



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA.**

**FOSFATOS: APLICACIÓN EN ALIMENTOS Y BEBIDAS.**

**TRABAJO ESCRITO VÍA CURSOS DE EDUCACIÓN  
CONTINUA.**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
QUÍMICO DE ALIMENTOS.**

**PRESENTA:  
DEMETRIO JESÚS JIMÉNEZ MILLÁN.**



**MÉXICO, D.F.**

**2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

PRESIDENTE: M. en C. LUCÍA CORNEJO BARRERA

VOCAL: Q.F.B. MARÍA DE LOURDES GÓMEZ RIOS

SECRETARIO: Q.F.B. RODOLFO FONSECA LARIOS

1er SUPLENTE: I.Q. MIGUEL ÁNGEL VILLEJAS LARA

2do SUPLENTE: I.Q. JORGE RAFAEL MARTÍNEZ PENICHE

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

“Facultad de Química”. Ciudad Universitaria. UNAM.

**ASESOR DEL TEMA:**

Rodolfo Fonseca Larios. \_\_\_\_\_

**SUSTENTANTE:**

Demetrio Jesús Jiménez Millán. \_\_\_\_\_



## INDICE

	PÁGINA
<b>1. INTRODUCCIÓN.</b> . . . . .	1
<b>2. ANTECEDENTES.</b> . . . . .	3
2.1 Situación global del uso y distribución de los fosfatos. . . . .	3
2.2 Aspecto químico de los fosfatos. . . . .	8
2.3 Nomenclatura. . . . .	8
2.4 Solubilidad. . . . .	10
2.5 Efecto quelante de iones metálicos. . . . .	11
2.6 Capacidad buffer. . . . .	12
2.7 Producción y obtención de fosfatos. . . . .	13
2.8 Funcionalidad y aplicaciones de los fosfatos en los alimentos. . . . .	16
2.9 Categorías de alimentos donde se utilizan fosfatos. . . . .	19
<b>3. OBJETIVOS.</b> . . . . .	24
<b>4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b> . . . . .	24
<b>5. DESARROLLO.</b> . . . . .	25
<b>5.1 PANIFICACIÓN.</b> . . . . .	25
5.1.1 Algunos productos de panificación donde se utilizan los fosfatos. . . . .	25
5.1.2 Agentes leudantes. . . . .	26
5.1.3 Uso de los fosfatos como acidulantes en panificación. . . . .	28
<b>5.2 PRODUCTOS LÁCTEOS.</b> . . . . .	31
5.2.1 Algunos productos lácteos donde se utilizan fosfatos. . . . .	32
5.2.2 Materias primas en la elaboración de quesos procesados. . . . .	32
5.2.3 Aplicación de fosfatos en la elaboración de queso procesado. . . . .	34
<b>5.3 PRODUCTOS CÁRNICOS.</b> . . . . .	38
5.3.1 Definición de carne. . . . .	38
5.3.2 Definición de producto cárnico. . . . .	38
5.3.3 Uso de los fosfatos en los productos cárnicos. . . . .	40
5.3.4 Los fosfatos en el aspecto sensorial de productos cárnicos. . . . .	41
5.3.5 Retención de agua en los productos cárnicos. . . . .	42

<b>5.4 BEBIDAS</b> .....	45
5.4.1 Fosfatos: su aplicación en bebidas .....	45
5.4.2 Adición de fosfatos a bebidas .....	47
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	52
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	55

## **1. INTRODUCCIÓN.**

### **Fosfatos: aplicación en alimentos y bebidas.**

En la actualidad el uso de aditivos en alimentos y bebidas tiene una gran importancia, éstos pueden ser utilizados para mejorar los atributos de calidad de infinidad de productos, promover su estabilidad en proceso, incrementar su valor nutrimental y también lograr extender la vida de anaquel de los mismos, bajo condiciones controladas de almacenamiento.

Sin embargo el uso de los aditivos alimentarios implica una estricta regulación en cuanto a su selección, aplicación y uso bajo un código de ética profesional intachable de quien los utiliza, así como de quien los recomienda. Es sumamente importante resaltar el objetivo al emplear aditivos en alimentos, para nunca usarlos con la intención de disfrazar malas prácticas de higiene o de manufactura; así como el de aceptar estándares inadecuados de calidad en la materia prima.

Un aditivo es una sustancia o mezcla de sustancias compatibles entre sí, que no necesariamente se encuentran originalmente en los alimentos o materia prima, pero que al adicionarlos a la fórmula de un producto, van a proveer una serie de beneficios que colaboran a garantizar la obtención de un producto inocuo, saludable, apetecible y agradable para el consumidor.

La gran variedad de aditivos alimentarios que actualmente se aplican en la industria incluyen compuestos con diversas funcionalidades como son: acidulantes, antioxidantes, colorantes, conservadores, edulcorantes, emulsificantes, enturbiantes, espesantes, estabilizantes, gelificantes, ligantes de agua, potenciadores de sabor, reguladores de pH, saborizantes y finalmente una serie muy interesante como el ácido fosfórico y sus sales como son los fosfatos. Por otra parte hace más de ciento sesenta años se sabe de la capacidad de los fosfatos para formar complejos con iones metálicos, después se descubrieron algunas variedades de fosfatos que prevenían la precipitación de metales alcalinotérreos al hacerlos más solubles.

Al final del siglo XIX este fenómeno se atribuía a la formación de complejos entre el metal y los fosfatos, ya que los complejos formados eran relativamente estables, gracias a la unión covalente entre estas dos especies químicas. Por sus diversas aplicaciones los fosfatos se han estudiado por más de ciento cincuenta años, donde los mayores avances se mostraron durante los años 40's y 50's.

Algunos productos alimenticios donde se puede encontrar el uso de los fosfatos son: los cárnicos, bebidas, productos horneados de panificación, mariscos, frutas y productos vegetales entre otros (Shahidi, 1997).

O bien en algunos productos comerciales que no necesariamente son alimentos (productos de limpieza, pasta dental, procesos textiles, tratamiento de aguas y producto utilizados como fertilizantes para la horticultura) (Weiner 2001).



## **2. ANTECEDENTES.**

### **2.1 Situación Global de la producción y distribución de los fosfatos.**

Actualmente la alimentación es fundamental para la existencia de la humanidad, así como el suministro y distribución de los alimentos (Cordell, 2009).

Sin embargo la demanda, el consumo y la producción de fosfatos están ligados a la producción agrícola y de alimentos procesados. En el futuro la demanda de alimentos se incrementará por el crecimiento de las poblaciones y por los cambios de dietas con mayor consumo de frutas y vegetales (Cooper, 2011).

Cabe mencionar que alrededor del 95.0% de los fosfatos se encuentra como fosfato de calcio, o también conocido como apatita. Hoy en día los fosfatos se obtienen principalmente de las minas de roca fosfórica. Gran parte de los fosfatos son combinados con ácido sulfúrico, nitrógeno y potasio para ser utilizados principalmente como fertilizantes (Cordell, 2009).

Tomando en cuenta que las reservas de roca fosfórica se verán mermadas en los próximos 50 a 100 años, la industria de los fertilizantes reconoce que la cantidad de reservas de roca fosfórica así como su extracción cada vez son más complicadas por lo tanto se incrementarán los precios de los fosfatos.

La distribución de reservas de roca fosfórica se concentra en cinco países que ejercen el control del 86.0% mundial, sin embargo uno de los más importantes y ejerciendo un control del 77.0% de las reservas se encuentra Marruecos, con 50 billones de toneladas.

En el 2011 Marruecos contaba con el 76.8% de la distribución de roca fosfórica lo que representa un total de 49,920 millones toneladas de roca fosfórica, 78.4% para el 2020 con 43,392 millones de toneladas y 83.8% para el 2050 con un total 47,766 millones de toneladas. Para el 2100 sólo quedarán seis países de los nueve que presentan las mayores reservas de roca fosfórica como son: Marruecos, Argelia, Siria, Jordania, Sudáfrica y Rusia (Figura 1).

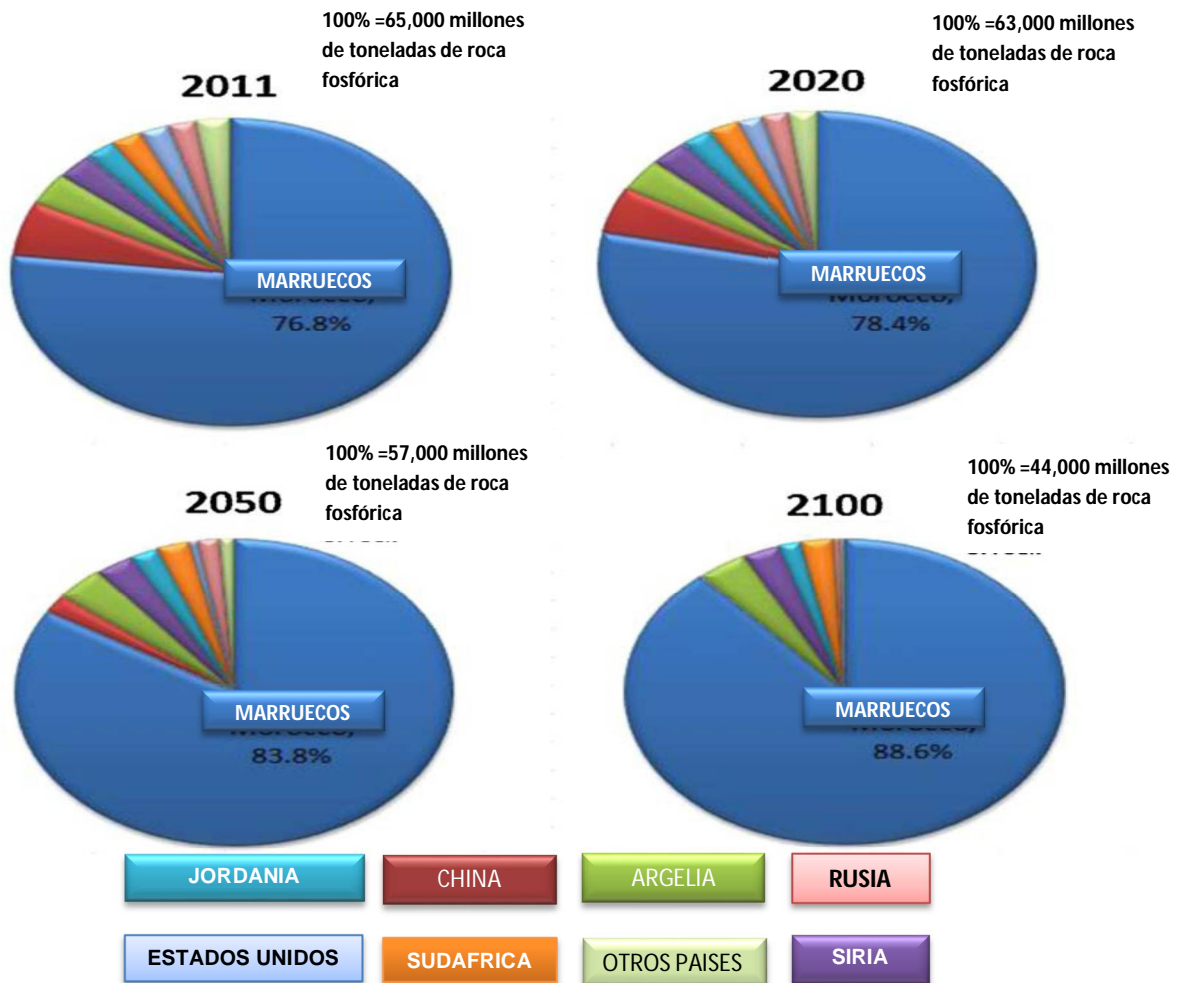


Fig. 1. Distribución mundial de roca fosfórica (Cooper, 2011).

En cuanto a la producción de roca fosfórica se estima que Marruecos y China compartirán el control del mercado hasta el 2050. En lo que respecta a la producción de Marruecos será del 20.0% en 2020 y de 40.0% para el 2050, alrededor del 80.0% para el 2100 dejando a países como Argelia, Rusia y Jordania el 13.0% restante. Por otra parte Estados Unidos sólo podrá contar con la producción de roca fosfórica hasta el 2050 con tan sólo el 10.0% de la producción global que equivalen a 26.2 millones de toneladas (Figura 2).

