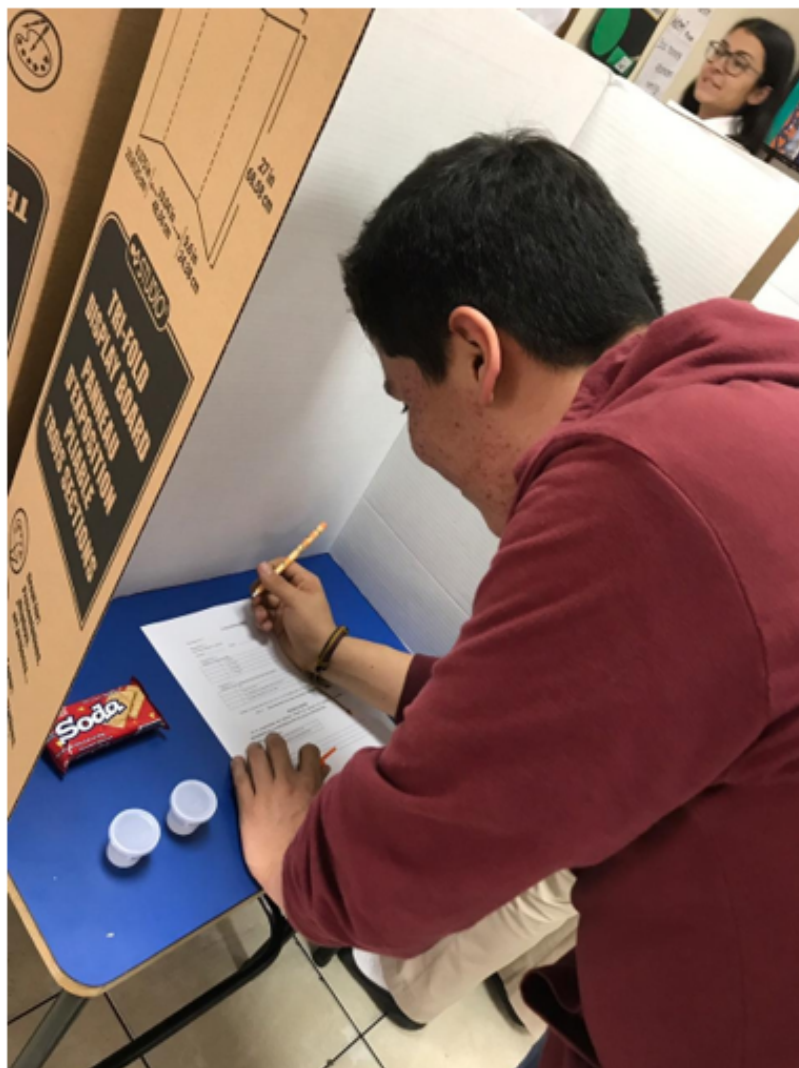


Figura 95: Panel Sensorial con la cabina de prueba portátil en el Centro Educativo San Judas Tadeo, Santa Fe, zona 13.

14.7. Imágenes del proceso de elaboración de membrana

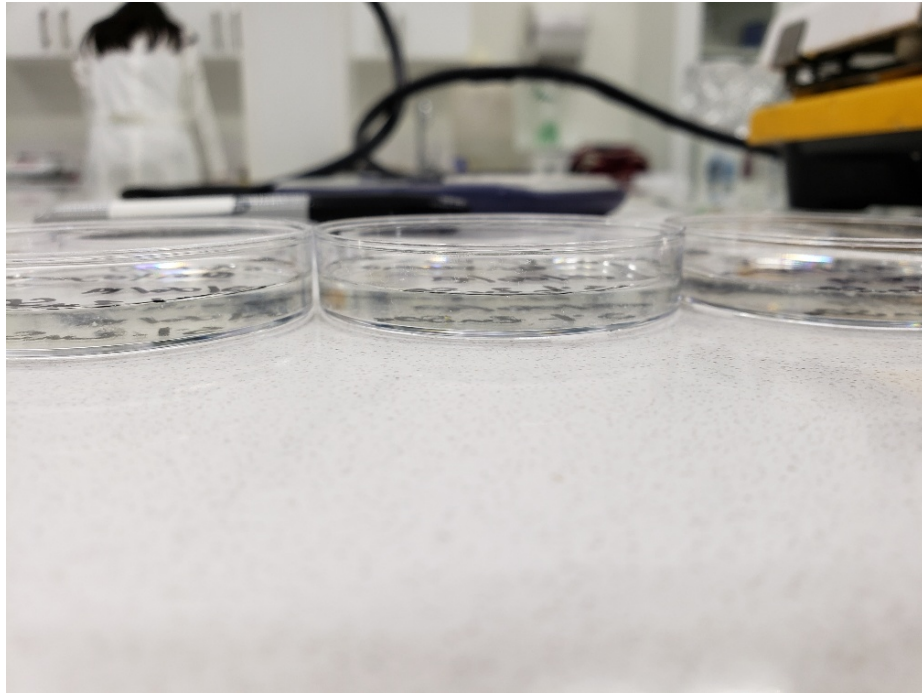


Figura 96: Primera prueba fallida de membrana. Nunca llegó a gelificar.

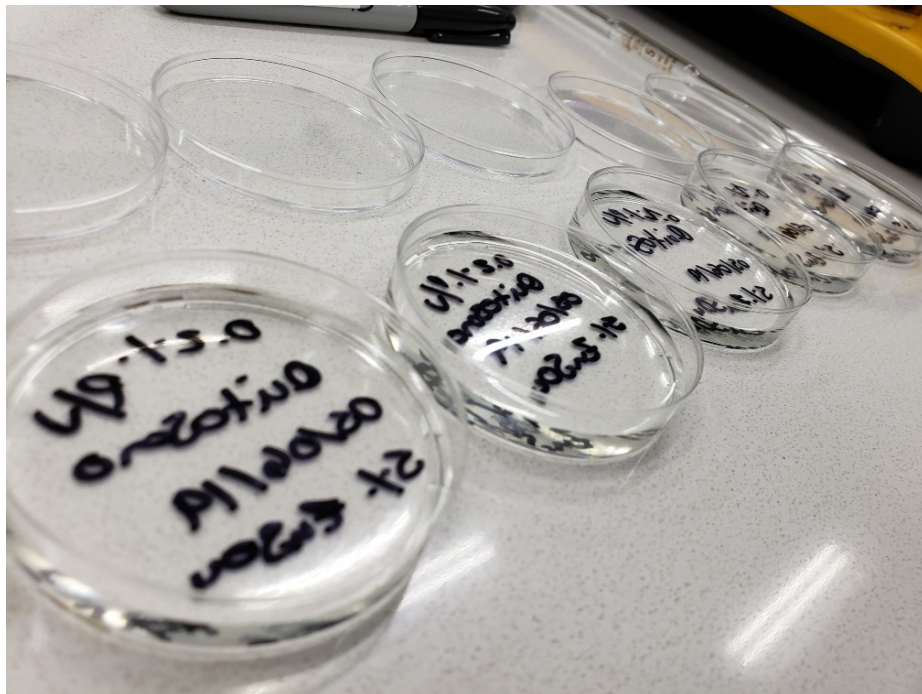


Figura 97: Segunda prueba fallida de membrana. Nunca llegó a gelificar.

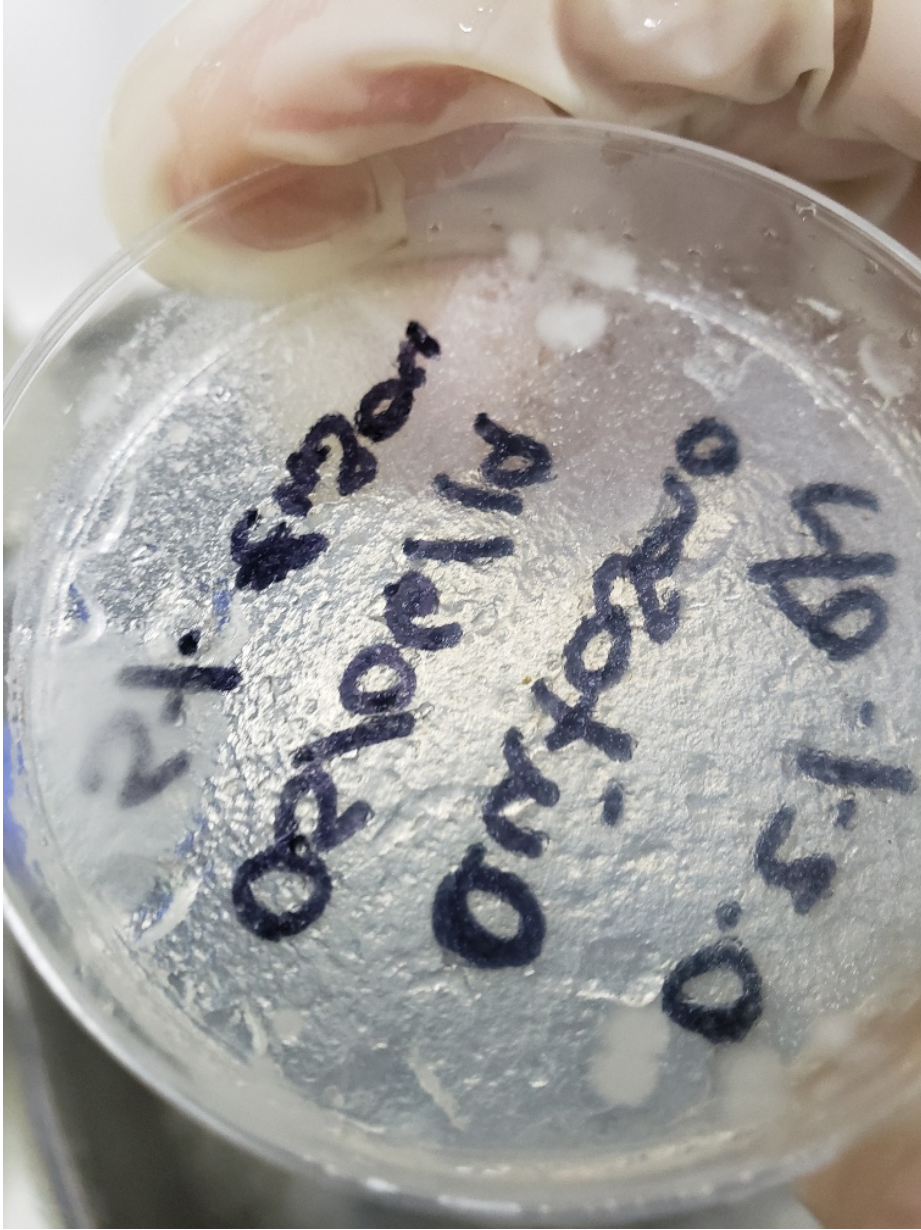


Figura 98: Tercera prueba fallida de membrana. Gelificación leve, pero imposible de manipular.



Figura 99: Cuarta prueba fallida de membrana. Gelificación más uniforme, pero aún imposible de manipular.

