

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Sustentabilidad y Tecnología



**ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara**

**PAP 4F04 PARA MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD, PRODUCTIVIDAD Y
LOGÍSTICA EN LA INDUSTRIA REGIONAL**

**Comparativa y valoración de propuesta de valor de productos utilizados en la
elaboración de la tortilla.**

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Lic. En Ingeniería Química. Regina González Ambriz

Lic. En Ingeniería Química. Miguel de Jesús Hernández López

Lic. En Ingeniería Química. Yael Serrano Gárate

Profesor PAP: Alejandro Ruíz Bernal.

Tlaquepaque, Jalisco, diciembre de 2025

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP	2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	2
Resumen	4
1 Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional.....	4
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto	6
1.2 Caracterización de la organización o comunidad	7
1.3 Identificación de la(s) problemática(s)	8
1.4 Planeación de alternativa(s).....	9
1.5 Desarrollo de la propuesta de mejora	10
1.6 Valoración de productos, resultados e impactos	47
1.7 Bibliografía y otros recursos	52
1.8 Anexos generales.....	54
2 Productos	54
3 Reflexión crítica y ética de la experiencia.....	55
3.1 Sensibilización ante las realidades	56
3.2 Aprendizajes logrados	57

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (co-participación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.

El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.

El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”.

El Reporte PAP consta de tres componentes:

El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de este y la valoración de las incidencias en el entorno.

En caso de requerirse alguna adecuación al nombre de las fases propuestas para este componente, se puede realizar siempre y cuando sea complementario a lo ya establecido.

El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.

El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

El Proyecto de Aplicación Profesional (PAP) “4F04 Para Mejoramiento de la Calidad, Productividad y Logística en la Industria Regional” se desarrolló en colaboración con la empresa Silijal S.A. de C.V., dedicada a la formulación de productos químicos especializados. El propósito general fue comparar y valorar el desempeño de aditivos, antiadherentes y grafitos utilizados en la elaboración de tortillas, con el fin de respaldar científicamente la propuesta de valor de la empresa y detectar áreas de mejora en sus productos.

El proyecto no tuvo relación directa con un PAP anterior y se centró en evaluar parámetros fisicoquímicos (pH, viscosidad, humedad, actividad de agua, gelatinización) y sensoriales (color, sabor, textura, aceptación), aplicando una metodología experimental basada en el análisis comparativo entre distintas marcas competidoras, incluyendo Silijal, TIA, Mexenil, DITA, Lusio y Teflonoro.

Las pruebas se realizaron en los laboratorios de Química y Alimentos del ITESO, siguiendo protocolos de medición estandarizados. Los resultados demostraron que los aditivos de Silijal y Mexenil presentaron la mayor estabilidad y rendimiento, mientras que el conservador TIA mostró un efecto más ácido que afectó la textura del producto. En el análisis sensorial, la tortilla con aditivo Mexenil obtuvo la mayor aceptación por parte de los consumidores.

El proyecto permitió identificar fortalezas y oportunidades de mejora en los productos de la empresa, aportando información técnica y sensorial útil para la optimización de formulaciones y el fortalecimiento competitivo de Silijal en el mercado de la industria tortillera.

1 Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa construyen sus conocimientos para dar respuestas a problemáticas de un contexto específico y

en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

La primera etapa del proyecto PAP estuvo marcada por una reunión con el profesor asignado por la universidad para explicarnos el planteamiento del proyecto PAP, explicar cambios con las empresas asignadas y reacomodo de estudiantes con estas. Una vez establecidos los cambios, se explicaron los proyectos planteados por el programa PAP y en nuestro caso, la empresa Silijal. En la segunda etapa del proyecto se llevó a cabo una visita institucional a la empresa de Silijal Válvula. La jornada inició con un recorrido guiado por las instalaciones, lo que permitió observar de manera directa las principales áreas que integran su funcionamiento: producción, administración, distribución de productos y laboratorio de control de calidad.

Posteriormente, se sostuvo una reunión con la Gerente de Innovación y Desarrollo de la compañía, en la cual se presentaron de mejor manera los proyectos a tratar y se asignó un plan de acción provisional, propuesto mientras se esclarecían los objetivos de los proyectos. Dicho plan de acción tuvo como propósito facilitar una comprensión integral del proyecto escogido, proponiendo metodologías y áreas de mejora en el desarrollo de éste.

Durante las semanas siguientes se llevó a cabo el llenado de fichas técnicas correspondientes a diversos productos de la empresa, mientras se gestionaba la obtención de muestras físicas de productos competidores para su posterior análisis fisicoquímico. En una reunión posterior con la Gerente de Innovación y Desarrollo, el director general y el asesor PAP, se confirmaron las pruebas a realizar, los objetivos alcanzables del proyecto y la validación de la metodología propuesta. Asimismo, se estableció un cronograma de actividades orientado a la elaboración de una comparativa entre los productos utilizados en la fabricación de tortillas —principalmente aditivos, antiadherentes y grafitos— con el propósito de identificar áreas de mejora y validar la propuesta de valor de la empresa.

Una vez definido el proyecto, las mediciones experimentales se realizaron en los laboratorios de Química y Alimentos del ITESO. Estas pruebas se enfocaron en la determinación de

parámetros fisicoquímicos como pH, viscosidad, porcentaje de humedad/sólidos y actividad de agua (A_w) de las muestras obtenidas de las empresas *Silijal*, *TIA*, *Mexenil*, *DITA*, *Teflonoro* y *Lusio*. Además, se evaluó el punto de gelatinización de la masa de nixtamal y la influencia de los distintos aditivos sobre dicho comportamiento. Durante este proceso, se contó con la validación metodológica del profesor PAP y con la asesoría técnica del personal del laboratorio de alimentos para el uso adecuado de los instrumentos.

Para Silijal, empresa con una participación significativa en el mercado de elaboración de tortillas, la obtención de estos datos resulta de gran relevancia, ya que permite respaldar científicamente su propuesta de valor, evitar afirmaciones no fundamentadas y evaluar el desempeño real de sus productos en la masa de nixtamal y en las tortillas resultantes.

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

La tortilla es de uno de los alimentos más emblemáticos y consumidos en todo México representando la tradición e identidad del país. Una de las mayores innovaciones sobre el proceso de elaboración de la tortilla fue la nixtamalización el cual es un proceso donde el maíz se hierve con cal para remover la cascara, liberar nutrientes y hacerlo más moldeable. Aproximadamente a finales del siglo XVIII se establecieron los molinos mecánicos como proceso de producción y posteriormente, años adelante, surgieron las tortillerías automáticas transformando de manera radical la producción tradicional (Calleja Pinedo & Basilia Valenzuela, 2016).

Dicho lo anterior, Silijal S. A. de C. V. ha tratado de encontrar una solución para mejorar el proceso de elaboración de tortillas y, a la vez, mejorar la calidad de estas tortillas con el fin de que sean más atractivas para el consumidor mediante conservadores, mejoradores, blanqueadores y suavizantes sin alterar el sabor, olor, textura, entre otras características.

Actualmente Silijal S. A. de C. V. está presente en diferentes mercados, nacional (México) e internacional, como: limpieza doméstica, limpieza y mantenimiento automotriz, hules, emulsiones para industria alimentaria, industria de la masa y tortillas, entre otras, siendo esta última el objeto de estudio de este proyecto. Su presencia en el mercado de la masa y tortillas

destaca por ofrecer antiadherentes como el LPU (listo para usar) el cual esta formulado para usarse en bandas transportadoras de máquinas de tortillas de gran producción o aditivos como el 3 en 1 en polvo, dirigido a la harina de maíz y masa de nixtamal, cuya función es mejorar la textura, el color y la flexibilidad de la tortilla como producto final, cumpliendo con las normas NOM-187-SSA y FDA.

La situación planteada en este proyecto por parte de Silijal S. A. de C. V. consiste en comparar el comportamiento de sus aditivos y antiadherentes en la elaboración de tortillas (a partir de masa de nixtamal) y sus grafitos como lubricantes para las máquinas. Esta situación surge como medida de evaluación y solución ante la creciente competencia y demanda de estos productos dentro del mercado. Esta metodología consta de una comparación fisicoquímica, sensorial y practica entre estos productos de Silijal y la competencia (Mexenil, TIA, DITA, etc.) en base las fichas técnicas proporcionadas.

La finalidad de este proyecto es identificar las propiedades fuertes y débiles de los productos desarrollados por Silijal, con el propósito de proponer mejoras que incrementen su eficiencia y aceptación por parte del consumidor. Asimismo, busca respaldar científicamente la propuesta de valor de la empresa mediante la evaluación objetiva del desempeño de sus productos, tanto en la masa de nixtamal como en las tortillas elaboradas a partir de ella, contribuyendo así a un mejor posicionamiento en el mercado y a la consolidación de su competitividad.

1.2 Caracterización de la organización o comunidad

Silijal S. A. de C. V., conocida comúnmente como Silijal, es una compañía mexicana situada en Guadalajara, Jalisco, que se especializa en el desarrollo, producción y comercialización de productos químicos específicos, centrándose en formulaciones a base de silicón.

Con más de cinco décadas de trayectoria, Silijal se ha establecido como un líder en su sector debido a la excelencia y la constante innovación que caracteriza a su gama de productos. La empresa fue creada con el objetivo de satisfacer demandas particulares en los mercados local y nacional, proporcionando especialidades químicas de alta calidad junto con un servicio

rápido y soporte técnico especializado. Hasta la fecha, ha formulado más de cien productos que abarcan aditivos, grafito, desmoldantes, emulsiones, desengrasantes, ceras, pulimentos, entre muchos otros. Esta evolución les ha permitido alcanzar una organización más sólida, tal como lo demuestran sus procedimientos y la documentación pertinente que manejan actualmente.

La organización de Silijal cuanta con una estructura clave, siendo el director comercial el eje principal del cual se distribuyen las demás áreas, lo que ha contribuido al crecimiento continuo de la empresa. El diseño de esta estructura ha busca mejorar la eficacia y garantizar un óptimo desempeño en todas las actividades de dicha organización. La compañía se distribuye mediante una estructura que incluye diversas áreas fundamentales, lo que permite una administración eficiente.

Además, el objetivo primordial de Silijal es desarrollar productos químicos de alta calidad para diferentes tipos de mercados desde la industria para alimentos hasta la automotriz, ofreciendo servicios y productos innovadores que satisfagan las necesidades y peticiones de sus clientes. Además, busca perfeccionar de manera progresiva sus procesos, avalada por la certificación ISO 9001.

1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

Durante las primeras sesiones con la empresa y la encargada del proyecto, se identificaron 2 proyectos nuevos para la resolución de problemáticas.

El primer proyecto por abordar consistía en realizar una serie de pruebas experimentales a varios aditivos (blanqueadores, mejoradores, conservadores y suavizantes), antiadherentes y grafitos con el objetivo de establecer el valor (en la elaboración de tortillas) de estos productos ante la competencia y como aumentar ese valor y calidad, debido a que en los últimos años tanto la demanda como la competencia ha ido creciendo significativamente.

El segundo proyecto se enfocaba en la elaboración de tortillas suplementadas o funcionales con ingredientes adicionales como frijoles, lentejas, garbanzos, entre otros, esta adición de

proteínas o fibras incrementa en gran medida el valor nutricional, por lo tanto, el objetivo de este proyecto es mantener la salud de la población en mejores condiciones.

Debido al tiempo requerido para abordar ambos proyectos y considerando las fechas disponibles, se decidió trabajar solo en **el primer proyecto**.

1.4 Planeación de alternativa(s)

En primera instancia, se trabajó con la empresa Silijal, en especial con el área de laboratorio, con el fin encontrar las mejores opciones para abordar la situación planteada por esta empresa teniendo siempre en cuenta los objetivos y objetos de valor establecidos anteriormente. Después de analizar detenidamente las alternativas a desarrollar para la solución de la problemática se llegó a la conclusión de que se realizarían pruebas experimentales dentro de los laboratorios de química y alimentos (edificio I en ITESO) a partir de metodologías básicas de experimentación y fichas técnicas de cada producto. Esta alternativa fue la mejor y la más adecuada debido a que es fundamental comprender las características y propiedades fisicoquímicas de cada uno de los aditivos y antiadherentes para poder encontrar los aspectos fuertes y débiles de todos los productos aplicados en la elaboración de tortillas al momento de realizar el análisis comparativo y sensorial.

El plan de trabajo estuvo estructurado de la siguiente manera:

Fase 1: Investigación y recopilación de datos e información.

- Recopilación de datos y parámetros fisicoquímicos de las fichas técnicas, así como de las condiciones de experimentación para la realización de pruebas en el laboratorio.

Fase 2: Análisis de muestras.

- Pruebas fisicoquímicas (pH, viscosidad, % humedad, etc.) de los aditivos, antiadherentes y grafitos proporcionados por la empresa.
- Análisis de aditivos agregados a masa de nixtamal mediante un amilógrafo.

Fase 3: Aplicación práctica.

- Evaluar el comportamiento de los diferentes aditivos (suavizante, blanqueador, conservadores y mejoradores) aplicados en la masa para la elaboración de tortillas.
- Comparación de los productos de Silijal ante la competencia a través de un análisis sensorial que involucra color, textura y olor de las tortillas. Cabe resaltar que esta comparación se realizó solo en conservadores debido a cuestiones de tiempo, pero con posibilidades de continuar en el futuro.

1.5 Desarrollo de la propuesta de mejora

Procedimiento y actividades realizadas

La empresa Silijal proporciono datos, información y muestras de aditivos, antiadherentes y grafitos empleados en la producción de tortillas para realizar las pruebas y métodos pertinentes dentro del laboratorio.

Las muestras de los productos son las siguientes:

Tabla 1. Muestras analizadas.