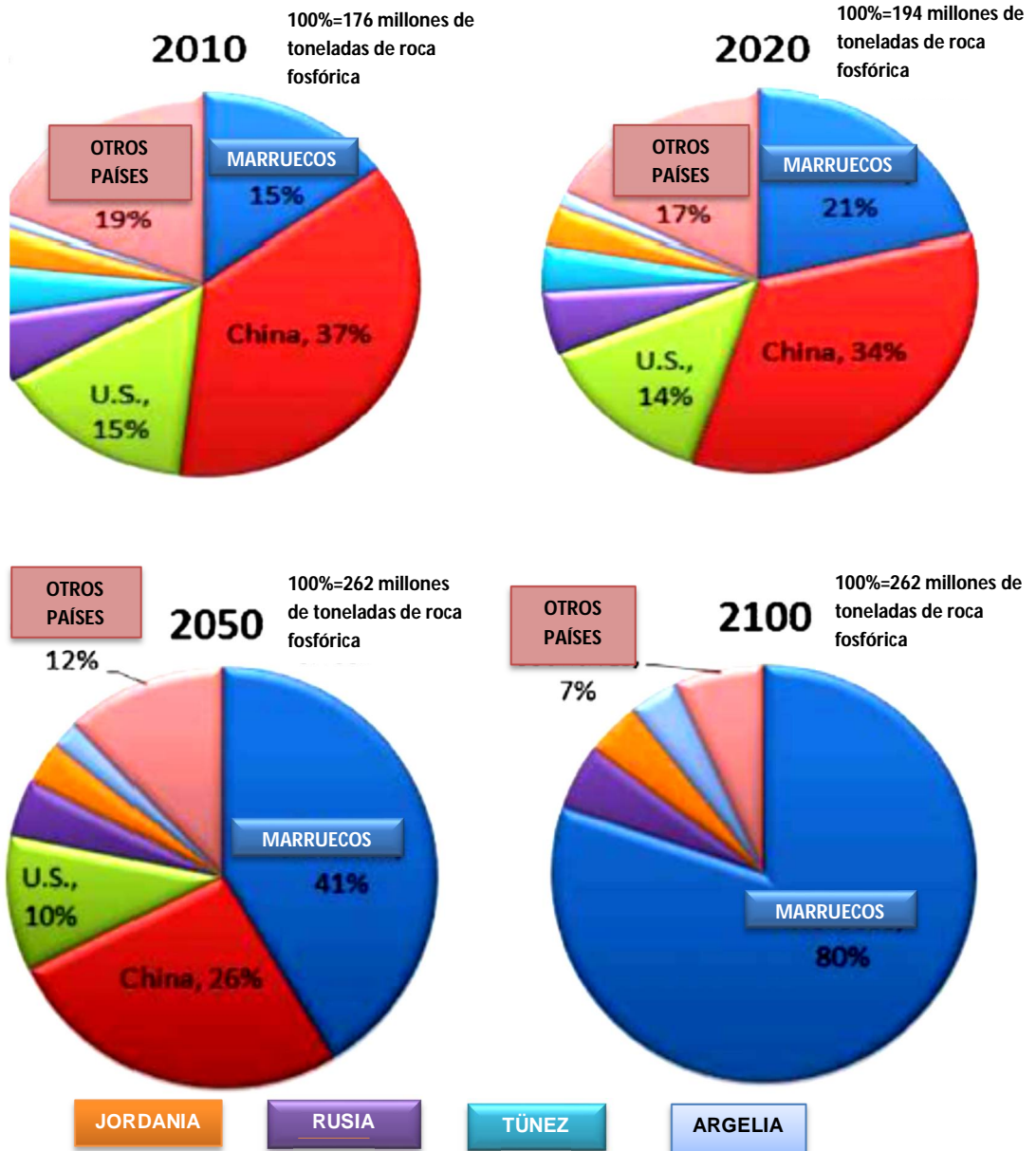


Figura 2. Cambios en la producción de roca fosfórica (Cooper, 2011).

Teniendo en cuenta que Marruecos tendrá un significativo control global de la producción de fosfatos y la estimación de que el continente Africano podría tener el control total del mercado con el 50% de la producción global de fosfatos para el año 2050, son factores que influirán en un costo mayor en los fosfatos. Por otra parte se pueden tomar en cuenta otros factores que influyen directamente en el

aumento de los costos de la producción y distribución de los fosfatos en las próximas décadas (Cordell, 2009):

- El fertilizante (fosfatos) que las plantas requieren para su crecimiento se obtiene principalmente de los fosfatos.
- 90% de la demanda global de fosfatos se destina a la producción de alimentos.
- Actualmente se explotan alrededor de 148 millones de toneladas de roca fosfórica por año.
- Los fosfatos son un recurso no renovable.
- Las reservas de roca fosfórica están en control de tres principales países: Marruecos, China y Estados Unidos.

En México se estimó un consumo aparente de agroquímicos y fertilizantes de 1,647,928 toneladas para el año 2010 y de 2,271,128 toneladas para el año 2011. En cuanto a la distribución de los porcentajes de producción de los agroquímicos y fertilizantes en México, los fosfatos que tienen mayor producción en el país y que son utilizados como fertilizantes son el fosfato diamónico con una producción de aproximadamente 59.0% del total de la producción. Por otra parte un 23.0% de la producción se destina a herbicidas y defoliantes. En menor porcentaje y con tan sólo el 18.0% de la producción en el país se encuentra el sulfato de amonio (figura 3).

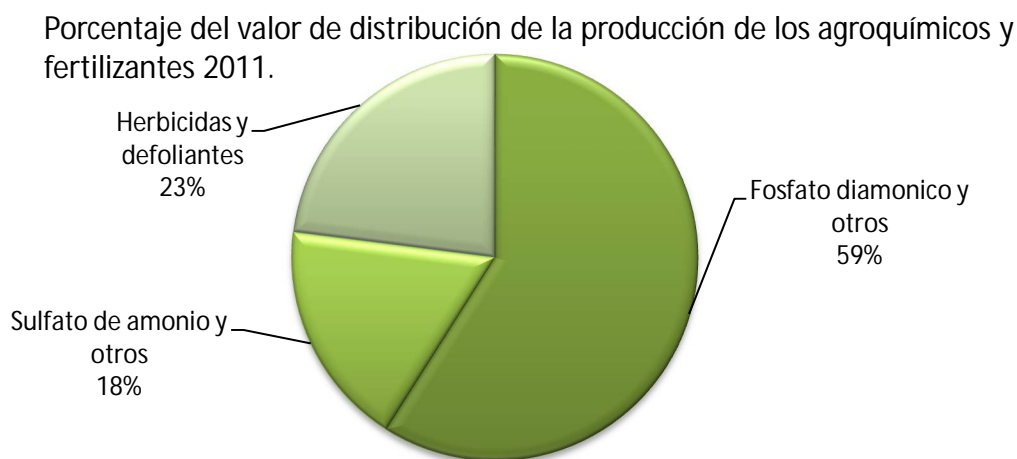


Figura 3. Fuente: Asociación Nacional de la industria Química, 2012.

La producción de fosfato diamónico ha ido en aumento desde el año 2007 con 545,377 toneladas hasta el 2011 con 1,203,023 toneladas. En cuanto a la importación de fosfato diamónico se presentó una mayor importación en el año 2007 con 409,217 toneladas y la menor importación de dicho fosfato se presentó en el año siguiente con 171,597 toneladas. La mayor exportación de fosfato diamónico fue de 461,090 toneladas en el año 2009. En lo que respecta al Consumo Nacional Aparente fue mayor en el 2011(Tabla 1.).

Tabla 1. Producción, importación y exportación del fosfato diamónico.

Fosfato Diamónico (Toneladas)				
Años	Producción	Importaciones	Exportaciones	Consumo Nacional Aparente
2007	545,377	409,217	12,875	941,719
2008	600,682	171,597	305,845	466,434
2009	1,119,845	198,557	461,090	857,312
2010	1,201,991	238,957	269,148	1,171,800
2011	1,203,023	207,815	8,448	1,402,390

Fuente. Asociación Nacional de la industria Química, 2012.

Para la producción, importación, y exportación de los fertilizantes (superfosfatos) se presenta un comportamiento de aumento en las cantidades de consumo nacional aparente, excepto en el año 2010 donde se observó una disminución del consumo nacional aparente para este tipo de fosfatos (Tabla 2).

Tabla 2. Producción, importación y exportación de los superfosfatos.

Superfosfatos (Toneladas)				
Años	Producción	Importaciones	Exportaciones	Consumo Nacional Aparente
2007	353,479	262	210,922	142,819
2008	329,193	248	170,865	158,576
2009	314,200	206	86,674	227,732
2010	256,486	124	166,560	90,049
2011	324,803	21	149,136	175,688

Fuente. Asociación Nacional de la industria Química, 2012.

Es importante resaltar que de las 4,358,602 toneladas de agroquímicos y fertilizantes que se consumieron en el 2011 en México, el fosfato diamónico representa el 32.2% del consumo aparente nacional, mientras que los superfosfatos representan el 4.03% del consumo aparente nacional.

## 2.2 Aspecto químico de los fosfatos.

El ion fosfato es un anión básico tiene una estructura de tetraedro y está formado por dos elementos principalmente, un átomo de fósforo y cuatro átomos de oxígeno, cada uno de los oxígenos que rodean al fósforo presentan tres pares de electrones libres o tres valencias de enlace; y en cada una de las posiciones donde se encuentra un átomo de oxígeno que puede enlazarse con átomos de hidrógeno, metales de la primera o segunda familia o en algunos casos puede ser una combinación de ambos y en otras ocasiones se puede ligar a nitrógeno como en el caso de los fosfatos de amonio (Weiner, 2001).

## 2.3 Nomenclatura.

En los años 90's en base a los componentes de los fosfatos la clasificación se limitaba a dar tres categorías o familias: ortofosfatos, pirofosfatos y metafosfatos pero hoy en día depende del número de grupos fosfato en la estructura así como del ion metálico que se encuentra en la estructura química del fosfato.

Dentro de las estructuras más sencillas de los fosfatos se encuentra la formada por una sola molécula de fosfato y que se conoce con el nombre de ortofosfato figura 4. (Branen, 2002).

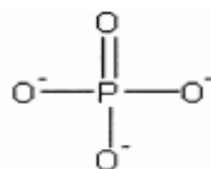


Figura 4. Estructura química del ion fosfato u ortofosfato.

Si el número de moléculas de fosfato en la cadena es dos el arreglo da resultado a la estructura de los difosfatos o también llamados pirofosfatos Figura 5 (Branen, 2002).

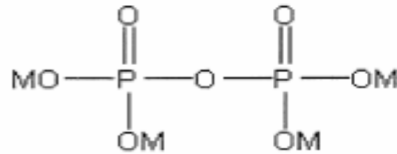


Figura 5. Estructura química del difosfato o pirofosfato.

La cadena puede continuar hasta tener tres moléculas de fosfato (trifosfatos), o cuatro moléculas de fosfato (tetrafosfatos), o en algunos casos más unidades de fosfatos que dan origen a los polifosfatos Figura 6 (Branen, 2002).

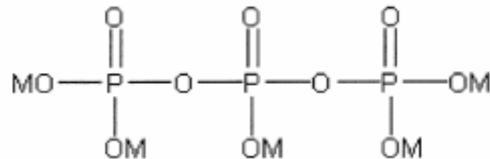


Figura 6. Estructura química del trifosfato.

Gracias al arreglo estructural que presenta la molécula de fosfato en forma de tetraedro es posible la formación de agregados moleculares, por ejemplo el hexametáfosfato de sodio que es una mezcla de polifosfatos, formado de 13 unidades de fosfato y que puede llegar hasta tener 35 unidades lineales de fosfato unidas, gracias a las denominadas “reacciones de condensación”.

Asimismo se puede encontrar otro tipo de arreglo estructural en los fosfatos; que es también conocida como los metafosfatos este tipo de arreglo presenta por lo regular una molécula de fosfato tetraédrico que a su vez está unido con tres moléculas de fosfato tetraédrico, puede presentar estructura en forma de anillo figura 7 (Branen, 2002).

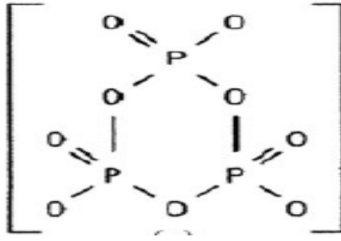


Figura 7. Estructura química de un metafosfato.

De alguna manera los arreglos moleculares que dan origen a los polifosfatos pueden considerarse con una fórmula química en general  $M_{(n+2)}P_nO_{(3n+1)}$  y para los que forman anillos la fórmula general sería  $P_nO_{3n}^{n-}$ . Actualmente no hay evidencia de que los fosfatos compuestos de una o dos unidades de fosfato puedan formar anillos (metafosfatos), esto debido a la forma tetraédrica de la molécula del fosfato y además por la fuerza del enlace que existe en la molécula de fosfato, sin en cambio los ciclotrifosfatos o ciclotetrafosfatos si son conocidos.

Las mezclas de polifosfatos varían dependiendo del tamaño de la cadena, en general se puede mencionar que hay principalmente cuatro tipos de arreglos estructurales como se pueden clasificar a los fosfatos (Weiner, 2001):

- (1) Los ortofosfatos que no están ligados a ningún otro fosfato tetraédrico.
- (2) Los pirofosfatos que son los que están compuestos por dos unidades de fosfato.
- (3) Los tripolifosfatos que están compuestos por tres unidades de fosfato.
- (4) Los metafosfatos que es la unión de tres fosfatos a una molécula de fosfato y que pueden formar anillos.