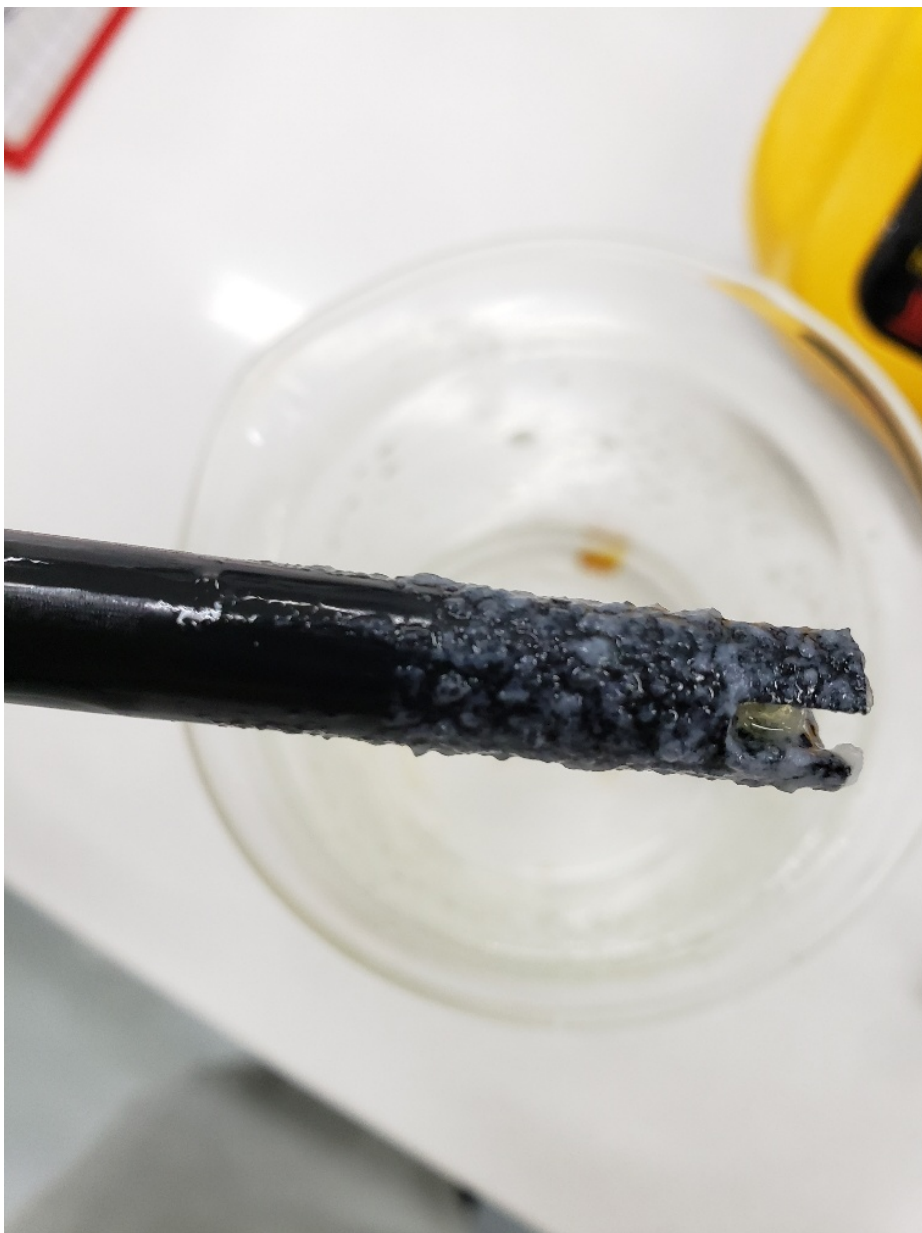


Figura 100: Quinta prueba fallida de membrana. Rompimiento de cadenas de quitosano, debido a la adición de NaOH con agitación.

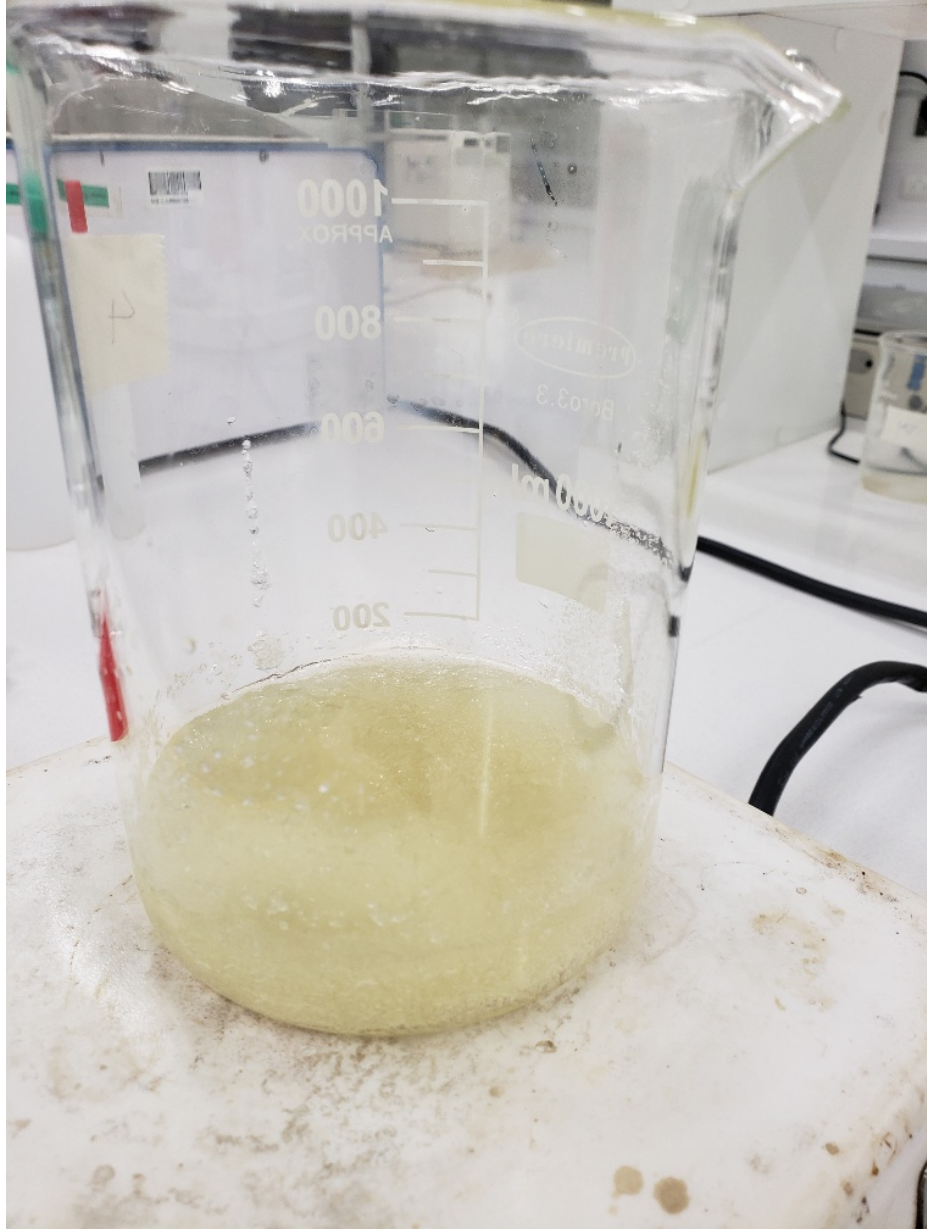


Figura 101: Quitosano disuelto en ácido cítrico 0.5M.

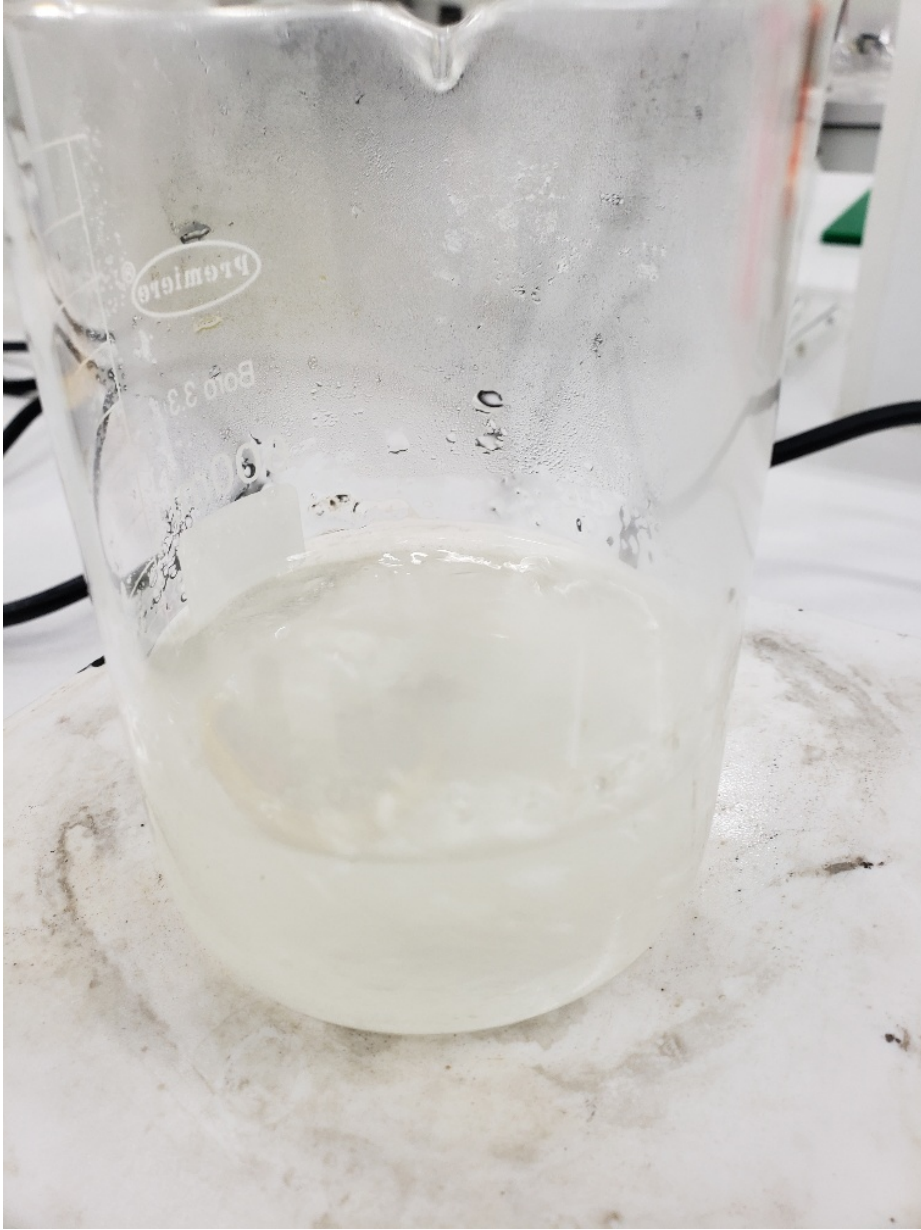


Figura 102: Carboximetilcelulosa disuelta en agua.



Figura 103: Estándares de zinc para la elaboración de la curva de calibración.