	<i>SILIJAL</i>	<i>TIA</i>	<i>MEXENIL</i>	<i>DITA</i>	<i>LUSIO</i>	<i>TEFLONORO</i>
<i>Aditivos</i>	• Long Life • Siliblack • Masil+ • Suavitek	• Conservador • Mejorador Especial • NEX PLUS (con blanqueador)	• Conservador • Blanqueador • Mejorador • Suavizante	• Blanqueador • Mejorador	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
<i>Antiadherentes</i>	• 1D91DE • LPU • 1D903	• NEX-COAT • NEX-COAT GEL • LISTO PARA USAR	<i>n/a</i>	• T1000 • T2000 • T8000	• ETP Antiadherente CJ • ETP Antiadherente CH	• ANTIADHERENTE
<i>Grafitos</i>	• Negro • Blanco	• Negro	<i>n/a</i>	• Negro	• Negro	<i>n/a</i>

A continuación, se describen los procesos y actividades realizadas:

- **Aditivos**

1. Medición de pH:

Se realizaron soluciones al 2% y con un potenciómetro, previamente calibrado con una solución buffer de pH 4 y 7, se midió el pH de cada solución hecha para cada aditivo en polvo. Después de cada medición, se verificaba que el potenciómetro estuviera aún calibrado. De ser así, continuaban las mediciones. En el caso contrario, se volvía a calibrar. Las mediciones se realizaron por segunda vez con el fin de comprobar los primeros datos obtenidos.



Figura 1. Medición de pH con potenciómetro de una solución.

2. Medición del porcentaje de humedad:

Para medir el porcentaje de humedad, se usaron las termobalanzas OHAUS MB 35 y 45 del Laboratorio de Alimentos en el Edificio I del ITESO. Las termobalanzas registraron el cambio de peso conforme se calentaba la muestra (a temperatura constante de 100°C), así como el porcentaje de humedad (hasta que ya no existía cambio) correspondiente a ese cambio. Cabe mencionar que para cada uno de los aditivos se colocaron 0.6 gramos en las termobalanzas, se cerraba el instrumento y comenzaba la medición.



Figura 2. Termobalanzas OHAUS MB 35 y 45.

3. Medición de la actividad del agua (A_w):

Se empleó el instrumento AQUALAB 4TEV para medir la actividad de agua. Se colocó la cantidad necesaria de aditivo hasta que éste alcanzara la línea indicada en la placa de manera uniforme. Una vez llenada la placa hasta el punto indicado, se colocó en el instrumento, se cerró y comenzó la medición. Se hizo el mismo procedimiento para cada muestra de aditivo considerando las muestras a temperatura ambiente.

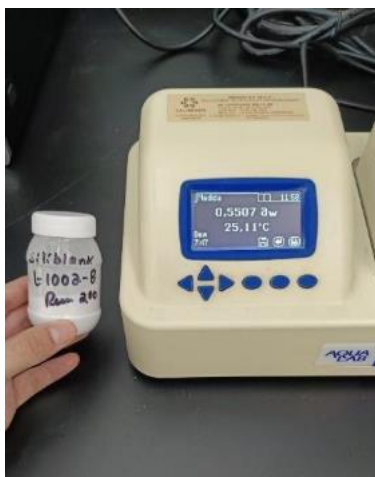


Figura 3. Determinación de Actividad de Agua AQUALAB 4TEV para el aditivo “Siliblack”.

4. Pruebas en masa de nixtamal:

4.1. Medición del punto y temperatura de gelatinización de la masa:

Esta medición se realizó por medio de un amilógrafo Brabender. Se preparó una solución de la masa con aditivo (en base a las relaciones de proporciones presentadas en el empaque) y agua destilada en un matraz Erlenmeyer de 1 litro, mezclándose hasta alcanzar homogeneidad. A la par, se encendió el amilógrafo y se inició el programa, verificando que los puertos estuvieran bien conectados y configurados. Una vez iniciado el programa, se registró el nombre de la muestra, su porcentaje de humedad y se colocó la mezcla dentro del recipiente del instrumento.



Figura 4. Amilógrafo Brabender empleado.

4.2. Medición de color (aplicado a la tortilla): Para medir el color del producto final (tortilla en este caso), se preparó la masa con el aditivo en relación con las proporciones sugeridas por el empaque y se empezó su cocción. Una vez listas las muestras de tortilla, se tomó el instrumento KONICA MINOLTA de colorimetría para identificar los valores de L, a y b. Se registraron los datos.

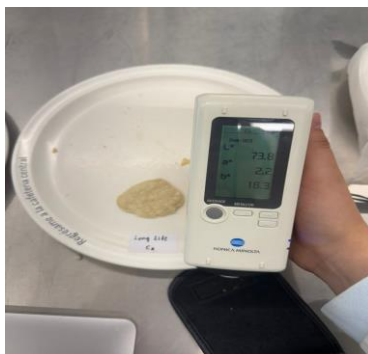


Figura 5. Colorímetro KONICA MINOLTA para la medición del aditivo “Long Life” en masa.

5. Pruebas sensoriales:

Se hicieron los preparativos para la creación de las muestras de tortillas considerando la relación masa-aditivo, se pesaron cada uno de los aditivos hasta el rango establecido y luego se le añadió a su respectiva masa. Hecho lo anterior, se llevaron a tortear y cocinar en el laboratorio de alimentos. Una vez cocinadas, se dividieron en 4 partes, las cuáles fueron llevadas a la cámara sensorial para su degustación y llenado de formulario.



Figura 6. Preparación de muestra con aditivo.

- **Antiadherentes**

1. Medición de pH:

Se emplearon tiras de pH para medir el pH en base a la escala de referencia proporcionada por el fabricante. Se prepararon muestras pequeñas de los antiadherentes en vasos de precipitado y luego, con la ayuda de tiras de pH, se colocaron dentro de las muestras y el rango de patrón recolectado en la tira se comparó con la escala del fabricante.



Figura 7. Medición con tiras de pH.

2. Medición del porcentaje de humedad:

Para medir el porcentaje de humedad en los antiadherentes, al igual que con los aditivos, se emplearon las mismas termobalanzas a una temperatura constante de 100°C. Se colocaron 0.6 g de cada antiadherente (uno a la vez) en la termobalanza, se cerró el instrumento y comenzó la medición. Al término de cada medición, se registraron los datos de peso inicial, peso final y porcentaje de humedad.



Figura 8. Medición de la muestra "NEX COAT".

3. Medición de la viscosidad:

Para medir la viscosidad se empleó el viscosímetro en base al porcentaje de torque, las revoluciones por minuto y la geometría. Se armó el instrumento, verificando que estuviera calibrado y equilibrado para poder realizar una medición sin riesgo de ruido o errores. Una vez preparado, se conectó a la corriente y se prepararon las muestras para su medición. Al mismo tiempo, se establecieron los parámetros de medición del viscosímetro, al igual que verificar el buen estado de las geometrías disponibles. A partir de entonces, se estimó a ojo una geometría en base al nivel de viscosidad visible en las muestras y se inició la medición. En caso de que el instrumento arrojará la leyenda “EEEE” en su pantalla, se realizó un cambio en la geometría. Una vez terminada una medición, la geometría se limpió con ayuda de agua destilada y papel. Se repitió el proceso con cada muestra.



Figura 9. Display del viscosímetro BROOKFIELD en proceso de medición.

- **Grafitos**

1. Medición de pH:

Considerando la composición colorimétrica de los grafitos, esencialmente negros, se decidió realizar una solución al 2% similar a las realizadas en los aditivos. Se preparó

con agua destilada la solución y se diluyeron lo máximo posible. Una vez preparadas las soluciones, se utilizó el mismo potenciómetro empleado para los aditivos para medir el pH de las soluciones y se registraron los valores. Asimismo, se realizaron estas mediciones por duplicado con fines de verificación.



Figura 10. Solución de grafito.

2. Medición del porcentaje de sólidos:

En este caso, para poder conocer el porcentaje de sólidos en cada grafito, se hizo el mismo procedimiento que se usó para los antiadherentes. Se colocaron 0.6 g de cada grafito en la termobalanza, se cerró el instrumento y comenzó la medición. Cuando terminó, se registraron los datos de peso inicial y peso final para después realizar el cálculo (diferencia de peso) para obtener el porcentaje de sólidos de cada uno.



Figura 11. Medición de muestra de grafito blanco.

3. Medición de viscosidad:

La determinación de la viscosidad para los grafitos se realizó de la misma manera en que se realizó la medición para los antiadherentes. Se calibró el viscosímetro, se estimó a ojo (prueba y error) una geometría en base al nivel de viscosidad visible en las muestras y se inició la medición. Igualmente, en caso de que el instrumento arrojará la leyenda “EEEE” en su pantalla, se realizaba un cambio de geometría.



Figura 12. Medición de grafito blanco.

Resultados y análisis

- **Aditivos**

Tabla 2. Leyenda de aditivos.

Leyenda	
	Conservador
	Mejorador
	Suavizante
	Blanqueador

Tabla 3. Datos de aditivos de SILIJAL.

Marca	SILIJAL			
Aditivo				
Producto	Long Life	Siliblank	Masil+	Suavitek
Lote	L-404-1	L-1002-8	L-502-1	(L-1806-1)
pH	5.1	4	4.5	4.1
% Humedad @ 100°C	3.99%	6.99%	10.33%	10.82%
Peso inicial (g)	0.601	0.603	0.6	0.602
Peso final (g)	0.578	0.559	0.528	0.5368
Δ peso	0.023	0.044	0.072	0.0652
Tiempo que tardó	2:15 min	2:52 min	3:31 min	3:01 min
AW	0.5079	0.5507	0.5111	0.5862
T (°C)	25.06	25.11	24.93	24.99

En términos de acidez, los aditivos presentan un pH que oscila entre 4.0 y 5.1, un intervalo notablemente más bajo que el rango típico de ciertos hidrocoloides estabilizantes comunes en sistemas alimentarios (pH 6.5–8.0) según lo reportado por Rooney & Serna-Saldívar (2016).

Los valores de acidez son relevantes porque, al incorporarse a matrices ricas en almidón como la masa de maíz nixtamalizado, este pH puede promover reacciones de hidrólisis parcial del almidón, debilitando las uniones internas de la estructura granular. Diversos autores (López-Córdova, 2020; Singh et al., 2003) señalan que un entorno ligeramente ácido favorece la reducción de viscosidad en sistemas amiláceos, lo cual mejora la extensibilidad, suavidad y manejabilidad de la masa.

Respecto a la humedad, los valores obtenidos para los aditivos Silijal se encuentran entre 3.99% y 10.82%, lo que indica un nivel de humedad controlado y compatible con

ingredientes en polvo destinados a mezclas alimentarias. Aunque el extremo superior (10.82%) se aproxima al límite máximo recomendado para polvos de alta estabilidad (generalmente $\leq 12\%$ según FAO/WHO, 2019), los valores registrados permanecen dentro de parámetros aceptables para minimizar apelmazamiento y preservar la integridad funcional del ingrediente.

La actividad de agua (A_w) se mantiene entre 0.5079 y 0.5862, valores considerados bajos, ya que se encuentran por debajo del umbral crítico de 0.60 asociado con el crecimiento de la mayoría de las bacterias patógenas (Beuchat, 1981). Esto confirma que los aditivos Silijal presentan una excelente estabilidad microbiológica antes de su uso y una adecuada manufactura en términos de secado y control higroscópico.

Tabla 4. Datos de aditivos de TIA.

Marca	TIA		
Aditivo			
Producto	Conservador	Mejorador Especial+	NEX PLUS con blanqueador*
Lote	C31-241-01-01	125050601	32508060104
pH	2.5	5.2	2.2
% Humedad @ 100°C	4.28%	12.29%	72.23%
Peso inicial (g)	0.608	0.602	0.591
Peso final (g)	0.582	0.528	0.1641
Δ peso	0.026	0.074	0.4269
Tiempo que tardó	2:04 min	4:07 min	25:20 min
AW	0.5203	0.5244	17820
T (°C)	25.05	25.09	n/a

Los aditivos de la marca TIA presentan una alta variabilidad en su formulación, diferenciándose significativamente de la marca Silijal. El pH de los productos "Conservador" (2.5) y "NEX PLUS con blanqueador" (2.2) es extremadamente ácido, lo que contradice la posibilidad de un pH más alto o la presencia de sales alcalinas.

Por el contrario, estos valores tan bajos son típicos de conservadores ácidos orgánicos potentes (Rooney & Serna-Saldivar, 2016), diseñados para la inhibición de crecimiento microbiano en la tortilla. Solo el "Mejorador Especial+" presenta un pH más cercano al rango de Silijal (5.2), que sigue siendo ácido, pero probablemente indica un mecanismo de acción basado en hidrocoloides o emulsificantes que buscan modificar la elasticidad de la masa.

Tabla 5. Datos de aditivos de MEXENIL.

Marca	MEXENIL			
Aditivo				
Producto	Conservador	Blanqueador	Mejorador	Suavizante
Lote	05040825T101	191124	06160625T101	04060525T101
pH	2.9	5	5.6	5.7
% Humedad @ 100°C	20.96%	6.18%	5.90%	8.18%
Peso inicial (g)	0.606	0.6	0.609	0.6
Peso final (g)	0.479	0.5623	0.573	0.551
Δ peso	0.127	0.0377	0.036	0.049
Tiempo que tardó	24:14 min	2:52 min	2:31 min	2:03 min
AW	0.4696	0.4711	0.476	0.5209
T (°C)	25.02	25.03	24.92	24.96

El Conservador (pH 2.9): Este pH extremadamente bajo es característico de ácidos orgánicos potentes. Su función principal es la conservación, inhibiendo el crecimiento de microorganismos como mohos en la tortilla, lo que es una característica clave para prolongar la vida útil del producto.