#### **2.4 Solubilidad.**

Algunos de los fosfatos principalmente los que son resultado de las reacciones de condensación (polifosfatos) presentan cierto grado de dificultad para obtener la máxima solubilidad e hidrólisis, en comparación con los ortofosfatos y esto puede ocasionar que se presente precipitación y turbidez en las disoluciones acuosas.



La aplicación de los fosfatos en los alimentos principalmente se da en sistemas acuosos o disoluciones acuosas, algunos de los fosfatos pueden ser muy solubles, poco solubles, ligeramente solubles o en dadas circunstancias insolubles, dependiendo de la temperatura a la cual se someta el fosfato para que presente la mayor solubilidad en el sistema donde se vaya a utilizar (Branen, 2002).

Cabe mencionar que el hexametáfosfato de sodio o mejor conocido como la sal de Graham, es uno de los fosfatos que son muy solubles en agua y que además sus soluciones acuosas al 1.0% tienen la característica de presentar un pH igual a 7.0. Otros fosfatos son solubles a 20 °C como por ejemplo el fosfato diamónico del cual se pueden disolver hasta 69 gramos por cada 100 gramos de agua y como resultado una solución acuosa con pH igual a 8.0, otro es el fosfato monopotásico del cual se pueden disolver 20 gramos en 100 gramos de agua y el pH de la solución es de 4.4, pero el fosfato tripotásico es más soluble pudiéndose disolver hasta 51 gramos de este fosfato y un pH de solución de 12. Dentro de la categoría de los trifosfatos se encuentra que el más soluble a 20 °C es el tripolifosfato de sodio con una solubilidad de 15 gramos en 100 gramos de agua y un pH de su solución de 9.8, seguido del pirofosfato ácido de sodio con 12 gramos por cada 100 gramos de agua dando una solución con un pH de 4.2, el menos soluble es el pirofosfato tetrasódico ya que sólo se pueden disolver 6 gramos por cada 100 gramos de agua y con un pH de solución de 10.2 respectivamente (Branen, 2002).

## **2.5 Efecto quelante de iones metálicos.**

Una importante función que tienen los fosfatos cuando se utilizan para la elaboración de alimentos, es llevar a cabo la formación de una serie de complejos estables en solución acuosa. La capacidad de los fosfatos (polifosfatos) para llevar a cabo la formación de complejos con los iones metálicos, depende de factores como el pH, temperatura y las especies que se encuentren en el medio en donde se van a utilizar los fosfatos (polifosfatos). La capacidad de quelar iones también depende de tamaño de la cadena y la solubilidad del fosfato a utilizar (Tabla 3) (Branen, 2002).

La formación de complejos de los fosfatos se lleva a cabo gracias a que los fosfatos actúan como un ligando formando un enlace covalente con un catión o un átomo metálico neutro al donar un par de electrones que después ambos comparten.

Tabla 3. Poder quelante de algunos fosfatos.

	STPP	TSP	SHMP
Ca	13.4	4.70	19.5
Mg	6.40	8.30	2.90
Fe	0.20	0.30	0.03

Nota: Gramos de iones metálicos quelados por 100 gramos de fosfato indicado.

Fuente: Branen, 2002.

El efecto quelante que ejercen los fosfatos es prácticamente por eliminación de los iones metálicos gracias a la formación de complejos por ejemplo en el agua que se utilice para la formulación de alimentos, se puede encontrar una gran cantidad de iones ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  etc...) que demeriten la calidad o aceleren procesos no deseados en los alimentos, en este caso el uso de los fosfatos para llevar a cabo un ablandamiento del agua es importante para eliminar por precipitación algunos de los iones.

## 2.6 Capacidad buffer

Es muy importante saber que los fosfatos son buenos agentes buffer, por ejemplo las mezclas de los ortofosfatos son excelentes buffers a comparación de las mezclas de los fosfatos condensados o los fosfatos que tienen más de dos moléculas de fosfato.

Los rangos de pH de los ortofosfatos o pirofosfatos van desde 2.0, 3.5, 5.5, o 7.5 y en algunos casos 10.0 o 12.0. Los fosfatos de cadena larga pueden tener rangos de pH entre 5.50 y 7.50 pero no es muy factible su aplicación haciendo una comparación de su costo con los ortofosfatos (Branen, 2002).

## 2.7 Producción y obtención de los fosfatos.

La producción de los fosfatos puede iniciar con la obtención del ácido fosfórico, y este se puede obtener por dos rutas. La primera ruta puede ser “térmica” donde el ácido fosfórico se obtiene por la quema de la roca fosfórica hasta la fundición del mineral y la obtención de fósforo ( $P^4$ ) en un horno eléctrico usando coque (combustible sólido a partir del carbón. C en la reacción 1) que es un agente reductor. Posteriormente se adiciona óxido de silicio para disminuir el punto de fusión de la mezcla (Branen, 2002).



El fósforo es quemado en exceso de aire y posteriormente es apagado con agua, y se obtiene el ácido fosfórico.



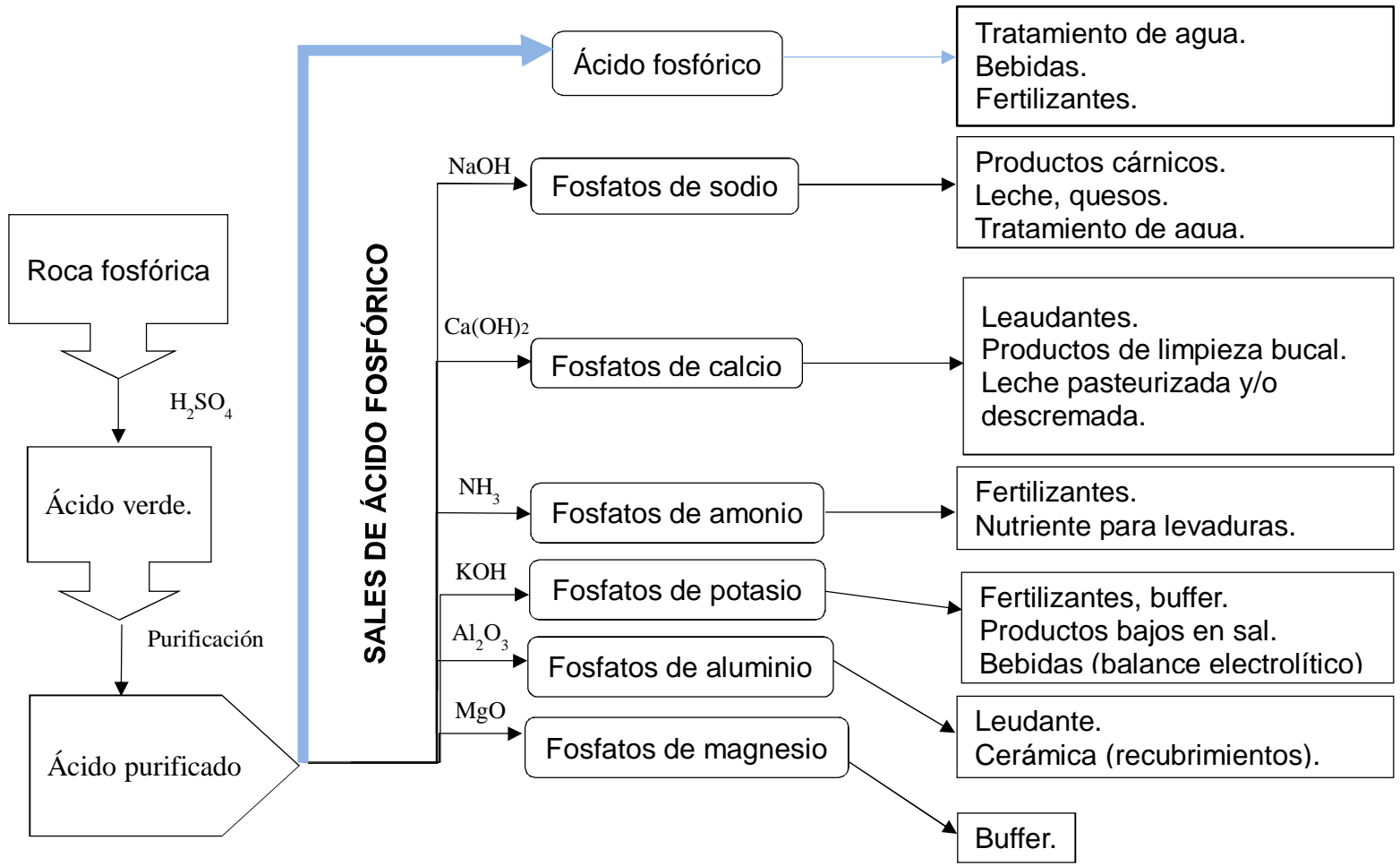
La segunda ruta inicia con la obtención del ácido fosfórico, haciendo reaccionar la roca fosfórica con ácido sulfúrico, pero se debe considerar que la roca fosfórica contiene arsénico y este puede ser acarreado junto con el ácido fosfórico y llegar hasta los alimentos, lo que implica el uso de un método de purificación (purificación en húmedo), para que el arsénico pueda ser separado del ácido fosfórico; y se pueda obtener la calidad necesaria del ácido fosfórico para poder ser utilizado en la aplicación de alimentos.

La purificación en húmedo requiere de la participación de un solvente de extracción que ayude a obtener el ácido fosfórico con alto grado de pureza. Ambos procesos de obtención, tanto el térmico como el de purificación en húmedo dan lugar a la producción del ácido fosfórico (ácido fosfórico verde) con grado alimenticio que se utilizará para la obtención de las sales de fosfatos.

Para la producción de fosfatos donde se parte de ácido fosfórico, se requiere llevar a cabo una reacción con un álcali, que puede ser alguno de los siguientes reactivos: NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaCl, KOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, KCl, CaO, Ca (OH)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, y NH<sub>3</sub>. Dependiendo de la materia prima que se utilice como álcali serán las impurezas que se encuentren en los fosfatos (Branen, 2002).

Las sales inorgánicas de los fosfatos han sido usadas en los alimentos por décadas y son “Considerados Generalmente como Seguros” (GRAS) por la Food and Drug Administration (FDA) (Weiner 2001).

Diagrama 1. Obtención de fosfatos a partir de la roca fosfórica y algunas de sus principales aplicaciones.



Fuente: Llera, 2012.(Helm de México S.A de C.V.)

## **2.8 Funcionalidad y aplicaciones de los fosfatos en alimentos.**

**Definición:** Los fosfatos son sales del ácido fosfórico que se producen en forma de cristales y en polvo blanco, esencialmente carecen de olor, son usados en la industria alimentaria para mejorar las características funcionales de muchos alimentos debido a su gran variedad de funciones.

**Definición en base a su funcionalidad:** Los fosfatos pueden tener diferentes clasificaciones o definiciones tecnológicamente hablando cuando se utilizan en un proceso para un producto o alimento determinado, ya que puede desempeñar una o varias funciones para dicho alimento o producto, de acuerdo con la clasificación de las familias de los aditivos alimentarios usados en nuestro país los fosfatos pueden entrar en alguna o en todas las categorías siguientes:

**Agentes acondicionadores o tratamiento de harinas o de masa:** Sustancias que se utilizan en panificación para mejorar diversas cualidades de la harina o de la masa.

**Agentes antiaglomerantes o antiaglutinantes (antihumectantes):** sustancia o mezcla de sustancias que reducen la tendencia de los componentes de un alimento a cohesionarse o adherirse unos a otros.

**Agentes antioxidantes:** Sustancias que prolongan la vida de almacén de los productos, protegiéndolos del deterioro ocasionado por la oxidación.

**Agentes conservadores:** Sustancias o mezclas de sustancias que previenen, retardan o detienen cualquier alteración causada por microorganismos.

**Agentes emulsificantes o emulsionantes:** Sustancias o mezcla de sustancias que forman o mantienen una emulsión uniforme del producto.

**Agentes estabilizantes:** Sustancias que posibilitan el mantenimiento de una dispersión uniforme de dos o más sustancias.

**Agentes humectantes:** Sustancias o mezclas de sustancias destinadas a prevenir la pérdida de humedad de los productos.

**Agentes reguladores de pH:** Sustancia que modifica o mantiene la acidez o la alcalinidad de los productos.

**Agentes secuestrantes:** Sustancia que forma complejos químicos con iones metálicos.

**Leudante:** Sustancia o mezcla de sustancias que liberan gas y, de esa manera, aumentan el volumen de una masa.

Tabla 4. Función de los fosfatos en los alimentos.

Función	Nombre del fosfato
Acidulante	Fosfato monoamónico, fosfato monocálcico, fosfato monosódico, fosfato monopotásico, ácido fosfórico, pirofosfato ácido de sodio, fosfato ácido de aluminio y sodio, pirofosfato ácido de calcio.
Adsorbente	Fosfato tricálcico
Alcalinizante	Fosfato disódico, fosfato dipotásico, tripolifosfato de potasio, tripolifosfato de sodio, pirofosfato tetra sódico, fosfato trisódico.
Anticoagulante	Hexametafosfato de sodio.
Agente buffer	Fosfato diamónico, fosfato disódico, fosfato monoamónico, fosfato monocálcico, fosfato monopotásico, fosfato monosódico, fosfato trisódico.
Coagulante	Ácido fosfórico, pirofosfato ácido de sodio, pirofosfato tetrasódico
Agente dispersante	Fosfato disódico, hexametafosfato de sodio, tripolifosfato de sodio, pirofosfato ácido de sodio, pirofosfato tetrasódico

Fuente: SSA, 2012 (Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos y bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias).