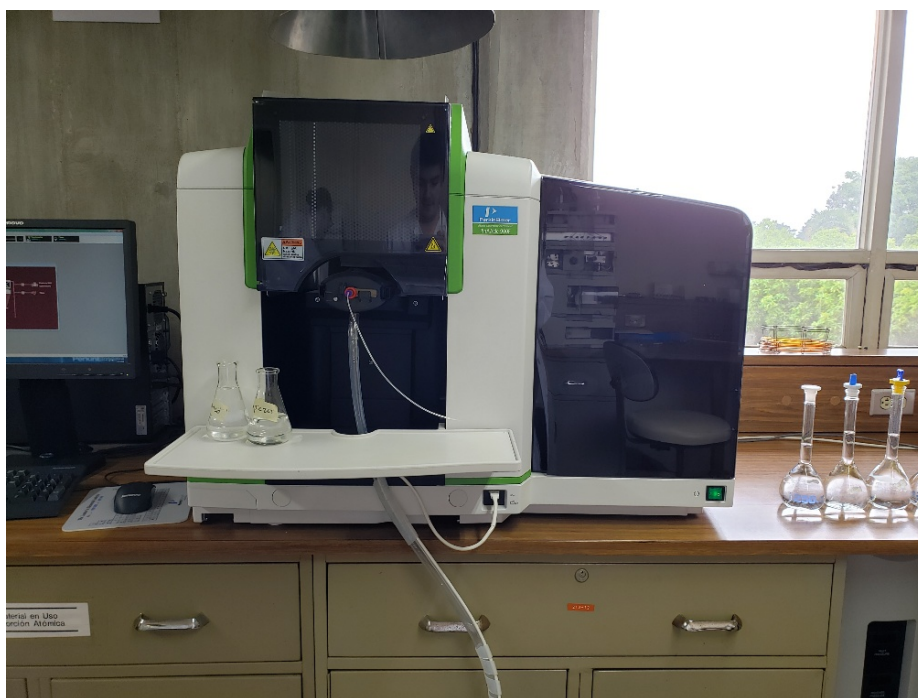


Figura 104: Espectrofotómetro de absorción atómica.

Se utilizó el equipo bajo las siguientes condiciones:

- Flujo de gas: 1.8 L/min

- Altura del quemador: 6mm
- Tipo de llama Aire- C_2H_2
- Corriente de lámpara de zinc: 10 mA
- Longitud de onda de zinc: 213.9 nm



Figura 105: Filtración de muestras antes de ser evaluadas por absorción atómica

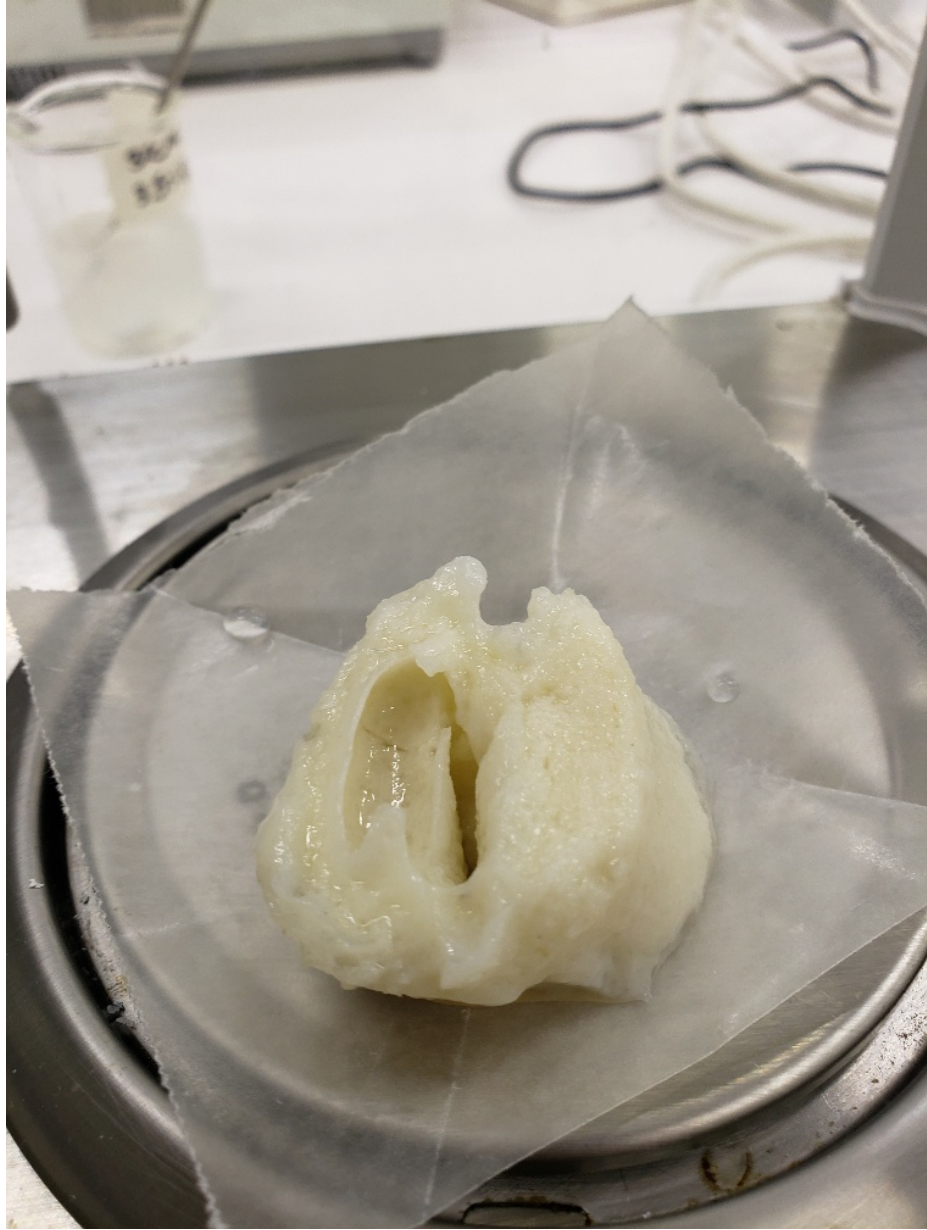
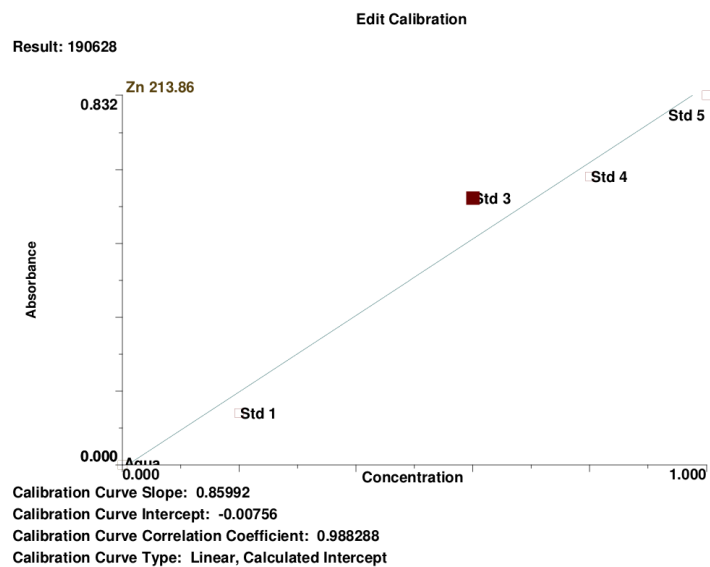


Figura 106: Membrana final.

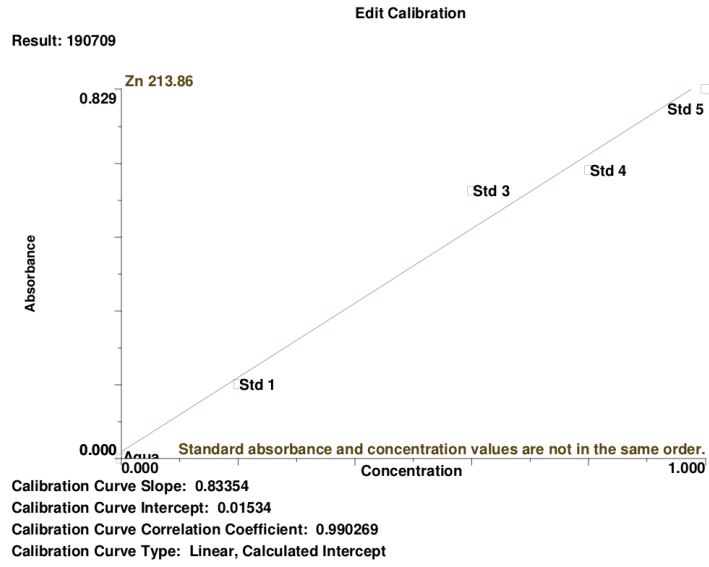
14.8. Curvas de calibración de análisis de absorción atómica



Std #	Standard ID	Entered Conc.	Calculated Conc.	Action
Blank	Agua	0	0.009	Include
1	Std 1	0.200	0.145	Include
2	Std 2	0.400	0.615	Ignore
3	Std 3	0.600	0.707	Include
4	Std 4	0.800	0.764	Include
5	Std 5	1.000	0.976	Include

6/28/2019 9:16:50 AM

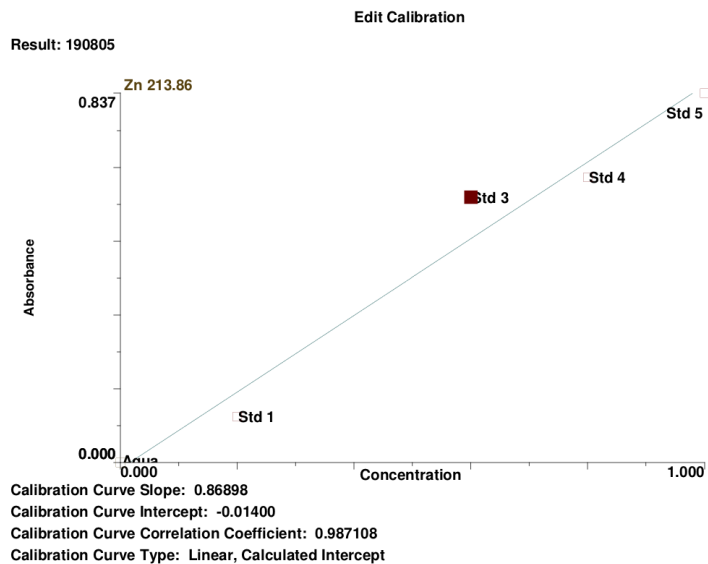
Figura 107: Curva de calibración de zinc para diferencia de membranas día 4.



Std #	Standard ID	Entered Conc.	Calculated Conc.	Action
Blank	Agua	0	-0.018	Include
1	Std 1	0.200	0.182	Include
2	Std 2	0.400	0.630	Ignore
3	Std 3	0.600	0.703	Include
4	Std 4	0.800	0.758	Include
5	Std 5	1.000	0.976	Include

7/9/2019 11:52:40 AM

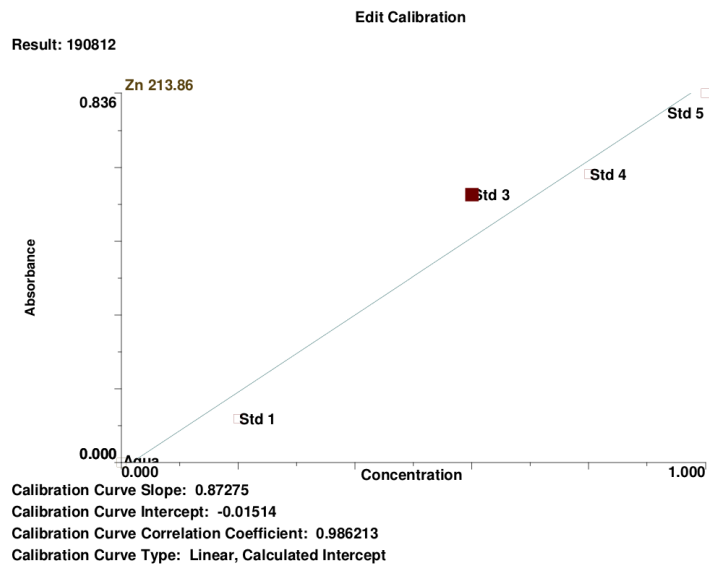
Figura 108: Curva de calibración de zinc para diferencia de membranas día 8 y 12.