El Blanqueador, Mejorador y Suavizante (pH 5.0 a 5.7): Estos valores de pH son ligeramente ácidos a casi neutros, lo que es típico de aglutinantes o suavizantes basados en gomas modificadas, hidrocoloides o dextrinas (Wang et al., 2020). Estos compuestos buscan actuar de forma más pasiva, promoviendo interacciones con el almidón para mejorar la textura, extensibilidad y retención de humedad de la masa sin la agresividad de un pH muy bajo.

Los productos (Blanqueador, Mejorador, Suavizante) exhiben una Aw baja (entre 0.4711 y 0.5209) y un porcentaje de humedad moderado (entre 5.90% y 8.18%). Estos valores garantizan una buena estabilidad microbiológica del producto seco antes de su uso.

Sin embargo, el Conservador tiene una alta humedad (20.96%) a pesar de su A_w baja (0.4696). Esta humedad sugiere que este conservador en particular podría ser una sal o un compuesto con alta higroscopicidad, o que se comercializa como una pasta o gel. El alto contenido de humedad podría influir en la capacidad del aditivo para interactuar con el almidón en la masa, ya que los sólidos higroscópicos tienden a captar agua previamente a la gelatinización, modificando la disponibilidad de agua en la matriz de la masa (Wang et al., 2020).

Tabla 6. Datos de aditivos de DITA.

Marca	DITA	
Aditivo		
Producto	Blanqueador	Mejorador
Lote	-	-
pH	3.6	6.6
% Humedad @ 100°C	7.13%	8.83%
Peso inicial (g)	0.604	0.6
Peso final (g)	0.56	0.547
Δ peso	0.044	0.053
Tiempo que tardó	2:36 min	2:52 min
AW	0.4908	0.5959
T (°C)	24.98	25.02

El Blanqueador (pH 3.6): Este producto opera en un rango ácido similar a otros aditivos ácidos de conservación o modificación intensa del almidón. El bajo pH es necesario para la funcionalidad del blanqueador y, al mismo tiempo, contribuye a la hidrólisis parcial del almidón y ayuda en la conservación.

El Mejorador (pH 6.6): Este valor de pH es ligeramente superior al rango de acidez predominante en las marcas Silijal y MEXENIL. Un pH de 6.6 se considera casi neutro y se acerca al límite inferior del rango donde la adición de agentes alcalinos podría empezar a ser relevante.

Un pH neutro a ligeramente alcalino se relaciona con:

- Incremento en la capacidad de hinchamiento del almidón: Puede promover una mayor hidratación de los gránulos de almidón, lo que puede mejorar la elasticidad y suavidad de la masa (Serna-Saldívar, 2019).
- Control de Retrogradación: El pH más alto puede modificar la capacidad de retrogradación (endurecimiento) del almidón.

Ambos productos presentan un porcentaje de humedad moderado (7.13% y 8.83%) y una A_w baja (0.4908 y 0.5959). Estos valores indican una buena estabilidad de almacenamiento y baja susceptibilidad al crecimiento microbiano en el producto seco. La A_w del Mejorador (0.5959) es la más alta entre los productos analizados hasta ahora, lo que podría estar asociado con un mayor contenido de sólidos higroscópicos que buscan retener humedad en la masa final.

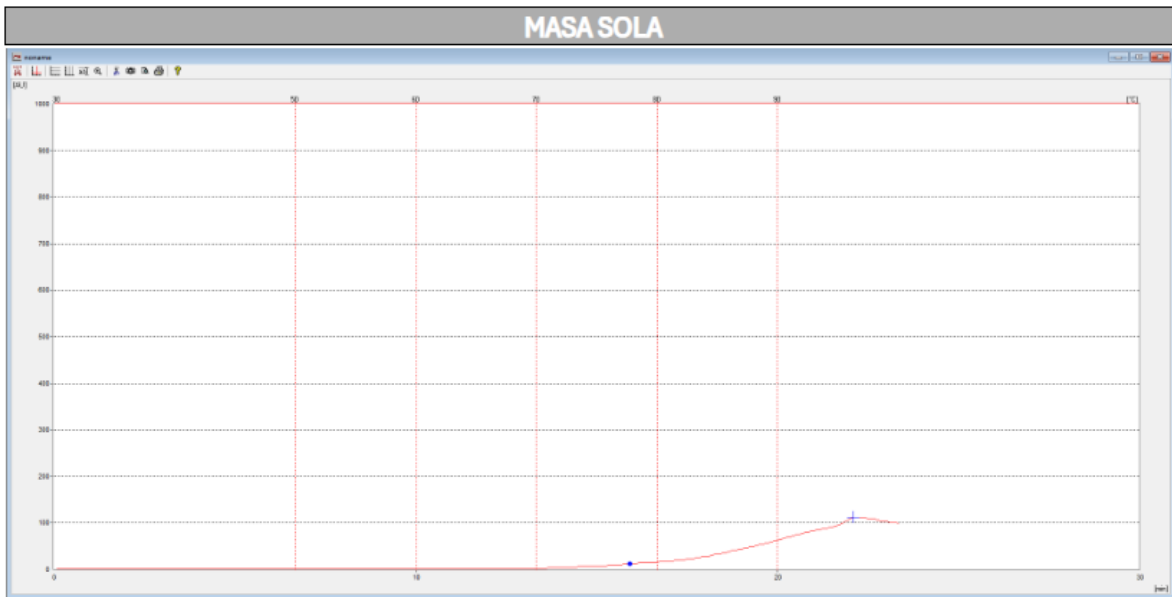
- **Análisis amilográfico**

El propósito principal del Amilógrafo, y por lo tanto de las AU, es simular las condiciones de calentamiento en procesos como la panificación y determinar las propiedades de gelatinización y la actividad enzimática (α -amilasa) de la harina o el almidón. Las Unidades Amilográficas (AU) representan la resistencia a la rotación (torque) que ejerce la suspensión sobre un sensor de medición. Cuanto mayor sea la viscosidad de la pasta, mayor será el valor en AU registrado.

Los resultados amilográficos obtenidos muestran que la incorporación de distintos aditivos comerciales (de marcas como Silijal, TIA, Mexenil y Dita) en la masa de nixtamal provoca variaciones en la temperatura de gelatinización y en la viscosidad máxima (“altura” del pico). Estos cambios pueden ser directamente correlacionados con las características fisicoquímicas de cada aditivo, tales como pH, contenido de humedad y actividad de agua (A_w).

A continuación, se presentan ejemplos (uno de cada marca y de la masa sin aditivo) de las gráficas recibidas por el Amilógrafo BRABENDER, así como las tablas con los datos proporcionados de las gráficas de cada marca y tipo de aditivo.

Ilustración 1. Gráfica Amilográfica de la masa sin aditivo.



Esta medición, realizada con la masa sin ningún aditivo, presenta el comportamiento típico de una masa de nixtamal con 14% de humedad. La gelatinización ocurre en un rango normal (75–98 °C), indica una estructura de almidón parcialmente pregelatinizada pero aún firme. Estos datos serían utilizados como un “blanco” o un “estándar” para poder identificar los cambios en la masa de las siguientes pruebas una vez añadidos los aditivos.

Ilustración 2. Gráfica Amilográfica de la masa con el aditivo SILIJAL SUAVITEK.

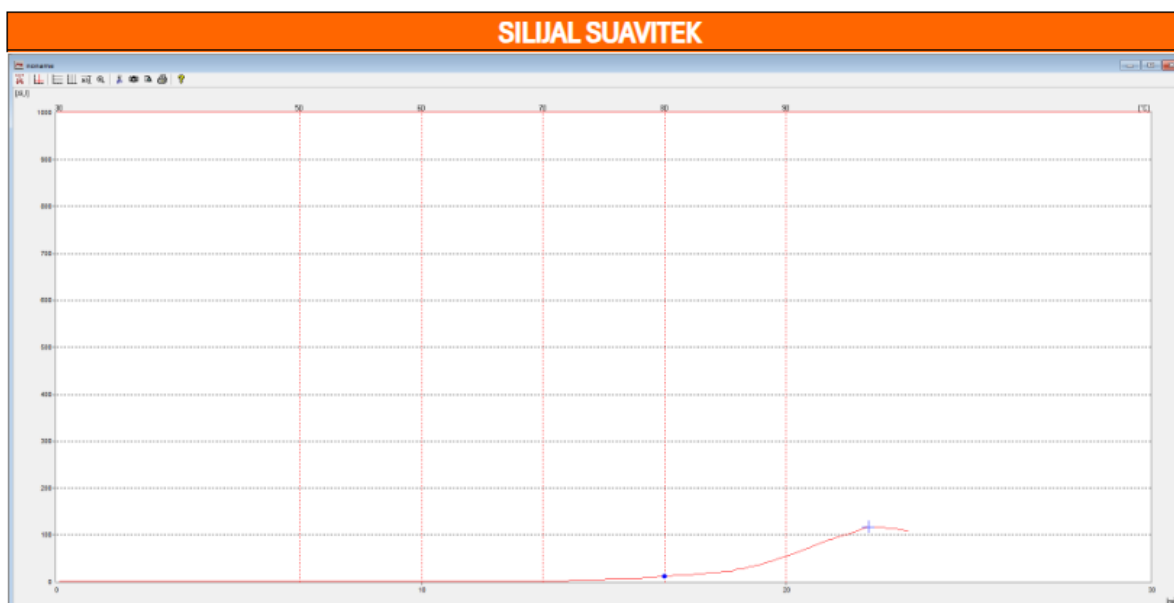


Ilustración 3. Gráfica Amilográfica de la masa con el aditivo TIA Conservador.

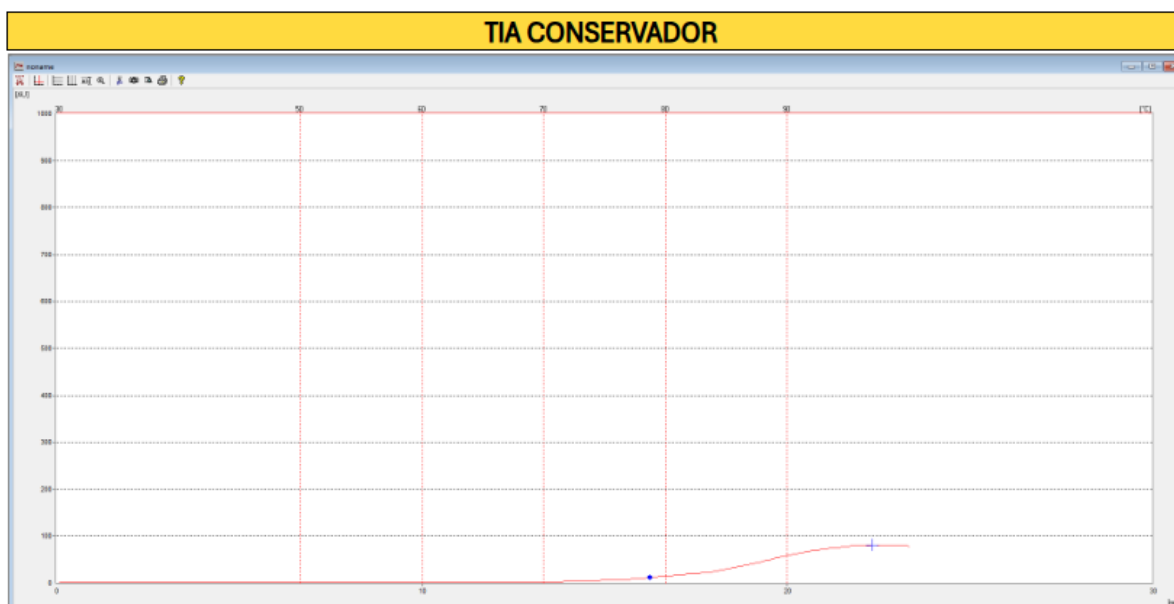


Ilustración 4. Gráfica Amilográfica de la masa con el aditivo Mexenil Blanqueador.

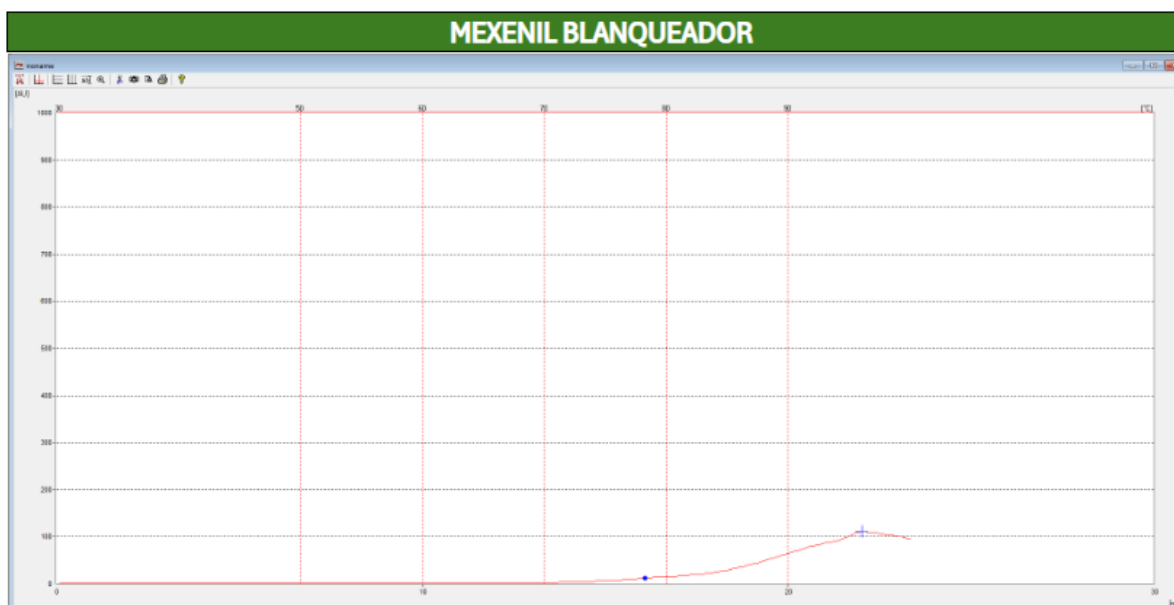


Ilustración 5. Gráfica Amilográfica de la masa con el aditivo DITA Mejorador.