Tabla 4 (continuación). Función de los fosfatos en los alimentos.

Función	Nombre del fosfato
Emulsificante.	Fosfato disódico, fosfato trisódico, fosfato tetrasódico, hexametafosfato de sodio.
Acondicionadores de harinas y masa.	Fosfato tricálcico
Agente leudante.	Pirofosfato ácido de calcio, fosfato dicálcico, fosfato dimagnésico, fosfato monocálcico, pirofosfato ácido de sodio, fosfato de aluminio y sodio.
Suplemento mineral.	Fosfato dicálcico, fosfato dimagnésico, fosfato dipotásico, fosfato disódico, fosfato monopotásico, fosfato monosódico, fosfato tricálcico.
Nutriente.	Fosfato diamónico, fosfato monoamónico, fosfato monopotásico, ácido fosfórico, fosfato tripotásico.
Modificador de proteínas.	Fosfato disódico, fosfato monocálcico, tripolifosfato de potasio, pirofosfato ácido de sodio, tripolifosfato de sodio, pirofosfato tetrasódico, fosfato trisódico.
Secuestrante de iones	Hexametafosfato de sodio, pirofosfato ácido de sodio, tripolifosfato de sodio, pirofosfato tetrasódico.

Fuente: SSA, 2012 (Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos y bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias).



## **2.9 Categorías de alimentos donde se utilizan fosfatos.**

El uso de los fosfatos es muy amplio en los alimentos, a continuación se mencionan algunos productos donde se da el uso de los fosfatos:

Lácteos: “Cremas, cremas deshidratadas, dulces a base de leche, leche, leche saborizada, leche ultra-pasteurizada, leche esterilizada, leche deshidratada, producto lácteo combinado, producto lácteo combinado saborizado, producto lácteo combinado ultra-pasteurizado, producto lácteo combinado esterilizado, producto lácteo combinado deshidratado, leche condensada azucarada, fórmula láctea, fórmula láctea saborizada fórmula láctea ultrapasteurizada, fórmula láctea esterilizada, fórmula láctea deshidratada, mantequilla, quesos frescos, quesos procesados, productos lácteos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico”(SSA, 2012).

“Huevo líquido congelado, productos cárnicos y del mar”(SSA, 2012).

Producto cárnico cocido, producto cárnico curado crudo, producto cárnico curado y madurado, productos cárnicos empanizados o rebosados congelados, productos cárnicos marinados o en salmuera, productos de la pesca frescos refrigerados y congelados, productos de la pesca procesados, cangrejo envasado en recipientes de cierre hermético y sometido a tratamiento térmico, camarones envasados en recipientes de cierre hermético y sometido a tratamiento térmico, camarones esterilizados comercialmente, productos de la pesca semipreparados, crudos o pre-cocidos empanizados o rebozados y congelados, productos de la pesca emulsionados ”.

Bebidas: “jarabes y concentrados, vinos, sidra, bebidas saborizadas no alcohólicas, bebidas saborizadas no alcohólicas congeladas, concentrados de manufactura para preparar bebidas saborizadas no alcohólicas, jarabes y concentrados para preparar bebidas soborizadas no alcohólicas, polvos para preparar bebidas saborizadas no alcohólicas”.

Cereales: “harinas de cereales, sémolas y semolinas, harina de trigo para preparar tortillas, harina de maíz nixtamalizado para preparar tortillas, alimentos preparados a base de cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas, semolinas o sus mezclas productos de panificación, tortillas de harina de trigo, tortillas de maíz nixtamalizado preenvasadas, tostadas preenvasadas, alimentos a base de cereales para lactantes o niños de corta edad”.

“Aceites y grasas comestibles, cacao, chocolate, derivados del cacao”(SSA, 2012).

“Alimentos para ser administrados directamente para lactantes o niños de corta edad, alimentos deshidratados para ser administrados directamente para lactantes o niños de corta edad” (SSA, 2012).

Tabla 5. Fosfatos permitidos en alimentos en el acuerdo de la legislación mexicana, la “Unión europea” y la “FDA” considerados como GRAS.

Nombre del fosfato	Permitido Europa	Permitido México	Permitido FDA	Clasificación (SIN)*
Ácido fosfórico	√	√	√	338
Fosfato dihidrogenado de sodio	√	√	√	339 (i)
Fosfato hidrogenado disódico	√	√	√	339 (ii)
Fosfato trisódico	√	√	√	339 (iii)
Fosfato dihidrogenado de potasio	√	√		340 (i)
Fosfato hidrogenado dipotásico	√	√	√	340 (ii)
Fosfato tripotásico	√	√		340 (iii)
Fosfato dihidrogenado de calcio	√	√	√	341 (i)
Fosfato hidrogenado de calcio	√	√	√	341 (ii)
Fosfato tricálcico	√	√	√	341 (iii)
Fosfato dihidrogenado de amonio	√	√	√	342 (i)
Fosfato hidrogenado diamónico	√	√	√	342 (ii)

\* Número asignado a un aditivo alimentario de conformidad con los Nombres Genéricos del Codex y el Sistema Internacional de Numeración (SIN) para los aditivos Alimentarios (Codex Alimentarius, 2013).

Fuentes: Weiner ,2001. SSA,2012.

Tabla 5. (Continuación) Fosfatos permitidos en alimentos en el acuerdo de la legislación mexicana, la “Unión europea” y la “FDA” considerados como GRAS.

Nombre del fosfato	Permitido Europa	Permitido México	Permitido FDA	Clasificación (SIN)*
Fosfato monomagnésico	√	√		343 (i)
Fosfato hidrogenado de magnesio	√	√	√	343 (ii)
Fosfato trimagnésico	√	√	√	343 (iii)
Pirofosfato disódico	√	√	√	450 (i)
Pirofosfato trisódico	√	√		450 (ii)
Pirofosfato tetrasódico	√	√	√	450 (iii)
Difosfato dipotásico	√	√		450 (iv)
Pirofosfato tetrapotásico	√	√		450 (v)
Pirofosfato dicálcico	√	√	√	450 (vi)
Difosfato dihidrogenado de calcio	√	√		450 (vii)
Trifosfato pentasódico	√	√	√	451 (i)
Trifosfato pentapotásico	√	√		451 (ii)

\* Número asignado a un aditivo alimentario de conformidad con los Nombres Genéricos del Codex y el Sistema Internacional de Numeración (SIN) para los aditivos Alimentarios (Codex Alimentarius, 2013).

Fuentes: Weiner, 2001. SSA, 2012.

Tabla 5. (Continuación) Fosfatos permitidos en alimentos en el acuerdo de la legislación mexicana, la “Unión europea” y la “FDA” considerados como GRAS.

Nombre del fosfato	Permitido Europa	Permitido México	Permitido por la FDA	Clasificación (SIN)*
Polifosfato de sodio	√	√	√	452 (i)
Polifosfato de potasio	√	√		452 (ii)
Polifosfato cálcico de sodio	√	√		452(iii)
Polifosfato de calcio	√	√	√	452 (iv)
Polifosfato de amonio	√	√		452 (v)
Polifosfato de sodio y potasio		√		
Fosfato de aluminio sodio	√	√	√	541
Metafosfato de sodio		√	√	

\* Número asignado a un aditivo alimentario de conformidad con los Nombres Genéricos del Codex y el Sistema Internacional de Numeración (SIN) para los aditivos Alimentarios (Codex Alimentarius, 2013).

Fuentes: Weiner, 2001. SSA 2012.

### **3. OBJETIVOS.**

- Recopilar información actualizada sobre la aplicación y funcionalidad de los fosfatos en la industria alimentaria.
- Llevar a cabo una revisión bibliográfica de la importancia del uso de los fosfatos en alimentos y bebidas, así como la funcionalidad que ejercen estos mismos en la elaboración de productos del sector alimentario, tomando en cuenta la legislación vigente en el país.
- Ejemplificar el uso y aplicación de fosfatos con la ayuda de bibliografía reciente

### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Debido a la gran aplicación de los fosfatos en la industria alimentaria se llevó a cabo una revisión de diversas fuentes de información respecto a algunos productos que se procesan en la industria alimentaria: productos horneados (panificación), productos lácteos (queso procesado), productos cárnicos y bebidas en general.

Tomando en cuenta la composición y la formulación de algunos productos (panificación, lácteos, bebidas y cárnicos) se desean plantear algunos de los estudios e investigaciones para resaltar la importancia del uso de los fosfatos en la industria alimentaria, sin olvidar la dosificación permitida que se encuentra reportada en la legislación que rige a la industria alimentaria.

## **5. DESARROLLO.**

### **5.1 PANIFICACIÓN.**

El avance en las tecnologías así como los aditivos son extensamente usados en la industria de panificación y esto se debe a que cada vez se requiere una mayor vida de anaquel en los productos, así como una mejor manejabilidad de las materias primas (masa).

Generalmente en los procesos de panificación el uso de levaduras dan origen a la fermentación donde se generan productos como el dióxido de carbono y etanol entre otros; sin embargo, no sólo por esta vía se pueden generar estos compuestos responsables del leudado y la esponjosidad de la miga, también se pueden obtener por reacciones químicas donde se utilizan un agente acidulante como un fosfato y bicarbonato de sodio, en ambos tipos de procesos ya sea bioquímicos o químicos se incorpora aire durante el mezclado o el batido de la masa, a esto debemos sumar la contribución de aire por la formación de vapor de agua durante las altas temperaturas de horneado en algunos productos.

La gran mayoría de los productos manufacturados a partir de harina suave (galletas dulces y saladas, pasteles, hot cakes) son leudados con agentes químicos, por lo que el uso de la levadura es raramente usada, esto debido a la gran cantidad de azúcar que contienen estos productos en su formulación y como consecuencia pueden inhibir a la levadura por la alta presión osmótica. Por otra parte los agentes químicos leudantes reaccionan en menor tiempo para activarse en comparación con la levadura en el proceso de fermentación por lo tanto se acelera el proceso de fabricación (Saldívar 1996).

#### **5.1.1 Algunos productos de panificación donde se utilizan los fosfatos.**

**Pan blanco**, al producto que resulta de hornear una masa obtenida de harina fermentada por acción de leudante, agua, sal, acondicionadores y mejoradores de masa, adicionado o no de aceites y grasas comestibles, leche, otros ingredientes y aditivos para alimentos.

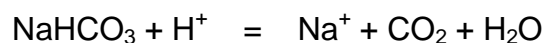
**Pan de harina integral**, al producto que resulta de la panificación de la masa fermentada, por la acción de leudante, preparada con harina de trigo, harinas de cereales integrales o de leguminosas, agua, sal, azúcares, grasas comestibles, otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos.

**Pan dulce**, al producto de panificación constituido por harina, agua, huevo, azúcares, grasas o aceites comestibles o aceites hidrogenados, levaduras, adicionada o no de aditivos para alimentos, frutas en cualquiera de sus presentaciones, sal yodada y leche; amasado, fermentado, moldeado y cocido al horno o por fritura en grasas o aceites comestibles(NOM-247-SSA1-2008).

### 5.1.2 Agentes leudantes.

Los agentes leudantes generan gas cuando se hidratan en un medio ligeramente ácido, el gas consiste principalmente en bióxido de carbono producido por el bicarbonato de sodio y otras sales ácidas. Las sales comúnmente mezcladas con el bicarbonato de sodio en la elaboración de productos de panificación son el fosfato monocálcico, el fosfato dicálcico, el pirofosfato ácido de sodio y sulfato sódico de aluminio.

La reacción general del bicarbonato de sodio con el agente leudante en medio acuoso da como resultado la formación de diversos productos por ejemplo:



La letra M puede representar un metal alcalino, alcalinotérreo o un hidrógeno proveniente del compuesto de fósforo que se utilice como agente leudante.

Existen tres clases de agentes químicos leudantes: los de acción rápida (fosfato monocálcico) liberan la mayoría del gas a temperatura ambiente (durante la etapa de hidratación y mezclado), los de acción lenta (fosfato dicálcico, sulfato sódico de aluminio y fosfato sódico de aluminio) generalmente precisan de altas temperaturas para liberar la mayoría del gas, por lo tanto son muy efectivos



durante el proceso de horneado y los de doble acción que son los más populares ya que generan importantes cantidades de gas durante las etapas de mezclado y horneado (Saldívar, 1996).