Std #	Standard ID	Entered Conc.	Calculated Conc.	Action
Blank	Agua	0	0.016	Include
1	Std 1	0.200	0.136	Include
2	Std 2	0.400	0.617	Ignore
3	Std 3	0.600	0.708	Include
4	Std 4	0.800	0.760	Include
5	Std 5	1.000	0.980	Include

8/5/2019 11:27:58 AM

Figura 109: Curva de calibración de zinc para diferencia de compuestos químicos día 4.



Std #	Standard ID	Entered Conc.	Calculated Conc.	Action
Blank	Agua	0	0.017	Include
1	Std 1	0.200	0.131	Include
2	Std 2	0.400	0.619	Ignore
3	Std 3	0.600	0.712	Include
4	Std 4	0.800	0.765	Include
5	Std 5	1.000	0.975	Include

8/12/2019 11:41:21 AM

Figura 110: Curva de calibración de zinc para diferencia de compuestos químicos día 8 y 12.

14.9. Datos originales

Datos originales			
Muestra/día	4	8	12
CMC 3.5 1	0.027125	0.024625	0.0267
CMC 3.5 2	0.02715	0.017125	0.02785
Q 3.2 1	0.027375	0.02615	0.02735
Q 3.2 2	0.027575	0.02545	0.02725
Q 3.5	0.02835	0.027875	0.0286

Cuadro 95: Resultados de liberación de zinc para diferencia de membranas día 4, 8 y 12 por medio de absorción atómica .

Datos originales			
Muestra/día	4	8	12
$ZnSO_4$ 4%	0.00195	0.0047	0.0017
$ZnCl_2$ 4%	0.001425	0.00285	0.001575
ZnO 4%	0.0276	0.02725	0.022975
$ZnSO_4$ 6%	1.237	1.04	0.3575
$ZnSO_4$ 8%	1.745	1.595	0.555

Cuadro 96: Resultados de liberación de zinc para distintos compuestos químicos de zinc día 4, 8 y 12 por medio de absorción atómica .

14.10. Análisis de varianza con Excel

Pasos para la elaboración del análisis de varianza con Excel:

- Inicie la aplicación de StatPlus
- Haga clic en la ficha Estadística en la cinta.
- Haga clic en Análisis de varianza (ANOVA).
- Elija ANOVA de dos vías.
- Haga clic en OK.
- Cuando el cuadro de diálogo ANOVA de dos vías aparezca:
 - Ingrese datos en el cuadro Input Range.
 - Seleccione Labels.
 - Elija Output Range.
 - Haga clic en OK.

14.11. Pruebas realizadas



Figura 111: Comportamiento sulfato de zinc con solución de plata coloidal

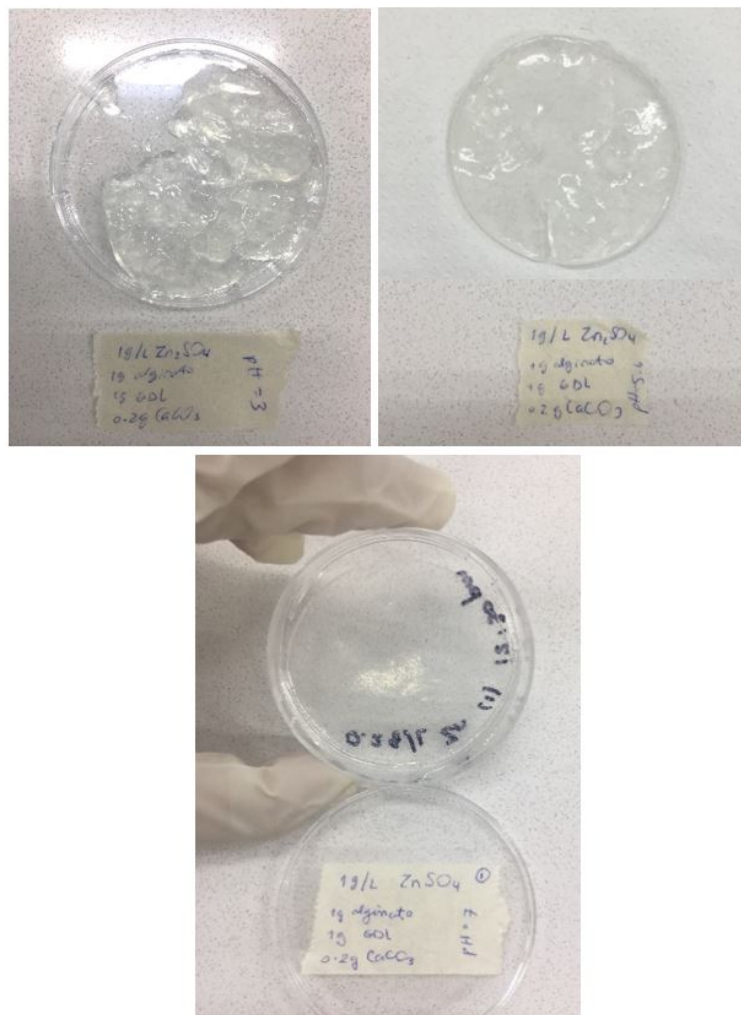


Figura 112: Apariencia hidrogel con pH de 3, 5.6 y 7

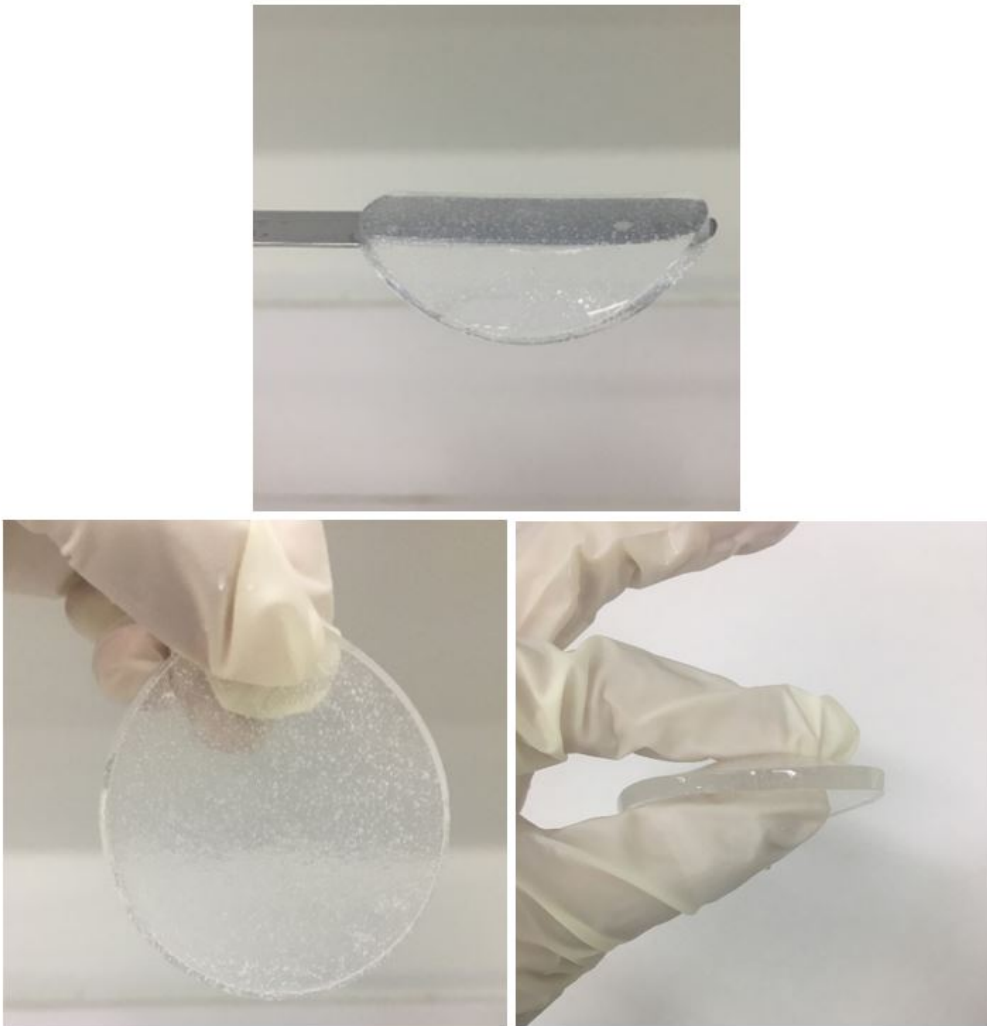


Figura 113: Hidrogel luego de gelificar

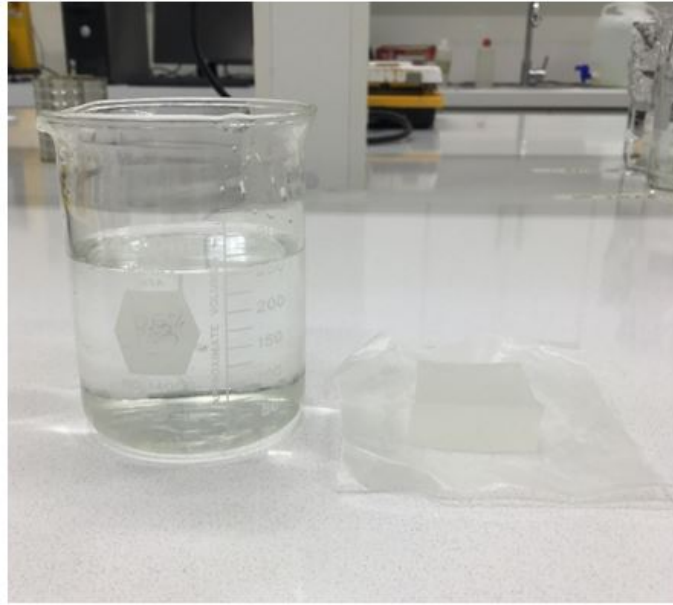


Figura 114: Hidrogel sumergido en agua destilada para análisis inicial de liberación de zinc