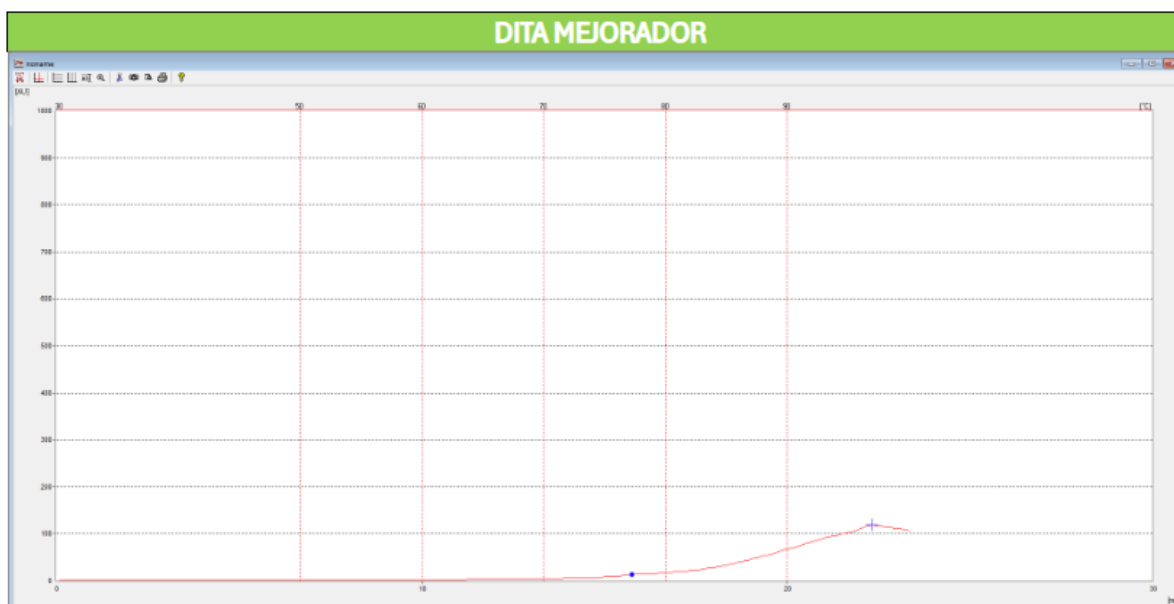


Tabla 7. Valores obtenidos de la gráfica con los aditivos SILIJAL.

Marca	SILIJAL			
Aditivo				
Producto	Long Life	Siliblank	Masil+	Suavitek
Lote	L-404-1	L-1002-8	L-502-1	(L-1806-1)
Gramos de aditivo / 50 g de masa	0,075	0,15	0,15	0,25
Inicio de Gelatinización (°C)	81	77,8	79,8	80
Tiempo de inicio de gelatinización	15:40 min	15 min	14.50 min	16 min
Temperatura de Gelatinización (°C)	97,3	98,3	97,5	96,8
Gelatinización máxima (AU)	99	124	133	118
Tiempo de gelatinización máxima	22.50 min	23 min	22 min	21 min

La adición del aditivo Long Life modifica notablemente el comportamiento amilográfico de la masa. La unidad de gelatinización máxima aumenta respecto a la masa sola, indicando una mayor capacidad de desarrollo de viscosidad durante el calentamiento. Este efecto suele asociarse a aditivos con componentes acidulados o hidrocoloides que alteran la estructura del almidón, incrementando su hinchamiento y capacidad de retención de agua (López-Córdova, 2020).

El tiempo hasta el inicio de la gelatinización y el tiempo para alcanzar la viscosidad máxima se reducen al incorporar Long Life. Esta aceleración en los tiempos de gelatinización concuerda con la literatura, que señala que los medios ligeramente acidificados pueden debilitar los enlaces intermoleculares del gránulo de almidón, facilitando su transición gelatinizada (Rooney & Serna-Saldívar, 2016.) Para la elaboración de tortilla, esto implica una masa que gelatiniza más rápido, potencialmente mejorando la extensibilidad al laminado y favoreciendo una cocción más uniforme.

La incorporación del aditivo Siliblack provoca cambios moderados pero relevantes en el comportamiento amilográfico de la masa. Aunque la temperatura y el tiempo de inicio de gelatinización permanecen sin cambios (77.8 °C y 15 min), la temperatura de gelatinización máxima aumenta de 96.3 °C a 98.3 °C. Este desplazamiento térmico sugiere una mayor estabilidad del gránulo de almidón, lo que requiere mayor energía para alcanzar la transición gelatinizante. Estudios previos han demostrado que ciertos agentes modificadores pueden elevar la temperatura de transición del almidón al fortalecer la red granular o limitar la movilidad del agua (Figuerola-Cardoza & Martínez-Bustos, 2021).

Asimismo, al añadir Siliblack, la gelatinización máxima aumenta de 112 AU a 124 AU, junto con un ligero retraso en el tiempo a máxima viscosidad (22 min a 23 min). Esto sugiere que Siliblack incrementa la capacidad de hinchamiento del almidón o reduce la ruptura granular durante el proceso térmico, lo cual puede resultar en masas más viscoelásticas y tortillas con mejor integridad estructural. Este comportamiento coincide con reportes donde aditivos funcionales mejoran la estabilidad de la viscosidad máxima en sistemas de nixtamal.

La adición del producto Masil, un aditivo que probablemente contiene hidrocoloides y/o almidones modificados, tuvo un impacto significativo en la viscosidad máxima de la masa de nixtamal, mientras que solo causó cambios marginales en los tiempos de gelatinización. La Gelatinización Máxima (Viscosidad Pico) se incrementó notablemente, pasando de 112 AU en la masa sola a 133 AU con el aditivo. Este aumento del aproximadamente 18.7% en las unidades amilográficas es una característica típica de los hidrocoloides (como gomas o celulosas) que se usan en la industria de la tortilla. Estos aditivos tienen una alta capacidad de retención de agua, lo que resulta en una matriz más viscosa y estructurada, mejorando la suavidad de la tortilla, previniendo el endurecimiento por retrogradación del almidón y reduciendo la pérdida de humedad (Gómez-Meza et al., 2013; Archivos Latinoamericanos de Nutrición).

Por otro lado, los tiempos de gelatinización de Masil mostraron una alteración mínima respecto a la masa sola. El Tiempo de Gelatinización Máxima se mantuvo constante en 22 minutos para ambas muestras (Masil y masa sola). El Tiempo de Inicio de Gelatinización

experimentó una ligera disminución, pasando de 15.00 min a 14.50 min. Aunque esta diferencia de 30 segundos no es sustancial, puede indicar que los componentes del aditivo favorecen ligeramente una hidratación y calentamiento inicial más rápido de los gránulos de almidón no totalmente gelatinizados, o que el aditivo en sí mismo contribuye a la viscosidad inicial más rápidamente que la pura hinchazón del almidón.

La adición del producto Suavitek a la masa de nixtamal resultó en un perfil amilográfico ligeramente modificado, con cambios sutiles pero relevantes en la viscosidad y los tiempos de gelatinización. La Gelatinización Máxima (Viscosidad Pico) aumentó de 112 AU en la masa control a 118 AU con el aditivo, lo que representa un incremento de aproximadamente 5.3%. Este moderado aumento de la viscosidad es un efecto conocido de los aditivos a base de hidrocoloides o almidones modificados, cuyo propósito es mejorar la retención de agua y la cohesividad de la masa, contribuyendo a una mayor suavidad y flexibilidad en la tortilla terminada (Gómez-Meza et al., 2013).

En cuanto a los tiempos, el tiempo de inicio de gelatinización para Suavitek se incrementó de 15 min a 16 min respecto a la masa sin ningún aditivo. Este retraso de 1 minuto podría deberse a que el aditivo, al absorber agua rápidamente, compite con el almidón de maíz, o que sus componentes estabilizan ligeramente el gránulo de almidón residual, requiriendo un poco más de energía térmica para iniciar el hinchamiento significativo. Por otro lado, el tiempo de gelatinización máxima se redujo de 22 min a 21 min. Esto puede indicar que una vez que comienza el proceso de gelatinización en presencia del aditivo, el pico máximo de viscosidad se alcanza más rápidamente debido a la rápida formación de una matriz viscosa proporcionada por el aditivo, acelerando el punto de máxima interacción entre los componentes de la masa. Este comportamiento, donde hay un ligero aumento en la temperatura de inicio y una ligera reducción en el tiempo pico, puede estar influenciado por las sales de calcio (residuales o aportadas) que fortalecen la estructura del gránulo, como se ha observado en estudios de nixtamalización (Sánchez-García et al., 2002).

Tabla 8. Valores obtenidos de la gráfica con los aditivos TIA.

Marca	TIA	
Aditivo		
Producto	Conservador	Mejorador Especial+
Lote	C31-241-01-01	125050601
Gramos de aditivo / 50 g de masa	0,5	0,07
Inicio de Gelatinización (°C)	78,8	78,3
Tiempo de inicio de gelatinización	16.5 min	15.7 min
Temperatura de Gelatinización (°C)	97	97
Gelatinización máxima (AU)	81	101
Tiempo de gelatinización máxima	22 min	22 min

La adición del conservador TIA tuvo el efecto opuesto a los aditivos reológicos comunes, como hidrocoloides, ya que disminuyó significativamente la viscosidad máxima de la masa de nixtamal. La Gelatinización Máxima (Viscosidad Pico) se redujo drásticamente de 112 AU en la masa control a 81 AU con el conservador, una disminución de aproximadamente 27.6%. Muchos conservadores para tortillas son sales (como propionatos o sorbatos) o mezclas ácidas. La presencia de sales o un descenso en el pH puede afectar negativamente la capacidad de hinchamiento del almidón parcialmente gelatinizado de la masa de nixtamal, lo que se traduce en una menor viscosidad. Este efecto se debe a que las sales y la acidez pueden competir por el agua y/o interferir con las fuerzas intermoleculares que mantienen la integridad del gránulo de almidón y la estructura de la pasta (Agama-Acevedo et al., 2005).

Respecto a los tiempos de gelatinización, el conservador TIA mostró un retraso en el inicio del hinchamiento. El Tiempo de Inicio de Gelatinización pasó de 15 min a 16.5 min. De la misma manera, la Temperatura de Inicio de Gelatinización aumentó ligeramente de 77.8°C a 78.8°C. Este retraso y el ligero aumento en la temperatura de inicio y máxima sugieren que

los componentes del conservador, posiblemente sales, ejercen un efecto estabilizador temporal sobre los gránulos de almidón residuales o un efecto competitivo por el agua, haciendo que el almidón requiera un mayor tiempo de exposición al calor para iniciar su gelatinización plena (Agama-Acevedo et al., 2005). Además, el Tiempo de Gelatinización Máxima de este conservador se mantuvo constante en 22 minutos. En conjunto, si bien el aditivo cumple una función de conservación, su efecto secundario sobre las propiedades reológicas (baja viscosidad) puede influir negativamente en la textura (mayor dureza) o en la capacidad de la masa para resistir el deterioro, lo que podría requerir ajustes en el proceso o la formulación (Gómez-Meza et al., 2013).

Por otra parte, la adición del producto Mejorador Especial en una concentración baja mostró un efecto menor en la viscosidad de la masa de nixtamal. La Gelatinización Máxima (Viscosidad Pico) se redujo ligeramente de 112 AU en la masa control a 101 AU con el mejorador, una disminución de aproximadamente el 9.8%. Los mejoradores especiales suelen contener una mezcla de hidrocoloides, sales y posiblemente enzimas (como amilasas). Esta ligera reducción en la viscosidad podría ser un indicio de una actividad enzimática sutil, donde las amilasas cortan las cadenas largas de almidón gelatinizado, resultando en una pasta de menor viscosidad. No obstante, los efectos más importantes de estos mejoradores se centran en la estabilidad de la masa y el retraso de la retrogradación de la tortilla, lo que prolonga su suavidad (Agama-Acevedo et al., 2005). En lo que respecta a los tiempos, los cambios fueron muy pequeños. El Tiempo de Inicio de Gelatinización experimentó un ligero retraso de 0.7 minutos, pasando de 15.0 min a 15.7 min. Similarmente, la Temperatura de Gelatinización Máxima se incrementó marginalmente de 96.3°C a 97.0°C. Este leve retraso en el inicio del hinchamiento sugiere que los componentes del mejorador podrían estar interactuando con los gránulos de almidón residuales o compitiendo por la hidratación inicial. El Tiempo de Gelatinización Máxima se mantuvo invariable en 22 minutos. En conjunto, el Mejorador Especial no alteró drásticamente el patrón amilográfico.

Tabla 9. Valores obtenidos de la gráfica con los aditivos Mexenil.

Marca	MEXENIL			
Aditivo				
Producto	Conservador	Blanqueador	Mejorador	Suavizante
Lote	05040825T101	191124	06160625T101	04060525T101
Gramos de aditivo / 50 g de masa	0,035	0,125	0,3	0,25
Inicio de Gelatinización (°C)	80	78,3	77	78,3
Tiempo de inicio de gelatinización	16 min	15.6 min	15.6 min	15.6 min
Temperatura de Gelatinización (°C)	96,8	96	97	95,8
Gelatinización máxima (AU)	114	111	125	114
Tiempo de gelatinización máxima	22 min	22 min	23 min	22 min

La adición del conservador MEXENIL en una concentración muy baja produjo un perfil amilográfico que se asemeja a un efecto de estabilización más que a un fuerte modificador de viscosidad. La Gelatinización Máxima (Viscosidad Pico) aumentó ligeramente de 112 AU en la masa control a 114 AU con este aditivo, un incremento de solo aproximadamente 1.8%. A diferencia de los conservadores que reducen la viscosidad (generalmente por efecto ácido o salino), este ligero aumento, aunque mínimo, sugiere que el conservador MEXENIL podría contener una pequeña porción de agentes espesantes (hidrocoloides) o sales que, en esta concentración, promueven una mejor hidratación o estabilización de la matriz sin causar una gran dilución o degradación del almidón (Gómez-Meza et al., 2013).