Para conocer el tipo de agente leudante a utilizar se deben conocer las características del producto a preparar y es importante tomar en cuenta algunos factores como son: la velocidad de reacción y el valor de neutralización (NV) este último es característico para cada tipo de agente leudante. El valor de neutralización se define como los gramos de bicarbonato de sodio que se necesitan para neutralizar 100 gramos de acidulante.

$$NV = \frac{a}{b} \times 100$$

donde *a* representa los gramos de bicarbonato de sodio y *b* representa los gramos de agente acidulante (fosfatos o citratos). El valor de neutralización juega un papel importante en el desarrollo de algunas características como el color y el sabor en los productos horneados, ya que modificaciones drásticas en el valor de pH podrían dar como resultado piezas muy suaves y un color no deseado. Por otra parte un exceso de bicarbonato de sodio en la formulación, daría como resultado a un sabor jabonoso en las piezas.

Tabla No.6 Fosfatos más comúnmente utilizados en algunos productos de panificación.

Producto	Fosfato
Productos horneados:	
Pasteles	MCP, SALP, SAPP, DCP, MAP, DAP, DMP
Pan	MCP, DCP
Masa refrigerada	SAPP, SALP
Polvos para hornear	MCP, SAPP, SALP

Fosfato monocálcico (MCP), fosfato ácido de sodio y aluminio (SALP), pirofosfato ácido de sodio (SAPP), fosfato dicálcico (DCP), fosfato monoamónico (MAP), fosfato diamónico (DAP), fosfato dimagnésico (DMP).

Fuente: (Branen, 2002).

### **5.1.3 Uso de los fosfatos como acidulantes en la panificación.**

En los recientes años el uso de harinas libres de gluten para la elaboración de productos de panificación ha tomado un papel muy importante, debido a la intolerancia al gluten por un sector de la población.

Se han buscado incorporar harinas de otros cereales, por ejemplo de arroz y de otros aditivos como: proteínas lácteas, hidrocoloides (hidroxipropilmetilcelulosa, carboximetilcelulosa, goma guar y goma xantana, etc.).

A nivel proceso es importante mencionar que el agente acidulante como el tipo de harina (por ejemplo: harina libre de gluten) juegan un papel importante en las propiedades reológicas, la calidad y la frescura final de la masa que se verá reflejado en la pieza de pan.

En recientes estudios se ha reportado el uso de ácido acético, ácido láctico, ácido cítrico y fosfato monosódico como agentes acidulantes que son comúnmente usados en la industria de panificación cuando se utilizan harinas libres de gluten. La elaboración de pan con harina libre de gluten (harina de arroz) y ácido acético como agente acidulante en una dosificación al 0.20 % (en base a la harina) da como resultado una esponjosidad con un 10% mayor, en comparación con un pan donde no se utilizó el ácido acético y se utilizó levadura. La esponjosidad del pan con una dosificación de 0.40% y 0.60% (en base a la harina) de ácido acético se ve afectada dando un menor volumen en la pieza de pan debido a un pH bajo en la masa. La utilización de otros agentes acidulantes en panificación como el ácido láctico dan resultados parecidos a los del ácido acético en cuanto a las características reológicas (esponjosidad y tamaño de burbuja) y sensoriales (apariencia, olor, sabor y textura) usando dosificaciones de 0.40% y 1.20% (en base a la cantidad de harina). En lo que se refiere al ácido cítrico se obtuvieron mejores resultados en las pruebas reológicas y sensoriales con una dosificación del 0.40% y 1.20%, en comparación con el ácido acético y el ácido láctico.

Sin embargo las mejores características tanto reológicas como sensoriales se presentaron con el fosfato monosódico y el dihidrofosfato de sodio utilizando una dosificación al 0.40% en base a la harina (Blanco, 2011).

Tabla 7. Cantidad máxima permitida de fosfatos en panificación a base de cereales.

Categoría	Producto	Cantidad máxima permitida.	Nombre de los fosfatos y función	Norma
Cereales		Como acidulante 5000 mg/kg.	Fosfato monobásico de calcio	SSA, 2012.
Trigo, arroz, Avena, cebada y centeno	Pan	Como Antioxidante 1300mg/kg. 1000 mg/kg de harina. Como emulsivos, estabilizantes, espesantes y gelificantes BPF Como gasificantes o polvos para hornear 5000 mg/kg de harina 2500 mg/kg de harina	Fosfato dibásicos: sodio y calcio Fosfatos tribásicos: sodio y calcio Ácido fosfórico Fosfato de aluminio y sodio  Fosfato de sodio  Fosfato monobásico de calcio Pirofosfato ácido de sodio (difosfato disódico)	
		Como regulador de pH 9300 mg/kg de harina 9300 mg/kg de harina 2500 mg/kg de harina 5 mg/kg	Fosfato diamónico Fosfato hidrogenado diamónico Fosfatos dibásicos: sodio y calcio Fosfato tricálcico	
		9300 <sup>1,2</sup> mg/kg panes leudados con bicarbonato. 100 <sup>3,4</sup> mg/kg en harinas.	Ácido fosfórico, di, tri y polifosfatos (E 338-452).	Codex Alimentarius.
		20000 mg/kg sólo para panes leudados con bicarbonato.		Unión Europea. Sección 07.1.
		No > 0.75% en base harina <0.25% en base harina	Fosfato monobásico de calcio Sales de calcio.	FDA. Título 21. Parte 136.

Nota: 1 como fósforo. 2 Para uso como agente de tratamiento de harinas, leudante o agente de fermentación. 3 Para uso en masa para galletas. 4 Individualmente o en combinación: sulfato de aluminio y amonio y fosfato de aluminio y sodio (ácido y básico).

Fuente: SSA, 2012 (Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias). Codex Alimentarius, 2013. Diario Oficial de la Unión Europea. Sección 07.1. FDA.

## 5.2 PRODUCTOS LÁCTEOS.

La leche es un sistema complejo que contiene diversas sustancias, como son agua, lípidos, hidratos de carbono, proteínas y sales. La estabilidad de las sustancias que se encuentran en la leche depende en mayor parte de las proteínas llamadas caseínas. Aproximadamente el 80% de las proteínas son caseínas, proteínas que contienen fosfato y son específicas de la leche se agrupan para formar micelas de caseínas que interactúan con las interfaces de aire-agua y de aceite-agua. La existencia y las propiedades de las caseínas tienen varias consecuencias en el empleo de la leche como materia prima, son en gran parte responsables de la estabilidad de los productos lácteos durante su calentamiento, concentración y almacenamiento. Su comportamiento es esencial en la fabricación del queso (Walstra, 1987, Seth, 2013).

El equilibrio iónico es muy importante en la leche y se refiere principalmente a la distribución que hay entre el calcio y el fosfato que se encuentra en la fase micelar y la fase coloidal, ya que ambos participan en la conformación y estabilidad de las micelas de caseína. Algunas de las propiedades fisicoquímicas (estabilidad al tratamiento térmico, la gelificación inducida por el cuajo o por ácido, turbidez y sedimentación) tienen un impacto significativo en algunos productos como son el queso, yogurt, leche evaporada, etc., ya que si se presentan alteraciones en el equilibrio iónico pueden conducir a cambios significativos en la composición y estructura de las micelas de caseína y afectar tanto la producción, como la estabilidad de los productos lácteos (GaO, 2010).

En la actualidad la demanda y el crecimiento en la producción de alimentos se ha reflejado en la elaboración de productos que no incorporan materias primas lácteas en su totalidad y que suelen ser imitaciones o sustitutos de los productos lácteos como por ejemplo el queso (Bachman, 2001).

Cuando se habla de queso procesado o análogo no se refiere al proceso de elaboración del queso, ya que todo queso es procesado siguiendo diferentes técnicas o métodos industriales, en si se refiere a la materias primas con las que se parte para elaborar el queso, ya sean del tipo lácteo o sus posibles sustitutos para llegar a un producto que se asemeje en lo más posible al queso.

### **5.2.1 Algunos productos lácteos donde se utilizan los fosfatos.**

Queso(s): productos elaborados con la cuajada de leche estandarizadas de vaca o de otras especies animales, con sin adición de crema, obtenida por la coagulación de la caseína con cuajo, gérmenes lácticos, enzimas apropiadas, ácidos orgánicos comestibles y con o sin tratamiento ulterior por calentamiento, drenada, prensada o no, con o sin adición de fermentos de maduración, mohos especiales, sales fundentes e ingredientes comestibles opcionales, dando lugar a las diferentes variedades de quesos pudiendo por su proceso ser: fresco, madurado o procesado.

Quesos procesados: productos que se caracterizan por ser elaborados con mezclas de quesos, fusión y emulsión con sales fundentes, aditivos para alimentos permitidos e ingredientes opcionales, sometidos a proceso térmico de 70 °C durante 30 segundos o someterse a cualquier otra combinación equivalente o mayor de tiempo y temperatura, lo que le permite prolongar su vida de anaquel (NOM-243-SSA1-2010).

### **5.2.2 Materias primas en la elaboración de quesos procesados.**

Existen principalmente dos procesos que se utilizan para la producción de sustitutos o imitaciones de queso, los que involucran materia primas lácteas y las que no involucran del todo materias primas lácteas (Bachmann 2001). En general se puede considerar que los quesos procesados y análogos son un sistema que básicamente comprende a una emulsión que consta de dos fases: grasa o aceite en agua y que además se presenta este tipo de emulsión en los quesos naturales.

En ambos casos las gotas o porciones grasas se incorporan al sistema gracias a las proteínas que en conjunto con los emulsificantes y las sales forman un gel (Bachmann 2001).

Diagrama 2. Diferentes tipos de materias primas para la elaboración de quesos. (Bachmann 2001).

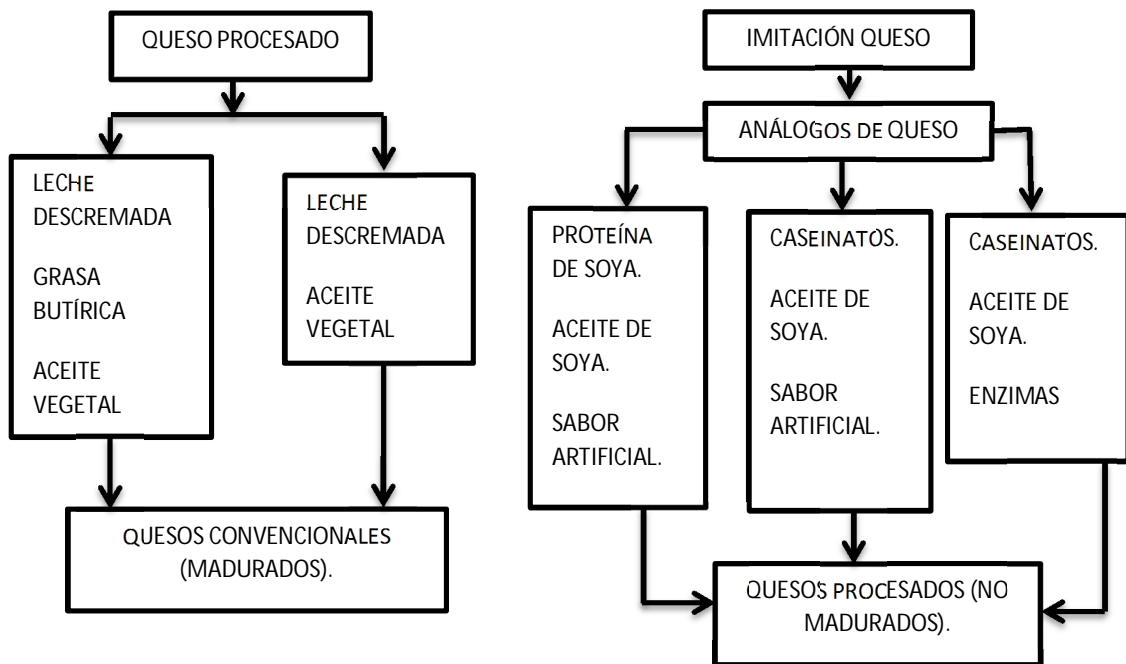


Tabla No.8 Fosfatos más comúnmente utilizados en quesos procesados.

Producto	Fosfato
Quesos	
Cottage	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , MCP
Imitación queso	TSP, SHMP, STPP
Queso procesado	DCP, SHMP, TSP, STPP, SALP

Ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), fosfato monocálcico (MCP), fosfato ácido de sodio y aluminio (SALP), fosfato dicálcico (DCP), tripolifosfato de sodio (STTP), pirofosfato tetrasódico (TSP), hexametáfosfato de sodio (SHMP).

Fuente: (Branen, 2002).

### **5.2.3 Aplicación de los fosfatos en la elaboración de queso procesado.**

La leche presenta un pH por lo general de 6.30 a 6.60 el cual permite que las caseínas se encuentren en solución. A pH de 4.70 las caseínas precipitan y se vuelven insolubles, ya que se llega a su punto isoelectrico (Walstra, 1987).

La leche es un sistema estable ya que las caseínas tienen carga neta negativa y por esta razón están dispersas, la acidificación es una práctica normalmente usada para la elaboración de quesos procesados y que altera el equilibrio iónico removiendo el calcio de las caseínas (fosfato de calcio coloidal) haciéndolas más solubles. Una cantidad excesiva de acidulante puede ocasionar que las caseínas formen aglomerados, resultado de las fuerzas electroestáticas e hidrofóbicas que estas ejercen. La cantidad de acidulante y el tipo de agente quelante de calcio son parámetros que se deben controlar en la elaboración de quesos procesados (Lucey, 2008).