14.12. Matrices en unidad filtrante

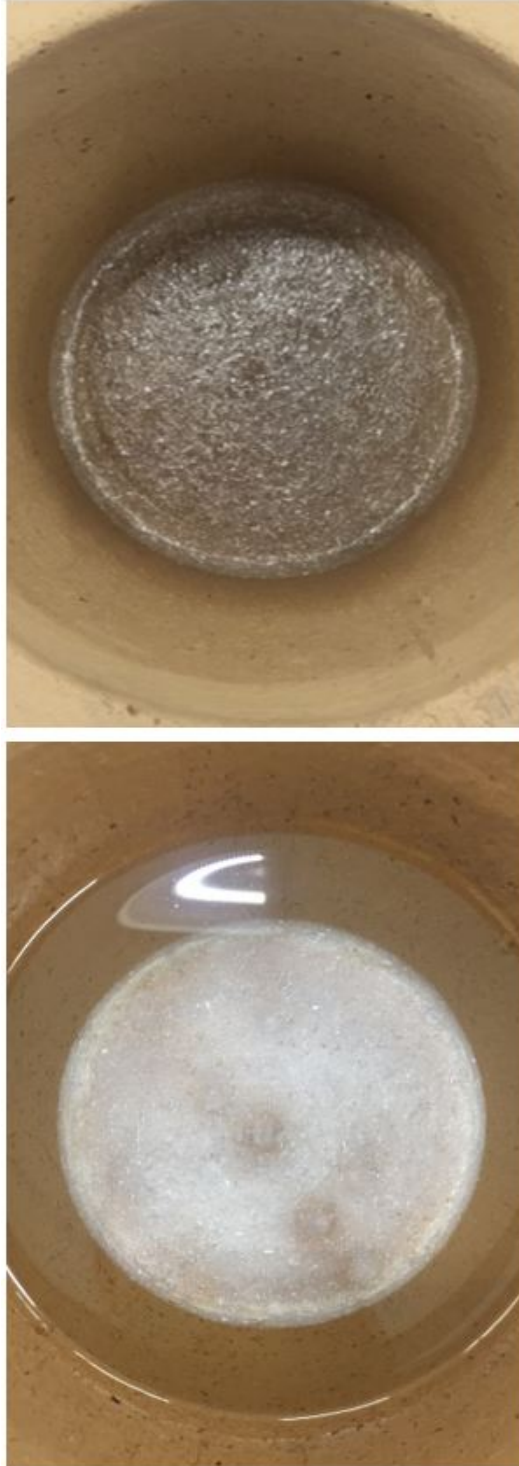


Figura 115: Apariencia hidrogel en unidad filtrante previo y posterior a su hidratación

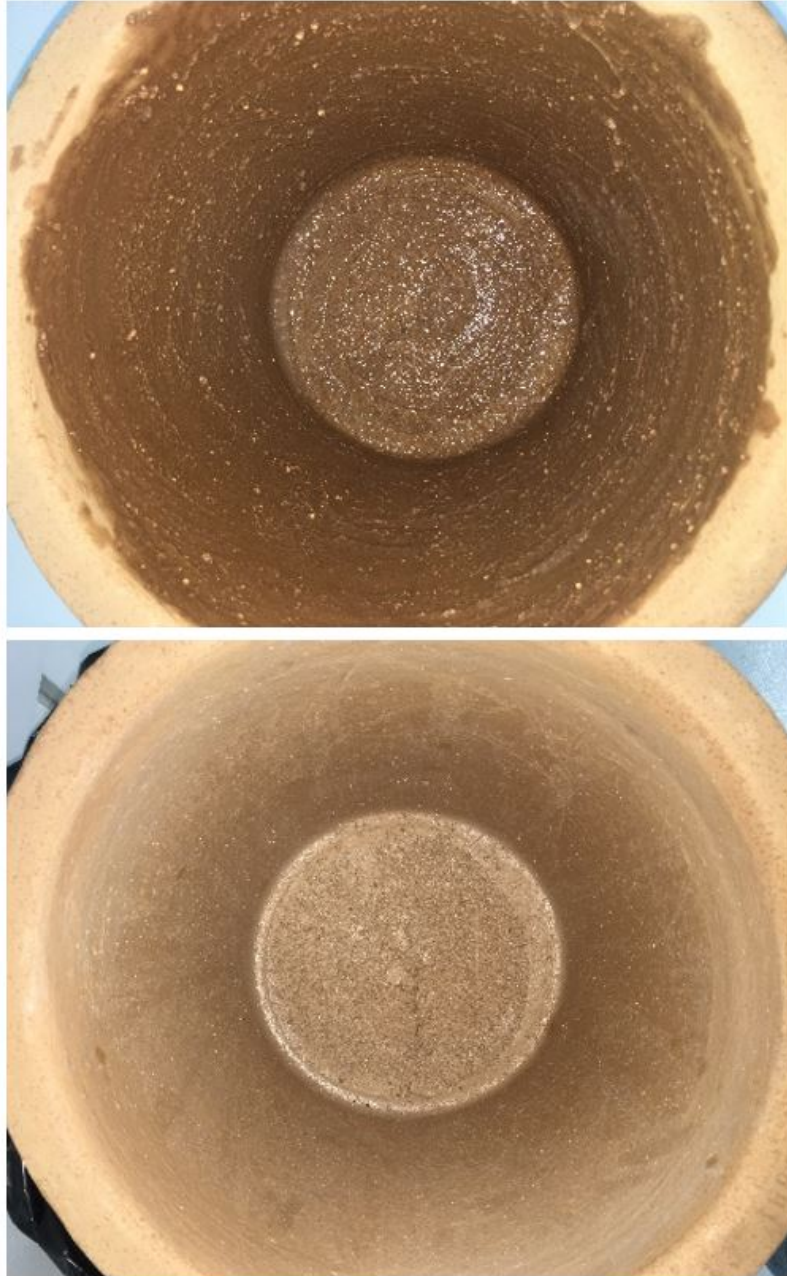


Figura 116: Distribución hidrogel en unidad filtrante previo y posterior a su absorción



Figura 117: Proceso de cubrimiento de unidad filtrante

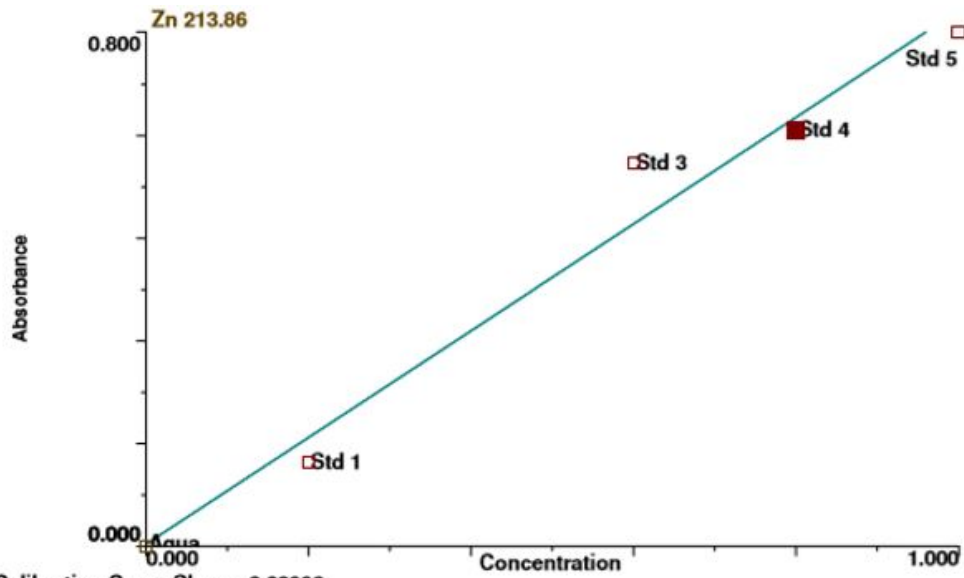


Figura 118: Recomendación área de recubrimiento para implementación industrial

14.13. Mediciones



Figura 119: Equipo de espectroscopía de absorción atómica utilizado

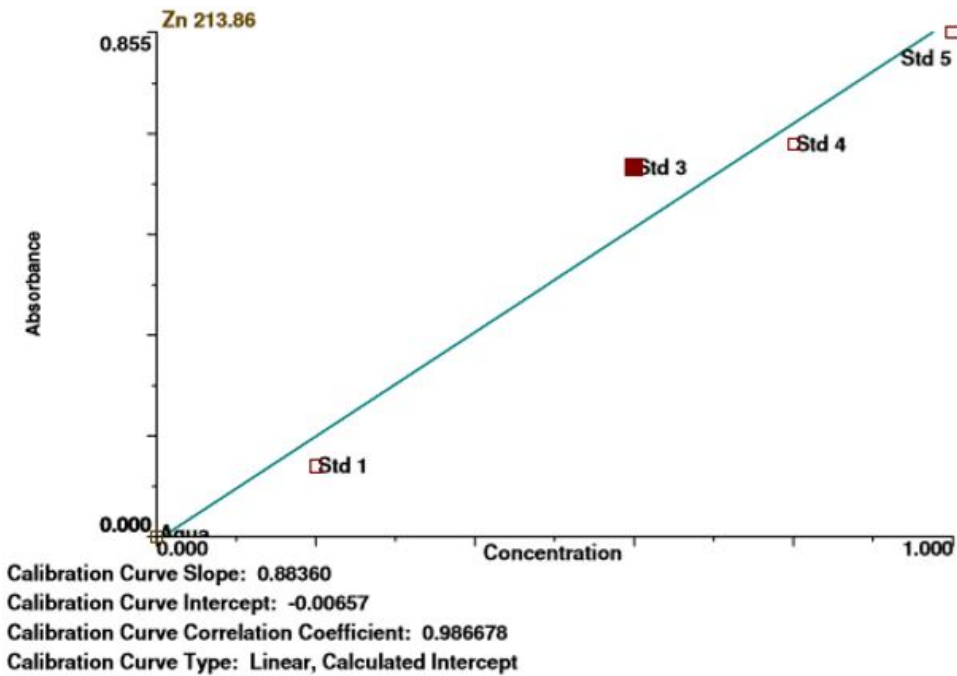


Calibration Curve Slope: 0.82993
 Calibration Curve Intercept: 0.00347
 Calibration Curve Correlation Coefficient: 0.987610
 Calibration Curve Type: Linear, Calculated Intercept
 Current Sample Concentration: 1.104 mg/L

Std #	Standard ID	Entered Conc.	Calculated Conc.	Action
Blank	Agua	0	-0.004	Include
1	Std 1	0.200	0.154	Include
2	Std 2	0.400	0.635	Ignore
3	Std 3	0.600	0.714	Include
4	Std 4	0.800	0.777	Include
5	Std 5	1.000	0.959	Include

6/27/2019 1:09:27 PM

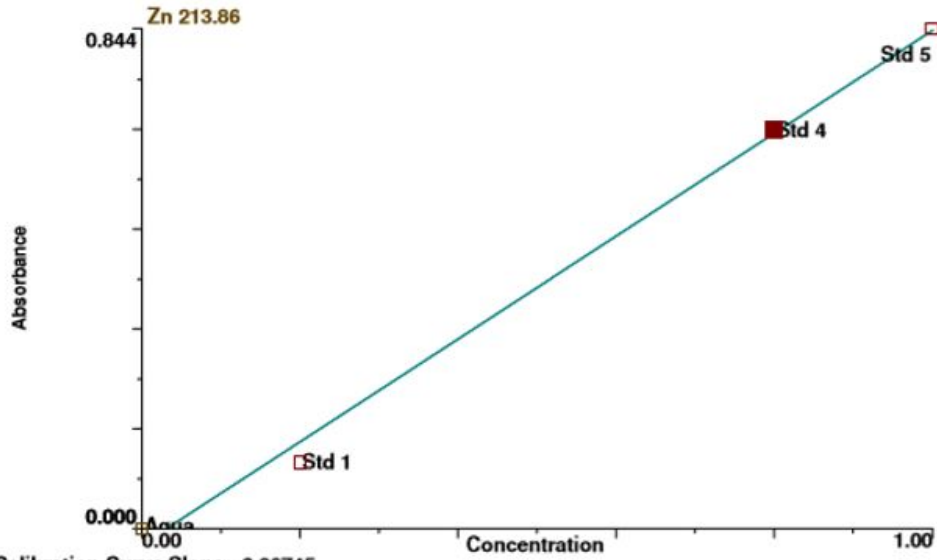
Figura 120: Curva de calibración para mediciones iniciales de zinc en agua