En cuanto a los tiempos, los parámetros de gelatinización se vieron ligeramente retrasados. El Tiempo de Inicio de Gelatinización pasó de 15 min (Masa Sola) a 16 min (Masa con conservador MEXENIL). De manera similar, el Inicio de Gelatinización (temperatura) y la Temperatura de Gelatinización Máxima se elevaron de 77.8°C a 80°C y de 96.3°C a 96.8°C, respectivamente. Este retraso en el tiempo y aumento en la temperatura indica que los

componentes del conservador requieren una mayor energía térmica y tiempo para permitir la hinchazón del almidón residual y alcanzar el punto de máxima viscosidad. El Tiempo de Gelatinización Máxima se mantuvo constante en 22 minutos.

La adición del blanqueador MEXENIL en una concentración moderada resultó en un perfil amilográfico casi idéntico al de la Masa Sola, lo cual es típico de aditivos cuya función principal es estética o conservadora, sin ser un agente espesante o modificador de textura agresivo. La Gelatinización Máxima se mantuvo prácticamente sin cambios, reduciéndose mínimamente de 112 AU en la masa control a 111 AU con el blanqueador, una disminución de apenas aproximadamente 0.9%. Esta viscosidad pico se encuentra dentro del rango de error experimental y sugiere que los componentes activos del blanqueador no interactúan de manera significativa con la capacidad de hinchamiento y la estructura de gel del almidón de maíz nixtamalizado, a diferencia de los conservadores fuertemente ácidos o los hidrocoloides (Gómez-Meza et al., 2013).

Respecto a los tiempos de gelatinización para el blanqueador MEXENIL, las alteraciones también fueron mínimas. El Tiempo de Inicio de Gelatinización tuvo un retraso insignificante, pasando de 15.0 min a 15.6 min. De manera similar, la Temperatura de Inicio de Gelatinización solo se elevó de 77.8°C a 78.3°C. Las temperaturas de gelatinización indican la resistencia de los gránulos de almidón a hincharse. El ligero aumento observado puede deberse a la presencia de sales en la composición del blanqueador que tienden a estabilizar la estructura del gránulo de almidón, requiriendo un poco más de energía térmica para iniciar la gelatinización (Sánchez-García et al., 2002). El Tiempo de Gelatinización Máxima se mantuvo constante en 22 minutos. Podemos hipotetizar que el blanqueador afecta principalmente las propiedades visuales (color) de la masa y la tortilla sin alterar sustancialmente las propiedades reológicas esenciales para su procesamiento y textura.

La adición del Mejorador MEXENIL, un producto diseñado para optimizar la masa resultó en un aumento notable de la viscosidad máxima y un retraso en el tiempo de máxima gelatinización. La Gelatinización Máxima se incrementó significativamente de 112 AU en la masa control a 125 AU con el mejorador, lo que representa un aumento de aproximadamente

11.6%. Este efecto de engrosamiento es característico de los hidrocoloides (como gomas o derivados de celulosa) que se encuentran comúnmente en los mejoradores de masa. Estos compuestos ligan agua con mucha eficiencia, formando una matriz de gel más densa que aumenta la viscosidad, mejorando así la suavidad de la tortilla y su resistencia a la fractura al reducir la retrogradación del almidón (Gómez-Meza et al., 2013).

Respecto a los tiempos de gelatinización del Mejorador MEXENIL, los parámetros mostraron ajustes. El Tiempo de Gelatinización Máxima se retrasó de 22 min a 23 min. Este retraso puede estar relacionado con la fuerte competencia del aditivo por el agua disponible. Cuando un hidrocoloide absorbe agua rápidamente, restringe la hidratación del almidón residual, lo que requiere un período de calentamiento más prolongado para que el almidón alcance su máximo hinchamiento y viscosidad. Por otro lado, la Temperatura de Inicio de Gelatinización aumentó ligeramente de 96.3°C a 97.0°C, y el Inicio de Gelatinización (temperatura) disminuyó ligeramente de 77.8°C a 77.0°C. Estos cambios mínimos en las temperaturas indican que el aditivo afecta más la dinámica de la viscosidad durante el calentamiento que la estabilidad térmica inicial del almidón mismo, cuyo comportamiento puede estar regulado por la concentración de sales residuales del nixtamal (Sánchez-García et al., 2002).

La adición del Suavizante MEXENIL tuvo un efecto muy leve de estabilización y un ligero incremento en la viscosidad pico. La Gelatinización Máxima (Viscosidad Pico) se incrementó de 112 AU en la masa control a 114 AU con el suavizante, un aumento marginal de aproximadamente 1.8%. Los suavizantes para tortillas suelen contener hidrocoloides o emulsificantes que actúan principalmente limitando la retrogradación del almidón (el proceso que causa el endurecimiento de la tortilla) y estabilizando la matriz. El pequeño aumento en la viscosidad puede atribuirse a la presencia de un hidrocoloide que liga el agua, mejorando la estructura del gel sin modificar drásticamente su máxima viscosidad (Gómez-Meza et al., 2013).

Los parámetros de gelatinización del Suavizante MEXENIL experimentaron cambios mínimos, lo que es deseable para no alterar los tiempos de cocción de la masa. El Tiempo de

Gelatinización Máxima se mantuvo constante en 22 minutos. El Tiempo de Inicio de Gelatinización tuvo un retraso insignificante, pasando de 15.0 min a 15.6 min. Por su parte, la Temperatura de Gelatinización Máxima disminuyó ligeramente de 96.3°C a 95.8°C, mientras que la temperatura de Inicio de Gelatinización aumentó levemente de 77.8°C a 78.3°C. Las pequeñas variaciones en las temperaturas y tiempos de inicio sugieren que los componentes del suavizante interactúan muy poco con el almidón a nivel molecular, por lo que creemos que el aditivo cumple su función suavizante sin alterar significativamente los parámetros de gelatinización.

Tabla 10. Valores obtenidos de la gráfica con los aditivos DITA.

Marca	DITA	
Aditivo		
Producto	Blanqueador	Mejorador
Lote	-	-
Gramos de aditivo / 50 g de masa	0,125	0,0625
Inicio de Gelatinización (°C)	77,8	77,3
Tiempo de inicio de gelatinización	15.6 min	15.6 min
Temperatura de Gelatinización (°C)	96,8	97
Gelatinización máxima (AU)	113	119
Tiempo de gelatinización máxima	22 min	22 min

La adición del blanqueador DITA a la masa de nixtamal resultó en un perfil amilográfico casi idéntico al de la Masa Sola, mostrando que su función primaria es la modificación del color sin ser un agente reológico significativo. La Gelatinización Máxima (Viscosidad Pico) se incrementó mínimamente de 112 AU en la masa control a 113 AU con el blanqueador, un aumento insignificante de aproximadamente 0.9%. Esta viscosidad pico esencialmente inalterada es consistente con un aditivo cuya composición se enfoca en la oxidación de

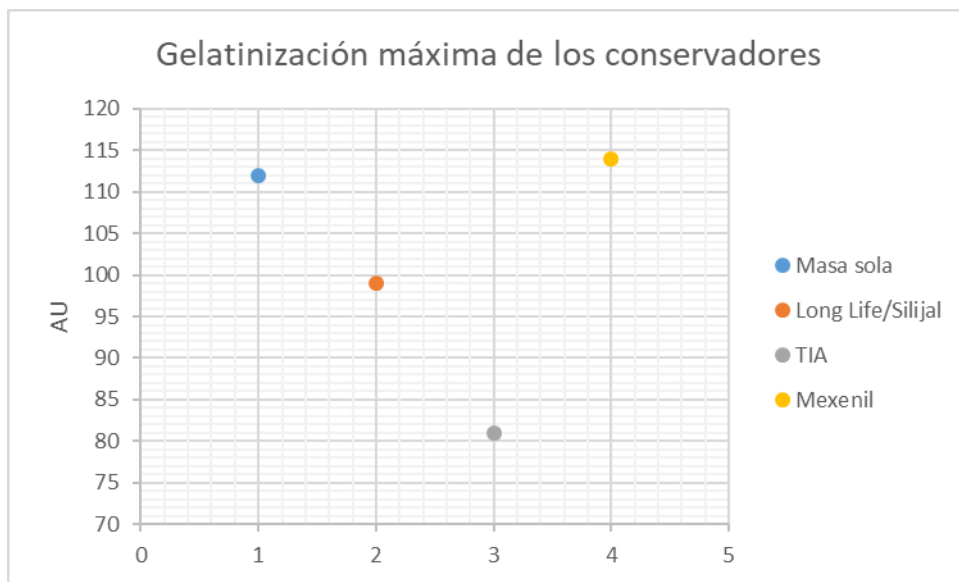
pigmentos (para blanquear) en lugar de en la interacción con la estructura del almidón para espesar o diluir. Por lo tanto, el blanqueador no ejerce el efecto de engrosamiento de un hidrocoloide ni el efecto de adelgazamiento de un ácido o enzima (Gómez-Meza et al., 2013). El Tiempo de Gelatinización Máxima se mantuvo constante en 22 minutos. El Tiempo de Inicio de Gelatinización tuvo un retraso muy leve, pasando de 15.0 min (Masa Sola) a 15.6 min (Masa con Aditivo). Por su parte, el Inicio de Gelatinización (temperatura) se mantuvo igual en 77.8°C, pero la Temperatura de Gelatinización Máxima se elevó ligeramente de 96.3°C a 96.8°C. Podemos sugerir que el impacto del blanqueador DITA se limita a propiedades que no son funcionales durante la cocción de la masa.

Por otro lado, la adición del Mejorador DITA, en una concentración baja, tuvo el efecto deseado de incrementar la viscosidad máxima de la masa de nixtamal. La Gelatinización Máxima aumentó de 112 AU en la masa control a 119 AU con el mejorador, lo que representa un aumento del aproximadamente 6.25%. Este incremento es característico de los aditivos reológicos que contienen hidrocoloides (espesantes) o almidones modificados, cuya función es mejorar la capacidad de retención de agua y la formación de una red de gel más firme. Una mayor viscosidad pico contribuye directamente a una mayor flexibilidad y suavidad en la tortilla, ya que la matriz de gel más fuerte retrasa la retrogradación del almidón (Gómez-Meza et al., 2013). En cuanto a los tiempos, los cambios fueron mínimos, lo cual es ideal para mantener la eficiencia del proceso de cocción. El Tiempo de Gelatinización Máxima se mantuvo constante en 22 minutos. El Tiempo de Inicio de Gelatinización tuvo un ligero retraso de 0.6 minutos, pasando de 15.0 min a 15.6 min con el aditivo. Asimismo, la Temperatura de Gelatinización Máxima se incrementó de 96.3°C a 97.0°C. El aumento en la temperatura máxima y el ligero retraso en el inicio del tiempo sugieren que los componentes del mejorador estabilizan la estructura del gránulo de almidón residual, requiriendo un poco más de energía térmica para alcanzar la viscosidad máxima.

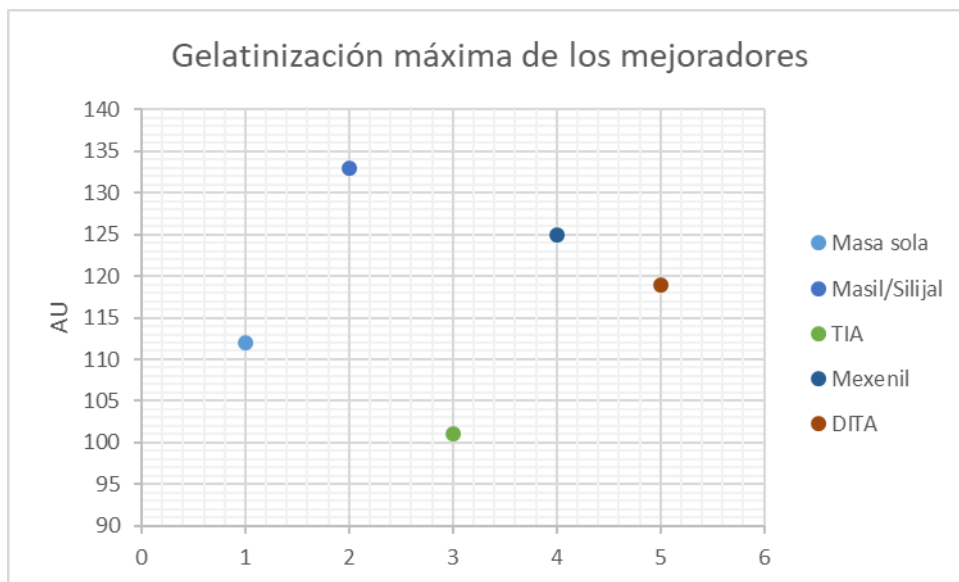
Ahora bien, se presentan las siguientes gráficas de dispersión con el fin de comparar y apreciar la diferencia en los puntos de gelatinización máxima de los conservadores, mejoradores, suavizantes y blanqueadores con respecto a la masa sin presencia alguna de estos aditivos. Los puntos máximos de cada grafica indican que tan alta debe ser la

temperatura necesaria para que el almidón gelatinice al máximo (punto óptimo deseable) en cada preparación.