En la elaboración de queso procesado o sus imitaciones los fosfatos cumplen con dos principales funciones: reguladores del pH y como agentes quelantes de los iones calcio llevando a cabo un intercambio iónico.

Algunos fosfatos utilizados en la elaboración de quesos procesados son: tripolifosfato de sodio, pirofosfato de sodio, hexametáfosfato de sodio y el fosfato ácido disódico. Cabe mencionar que en base a su poder emulsificante los tripolifosfatos son mejores que los pirofosfatos y el fosfato ácido disódico (con una concentración de sal al 1.0%) (Bachmann 2001).

Algunos estudios han demostrado que los altos niveles de disociación de la caseína están asociados a dos factores como pueden ser: el pH y la formación de complejos causados por la adición de sales emulsionantes (fosfatos y citratos) (Salaün, 2005).

La función de los fosfatos (sales emulsionantes) en la elaboración de quesos procesados es llevar a cabo un intercambio iónico de iones calcio por iones sodio, facilitando el desdoblamiento de la caseína que da como resultado una mayor



interacción de las partes hidrofílicas como hidrofóbicas de la caseína con el agua y la grasa adicionada a estos productos formando una emulsión más estable (Kussy, 2009).

El nivel de disociación de la caseína probablemente también se puede dar por la afinidad de la sal emulsionante al ion calcio, ya que se lleva a cabo una ruptura de las interacciones del complejo de caseína (proteína-calcio-proteína) reduciendo su nivel de agregación. La fijación del calcio por el caseinato depende del nivel de grado de fosforilación de la caseína y la adición de diferentes agentes que son capaces de formar complejos con calcio modifica en forma positiva la solubilidad de las diferentes caseínas (Bachmann 2001).

Gracias a los grupos fosfato (polifosfatos) se incrementa la interacción y fuerza del gel en un queso procesado, esto se puede explicar por la habilidad de los fosfatos para interaccionar con las moléculas de proteína (especialmente los enlaces con el calcio) ya que a mayor grupos fosfato presente en la sal emulsionante, mayor será el número de interacciones que se presente con la proteína (Sadlikova 2010).

Un incremento del pH por encima de 5.60 da como resultado en la formación de una red homogénea y tridimensional, ya que los grupos carboxilo de la proteínas se cargan negativamente y disminuyen sus interacciones que se presentan entre las cadenas de la proteína, estos cambios vienen acompañados por un incremento de la hidratación de la caseína y en la formación de una estructura más abierta, con una mayor fijación de agua y mejores propiedades emulsificantes gracias a la dispersión de la proteína.

De acuerdo con Sádliková y colaboradores (2010), mencionan la efectividad de los trifosfatos para una mejor formación de una estructura adecuada para un queso procesado, por encima de los difosfatos, polifosfatos y orfosfatos.

La emulsificación de la grasa es un factor importante en la elaboración de quesos procesados y quesos análogos por ejemplo Cavalier, Queguiner y Cheftel (1991) propusieron las siguientes sales de fosfato en orden decreciente en base a su

poder de emulsificación: tripolifosfatos > pirofosfatos = polifosfatos > fosfato ácido disódico > citrato de sodio.

La utilización de un solo tipo de fosfato para el procesado de los quesos es muy raramente usado en la industria, sólo algunos estudios como los de Awad (2002) proponen que los parámetros que se buscan en los quesos procesados se dan por mezclas o la combinación de tres o cuatro componentes de sales de fosfato de sodio como son: monofosfato de sodio, difosfato de sodio, polifosfato o citrato de sodio en diferentes proporciones.

En algunos casos la disminución de la firmeza del queso se puede atribuir a la baja cantidad de polifosfatos en la mezcla utilizada, por lo tanto un bajo nivel de emulsificación (Weiserová, 2011).

En combinación con ácidos orgánicos (ácido adípico, ácido cítrico, ácido láctico, ácido acético, o ácido fosfórico) la sales emulsionantes pueden actuar como buffers y mantener el pH por encima del punto isoeléctrico de la proteína. Algunos autores mencionan que el rango de pH para la elaboración de un queso procesado puede ser por encima de 4.70 hasta 6.00, pero preferentemente se usan rangos por encima de 5.10 hasta 5.70 respectivamente (Bachmann 2001).

Un pH de 5.50 hasta 6.00 es el más adecuado para la elaboración de un queso procesado partiendo de trozos de queso como una de las materias primas, este pH es adecuado para obtener la estructura y propiedades sensoriales adecuadas (Sádlíková 2010).

Por otra parte los fosfatos de aluminio sodio (SALP) son usados como agentes emulsionantes en los quesos procesados. Sin embargo aunque la FDA permite el uso de los fosfatos de aluminio sodio en cantidades de 3.0% en quesos procesados pasteurizados así como en los quesos untables la problemática se encuentra en permitir el uso de fosfatos de aluminio sodio como una fuente de aluminio para los seres humanos ya que puede ser tóxico (Yokel, 2008).

Tabla 9. Cantidad máxima permitida de fosfatos en queso procesado.

Categoría	Producto	Cantidad máxima permitida.	Nombre de los fosfatos	Norma
Lácteos	Queso procesado	<p>9000 mg/kg solo o mezclados expresados como (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).</p> <p>30000 mg/kg solo o mezclados expresados como (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).</p> <p>1000 mg/kg</p> <p>5000 mg/kg</p> <p>1540 mg/kg solo o combinados expresados como (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).</p> <p>1600<sup>1,3</sup> mg/kg</p> <p>4400<sup>2,3</sup> mg/kg</p> <p>No mayor al 3.0% en base a sólidos.</p> <p>20000 mg/kg</p>	<p>Pirofosfatos: potasio, sodio, potasio. Pirofosfato ácido de sodio. Tripolifosfatos: sodio y potasio.</p> <p>Fosfatos monobásicos: sodio y calcio.</p> <p>Fosfatos dibásicos: sodio y potasio. Fosfatos tribásicos: sodio y calcio. Hexametafosfatos: sodio y potasio. Fosfato de aluminio y sodio. Fosfato hidrogenado dipotásico.</p> <p>Fosfatos monobásicos: sodio y calcio.</p> <p>Fosfatos dibásicos: sodio y potasio. Fosfato de aluminio y sodio.</p> <p>Ácido fosfórico, di, tri y polifosfatos (E 338-452).</p>	<p>SSA, 2012.</p> <p>CODEX STAN 221-2001</p> <p>Codex Alimentarius</p> <p>FDA. Título 21. Parte 133</p> <p>Unión Europea. Sección 01.7.</p>

Notas: 1 como aluminio. 2 como fósforo. 3 Sólo para uso en queso americano elaborado.

Fuentes: SSA, 2012 (Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias).CODEX STAN 221-2001 .Codex Alimentarius, 2013. FDA. Diario Oficial de la Unión Europea. Sección 01.7.

## **5.3 PRODUCTOS CÁRNICOS.**

### **5.3.1 Definición de carne.**

La carne se define como la porción comestible de animales sanos destinados para consumo humano. Está constituida principalmente por tejido muscular y cantidades variables de tejido conectivo, epitelial, nervioso y adiposo. La composición del tejido muscular varía con la edad, género, especie y estado de nutrición, pero las proteínas constituyen la fracción más importante de la materia seca (Hui, 2006).

El principal atributo sensorial en la carne para consumo directo es la retención de agua, asociada a la jugosidad que a su vez está asociada a la suavidad. En productos cárnicos elaborados, es importante la jugosidad así como la gelificación, la emulsificación y la cohesión, las cuales permiten procesar y obtener productos con diversas características sensoriales. Las proteínas junto con los hidratos de carbono y las grasas son las estructuras y componentes principales en los alimentos y éstos contribuyen de manera directa a las características de calidad y atributos sensoriales de cada producto.

### **5.3.2 Definición de producto cárnico.**

Producto cárnico curado y cocido: los elaborados con carne de animales de las especies declaradas aptas para consumo humano por la autoridad sanitaria, sometidos a la acción de los gases de curación en seco o húmedo y a una cocción hasta una temperatura de 68 °C en su centro térmico. Los productos genéricos correspondientes a este punto son: jamones tales como horneados, tipo americano, tipo Virginia, tipo Holandés, tipo York, ahumado y otras variedades, lomos, tocinos, chuletas, entrecot, espaldilla y otros productos sujetos al mismo proceso (NOM-122-SSA1-1994).

En carne proveniente de ganado vacuno, el músculo está constituido por 75% de agua, 20% proteínas, 3.0% grasas y 2.0% de sustancias no proteínicas solubles, de este último el 3.0% lo conforman las vitaminas y los minerales, 45% de sustancias no proteínicas que contienen nitrógeno y el 34% son hidratos de

carbono y el 18% restante son componentes orgánicos. Las proteínas constituyen aproximadamente entre un 18% a 23% del peso en la mayoría de las especies animales comestibles (aves, ganado y pescados). Las proteínas están constituidas por aminoácidos dando origen a una cadena polipeptídica (Tornberg, 2005).

El tamaño de las cadenas es variable para cada tipo de proteína en particular y es una característica distintiva de cada una de ellas. El arreglo secuencial de los aminoácidos en la cadena da origen a la estructura primaria de la proteína, estas cadenas polipeptídicas presentan diferentes arreglos en solución, dando origen a la estructura secundaria, por ejemplo el alfa-hélice o la beta-plegada. La estructura terciaria y cuaternaria de las proteínas se refiere a la asociación que presentan éstas en tercera dimensión. Las fuerzas de estabilización para dichas estructuras que conforman a la proteína son uniones no covalentes, como los puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals, interacciones electrostáticas e hidrofóbicas. La principal forma de organización de las proteínas en la carne se da en forma de fibras. La actina, miosina y el colágeno son las principales fibras que se encuentran en la carne, éstas fibras están conformadas por tres estructuras: la alfa hélice y la beta plegada que es antiparalela. Las proteínas que conforman al músculo desempeñan un papel fundamental en la función biológica y en los cambios *postmortem*, se clasifican principalmente en sarcoplásmicas, miofibrilares y del estroma (tejido conectivo). Las proteínas miofibrilares constituyen entre 50% y 55% del total de las proteínas, las proteínas sarcoplásmicas del 30% al 34% y las proteínas del tejido conectivo contribuyen con el 10% al 15%. Existen tres subgrupos o subclases dentro de las proteínas miofibrilares, la actina y miosina que son estructurales, proteínas reguladoras como el complejo tropomiosina-troponina, la  $\alpha$  y  $\beta$  actinina, la proteína M y algunas proteínas de anclaje como son la titina, nebulina, desmina y vimentina. Dentro de las proteínas sarcoplásmicas encontramos a la creatincinasa y la mioglobina que participan en vías glucolíticas. El tejido conectivo se compone por proteínas como el colágeno, la reticulina y la elastina.

El colágeno tiene diversos tipos o formas y se representan del I al V, por ejemplo el I es el que se encuentra en el epimisio, el I y III se encuentra en el perimisio, en el endomisio se encuentran los tipos III, IV y V (Tornberg, 2005).

De las proteínas miofibrilares las más abundantes son la actina y la miosina, su funcionalidad consta en la formación de geles tridimensionales cuando se les aplica calor y después al enfriarse, con gran influencia en los rendimientos y propiedades de textura en los productos procesados.

### **5.3.3 Uso de los fosfatos en los productos cárnicos.**

En los productos cárnicos las propiedades funcionales se pueden definir como las propiedades físicas o químicas de las macromoléculas que afectan su comportamiento en sistemas alimentarios durante su preparación, procesamiento, almacenamiento y consumo (Hui, 2006).

Desde tiempos remotos es común que los productos cárnicos se inyecten con salmueras que contienen agua, cloruro de sodio (NaCl, sal) y fosfatos de sodio. Tanto la sal, como los fosfatos son ingredientes muy importantes para mejorar las propiedades de la carne, ya que ambos actúan en paralelo modificando positivamente la conformación proteínica de la carne que a su vez confiere ciertas características que se buscan tanto en la carne como materia prima, como en los productos cárnicos. Los fosfatos y el cloruro de sodio (sal) están involucrados en el desarrollo de ciertas características y propiedades funcionales en la carne y en los productos cárnicos.

Los fosfatos en la carne y en los productos cárnicos pueden participar en algunas características como pueden ser (Belgin, 2004. Thomson, 2012):

- Mejoramiento o preservación del color.
- Incremento en la suavidad de la carne.
- Incremento en la solubilidad de las proteínas de la carne (miosina).

- Incremento en la capacidad de retener agua.
- Contribuir al sabor.
- Prevenir sabores no característicos de la carne o del producto cárnico elaborado.

Los fosfatos más comúnmente usados en la industria cárnica son los polifosfatos de sodio y los pirofosfatos de sodio. Los fosfatos se pueden adicionar por diferentes métodos como puede ser inyección, aspersion o remojo en salmueras (Ünal, 2004).