Std #	Standard ID	Entered Conc.	Calculated Conc.	Action
Blank	Agua	0	0.007	Include
1	Std 1	0.200	0.143	Include
2	Std 2	0.400	0.633	Ignore
3	Std 3	0.600	0.715	Include
4	Std 4	0.800	0.760	Include
5	Std 5	1.000	0.975	Include

8/16/2019 9:27:22 AM

Figura 121: Curva de calibración para mediciones iniciales de zinc en agua en unidad filtrante



Calibration Curve Slope: 0.86745
 Calibration Curve Intercept: -0.02680
 Calibration Curve Correlation Coefficient: 0.998090
 Calibration Curve Type: Linear, Calculated Intercept

Std #	Standard ID	Entered Conc.	Calculated Conc.	Action
Blank	Agua	0	0.031	Include
1	Std 1	0.20	0.160	Include
2	Std 2	0.40	0.653	Ignore
3	Std 3	0.60	0.755	Ignore
4	Std 4	0.80	0.806	Include
5	Std 5	1.00	1.003	Include

10/14/2019 12:21:17 PM

Figura 122: Curva de calibración para mediciones finales de zinc en agua de matriz seleccionada en unidad filtrante

14.14. Datos originales

Mediciones hidrogel	
Día	Concentración zinc (mg/L)
1	0.086
2	0.063
3	0.062
4	0.051
5	0.045
6	0.040
7	0.038
8	0.029
9	0.049
10	0.042

Cuadro 97: Resultados finales de liberación de zinc en agua del hidrogel en unidad filtrante

Mediciones cobertura	
Día	Concentración zinc (mg/L)
1	0.507
2	0.276
3	0.122
4	0.121
5	0.078
6	0.063
7	0.071
8	0.061
9	0.062
10	0.047
11	0.062
12	0.047
13	0.039
14	0.037
15	0.048
16	0.063
17	0.073
18	0.070
19	0.062
20	0.074

Cuadro 98: Resultados finales de liberación de zinc en agua de cobertura aceptada en unidad filtrante

14.15. Fichas técnicas

	QUÍMICOS FERKICA, S.A.	Fecha: 28/01/16
	ZINC SULFATO HEPTAHIDRATADO FICHA TECNICA	Versión: Año 2016 Página: 1 - 1

1. IDENTIFICACION

Características	Es un compuesto químico cristalino, incoloro y soluble en agua, aunque siempre va acompañado de un determinado número de moléculas de agua de hidratación.
Sinónimos	<ul style="list-style-type: none"> • Vitriolo blanco
CAS No.	7733-02-0
Formula Química	ZnSO ₄
Masa molar (g/mol)	161,454
Fecha de Vencimiento	24 meses a partir de la fecha de fabricación, la cual está determinada por el Lote; sin embargo posee una vida útil indefinida siempre y cuando se sea manipulado y almacenado de acuerdo a las recomendaciones establecidas en el apartado.

2. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Apariencia	Líquido viscoso
Color	Ligeramente amarillo
Olor	Dulce
Punto de Fusión	150° C
Densidad	1.54 g/cm ³
pH	4.80 – 5.20
% Dextrosa Equivalente	38.50
SO ₂	270.00
Cloruros	1080.00

3. INFORMACION DE USO GENERAL

Se usa como suplemento de zinc en la alimentación animal, para preparar abonos y sprays agrícolas. Se usa en fabricación de litopón (blanco de cinc), y rayón (seda artificial) como conservante de madera.

Como electrolitos para plateado con zinc como mordiente de coloración, para preservar pieles y cuero.

4. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

Debe almacenarse en un ambiente fresco y seco, separado de bases fuertes. Lejos de fuentes de calor o ignición. Separado de materiales incompatibles.

Los recipientes deben mantenerse herméticamente cerrados. Debe almacenarse alejado de cualquier producto químico de alta toxicidad o de una llama fuerte.

Figura 123: Sulfato de zinc grado reactivo marca Químicos Ferkica



SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Revision Date 13.02.2015

Version 1.3

SECTION 1. Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product Identifier

Catalogue No.	843794
Product name	D-(+)-Glucono-delta-lactone for synthesis
REACH Registration Number	A registration number is not available for this substance as the substance or its use are exempted from registration according to Article 2 REACH Regulation (EC) No 1907/2006, the annual tonnage does not require a registration or the registration is envisaged for a later registration deadline.
CAS-No.	90-80-2

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses	Chemical for synthesis For additional information on uses please refer to the Merck Chemicals portal (www.merckgroup.com).
-----------------	---

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company	Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Germany * Phone: +49 6151 72-0
Responsible Department	LS-QHC * e-mail: prodsafe@merckgroup.com

1.4 Emergency telephone number	Please contact the regional company representation in your country.
--------------------------------	---

SECTION 2. Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

This substance is not classified as dangerous according to European Union legislation.

2.2 Label elements

Labelling (REGULATION (EC) No 1272/2008)
Not a hazardous substance or mixture according to Regulation (EC) No. 1272/2008.

2.3 Other hazards

None known.

SECTION 3. Composition/information on ingredients

3.1 Substance

Formula	C ₆ H ₁₀ O ₆ (Hill)
EC-No.	202-016-5
Molar mass	178,14 g/mol
Remarks	No disclosure requirement according to Regulation (EC) No. 1907/2006.

The Safety Data Sheets for catalogue items are available at www.merckgroup.com

Page 1 of 8

Figura 124: Ficha técnica del aditivo alimenticio D-(+)-Glucono-delta-lactone (GDL)

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Revision Date 21.08.2018

Version 16.2

SECTION 1. Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifier

Catalogue No.	102067
Product name	Calcium carbonate precipitated for analysis of silicates EMSURE®
REACH Registration Number	01-2119486795-18-XXXX
CAS-No.	471-34-1

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses	Reagent for analysis For additional information on uses please refer to the Merck Chemicals portal (www.merckgroup.com).
-----------------	---

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company	Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Germany * Phone: +49 6151 72-0
Responsible Department	LS-QHC * e-mail: prodsafe@merckgroup.com

1.4 Emergency telephone number	Please contact the regional company representation in your country.
--------------------------------	---

SECTION 2. Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

This substance is not classified as dangerous according to European Union legislation.

2.2 Label elements

Labelling (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Not a hazardous substance or mixture according to Regulation (EC) No. 1272/2008.

2.3 Other hazards

Figura 125: Ficha técnica Carbonato de Calcio marca Merck



SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Revision Date 17.01.2019

Version 18.4

SECTION 1. Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifier

Catalogue No.	100317
Product name	Hydrochloric acid fuming 37% for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur
REACH Registration Number	This product is a mixture. REACH Registration Number see section 3.

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses	Reagent for analysis, Chemical production In compliance with the conditions described in the annex to this safety data sheet.
-----------------	--

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company	Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Germany * Phone:+49 6151 72-0
Responsible Department	LS-QHC * e-mail: prodsafe@merckgroup.com

1.4 Emergency telephone number

Please contact the regional company representation in your country.

SECTION 2. Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Corrosive to metals, Category 1, H290
Skin corrosion, Category 1B, H314
Specific target organ toxicity - single exposure, Category 3, Respiratory system, H335
For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

Figura 126: Ficha técnica ácido clorhídrico 37% marca Merck

Intervalo de pH	0.00 a 14.00 pH
Resolución de pH	0.01 pH
Exactitud de pH	±0.2 pH
Calibración de pH	Automática, uno o dos puntos con tres soluciones estándar disponibles (pH 4.01, 7.01 y 10.01)
Tipo de batería / Vida útil	1.5V CR2032 (1) / aproximadamente 1000 horas de uso continuo
Electrodo	Electrodo de pH HI1271 con conector tipo tornillo (incluido)
Condiciones ambientales	0 a 50°C (32 a 122°F); HR máx. 95%
Dimensiones	50 x 174 x 21 mm (2 x 6.8 x 0.9")
Peso	50 g (1.8 oz.)
Información para ordenar	El HI98115 se suministra con electrodo de pH HI1271, solución de calibración HI700004 de pH 4.01 en sobre (2), solución de calibración HI700007 de pH 7.01 en sobre (2), solución de limpieza de electrodos HI700661 en sobre (2), manual de instrucciones, certificado de calidad del instrumento y estuche de plástico.

Figura 127: Especificaciones potenciómetro HANNA

21 CFR Part 11 Compatible	Yes
Height	64.0 cm
Model Name	PinAAcle 900F
Portable	No
Product Brand Name	PinAAcle
Warranty	1 Year
Weight	94.0 kg
Width	95.0 cm

Figura 128: Especificaciones espectrofotómetro de absorción atómica PerkinElmer PinAAcle 900F

Especificaciones - Balanza analítica ME204

Capacidad máxima	220 g
Legibilidad	0,1 mg
Pesada mínima de acuerdo a USP 0,1%	0,16 g
Ajuste	Interno
Diámetro del plato de pesaje	90 mm
Pantalla	Backlit LCD
Con autorización legal	No
Tiempo de estabilización	2 s
Repetibilidad (típica)	0,08 mg
Interfaces	RS232
Dimensiones (FxAxA)	344 mm x 344 mm x 210 mm
Repetibilidad garantizada	0,1 mg
Construcción	Aluminio fundido, plástico ABS
Linealidad	0,2 mg
Linealidad \pm	0,2 mg
Linealidad típica	0,06 mg
Precisión de temperatura (\pm)	2 ppm/°C
Resolución	0,1 mg
Diseño higiénico	Sí
Número de material	30029066

Figura 129: Especificaciones balanza analítica marca METTLER TOLEDO modelo ME204

14.16. Cálculo de biodisponibilidad de zinc en agua potable

14.16.1. Biodisponibilidad de zinc

Empleando la ecuación descrita en el apartado 6.2.1, ecuación (4), para determinar la biodisponibilidad de la muestra 1 de la matriz "Recubrimiento":

$$Biodisponibilidad(\%) = \left(\frac{D}{W * A}\right) * 100 \quad (6)$$

donde D = contenido total del mineral en el tubo de diálisis, W = Peso de la muestra y A = concentración de mineral en la muestra

$$Biodisponibilidad(\%) = \left(\frac{0.00285mg}{0.01L * 0.604mg/L}\right) * 100 = 47.15\% \quad (7)$$

Se realizó el mismo procedimiento para las otras dos muestras de esta matriz, y para las 2 matrices restantes desarrolladas.