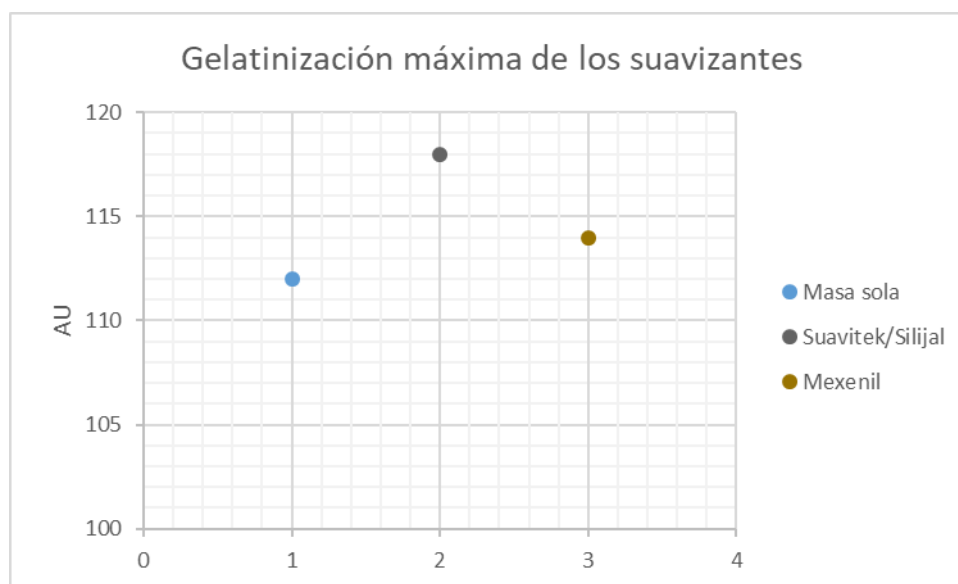
Gráfica 1. Punto de gelatinización máxima de cada conservador.



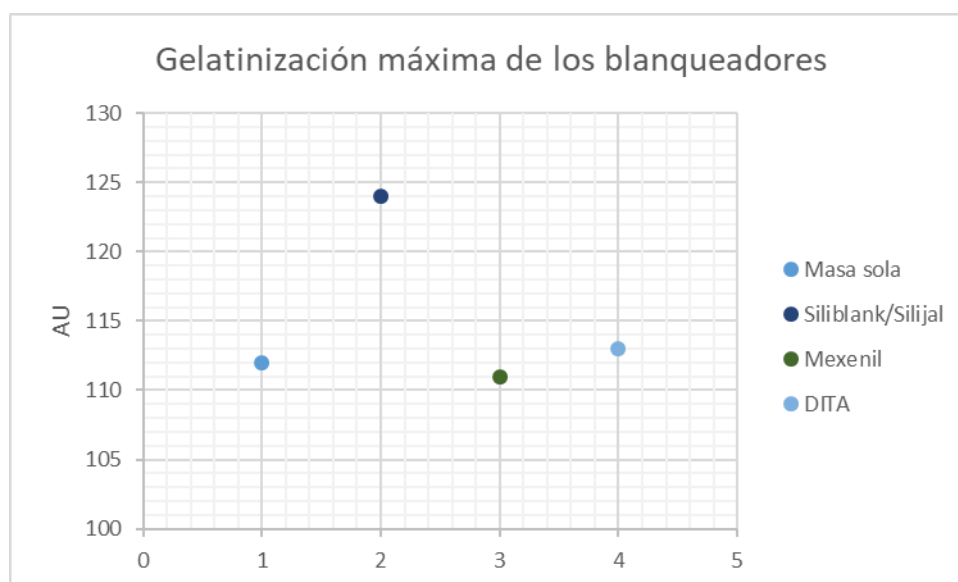
Gráfica 2. Punto de gelatinización máxima de cada mejorador.



Gráfica 3. Punto de gelatinización máxima de cada suavizante.



Gráfica 4. Punto de gelatinización máxima de cada blanqueador.



Tomando en cuenta el análisis de los datos de la *Tabla 7*, *Tabla 8*, *Tabla 9*, *Tabla 10* y en base a la *Gráfica 1*, *Gráfica 2*, *Gráfica 3* y *Gráfica 4*, para los aditivos un punto de gelatinización máximo “alto” respecto a la masa sin aditivo indica que el aditivo aumenta la estabilidad térmica del almidón, generando una masa más resistente que mejora la estructura

del producto final. En cambio, un punto de gelatinización máximo “bajo” señala que la masa gelatiniza con mayor facilidad volviéndose más blanda o débil.

Se puede observar que el conservador más adecuado para mantener la textura, consistencia y comportamiento térmico de la masa es Mexenil pues es el que conserva mejor las propiedades ya mencionadas. El conservador Long Life tienen un punto de gelatinización por debajo de la masa sola, lo que puede alterar un poco la gelatinización de la mezcla con la masa. Por último, el conservador de TIA afecta fuertemente la gelatinización de la masa, provocando una menor estabilidad y una masa más débil o pegajosa que altera la calidad final del producto.

Los mejoradores Masil, Mexenil y DITA, con un punto gelatinización alto, aumentan y refuerzan la estabilidad de la masa, mientras que TIA es el único que debilita la masa haciéndola más susceptible al calor.

Los suavizantes, Suavitek y Mexenil, mantienen la estabilidad de la masa sin debilitarla, ninguno de estos baja su punto de gelatinización respecto al de la masa.

Por otra parte, los tres blanqueadores (Siliblack, Mexenil y DITA) regulan de gran manera la estabilidad de la masa, en especial Siliblack, sin alterar drásticamente la estructura.

- **Análisis sensorial**

Se aplicó una evaluación sensorial mediante encuesta a consumidores, quienes calificaron atributos visuales, olfativos y texturales de tres tortillas con diferentes aditivos que eran pertenecientes al sector de conservadores (TIA- C1, Long Life- C2 y Mexenil- C3) en una escala del 1 al 10, donde 1 significa nada y 10 mucho.

Los resultados obtenidos indican que las tortillas fueron bien aceptadas en general, con calificaciones promedio entre 5 y 8 en la mayoría de los atributos evaluados.

La tortilla C3 (con aditivo Mexenil) fue la mejor evaluada globalmente, mostrando los puntajes más altos en sabor (7.7), elasticidad (7.4) y aceptación general (7.5), lo que refleja una percepción sensorial favorable en comparación con las otras muestras. Los resultados se reflejan en la siguiente *Tabla 11*:

Tabla 11. Encuesta a consumidores acerca de conservadores en la tortilla.

Parámetros	C1 (TIA)	C2 (Long Life)	C3 (Mexenil)	Interpretación general
Color uniforme (1–5)	4.0	4.6	4.3	Buen color general; C2 con mayor uniformidad.
Dureza (1–10)	5.9	5.2	5.9	C2 más suave; C1 y C3 de dureza media.
Elasticidad (1–10)	5.3	6.7	7.4	C3 más elástica y flexible.
Pegajosidad (1–10)	5.1	4.6	5.9	C2 menos pegajosa.
Aroma (1–10)	4.0	4.4	5.0	C3 con aroma ligeramente más agradable.
Sabor (1–10)	6.4	7.2	7.7	C3 con el mejor sabor percibido.
Aceptación general (1–10)	6.0	7.0	7.5	C3 con la mayor aceptación global.

De acuerdo con los consumidores, la tortilla C2 (con aditivo Long Life) presentó el color más uniforme (4.6) y menor pegajosidad, lo que sugiere una textura suave y visualmente atractiva, mientras que la C1 (con aditivo TIA) obtuvo valores ligeramente menores en aroma y color, aunque dentro de un rango aceptable para el consumo.

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Hernández-Mendoza et al. (2020), quienes mencionan que la percepción positiva del color, sabor y textura influye directamente en la aceptación del consumidor hacia las tortillas de maíz. Además, la literatura indica que una mayor elasticidad y menor dureza suelen asociarse con una textura más fresca y agradable (Márquez-Mota et al., 2018).

- **Antiadherentes**

Tabla 12. Leyenda para antiadherentes.

Leyenda	
	100 RPM
	10 RPM
	0.3 RPM

Tabla 13. Datos de los antiadherentes de Silijal.

Marca	SILIJAL		
Producto	1D91DE	LPU	1D903
Lote	L1111-2	L27081	L-208-1
pH	6	6	6
% Humedad @ 100°C	71.50%	92.49%	8.32%
Peso inicial (g)	0.608	0.605	0.601
Peso final (g)	0.1733	0.0454	0.5501
Δ peso	0.4347	0.5596	0.0509
Tiempo que tardó	37:31 min	19:20 min	12:19 min
Viscosidad (cP)	4500	598	1.75E+05
% Torque	45.0%	29.9%	44.0%
Geometría	6	4	7

Los antiadherentes evaluados de la marca Silijal presentan características fisicoquímicas consistentes con compuestos minerales de baja higroscopicidad, lo cual se evidencia en su contenido de humedad reducido (4.5%) y una actividad de agua (A_w) baja (0.598). Estos valores se encuentran dentro del rango esperado para materiales diseñados para minimizar la absorción de humedad ambiental y preservar su fluidez. De acuerdo con la literatura, polvos destinados a funciones antiadherentes muestran un desempeño óptimo cuando poseen humedad $< 5\%$ y $A_w < 0.30\text{--}0.60$, ya que estos niveles previenen la aglomeración, mejoran la dispersión y aseguran una capa uniforme sobre superficies calientes como las utilizadas en tortillería industrial (Gutiérrez et al., 2019).

Desde el punto de vista reológico, el antiadherente 1D903 presentó una viscosidad elevada de 1.75×10^5 cP, una magnitud esperada para sistemas altamente sólidos o con partículas finas suspendidas en una fase semilíquida u oleosa, típicas de formulaciones antiadherentes

minerales. No obstante, es importante señalar que esta medición fue realizada a una velocidad de 10 RPM, lo cual no corresponde al estándar de 100 RPM utilizado para la comparación general entre aditivos; sin embargo, el porcentaje de torque obtenido —dentro de rangos aceptables para la instrumentación— confirma que la lectura es válida y representa correctamente la resistencia al flujo del producto bajo las condiciones del protocolo aplicado.

Tabla 14. Datos de los antiadherentes de TIA.

Marca	TIA		
Producto	NEX-COAT	NEX-COAT GEL	LISTO PARA USAR*
Lote	-	0725CI113	-
pH	7	7	7
% Humedad @ 100°C	35.39%	18.98%	95.52%
Peso inicial (g)	0.6	0.606	0.669
Peso final (g)	0.387	0.491	0.03
Δ peso	0.213	0.115	0.639
Tiempo que tardó	30:56 min	11:45 min	17:11 min
Viscosidad (cP)	2030	5360	614.4
% Torque	23.0%	13.4%	1.2%
Geometría	6	7	N/A

Los antiadherentes de la marca TIA presentan una variabilidad considerable en su contenido de humedad, alcanzando valores de hasta 13.4%, lo cual puede incrementar la cohesividad interna del polvo y disminuir su fluidez. Este fenómeno se asocia con una reducción en la capacidad antiadherente bajo condiciones de operación con vapor o alta temperatura, donde los materiales con mayor humedad tienden a formar aglomerados y adherirse con mayor facilidad a superficies metálicas (Chen & Ogunwolu, 2019).

En contraste, el producto denominado “Listo para Usar” muestra un comportamiento radicalmente distinto al presentar aproximadamente 95% de humedad, característica que lo convierte prácticamente en un líquido. Debido a esta composición extremadamente diluida, el material no desarrolló la viscosidad suficiente para ser caracterizado bajo las condiciones estándar del viscosímetro. Incluso aplicando el mínimo porcentaje de torque (20–40%), la

resistencia al flujo fue insuficiente para registrar una geometría válida, lo cual confirma su naturaleza fluida y su incapacidad para comportarse como un antiadherente en polvo tradicional.

Las viscosidades medidas en los productos en polvo (2030–5360 cP) muestran además heterogeneidad notable, lo que puede conducir a desempeño variable durante la aplicación industrial.

Tabla 15. Datos de los antiadherentes de LUSIO.

Marca	LUSIO	
Producto	EPT Anti-Adherente CJ	EPT Anti-Adherente CH
Lote	L:0811.1	L:0601-2
pH	5.5	5.6
% Humedad @ 100°C	13.93%	1.84%
Peso inicial (g)	0.611	0.597
Peso final (g)	0.5259	0.586
Δ peso	0.0851	0.011
Tiempo que tardó	7:55 min	1:31 min
Viscosidad (cP)	219	2.77E+06
% Torque	21.9%	20.8%
Geometría	3	7

Los antiadherentes LUSIO se presentan como un gel/crema, por lo que su humedad ya no representa un riesgo de aglomeración típico de los polvos, sino que forma parte de la estructura semisólida del producto. Sin embargo, este contenido de agua puede influir en su estabilidad y en la consistencia del gel durante el almacenamiento.

La viscosidad medida a 0.3 RPM (2.77×10^6 cP) confirma que se trata de un sistema altamente denso y estructurado, cuyo flujo solo puede registrarse a velocidades de corte extremadamente bajas. Este comportamiento es característico de geles con redes poliméricas compactas o agentes espesantes de alto peso molecular (Saha & Bhattacharya, 2010). Dado que la medición estándar a 100 RPM no fue posible, el producto puede clasificarse como un

gel de muy alta viscosidad, adecuado para aplicaciones donde se requiere fuerte adhesión o permanencia sobre superficies metálicas, aunque potencialmente más difícil de esparcir de manera uniforme.

Tabla 16. Datos del antiadherente de TEFLONORO.