Los fosfatos al ser adicionados a la carne migran a través de las fibras musculares por difusión formando una capa entre las proteínas y el agua en la superficie exterior de las proteínas (Ünal, 2004).

Tabla No.10 Fosfatos más comúnmente utilizados en productos cárnicos.

Producto	Fosfato
Productos cárnicos	
Jamón	STPP, mezclas de fosfatos
Tocino	STPP, mezclas de fosfatos
Salchichas	STPP, mezclas de fosfatos
Carne asada	STPP, mezclas de fosfatos
Chuletas de cerdo	STPP, mezclas de fosfatos

Tripolifosfato de sodio (STTP), mezclas de fosfatos (Ácido fosfórico  $H_3PO_4$ , pirofosfato ácido de sodio SAPP, pirofosfato tetrasódico TSPP).

Fuente: (Branen, 2002).

#### **5.3.4 Los fosfatos y su participación en aspectos sensoriales en productos cárnicos.**

En algunos estudios se ha reportado el uso de salmueras elaboradas a base de concentrados de proteína de suero de leche y sal yodada, comparándolas con salmueras formuladas con tripolifosfato de sodio y sal en las mismas concentraciones, para evaluar las características sensoriales de chuletas obtenidas del lomo cerdo.

Hayes y colaboradores (2006) usaron un concentrado de proteína de suero lácteo en una concentración de 3.30% y 5.50% de sal en una salmuera inyectada en chuletas de cerdo la cual al ser evaluada en aspectos sensoriales por un panel de jueces presentó resultados muy parecidos en comparación con una salmuera donde utilizó 3.30% de tripolifosfato de sodio y 5.50% de sal, lo cual podría ser una variante al uso de los fosfatos en lo que se refiere a las características sensoriales.

Por su parte, Glaeser y colaboradores (2003) afirman que la aceptación en el mercado tanto de carne de cerdo y de los productos cárnicos tiene una tendencia positiva cuando se incorporan tripolifosfatos de sodio en la formulación.

### **5.3.5 Retención de agua en los productos cárnicos.**

La capacidad de retener agua es importante en los productos cárnicos desde el punto de vista de rendimiento y características sensoriales.

El punto isoeléctrico de las proteínas cárnicas en general está alrededor de un pH 5.30, pero para la actina su punto isoeléctrico está alrededor de 4.70. En valores alejados del punto isoeléctrico de las proteínas la capacidad para retener agua depende constantemente del pH. La capacidad de retención de agua mejora alrededor de un pH aproximado a 7.50. El deseo de mejorar los procesos en la manufactura de los productos cárnicos, la capacidad de retención de agua, una mejor estabilidad de la emulsión, mayores rendimientos en el cocinado y geles con mayor fuerza se ha logrado con el incremento del pH en la carne. En el caso de los productos cárnicos los polifosfatos alcalinos con la adición de sal ayudan a mejorar los procesos de manufactura así como las características finales de los productos cárnicos, ya que ambos aditivos ayudan a la solubilizar proteínas como la miosina, incrementando la retención de agua por el incremento del pH y además contribuyen a la actividad antioxidante.



Los fosfatos tienen la capacidad de interactuar con las partes positivas de las proteínas de la carne para mejorar su solubilidad y mejorar la capacidad de retención de agua, por ejemplo el tripolifosfato de sodio en los sistemas cárnicos incrementa el pH de la carne ocasionando que las proteínas de la carne se alejen de su punto isoeléctrico y se presente una mayor interacción con moléculas de agua (Ünal, 2004. Sutton, 1997).

Por otra parte la solubilidad de la miosina es muy importante, ya que esta le aporta propiedades funcionales a la carne y que se verán reflejadas en la fuerza o debilidad de la emulsión en el producto terminado (Young, 2005).

Tabla 11. Cantidad máxima permitida de fosfatos en algunos productos cárnicos.

Categoría	Producto	Cantidad máxima permitida.	Nombre de los fosfatos y función	Norma
Cárnicos	Producto cárnico cocido.	3100 mg/kg expresado como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . El límite máximo se refiere a la cantidad añadida como aditivo.	Ácido fosfórico, Fosfato disódico, pirofosfato ácido de potasio, pirofosfato disódico, pirofosfato tetrasódico, polifosfato de sodio y trifosfato pentasódico.	SSA, 2012.
	Producto cárnico curado crudo.		Ácido fosfórico, Fosfato disódico, pirofosfato ácido de sodio, pirofosfato tetrapotásico, pirofosfato tetrasódico, polifosfato de sodio y trifosfato pentasódico.	
	Carne elaborada tratada térmicamente.	5000 mg/kg sólo o combinado expresado como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .	Ácido fosfórico, di, tri y polifosfatos (E 338-452).	Unión Europea. Sección 08.2.2.
	Productos cárnicos, de aves de corral y caza elaborados sin tratamiento térmico, en piezas enteras o en cortes. Productos cárnicos, de aves de corral y caza picados y elaborados.	2200 <sup>1</sup> mg/kg		Codex Alimentarius.

Notas: 1 como fósforo.

Fuentes: SSA; 2012 (Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias). Diario Oficial de la Unión Europea. Sección 08.2.2. Codex Alimentarius, 2013.

## **5.4 BEBIDAS.**

La gran diversidad de bebidas que se producen ha dado como resultado una mayor investigación y variantes de las bebidas que son consumidas para diferentes propósitos por la población como pueden ser: leche pasteurizada, vinos, bebidas carbonatas, bebidas no carbonatadas, jugos de fruta, bebidas energéticas, bebidas rehidratantes y bebidas fortificadas.

Por otra parte la fortificación de bebidas es una práctica común y cada vez más utilizada en la industria alimentaria para mejorar las propiedades que son disminuidas por los tratamientos que siguen las bebidas principalmente.

### **5.4.1 Fosfatos su aplicación en bebidas.**

Los fosfatos se han empleado en la bebidas por sus múltiples funcionalidades que desempeñan, pueden actuar como reguladores de pH (buffers), quelantes de iones, inhibidores de microorganismos, acidificantes, suplementos minerales (Furia, 1980).

Los fosfatos se pueden emplear en bebidas carbonatadas, cerveza, vino, jugos de fruta, formulaciones isotónicas, polvos para preparar bebidas instantáneas, leche evaporada, bebidas no carbonatadas, extractos de café.

Los fosfatos se utilizan en la leche que ha sido pasteurizada para regular el pH y estabilizar las proteínas para evitar su precipitación. Anteriormente se pensaba que los fosfatos de calcio utilizados para regular el pH de la leche no interactuaban con las proteínas que se encuentran en la leche, ya que este tipo de sales de calcio son muy inertes, sin embargo hay evidencia de que los fosfatos de calcio interactúan muy fuertemente con las proteínas para modificarlas o estabilizarlas (Tercinier, 2013).

Tercinier y colaboradores (2013) agregaron fosfato tricálcico a soluciones de caseinato de sodio y proteínas de suero lácteo. La interacción entre el fosfato tricálcico y dichas proteínas que regularmente se encuentran de forma natural en la leche demostraron que los fosfatos interactúan con las caseínas en el siguiente

orden  $\beta$ -caseínas >  $\alpha_s$ -caseínas >  $\kappa$ -caseínas con una cantidad de 1.0% peso/peso de fosfato tricálcico y 0.1% de caseinato de sodio. En lo que respecta a las proteínas del suero la interacción es menos favorable y se presenta en el siguiente orden de interacción  $\beta$ -lactoglobulinas >  $\alpha$ -lactoalbuminas. La interacción que se da entre fosfato tricálcico y las proteínas se debe a que las partículas de fosfato tricálcico presentan dos diferentes sitios con los que puede interactuar con las proteínas, usualmente llamados el sitio “C” y el sitio “P”. Después de la dispersión en medio acuoso el sitio “C” es rico en iones calcio y cargas positivas, el sitio “P” es rico en iones fosfato y cargas negativas.

La preferencia de los fosfatos de calcio por las  $\beta$ -caseínas está relacionada con la distribución de los grupos fosforilados (residuos de fosfoserina) donde las  $\beta$ -caseínas tienen una carga negativa mayor para interactuar con los iones calcio o el sitio “C” de los fosfatos (Tercinier, 2013).

Tabla No.12 Fosfatos más comúnmente utilizados en bebidas.

Producto	Fosfato
Bebidas:	
No carbonatadas	SHMP, STTP, MSP
Sabor cola	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
Cerveza de raíz	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
Bases lácteas	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , DSP, TCP, MCP, TSPP, SHMP
Bebidas en polvo	MSP, TCP, MCP, DCP

Ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), fosfato monocálcico (MCP), fosfato dicálcico (DCP), fosfato tricálcico (TCP) tripolifosfato de sodio (STTP), pirofosfato tetrasódico (TSPP), hexametáfosfato de sodio (SHMP), fosfato monosódico (MSP), fosfato disódico (DSP).

Fuente: (Branen, 2002).

#### 5.4.2 Adición de fosfatos a bebidas.

El fosfato tricálcico es estable a temperaturas de pasteurización (UHT) o tratamientos térmicos mayores a 90°C. En tratamientos térmicos se presentan ciertos factores negativos en la calidad de la leche como son: la disminución del pH, la degradación de la lactosa, desfosforilación de la caseína y precipitación de fosfato de calcio. El uso de los fosfatos de calcio en la leche induce a un incremento en el pH por la presencia de fosfatos, la distribución de los iones de fosfato entre la fase micelar y acuosa se modifica haciendo más estable la interacción entre estas fases (Tercinier, 2013.Gaucher, 2007).

Gaucher (2007) comenta el efecto de la concentración de los fosfatos de potasio en la transferencia de minerales como el calcio que se encuentra en la leche y que depende del pH. El no ajustar el pH en la leche tratada térmicamente puede originar un desplazamiento del equilibrio de los fosfatos de la forma  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$  hacia  $\text{HPO}_4^{2-}$ , teniendo un efecto adverso ya que el  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$  tiene menos efecto quelante de iones calcio comparado con el  $\text{HPO}_4^{2-}$  y la presencia de este compuesto da como resultado una desmineralización de las caseínas ocasionando agregados y precipitación de la caseína.

Aunque una variedad de compuestos de calcio han sido aprobados para utilizarlos para la fortificación de calcio, todavía una considerable parte de la industria alimentaria usa fosfato tricálcico para dicho efecto. El fosfato de calcio es adicionado en bebidas instantáneas para actuar como agente antiaglomerante.

Cerklewski (2005) considera que el uso de compuestos con calcio libres de fósforo serían más adecuados si se busca hacer una fortificación de calcio, ya que a altas concentraciones de fósforo pueden tener efectos adversos en cuanto a la absorción de calcio.

Hay algunos compuestos de calcio que son una opción y que se diferencian de los fosfatos de calcio por la composición de su molécula ya que estos tienen por anión el gluconato, lactato, sulfato, acetato, citrato, y carbonato.

Tabla 13. Contenido de calcio y fósforo en algunos alimentos fortificados

Tipo de alimento	mg/100g			
	No fortificado		Fortificado	
	Calcio	Fósforo	Calcio	Fósforo
Jugo de naranja	8.8 ± 0.4	16.1 ± 0.8	142.6 ± 6.8	72.3 ± 2.8
Jugo de vegetales	11.0 ± 1.1	22.5 ± 2.2	136.2 ± 8.2	85.2 ± 9.0
Substituto de crema	0	0	2120 ± 120	1200 ± 60
Bebidas en polvo	≤1	≤1	38.9 ± 2.8	19.0 ± 0.8

Fuente: (Cerklewski 2005).

Zhang y colaboradores (2007) en la elaboración de una bebida fortificada a base de avena, llevando a cabo un proceso donde se disminuye la cantidad de ácido fítico por un tratamiento con fitasas, adicionaron ácido cítrico y pirofosfato férrico para aumentar la biodisponibilidad de el hierro en la bebida, aumentado la absorción de hierro en un 54.0%.

Diversos estudios han presentado que no sólo el consumo de bebidas ácidas son un factor principal en el daño en las piezas dentales, intervienen otros factores que no están ligados a la formulación de las bebidas como son: la limpieza bucal, la genética de cada individuo, los hábitos alimenticios, el nivel socioeconómico. Por otra parte los factores que se vinculan a la bebida como son: pH de la bebida, capacidad buffer del ácido en bebida, tipo de ácido utilizado en la bebida y el efecto quelante de iones del ácido. El reto en la elaboración de las bebidas es seleccionar una apropiada fuente de calcio y disminuir los efectos adversos en el sabor de la bebida. En las bebidas los fosfatos son usualmente usados en combinación con calcio y/o flúor. La presencia de calcio y fósforo en algunas bebidas disminuyen el desgaste de las piezas dentales (Wang 2012).

En la actualidad el incremento de daño en los dientes así como en el esmalte está vinculado fuertemente a la ingesta de bebidas ácidas, por ello es muy importante una estrategia en la nueva formulación de bebidas o de alimentos ácidos.