14.16.2. Determinación de la dosificación mínima de zinc

Valores de los parámetros	
Requerimiento diario niños de 6 a 12 meses	0.84 mg/día
Objetivo de la fortificación	20 %
Biodisponibilidad	45.29 %
Ingesta de agua en niños de 6 a 12 meses	1 L

Cuadro 99: Resumen de los datos utilizados para realizar cálculos

$$DM = \left(\frac{0.84mg/dia * 20\% * 45.29\%}{1}\right) = 0.076mg/L \quad (8)$$

14.16.3. Determinación del porcentaje de cumplimiento del requerimiento diario

$$Cumplimiento = \left(\frac{Volumendeaguabebido * Biodisponibilidad * Dosisficacionfiltro}{Volumendeaguabebido * Objetivodedosisficacion} * 100\%\right) \quad (9)$$

$$CumplimientoInfantes = \left(\frac{1L/dia * 0.070mg/L * 45.29\%}{1L/dia * 0.076mg/L} * 100\%\right) = 41.71\% \quad (10)$$

$$CumplimientoAdultos = \left(\frac{2L/dia * 0.070mg/L * 45.29\%}{2L/dia * 0.109mg/L} * 100\%\right) = 29.08\% \quad (11)$$

14.17. Resultados obtenidos de dosificación diaria de zinc

Días	Patrón de Uso (mg/L)		
	2L	3.5L	5L
1	0.638	0.507	0.668
2	0.484	0.276	0.456
3	0.421	0.122	0.097
4	0.401	0.121	0.076
5	0.194	0.078	0.072
6	0.157	0.063	0.078
7	0.141	0.071	0.072
8	0.119	0.061	0.065
9	0.096	0.062	0.059
10	0.053	0.059	0.051
11	0.074	0.062	0.049
12	0.057	0.047	0.051
13	0.042	0.039	0.041
14	0.036	0.037	0.037
15	0.057	0.048	0.077
16	0.036	0.063	0.075
17	0.047	0.073	0.098
18	0.044	0.070	0.090
19	0.036	0.062	0.091
20	0.039	0.074	0.105

Cuadro 100: Concentración de zinc de la matriz “Recubrimiento” para los tres diferentes patrones

Días	Patrón de Uso (mg/L)		
	2L	3L	4L
1	0.063	0.086	0.089
2	0.062	0.063	0.091
3	0.057	0.062	0.090
4	0.059	0.051	0.070
5	0.029	0.045	0.071
6	0.026	0.040	0.071
7	0.024	0.038	0.042
8	0.022	0.029	0.031
9	0.037	0.049	0.049
10	0.049	0.042	0.044

Cuadro 101: Concentración de zinc de la matriz “Hidrogel” para los tres diferentes patrones

Días	Patrón de Uso (mg/L)		
	2L	3.5L	5L
1	1.179	1.172	1.166
2	1.169	0.735	0.777
3	1.081	0.246	0.555
4	0.237	0.076	0.270
5	0.117	0.175	0.192
6	0.086	0.191	0.141
7	0.054	0.233	0.138
8	0.057	0.215	0.111
9	0.050	0.151	0.049
10	0.038	0.061	0.081
11	0.036	0.056	0.088
12	0.033	0.072	0.076
13	0.029	0.065	0.071
14	0.033	0.072	0.087
15	0.056	0.078	0.045
16	0.055	0.049	0.051
17	0.090	0.078	0.093
18	0.086	0.065	0.075
19	0.041	0.046	0.070
20	0.042	0.052	0.073

Cuadro 102: Concentración de zinc de la matriz “Pastilla” para los tres diferentes patrones

Volumen (L)	Sistema de fortificación	
	Recubrimiento (mg/L)	Pastilla (mg/L)
120	0.191	0.217
240	0.105	0.185
360	0.0374	0.135

Cuadro 103: Concentración de zinc en las matrices a diferentes volúmenes de agua

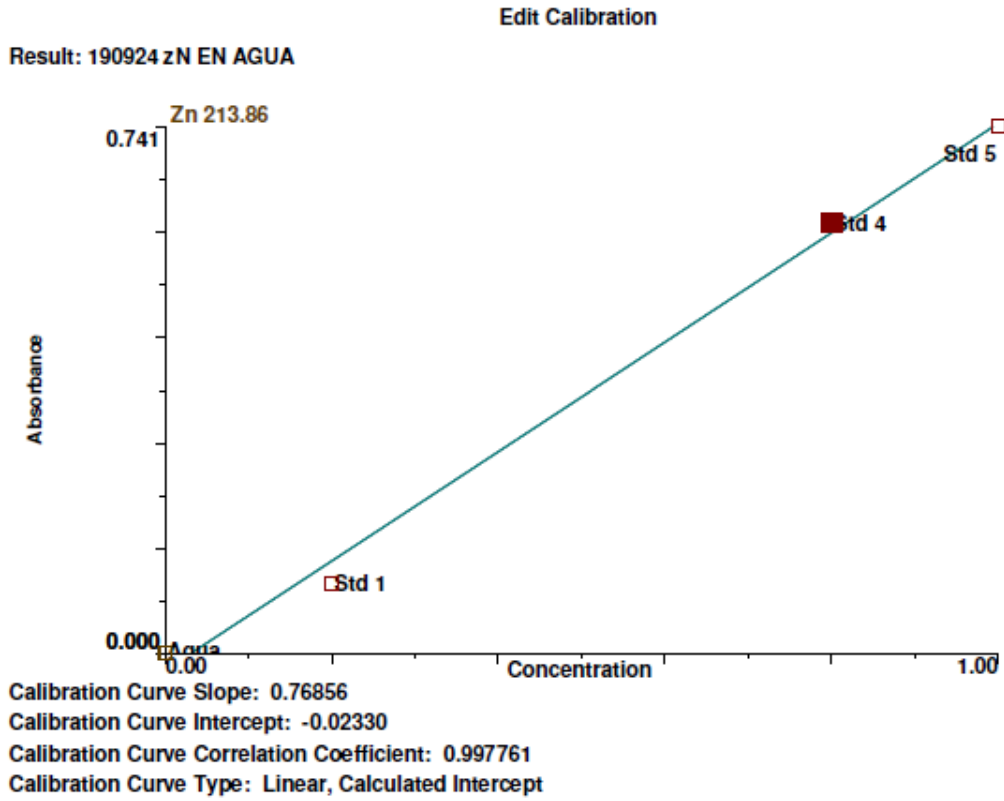


Figura 130: Curva de calibración para estudio de muestras en AAS

14.18. Planos de distribución de planta

14.18.1. Área de bodega

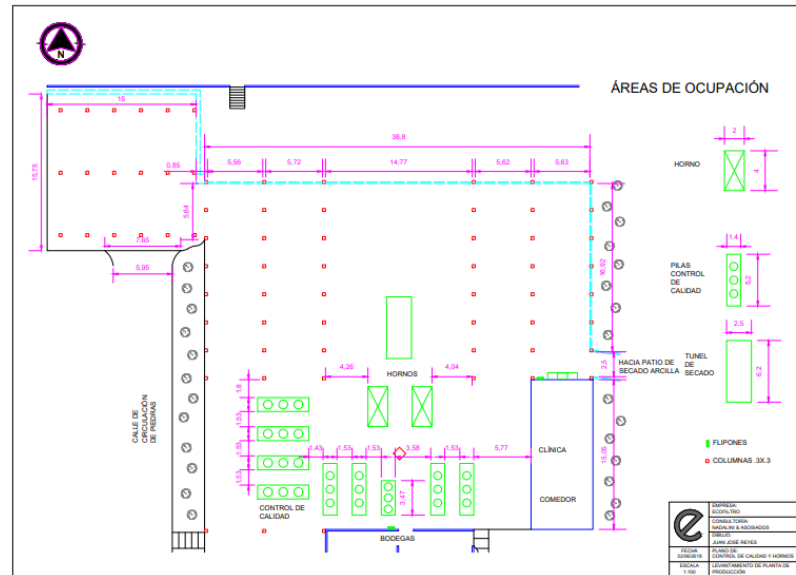


Figura 131: Layout área de bodega

14.18.2. Área de primer secado

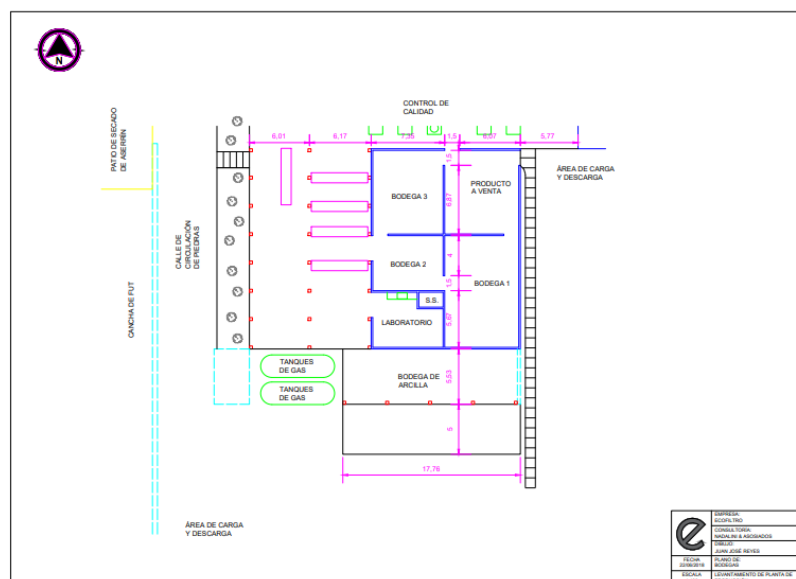


Figura 132: Layout área de primer secado

14.19. Planificación de los requerimientos de material para pastilla clasificado por proveedor

14.19.1. PROVEEDOR DE CHINA

MRP Empresa china pedido mínimo: 500					
Quitosano	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	1,091.0	1,148.4	1,242.6	1,373.9	1,544.6
Inventario inicial	1100	1,149.0	1,250.6	1,378.0	1,554.1
Inventario final	9.0	0.6	8.0	4.1	9.5
Pedido	1140	1250	1370	1550	

Cuadro 104: Requerimientos de quitosano en empresa china

MRP empresa china pedido mínimo: 1,000					
Carboximetilcelulosa	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	935.1	984.3	1,065.1	1,177.7	1,324.0
Inventario inicial	1000	1,064.9	1,080.5	1,195.5	1,337.8
Inventario final	64.9	80.5	15.5	17.8	13.8
Pedido	1000	1000	1180	1320	

Cuadro 105: Requerimientos de carboximetilcelulosa en empresa china

MRP empresa china pedido mínimo: 3000					
Sulfato de zinc	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	1,246.8	1,312.5	1,420.1	1,570.2	1,765.3
Inventario inicial	1250	1,313.2	1,420.7	1,570.6	1,765.4
Inventario final	3.2	0.7	0.6	0.4	0.1
Pedido	1310	1420	1570	1765	

Cuadro 106: Requerimientos de sulfato de zinc en empresa china

MRP empresa china pedido mínimo: 2000					
Ácido Cítrico	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	29,942.9	31,519.2	34,104.5	37,709.5	42,394.7
Inventario inicial	30000	31,557.1	34,137.9	37,733.4	42,403.9
Inventario final	57.1	37.9	33.4	23.9	9.2
Pedido	31,500.00	34,100.00	37,700.00	42,380.00	

Cuadro 107: Requerimientos de ácido cítrico en empresa china

MRP empresa china pedido mínimo: 20,000					
Hidróxido de sodio	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	12,467.2	13,123.5	14,200.0	15,701.0	17,651.7
Inventario inicial	20000	27,532.8	14,409.2	20,209.3	24,508.3
Inventario final	7,532.8	14,409.2	209.3	4,508.3	6,856.6
Pedido	20000	0	20000	20000	

Cuadro 108: Requerimientos de hidróxido de sodio en empresa china

14.19.2. Proveedor MERCK

MRP empresa MERCK pedido mínimo: 1					
Carboximetilcelulosa	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	935.1	984.3	1,065.1	1,177.7	1,324.0
Inventario inicial	940	984.9	1,070.5	1,180.5	1,327.8
Inventario final	4.9	0.5	5.5	2.8	3.8
Pedido	980	1070	1175	1175	

Cuadro 109: Requerimientos de carboximetilcelulosa en empresa MERCK

MRP empresa MERCK pedido mínimo: 1000					
Sulfato de zinc	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	1,246.8	1,312.5	1,420.1	1,570.2	1,765.3
Inventario inicial	1250	1,323.2	1,420.7	1,570.6	1,770.4
Inventario final	3.2	10.7	0.6	0.4	5.1
Pedido	1320	1410	1570	1770	