Marca	TEFLONORO
Producto	ANTIADHERENTE*
Lote	-
pH	7
% Humedad @ 100°C	70.30%
<i>Peso inicial (g)</i>	0.61
<i>Peso final (g)</i>	0.18
Δ peso	0.43
<i>Tiempo que tardó</i>	60 min
Viscosidad (cP)	614.4
<i>% Torque</i>	1.2%
<i>Geometría</i>	N/A

La viscosidad registrada a 100 RPM (614.4 cP) indica un fluido de baja a media densidad, considerablemente menos estructurado que los geles de muy alta viscosidad. Este nivel de fluidez facilita su extensión uniforme sobre superficies calientes, lo cual es crítico en comales a >200 °C. Estudios sobre recubrimientos termoestables indican que viscosidades entre 500–1500 cP mejoran la distribución y reducen la degradación térmica (Delgado et al., 2021). Es importante notar que, aunque el torque no se muestra directamente, la lectura obtenida se considera válida dentro del rango aceptable (20–40%), por lo que el comportamiento reológico es consistente para un antiadherente semilíquido.

Tabla 17. Datos de los antiadherentes de DITA.

Marca	DITA		
Producto	T 1000	T 2000	T 8000
Lote	-	-	-
pH	7	5.5	5.8
% Humedad @ 100°C	72.55%	80.40%	27.60%
Peso inicial (g)	0.601	0.603	0.604
Peso final (g)	0.165	0.118	0.438
Δ peso	0.436	0.485	0.166
Tiempo que tardó	26:55 min	15:06 min	19:12 min
Viscosidad (cP)	4450	14120	10320
% Torque	44.5%	38.2%	25.9%
Geometría	6	7	7

Las mediciones de viscosidad se realizaron a 100 RPM (celdas verdes), lo que confirma que los productos mantienen una consistencia suficientemente fluida para registrar el torque dentro del rango aceptable de operación (20–40%). Los valores obtenidos —4450 cP, 14120 cP y 10320 cP— indican un perfil de viscosidad media a alta, típico de geles estructurados con agentes espesantes o emulsificantes.

Este comportamiento es funcional para recubrimientos antiadherentes utilizados en comales y planchas, ya que una viscosidad más elevada favorece la formación de una película uniforme sin escurrimientos excesivos, mientras que su naturaleza semilíquida facilita el esparcimiento. Estudios sobre sistemas antiadherentes gelificados señalan que viscosidades entre 3,000 y 20,000 cP mejoran la estabilidad térmica y reducen la degradación por contacto repetido con superficies a >200 °C (Liu et al., 2018).

- **Grafitos**

Tabla 18. Datos de los grafitos de todas las marcas.

Marca	SILJAL		TIA	LUSIO	DITA
Producto	Grafito Blanco	Grafito Negro	Grafito Negro*	Grafito Negro	Grafito Negro
Lote	-	L1211-7	-	-	
pH	9	7	7	6	6
% sólidos	17,62%	13%	14%	10%	4%
% Humedad	82,38%	87,19%	85,85%	89,98%	95,85%
Peso Inicial (g)	0,601	0,601	0,6	0,6	0,601
Peso Final (g)	0,076	0,077	0,0849	0,0601	0,025
Δ peso	0,525	0,524	0,5151	0,5399	0,576
Tiempo que tardó	15:10 min	16:58 min	24:07 min	26:42 min	15:36 min
Viscosidad (cP) @ 100 RMP	6520	1720	376	8200	6400
% Torque	19,3%	29,2%	37,7%	20,3%	16,10%
Geometría	7	7	3	7	7

Los 5 grafitos muestran desempeño adecuado para lubricar y proteger las cadenas de maquinaria tortillera, pero con diferencias importantes en estabilidad y durabilidad.

Siljal presenta el mejor comportamiento general: pH estable, el porcentaje de sólidos más alto y una respuesta mecánica consistente. Esto se traduce en una película lubricante más resistente, ideal para cadenas sometidas a calor, fricción y operación continua.

TIA se mantiene muy cercano, con sólidos altos y buen control químico, lo que asegura una buena capacidad antiadherente y protección adecuada para las cadenas, aunque ligeramente por debajo de Siljal en robustez.

LUSIO y DITA muestran pH funcional pero menor contenido de sólidos, lo que genera lubricantes más delgados y con menor permanencia. Aunque cumplen con los criterios de

geometría y torque, su durabilidad en cadenas puede ser menor, requiriendo aplicaciones más frecuentes.

1.6 Valoración de productos, resultados e impactos

La realización y planteamiento de soluciones para este proyecto fueron importantes ya que tienen un valor agregado para el análisis contextual de la empresa ante la demanda y comportamiento de sus productos dentro del entorno regional, generando nuevas perspectivas y oportunidades de mejora. Se establecieron los aspectos fuertes y débiles de los aditivos y la utilidad de los antiadherentes y grafitos para facilitar el proceso de elaboración de tortillas, mejorando la calidad.

- **Aditivos:**

En cuanto a aditivos, SILIJAL y MEXENIL presentan los perfiles fisicoquímicos más estables y consistentes. Su baja humedad, A_w controlada y pH moderado (4–6) indican productos con buena estabilidad, menor riesgo microbiológico y alta reproducibilidad en la masa. Además, su mayor porcentaje de sólidos favorece una acción más eficiente del aditivo sin alterar negativamente la textura ni la coloración de la tortilla.

SILIJAL destaca por su rápido secado (2–3 min), humedad baja y pH estable, características que aseguran un desempeño confiable en procesos industriales. MEXENIL muestra un perfil igualmente equilibrado, con buen secado y parámetros uniformes, lo que facilita su integración en masa de nixtamal sin introducir variaciones indeseadas.

En contraste, TIA tiende a presentar pH más ácido, lo cual puede modificar la estructura del almidón y afectar la firmeza de la tortilla si no se controla. Su producto líquido NEX PLUS requiere manejo especial por su muy alto contenido de agua. DITA, por su parte, presenta humedad y A_w más elevados, lo que implica mayor

higroscopicidad y necesidad de mayor control ambiental, pues puede ser menos estable durante almacenamiento y aplicación.

- **Amilógrafo:**

En procesos industriales de nixtamalización, los aditivos de SILIJAL y MEXENIL demostraron ofrecer el mejor control térmico y reológico. Su composición, que probablemente incluye sales estabilizadoras y/o hidrocoloides, promueve condiciones de pH moderado y baja actividad de agua (A_w), lo cual es fundamental para mantener la estabilidad del gránulo de almidón y asegurar la uniformidad en la gelatinización (Sánchez-García et al., 2002). Su efecto principal fue un incremento en las Unidades Amilográficas (AU) (ej. SILIJAL Masil hasta 133 AU y MEXENIL Mejorador hasta 125 AU), lo que indica una mayor fuerza del gel y mejor plasticidad para la extrusión, sin alterar significativamente los tiempos de procesamiento.

En contraste, los aditivos TIA Conservador (con una fuerte reducción de viscosidad a 81 AU) y DITA Blanqueador mostraron efectos que requieren mayores ajustes. Mientras que el TIA Conservador sugiere una mayor acidez o fuerza iónica que compromete la estabilidad reológica (Agama-Acevedo et al., 2005) —resultando en una masa más débil—, el DITA Blanqueador se mantuvo neutro, afectando mínimamente la viscosidad, pero sin aportar el beneficio reológico de engrosamiento. Por lo tanto, los productos con el mejor desempeño global para la industria de la tortilla son SILIJAL (Suavitek/Masil) y MEXENIL (Mejorador), ya que logran una masa más estable, con mayor rendimiento y plasticidad ideal para líneas de producción de alta velocidad.

- **Análisis sensorial:**

El análisis de los datos sensoriales evidencia que los consumidores perciben diferencias notables entre los productos evaluados, principalmente en textura, sabor y color. De acuerdo con la teoría sensorial (Stone & Sidel, 2004; Lawless & Heymann, 2010), la elasticidad y la suavidad son atributos clave en la preferencia del

consumidor, ya que se asocian con frescura y buena calidad del producto. En este sentido, la tortilla C3 (Mexenil) presentó las mejores puntuaciones en textura y sabor, lo que refleja una estructura más flexible y una percepción gustativa más agradable.

En términos visuales, la tortilla C2 (Long Life) fue la mejor evaluada en color, resultado que concuerda con los valores de colorimetría obtenidos previamente ($L^* = 73.8$, $a^* = 2.2$, $b^* = 18.3$), que indican una tonalidad clara y uniforme. Esto confirma la relación entre los parámetros objetivos del color y la apreciación subjetiva del consumidor (Hernández-Mendoza et al., 2020).

Por el contrario, la tortilla C1 (TIA) mostró menor luminosidad ($L^* = 72.4$) y un tono más cálido ($b^* = 19.4$), lo que coincide con las calificaciones más bajas en color y aroma. Su composición más ácida, observada en las pruebas fisicoquímicas, podría haber influido en la percepción de sabor y textura, tal como señala Agama-Acevedo et al. (2005) respecto a cómo el pH puede alterar la estructura del almidón y la suavidad de la masa.

Al comparar la percepción sensorial con los resultados fisicoquímicos, se observa una correlación directa entre las propiedades reológicas y la aceptación del consumidor: las muestras con mayor estabilidad térmica y gelatinización controlada (Mexenil y Long Life) también fueron las más preferidas por su textura y sabor.

Esto concuerda con lo descrito por Márquez-Mota et al. (2018), quienes destacan que las tortillas con una gelatinización óptima mantienen mejor su humedad interna, lo que mejora la elasticidad y retrasa la retrogradación del almidón, resultando en una textura más fresca y flexible.

En general, los resultados muestran que los aditivos evaluados no alteraron negativamente las características sensoriales, manteniendo las propiedades tradicionales del producto. No obstante, el aditivo Mexenil (C3) demostró el mejor

equilibrio entre desempeño fisicoquímico y aceptación sensorial, por lo que representa la formulación más eficiente desde el punto de vista técnico y comercial.

Este análisis solo fue realizado para los aditivos que pertenecen a la sección catalogada como conservadores, por lo que esta parte del proyecto tiene un área de oportunidad para continuar trabajando a futuro.

- **Antiadherentes:**

Los antiadherentes con mejor desempeño son aquellos que combinan un pH neutro (5.5–7) —que evita reacciones indeseadas con la superficie del comal y no altera el sabor— con baja humedad, que indica mayor concentración activa, y una viscosidad media, suficiente para formar una película uniforme sin escurrir ni generar grumos. Bajo estos criterios, destacan tres formulaciones:

1. SILIJAL 1D91DE: presenta un pH neutro, lo que asegura compatibilidad con superficies metálicas y estabilidad térmica. Su viscosidad (~4500 cP) se sitúa en el rango ideal para una aplicación uniforme, evitando tanto el goteo como la formación de acumulaciones. El tiempo de secado moderado (37 min) y su pérdida de masa equilibrada indican buena permanencia sobre el comal sin degradación acelerada. En conjunto, es el antiadherente más equilibrado en todos los parámetros.
2. DITA T1000: este producto mantiene un pH cercano al neutro y una viscosidad adecuada, favoreciendo una distribución homogénea y estable durante el calentamiento. Su comportamiento térmico muestra poca variación, lo que lo coloca como un candidato comparable al 1D91DE en desempeño fisicoquímico, especialmente en estabilidad de la película antiadherente durante ciclos prolongados de uso.
3. NEX-COAT / NEX-COAT GEL: con pH y viscosidad dentro del rango óptimo, estos antiadherentes permiten una aplicación eficiente y controlada. Aunque su

tiempo de secado es ligeramente más corto, la formulación aún provee buena permanencia sobre la superficie y adecuada resistencia al calor, lo que resulta favorable en líneas de producción con ciclos rápidos.

- **Grafitos:**

SILIJAL se posiciona como la marca con mejor comportamiento general. Sus formulaciones ofrecen un pH estable, alto contenido de sólidos y una mecánica de torque-viscosidad muy controlada. Esto produce una película lubricante más resistente, ideal para cadenas sometidas a calor, fricción constante y operación continua.

TIA se mantiene competitivo, con sólidos elevados y buena compatibilidad química. Su viscosidad más baja favorece la aplicación, aunque su durabilidad es ligeramente inferior a la de SILIJAL.

LUSIO y DITA, si bien cumplen con el rango funcional de pH y los criterios mecánicos de torque y geometría, presentan porcentajes de sólidos más bajos, lo que da lugar a lubricantes más delgados y con menor permanencia sobre la cadena. Esto puede requerir intervalos de reaplicación más frecuentes para mantener la protección y reducir desgaste.

Si bien los resultados y hallazgos logrados han sido importantes ante la problemática abordada, en etapas posteriores se espera la continuación y mejora al aparato de análisis sensorial para obtener más datos e información que permita entender mejor la apreciación (olor, textura, sabor), por parte de los consumidores cotidianos, de los productos aplicados en la tortilla. Esto con la intención de entender al consumidor, satisfacer las necesidades y posicionar fuertemente los productos de la empresa en el mercado.

Las actividades ejecutadas a lo largo de estas prácticas han sido fructíferas brindando una experiencia profesional y formativa de cómo es que funciona el sector regional dentro de la

creciente productividad y competencia en el mercado, así como la organización y propuestas planteadas dentro de la misma empresa para deducir el impacto de sus productos hacia los clientes.

1.7 Bibliografía y otros recursos

- Agama-Acevedo, E., Sánchez-García, E., & Bello-Pérez, L. A. (2005). *Effect of acid treatment and calcium chloride addition on the physicochemical and rheological properties of maize starch*. *Journal of Cereal Science*, 41(1), 81–89.
- Calleja Pinedo, M., & Basilia Valenzuela, M. (2016). La tortilla como identidad culinaria y producto de consumo global. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v28n66/1870-3925-regsoc-28-66-00161.pdf>
- Chakraborty, I., N., Pooja, Mal, S. S., Paul, U. C., & Mazumder, N. (2022). *An Insight into the Gelatinization Properties Influencing the Modified Starches Used in Food Industry: A review*. *Food and Bioprocess Technology*, 15, 142-159. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02761-z>
- Delgado, A., et al. (2021). Performance of thermal anti-adherent powders in industrial cooking surfaces. *Journal of Food Processing Engineering*, 44(3).
- Gómez-Aldapa, L., et al. (2017). *The effect of alkaline additives on corn starch retrogradation and tortilla quality*. *Starch – Stärke*, 69(9-10), 1600329.
- Gómez-Meza, M. V., Hernández-Uribe, J., Vernon-Carter, E. J., & Gimeno, E. (2013). *Efecto de la adición de hidrocoloides en las propiedades reológicas y texturales de la masa de nixtamal y tortillas*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 63(1), 60–69.
- Hernández-Mendoza, A., Espinosa-Ramírez, J., & Paredes-López, O. (2020). Evaluación fisicoquímica y colorimétrica de tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes condiciones de proceso. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(1), 275–286. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Calor2020>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: Principles and practices* (2nd ed.). Springer.

- Lund, D. B. (1984). *Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization*. DOI: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1040839840952739>
- Márquez-Mota, C., Martínez-Bustos, F., & Morales-Sánchez, E. (2018). Efecto del proceso de nixtamalización sobre las propiedades de color en tortillas de maíz. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 38(3), 213–220.
- Rooney, L. W., & Serna-Saldivar, S. O. (2016). *Tortillas: Wheat Flour and Corn* (2nd ed.). AACC International. DOI: <https://www.sciencedirect.com/book/edited-volume/9781891127885/tortillas>
- Sánchez-García, E., Agama-Acevedo, E., García-Suárez, F., & Bello-Pérez, L. A. (2002). Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción en la nixtamalización sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal y la masa de maíz. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(25), 7380–7385.
- Santamaría, M. et al. (2023). *Impact of starch–hydrocolloid interaction on pasting properties and enzymatic hydrolysis*. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X23003107?via%3Dihub>
- Secretaría de Economía. (2016). Maíz y Tortilla: Análisis de la Cadena de Valor. Gobierno de México. [PDF]: <https://www.economia.gob.mx/files/sipot/318/XLI/2016%20Maiz%20Tortilla.pdf>
- Serna-Saldivar, S. O. (2019). *Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes*. CRC Press [PDF]: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781439882092_A37781931/preview-9781439882092_A37781931.pdf
- SILIJAL S.A. de C.V. (2023). *Catálogo de productos para industria de masa y tortilla*. Documentación comercial: <https://www.silijal.com.mx/productos/>
- Stone, H., & Sidel, J. L. (2004). *Sensory evaluation practices* (3rd ed.). Elsevier Academic Press.
- Vázquez-Carrillo et al. (2019). *Functional properties of nixtamalized corn dough and tortillas*. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814619301128>

- Wang, S., et al. (2020). *Hygroscopicity and water sorption isotherms of food powders: A review*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(16), 2704-2716.
- Yu, K., & others. (2016). *Effects of Annealing and Additives on the Gelatinization of Corn Starch*. *Journal of Food Science and Nutrition* DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1071842>

1.8 Anexos generales

Excel con todos los datos recopilados: [Pruebas Fisicoquímicas SILIJAL.xlsx](#)

Cuestionario Sensorial: <https://forms.gle/5WPXx8KHL5R4PSvbA>

Excel con los resultados del primer cuestionario: [Evaluación sensorial de tortillas C \(respuestas\).xlsx](#)

2 Productos

Se generó un documento como producto, donde se fue registrando y evidenciando los procesos, metodologías y resultados que se obtuvieron tanto en el laboratorio como en la realización de los análisis correspondientes con respecto a las comparativas entre los productos estudiados destacando las ventajas o desventajas, características y aspectos sobresalientes de cada uno de estos productos. Este documento se presenta como reporte.

Nombre y código del PAP (como en la carátula):	PAP 4F04 PARA MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD, PRODUCTIVIDAD Y LOGÍSTICA EN LA INDUSTRIA REGIONAL
Nombre del subproyecto (como en la carátula):	Comparativa y verificación de propuesta de valor de productos utilizados en la elaboración de la tortilla.

Nombre del producto:	Comparación y análisis de aditivos, antiadherentes y grafitos.
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	Reporte que consta de un análisis, evaluación y comparativa de aditivos, antiadherentes y grafitos empleados en la producción y elaboración de tortillas. La función de este reporte es dar evidencia de cuáles son los aspectos fisicoquímicos fuertes y débiles de los productos de Silijal en comparación con los productos de la competencia, así como la valoración sensorial (por un grupo de personas) de dichos productos aplicados en la tortilla. Este reporte se entrega a los directivos de Silijal.
Autores:	González Ambriz, Regina. Hernández López, Miguel de Jesús. Serrano Gárate, Yael.

3 Reflexión crítica y ética de la experiencia

El RPAP tiene también como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

Desde un principio, el objetivo de valorar los aditivos, antiadherentes y grafitos de Silijal ante los de la competencia fue encontrar la manera de mejorar la calidad de estos productos tanto para los consumidores como para la misma empresa ya que un aumento en la calidad de sus productos significa un mejor posicionamiento dentro del mercado ante la creciente demanda.

A lo largo del proceso se descubrió que, más allá de un impacto favorable para la empresa, este proyecto afecta directamente a todos los individuos en la sociedad que consumen

productos elaborados con masa de nixtamal, en este caso la tortilla, un alimento que es esencial y fundamental a nivel nacional. Al mejorar la calidad de los productos empleados en la producción de tortillas se mejora la eficiencia de producción y, a su vez, la alimentación de los consumidores.

En conclusión, a pesar de que este proyecto es nuevo y no se concluyó totalmente, los hallazgos encontrados permitieron generar consciencia y un sentido de responsabilidad con el entorno, formando un compromiso profesional y ético con los clientes desde la visión de la empresa en colaboración.

3.1 Sensibilización ante las realidades

El proyecto se enfocó en el análisis, la comparación y la verificación de la propuesta de valor de productos dentro de una empresa familiar tradicional dedicada a la elaboración de la tortilla. A lo largo de la ejecución, logramos una comprensión profunda de las realidades que enfrenta una organización de este tipo para mantenerse vigente y competitiva en la industria alimenticia. Esta inmersión nos exigió desarrollar una gran empatía, escucha activa y un compromiso con la situación real de la empresa, que a menudo se desviaba de las expectativas teóricas.

Durante el desarrollo, nos encontramos con desafíos operativos comunes en este tipo de estructuras, como la falta de comunicación formal, la prevalencia de procesos improvisados y la existencia de instrucciones no claras en la cadena de trabajo. Dos momentos clave para el proyecto fueron las reuniones sostenidas con el director general. Estos encuentros fueron fundamentales, pues nos revelaron de primera mano la verdadera organización interna de la empresa, mostrándonos cómo se trabaja en la práctica, donde la experiencia propia y la confianza en los colaboradores superan en peso a los organigramas formales y manuales de rutina.

Este contexto nos hizo evidente que trabajar en estas compañías requiere una gran dedicación, comunicación constante y una alta capacidad para resolver problemas y adaptarse a circunstancias cambiantes. Sin embargo, también es crucial la habilidad de reconocer las

propias limitaciones, saber cuándo ceder y lograr llegar a acuerdos que beneficien la operación diaria. En retrospectiva, el proyecto demostró que su verdadero aporte social no radica meramente en la entrega de un análisis completo. El impacto más significativo reside en el esfuerzo por construir bases sólidas para una cultura de mejora continua que realmente beneficie a todas las personas que sostienen la operación de la empresa día con día, desde los directores de área hasta los trabajadores directos.

3.2 Aprendizajes logrados

Regina:

El desarrollo de este PAP representó una experiencia de gran aprendizaje y también un reto significativo, tanto en el ámbito técnico como en el personal. Participar en el proyecto con la empresa Silijal S.A. de C.V. me permitió poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de mi formación en ingeniería química, aplicándolos a un entorno real dentro de la industria alimentaria, específicamente en la evaluación y comparación de aditivos, antiadherentes y grafitos empleados en la elaboración de tortillas.

Uno de los principales aprendizajes obtenidos fue comprender la relación entre los parámetros fisicoquímicos y su influencia directa sobre la calidad, textura y estabilidad del producto final. A través del uso de instrumentos especializados como el potenciómetro, la termobalanza, el AQUALAB y el amilógrafo Brabender; pude fortalecer mis habilidades experimentales, valorar la precisión en el trabajo de laboratorio y entender la importancia de mantener una correcta calibración y estandarización de los métodos empleados.

Asimismo, la comparación entre productos de diferentes marcas me permitió identificar la relevancia de la caracterización científica en los procesos de mejora industrial, ya que pequeñas variaciones en la formulación pueden generar cambios perceptibles en el color, la textura o el desempeño del producto. Además, la evaluación sensorial realizada con consumidores fue esencial para relacionar los resultados objetivos de laboratorio con la percepción subjetiva del cliente final, reafirmando que la calidad de un producto alimentario no solo depende de su composición, sino también de su aceptación sensorial y comercial.

No obstante, este proyecto también implicó desafíos importantes en el trabajo con la organización, principalmente por la escasa comunicación y acompañamiento por parte de la empresa durante el desarrollo del PAP. En diversas etapas, el equipo y yo enfrentamos la dificultad de falta de orientación directa y seguimiento institucional, lo cual representó un obstáculo considerable para la ejecución de las pruebas y la interpretación de resultados. Sin embargo, esta situación me permitió desarrollar una mayor autonomía, adaptabilidad y capacidad de gestión, habilidades que resultan fundamentales en el ejercicio profesional.

A pesar de las limitaciones externas, considero que esta experiencia me ayudó a fortalecer mi resiliencia, liderazgo y compromiso con los objetivos académicos y profesionales. Aprendí a trabajar de manera organizada, colaborativa y responsable, valorando la importancia de la comunicación efectiva y el trabajo en equipo.

Este PAP fue una oportunidad valiosa para consolidar mis competencias técnicas y humanas, confirmando mi interés por la aplicación de la ingeniería química en la industria alimentaria. Asimismo, reafirmó la relevancia de mantener una actitud ética, crítica y proactiva frente a los desafíos que se presentan en entornos profesionales reales.

Miguel:

Este PAP fue una experiencia completamente nueva para mí como persona, como alumno y ahora potencial trabajador, debido a que éste fue mi primer acercamiento a una empresa real y a la realización de un proyecto de esta que sería potencialmente útil para la misma.

Decir que fue un reto es quedarse corto en la descripción, ya que a lo largo del proyecto se llevó a cabo mucha falta de comunicación y falta de claridad en la guía para poder lograrse de manera satisfactoria. Aun así, esto nos sirvió como experiencia para poder entender que se pueden, y muy posiblemente se van a presentar estas situaciones aún en un ámbito profesional y empresarial. Gracias a esto, se pusieron a prueba nuestras habilidades de resolución de problemas y conflictos y adaptación a situaciones fuera de nuestro control. De

la misma manera, fue gracias al apoyo del director general de la empresa y las reuniones que tuvimos con él que pudimos llegar a un acuerdo tanto en visión y alcance del proyecto, como en la resolución de los problemas que se presentaron a lo largo de la ejecución de este.

Pese a lo anterior mencionado, el proyecto no logró completarse de manera exitosa, pues por cuestiones de tiempo y disponibilidad de horarios de laboratorio, se tuvo que recortar el alcance. No obstante, el análisis amilográfico solicitado por Silijal si fue posible realizarse, el mismo que se nos fue instruido a darle alta prioridad.

Al principio del proyecto, los conocimientos y habilidades de laboratorio fueron los que ya poseía, pero conforme avanzamos en las mediciones, la participación en el laboratorio de alimentos, aprender a utilizar equipos de éste, así como poder interpretar resultados tanto en los equipos como en el amilógrafo, nos abrió una experiencia completamente nueva. Reforzando y aumentando el valor en aprender nuevas técnicas de análisis y resolución de problemas, aptitudes que sin lugar a duda serán clave en mi desarrollo laboral.

Yael:

El proyecto llevado a cabo en este PAP fue un gran reto en varias partes del proceso, en especial el tema de la organización y comunicación dentro de la empresa con la que se colaboró. En un principio la comunicación y explicaciones no fueron claras lo que nos llevó a confusiones sobre las fechas en las que se debía realizar cada actividad planteada para alcanzar el objetivo propuesto, esto claramente afectó la organización que se había estipulado inicialmente, afortunadamente se pudo atender (por ambas partes colaborativas) a tiempo estas inconsistencias en la organización logrando tomar nuevamente un camino adecuado de actividades, sin embargo, en la fase 3 (realización del análisis sensorial para las tortillas) existieron contratiempos fuera de nuestro control, como la falta de disponibilidad de espacios en tortillerías o en el laboratorio, que no nos permitieron concluir con éxito esta última fase.

La manera en que se abordaron estos retos fue proponiendo reuniones, que posteriormente se llevaron a cabo, con el director de la empresa para llegar a acuerdos y definir las dudas

que surgían en el proceso. A partir de entonces, comprendí que esta experiencia y retos forman parte de las competencias que un individuo debe ejecutar y, a su vez, perfeccionar dentro de la estructura de una empresa para su correcto funcionamiento.

Además, a pesar de las dificultades encontradas, todo esto me permitió desarrollar habilidades, como la mejora continua de una comunicación eficiente, y adquirir aprendizajes, sobre todo respecto a técnicas y metodologías relacionadas al desarrollo del proyecto, que son importantes para el ámbito laboral y social. La comunicación es un aspecto importante por trabajar y que puede seguir mejorando, al igual que una correcta gestión y organización dentro del entorno profesional y personal, llegando a la conclusión de que estos aspectos son fundamentales para ejercer un verdadero cambio y transformación en la sociedad de manera eficiente y responsable.