Cuadro 110: Requerimientos de sulfato de zinc en empresa MERCK

14.19.3. Proveedor Quirsa

MRP empresa Quirsa pedido mínimo: 1					
Sulfato de zinc	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	1,246.8	1,312.5	1,420.1	1,570.2	1,765.3
Inventario inicial	1250	1,313.2	1,420.7	1,570.6	1,765.4
Inventario final	3.2	0.7	0.6	0.4	0.1
Pedido	1310	1420	1570	1765	

Cuadro 111: Requerimientos de sulfato de zinc en empresa Quirsa

MRP empresa quirsa pedido mínimo: 1					
Ácido cítrico	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	29,942.9	31,519.2	34,104.5	37,709.5	42,394.7
Inventario inicial	30000	31,557.1	34,137.9	37,733.4	42,403.9
Inventario final	57.1	37.9	33.4	23.9	9.2
Pedido	31500	34100	37700	42380	

Cuadro 112: Requerimientos de ácido cítrico en empresa Quirsa

14.19.4. Proveedor Quimiprova

MRP empresa Quimiprova pedido mínimo: 1					
Carboximetilcelulosa	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	935.1	984.3	1,065.1	1,177.7	1,324.0
Inventario inicial	940.0	984.9	1,070.5	1,180.5	1,327.8
Inventario final	4.9	0.5	5.5	2.8	3.8
Pedido	980	1070	1175	1325	

Cuadro 113: Requerimientos de carboximetilcelulosa en empresa Quimiprova

MRP empresa Quimiprova pedido mínimo: 1					
Ácido cítrico	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	29,942.9	31,519.2	34,104.5	37,709.5	42,394.7
Inventario inicial	30000	31,557.1	34,137.9	37,733.4	42,403.9
Inventario final	57.1	37.9	33.4	23.9	9.2
Pedido	31,500	34,100	37,700	42,380	

Cuadro 114: Requerimientos de ácido cítrico en empresa Quimiprova

14.19.5. Proveedor Solmer

MRP empresa Solmer pedido mínimo: 25					
Ácido cítrico	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	29,942.9	31,519.2	34,104.5	37,709.5	42,394.7
Inventario inicial	30000	31,557.1	34,137.9	37,733.4	42,403.9
Inventario final	57.1	37.9	33.4	23.9	9.2
Pedido	31,500	34,100	37,700	42,380	

Cuadro 115: Requerimientos de ácido cítrico en empresa Solmer

14.19.6. Empresa Grupo Génesis

MRP empresa Grupo Génesis Pedido mínimo: 25					
Ácido cítrico	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	29,942.9	31,519.2	34,104.5	37,709.5	42,394.7
Inventario inicial	30000	31,557.1	34,137.9	37,733.4	42,403.9
Inventario final	57.1	37.9	33.4	23.9	9.2
Pedido	31,500	34,100	37,700	42,380	

Cuadro 116: Requerimientos de ácido cítrico en empresa Grupo Génesis

14.19.7. Empresa Brenntag

MRP empresa Brenntag pedido mínimo: 250					
Hidróxido de sodio	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	12,467.2	13,123.5	14,200.0	15,701.0	17,651.7
Inventario inicial	12500	13,132.8	14,209.2	15,709.3	17,658.3
Inventario final	32.8	9.2	9.3	8.3	6.6
Pedido	13100	14200	15700	17650	

Cuadro 117: Requerimientos de hidróxido de sodio en empresa Brenntag

14.20. Planificación de los requerimientos de material para cobertura clasificado por proveedor

14.20.1. Proveedor China

MRP empresa China pedido mínimo: 500					
Sulfato de Zinc	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	400.9	456.7	523.4	602.8	697.6
Inventario inicial	500	599.2	642.4	619.0	716.2
Inventario final	99.2	142.4	119.0	16.2	18.7
Pedido	500	500	500	700	

Cuadro 118: Requerimientos de sulfato de zinc en empresa china

14.20.2. Proveedor Quirsa

MRP empresa Quirsa pedido mínimo: 1					
Sulfato de Zinc	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	400.9	456.7	523.4	602.8	697.6
Inventario inicial	401	460.2	523.4	610.0	707.2
Inventario final	0.1	3.4	0.0	7.2	9.7
Pedido	460	520	610	700	

Cuadro 119: Requerimientos de sulfato de zinc en empresa Quirsa

14.20.3. Proveedor MERCK

MRP empresa MERCK pedido mínimo: 1					
Sulfato de Zinc	2020	2021	2022	2023	2024
Requerimiento	400.9	456.7	523.4	602.8	697.6
Inventario inicial	401	460.2	523.4	610.0	707.2
Inventario final	0.1	3.4	0.0	7.2	9.7
Pedido	460	520	610	700	

Cuadro 120: Requerimientos de sulfato de zinc en empresa MERCK

14.21. Distribuciones de las operaciones

14.21.1. Proceso de producción de unidades filtrantes

Operación	Distribuciones	Media	Desviación	Máximo	Mínimo
Secar barro	Uniforme (61.79,67.91)	64.99	2.08	67.91	61.79
Pulverizadora	Uniforme (5.01,9.75)	7.11	1.50	9.75	5.01
Secar aserrín	Uniforme (10,14)	12.08	1.10	13.97	10.02
Tamiz de aserrín	Uniforme (13.4,15.9)	14.75	0.79	15.86	13.45
Mezclado	Uniforme (25.41,29.67)	27.06	1.44	29.67	25.41
Extrusora	Triangular (15.1,18,20)	18.05	1.41	20	15
Moldeado	Uniforme (159,165)	162.14	1.73	165.09	159.22
Horno	Uniforme (12.14, 16.4)	14.00	2.13	12.14	16.4
Calidad	Uniforme (87,94.9)	90.63	2.41	94.88	87.05

Cuadro 121: Distribuciones por Operación para Unidades Filtrantes

14.21.2. Proceso de producción de dosificadores de Zinc por el método de pastilla

Operación	Distribuciones	Media	Desviación	Máximo	Mínimo
Pesar quitosano	Triangular (42.3,47.2,50.6)	47.2	2.31	50.6	42.3
Sulfato de zinc	Triangular (26.5,39.3,53.9)	39.3	7.35	53.9	26.5
Carboximetilcelulosa	Uniforme (24.7,43.8)	34.5	5.32	43.8	24.7
Disolver quitosano en AC	Uniforme (1100,1370)	1240	77.9	1370	1100
Disolver carboximetilcelulosa	Triangular (1720,1840,2010)	1840	81.7	2010	1720
Disolver sulfato de zinc en quitosano	Triangular (1150,1240,1350)	1240	51.8	1350	1150
Mezclar dos soluciones	Triangular (1080,1240,1380)	1240	81.8	1380	1080
Dejar enfriar	Exponencial (1820)	1820	106	2030	1680
Agregar NOH y reposar	Normal (173000,4400)	173000	4400	180000	166000

Cuadro 122: Distribuciones por operación para método de pastilla

14.21.3. Proceso de producción de dosificadores de zinc por el método de cobertura

Operación	Distribuciones	Media	Desviación	Mínimo	Máximo
Medir agua	Triangular (12.1,14.9,16.9)	14.9	1.5	12.1	16.9
Pesar y diluir zinc	Normal (435.5,26)	435.26	366	467	
Sumergir filtro	Uniforme (357.2,22.5)	357.2	22.5	325.5	393.0
Dejar secar	Normal (14547,108.1)	14547.0	108.1	14260.0	14760.0
Sumergir nuevamente	Normal (320.3,39.8)	320.3	39.8	241.0	398.2
Dejar secar	Exponencial (14534)	14534.0	80.1	14436.0	14688.0
Sumergir nuevamente	Triangular (241.4,322.8,378.5)	322.829.1	241.4	378.5	
Dejar secar	Uniforme (14408,14688)	14540.1	76.2	14408.0	14688.0

Cuadro 123: Distribuciones por operación para método de cobertura

14.22. Presentación de egresos

EGRESOS	
Costo de producción	
5101	Mano de obra
5103	Otros costos directos de fábrica
5104	Costo de servicios
5105	Costo sobre garantías (cambios)
	Total costo de producción
Costo de ventas	
5202	Costo de ventas
	Total Costo de ventas
Costo de operación	
5301	Gastos de venta
5302	Gastos de capacitación
5303	Gastos de administración
5304	Cafetería
5305	Jardinería
5306	Logística
5307	Contabilidad
	Total costo de operación
	Total EGRESOS
Otros gastos	
Otros gastos	
6101	Otros gastos bancarios
	Total otros gastos

Cuadro 124: Presentación de egresos en estado de resultados

Año	Saldo inicial	Pago de interés	Pago total	Pago capital	Saldo final
2020	Q11,708,785.74	Q702,527.14	Q2,779,623.59	Q2,077,096.44	Q9,631,689.30
2021	Q9,631,689.30	Q577,901.36	Q2,779,623.59	Q2,201,722.23	Q7,429,967.07
2022	Q7,429,967.07	Q445,798.02	Q2,779,623.59	Q2,333,825.56	Q5,096,141.50
2023	Q5,096,141.50	Q305,768.49	Q2,779,623.59	Q2,473,855.10	Q2,622,286.40
2024	Q2,622,286.40	Q157,337.18	Q2,779,623.59	Q2,622,286.40	Q0.00

Cuadro 125: Cálculo de gastos por intereses

COSTO DE VENTAS
Materiales
Producto terminado (demanda)
Inventario en proceso
Sulfato de zinc
Suavizadores de agua
Mano de obra
Costo mano de obra actual
Costo mano de obra nueva (4)
Costos indirectos de fabricación
Costos indirectos de fabricación actuales
Depreciación de secadora industrial
Depreciación de suavizadores de agua
Depreciación de techo de lámina
Depreciación de piletas de concreto
Depreciación de cuartos
Energía secadora industrial
Transporte sulfato de zinc desde ciudad
Transporte suavizadores desde Chiapas
Total costo de ventas
GASTOS OPERATIVOS
Gastos de venta
Gastos de capacitación
Gastos de administración
Gastos de servicios extras
Cafetería
Jardinería
Logística
Contabilidad
Total gastos operativos
GASTOS BANCARIOS
Intereses bancarios
TOTAL EGRESOS

Cuadro 126: Rubros de egresos completos para cobertura

COSTO DE VENTAS
Materiales
Producto terminado (demanda)
Inventario en proceso
Empaque (Rollos de plástico termoencogibles)
Moldes de acero
Quitosano de medio peso molecular
Carboximetilcelulosa
Sulfato de zinc
Ácido cítrico
Hidróxido de sodio
Suavizadores de agua
Mano de obra
Costo mano de obra actual
Costo mano de obra nueva (4)
Costos indirectos de fabricación
Costo indirectos de fabricación actuales
Depreciación de secadora industrial
Energía secadora industrial
Depreciación tanques de calentamiento
Energía tanques de calentamiento
Transporte tanques de calentamiento
Depreciación de suavizadores de agua
Transporte suavizadores
Depreciación de techo de lámina
Depreciación de piletas de concreto
Depreciación de cuartos
Transporte mesas
Depreciación mesas
Depreciación moldes
Transporte moldes
Transporte materiales
Total costo de ventas
GASTOS OPERATIVOS
Gastos de venta
Gastos de capacitación
Gastos de administración
Gastos de servicios extras
Cafetería
Jardinería
Logística
Contabilidad
Total gastos operativos

GASTOS BANCARIOS
Intereses bancarios
TOTAL EGRESOS

Cuadro 127: Rubros de egresos completos para pastilla