En las bebidas carbonatas como son las de sabor cola y la cerveza de raíz se emplea ácido fosfórico del 0.05% al 1.0% como acidulante y además contribuye específicamente en el sabor. En bebidas carbonatas donde se utilizan jugos de frutas el ácido fosfórico contribuye dando sabor más natural a la bebida.

Con un nivel bajo de concentraciones de minerales como calcio, fósforo y flúor (0.50 mM Ca, 0.50 mM P, 0.03 mM F) en la bebidas se puede reducir los daños en las piezas dentales y sólo se tienen efectos mínimos en el sabor de las bebidas (Attin, 2005).

Recientemente se ha prestado mucha atención en el uso de los polímeros de fosfatos en la aplicación de bebidas como son: pirofosfatos, polifosfatos y tripolifosfatos. Barbour y colaboradores (2008) mencionan que el uso de estos fosfatos disminuyó significativamente la disolución del esmalte de las piezas dentales en ácido cítrico que se puede encontrar en los refrescos.

Por otra parte Hooper y colaboradores (2007) encontraron que el uso de los fosfatos para modificar la acidez de los refrescos en combinación con goma xantana, es una efectiva variante para reducir el deterioro del esmalte de las piezas dentales.

La modificación de bebidas con calcio y fosfato de calcio ha sido generalmente aceptados como una estrategia para evitar el daño de las piezas dentales, sin embargo la estabilidad de la soluciones todavía son un problema. Para lograr la estabilidad del calcio y iones fosfato en las soluciones se han introducido casein fosfopéptidos, que son péptidos fosforilados derivados de las caseínas de la leche, que contienen secuencias de aminoácidos e interactúan fuertemente con los iones calcio para formar complejos que sean solubles (Wang, 2012).

Tabla 14. Cantidad máxima permitida de fosfatos en leche y leche UHT.

Categoría	Producto	Cantidad máxima permitida.	Nombre de los fosfatos	Norma
Lácteos	Leche	5000mg/kg  1200 mg/kg solos o combinado.	Fosfato hidrogenado de sodio  Fosfatos hidrogenados: sodio, potasio, dipotásico y disódico.	SSA, 2012.
	Leche (UHT)	150 mg/kg solos o mezclados con otros aditivos que tengan la misma función. Expresados como sustancias anhídricas.  1000mg/kg sólo o combinado expresado como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  1500 <sup>1</sup> mg/kg	Polifosfatos: sodio y potasio Fosfatos hidrogenados: sodio y potasio Fosfato dihidrogenado de potasio  Ácido fosfórico, di, tri y polifosfatos (E 338-452).	SSA, 2012.  Unión Europea. Sección 01.1.  Codex Alimentarius

Notas: 1 Para uso de leche esterilizada y UHT.

Fuente: SSA, 2012 (Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias). Diario oficial de la Unión Europea. Sección 01.1.Codex Alimentarius, 2013.



Tabla 15 .Cantidad máxima permitida de fosfatos en algunas bebidas.

Categoría	Producto	Cantidad máxima permitida.	Nombre de los fosfatos y función	Norma
Bebidas	Bebidas saborizadas no alcohólicas	700 mg/L	Ácido fosfórico, Fosfato tricálcico, fosfato tripotásico, fosfato trisódico.	SSA, 2012.
		500 mg/L	Fosfatos dihidrogenados: calcio y sodio, fosfato dihidrogenado disódico.	
	Polvos para preparar bebidas saborizadas no alcohólicas.	1000 mg/L	Polifosfato de potasio, polifosfato de sodio.	Unión Europea. Sección 14.1.4
		700 mg/L	Ácido fosfórico, Fosfato tricálcico	
Bebidas aromatizadas	1000 mg/L	Polifosfato de potasio, polifosfato de sodio.		
	700 mg/L	Ácido fosfórico, di, tri y polifosfatos (E 338-452).		
	Bebidas para deportistas con lactosuero.	500 mg/L solo bebidas para deportistas con lactosuero.		
	Bebidas a base de proteínas vegetales	20000 mg/L solo bebidas a base de proteínas vegetales		
	Bebidas a base de agua aromatizadas, incluidas las bebidas para deportistas, bebidas energéticas o bebidas electrolíticas y bebidas con partículas añadidas.	1000 mg/L		Codex Alimentarius.

Fuente: SSA, 2012 (Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias). Diario oficial de la Unión Europea. Sección 14.1.4. Codex Alimentarius, 2013

## 6. CONCLUSIONES.

La distribución mundial actual de roca fosfórica se concentra principalmente en tan sólo siete países como son Argelia, Rusia, Estados Unidos, Jordania, Siria, Sudáfrica y Marruecos.

Los principales productores de fosfatos en los próximos años serán: Marruecos con el 80%. Rusia, Túnez y Jordania con el 20% restante de la producción mundial.

En el país el uso de fosfatos como son: el fosfato diamónico y los superfosfatos son utilizados principalmente como fertilizantes.

Debido a la distribución de la roca fosfórica el precio de los fosfatos cada vez será mayor en los próximos años.

La diversidad de funcionalidades que presentan los fosfatos en los alimentos permite que se puedan emplear en productos lácteos, productos a base de cereales como el pan, productos cárnicos y bebidas como refrescos y leche pasteurizada.

Las principales funcionalidades de los fosfatos en los alimentos son como: agentes quelantes de iones, acidulantes, emulsificantes y reguladores de pH.

Los fosfatos de calcio son los que principalmente se emplean en la industria de panificación como agentes acidulantes.

El uso de fosfato monocálcico en panificación permite reducir tiempos de producción, ya que este tipo de fosfatos son de acción rápida y liberan la mayoría de bióxido de carbono a temperatura ambiente durante la etapa de hidratación y mezclado.

En los productos a base cereales como el pan los fosfatos participan como acidulantes en reacción con el bicarbonato de sodio para la producción de bióxido de carbono que contribuye a la esponjosidad del pan.

El ácido cítrico puede ser una variante para sustituir los fosfatos como acidulantes en la elaboración del pan en dosificación del 0.4% al 1.2% en base a la harina.

Los principales fosfatos utilizados en la elaboración de quesos procesados son los fosfatos de sodio, principalmente el pirofosfato ácido de sodio y el pirofosfato tetrasódico.

Los fosfatos utilizados en la elaboración de quesos procesados modifican el pH del ambiente de manera positiva para mejorar la dispersión de las caseínas evitando que se encuentren en su punto isoeléctrico y precipiten.

La combinación de mezclas de fosfatos como el pirofosfato ácido de sodio, pirofosfato tetrasódico y el hexametáfosfato de sodio tienen influencia en la dispersión, hidratación, emulsificación y estabilización de las caseínas.

Un pH entre 5.1 y 6.0 es el adecuado para permitir la dispersión y solubilización de las caseínas para la elaboración de quesos procesados.

El ácido fosfórico, pirofosfato ácido de sodio, tripolifosfato de sodio y pirofosfato tetrasódico son los fosfatos más utilizados en la industria cárnica.

Los fosfatos en los productos cárnicos se adicionan para modificar el pH de la carne, solubilizando la miosina y permitiendo mayor retención de agua que se verá reflejado en rendimientos mayores.

El uso de fosfatos en los productos cárnicos contribuye para una mejor aceptación de los consumidores ya que influyen en el sabor, jugosidad y textura.

El uso de nuevos aditivos en los productos cárnicos como las proteínas de suero lácteo, pueden ser una variante para sustituir los fosfatos sin alterar el sabor, jugosidad y textura significativamente.

Los fosfatos más comúnmente utilizados en la leche que es tratada térmicamente son el fosfato de calcio, el fosfato dicálcico y el fosfato tricálcico respectivamente.

En bebidas lácteas como la leche pasteurizada el uso de fosfatos evita la precipitación de las proteínas, mejorando la estabilidad de la fase micelar y la acuosa.

Los fosfatos de calcio presentan dos sitios con lo que puede interactuar con las caseínas que son el sitio "C" que es rico en iones calcio y cargas positivas, y el sitio "P" que es rico en iones fósforo y cargas negativas.

En bebidas no alcohólicas como los refrescos los fosfatos de calcio son utilizados como acidulantes y buffers para acidular o mantener el pH.

Los fosfatos de calcio son utilizados en bebidas como los refrescos para evitar la desmineralización de las piezas dentales, debido al pH que presentan este tipo de bebidas.

En cuanto a la normatividad de México permite el uso de todos los fosfatos comerciales en una gran diversidad de productos, por otra parte la FDA sólo reconoce algunos como “GRAS” y la Unión Europea no permite el uso del fosfato de aluminio sodio.

Organizaciones como la FAO/WHO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura /Organización Mundial de la Salud) a través de la JECFA (Comité de Expertos en Aditivos Alimentarios) mencionan que los fosfatos considerados como “GRAS” pueden ser consumidos por la población en general en una dosis de 0-70mg/kg de por vida.

El fosfato de Aluminio sodio que se usa en quesos procesados es considerado como “GRAS” por otra parte se sabe que el aluminio puede ocasionar daños al sistema nervioso.

Un exceso en el consumo de los fosfatos puede ocasionar acumulación de fosfatos en los riñones (hiperfosfatemia) seguido de un desequilibrio de minerales esenciales para el ser humano.

El uso y la dosificación de los fosfatos se debe cumplir con la normatividad existente por ejemplo el “Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos y bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias” que es publicado por la Secretaria de Salud de México para evitar posibles daños a los consumidores.

## 7. BIBLIOGRAFÍA.

Asociación Nacional de la Industria Química, A.C. 2012. Anuario estadístico de la industria química mexicana.13. pp 184-194.

Attin T, Weiss K, Becker K, Buchalla W, Wiegand A. 2005. Impact of modified acidic soft drinks on enamel erosion. *Oral Dis.* 11. pp 7-12.

Awad R.A., Abdel-Hamid L.B., El-Shabrawy S.A., & Singh R.K. 2002. Texture and microstructure of block type processed cheese with formulated emulsifying salt mixtures. *LWT-Food Science and Technology.* 61. pp. 54-61.

Bachmann Peter H. 2001. Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal.* 11. pp 505-515.

Barbour M.E, Shellis R.P, Parker D.M, Allen G.C, Addy M. 2008. Inhibition of hydroxyapatite dissolution by whole casein: the effects of pH, protein concentration, calcium and ionic strength. *European Journal Oral. Sci.* pp 473-478.

Blanco A. Carlos, Ronda Felicidad, Pérez Blanca, Pando Valentín. 2011. Improving gluten-free bread quality by enrichment with acidic food additives. *Food Chemistry.* pp 1204-1209.

Branen, A.L, Davison M.P, Thorngate III H.J. 2002. *Food Additives.* Editorial Marcel Dekker, Inc. 2nd Edition. New York. pp 809-898.

Belgin S.U, Erdogdu F, Ekiz Ibrahim, Özdemir Yüksel. 2004. Experimental theory, fundamentals and mathematical evaluation of phosphate diffusion in meats. *Journal of food Engineering.* Elsevier. 65. pp 263-372.

Cavalier C, Queguiner C, Cheftel J. 1991. Preparation of cheese analogues by extrusion cooking. Elsevier. 1. pp 373- 378.

Cerklewski L.F. 2005. Calcium fortification of food can add unneeded dietary phosphorus . Elsevier. 18. pp 595-598.

CODEX SATN.221-2001. Queso no madurado incluidos el queso fresco.

CodexAlimentarius.2013.<http://www.codexalimentarius.net/gsfaonline/referenceglosary.html?lang=es>. (Consultado: 10 Diciembre 2013).

Cordell Dana, Drangert Jan-Olof, White Stuart. 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for through. Elsevier.19.pp 292-305.

Cooper J, Lombardi R. 2011. The future distribution and production of global phosphate rock reserves. Resources, conservation and recycling. Elsevier. 57. pp 78-86.

Diario Oficial de la Unión Europea. REGLAMENTO (UE) 1129/2011 DE LA COMISIÓN. Consejo para establecer una lista de aditivos alimentarios de la Unión Europea.

FDA. Food and Drug Administration. Title 21. <http://www.fda.gov/food/default.htm>

Furia E.T. 1980. Handbook of Food Additives. Editorial Intechmark Corporation. 2nd Edition. Palo Alto California. Vol 1. pp 617-618.

Gao R, Van Halsema F.E.D, Temminghoff E.J.M, Van Leeuwen H.P, Van Valenberg H.J.F, Eisner M.D, Van Boekel M.A.J.S. 2010. Modelling ion composition in simulated milk ultrafiltrate (SMUF) II. Influence of pH, ionic strength and polyphosphates. Food Chem. 122. pp 710-715.

Gaucher I, Piot M, Beaucher E, Gaucheron F. 2007. Physico-chemical characterization of phosphate-added skim milk. Elsevier. 17. pp 1375-1383.

Glaeser K,Nattre M.F, Gibson L.L, & Aalhus J.L. 2003. Quality and moisture-enhanced pork from retail markets. Advances in pork Production. Vol.14. Abstract 26.

Hayes J.E, Desmond E.M, Troy D.J, Buckley D.J, Mehra R. 2006. The effect of enhancement with salt, phosphate and milk proteins on the physical and sensory properties of pork loin. Meat Science.Elsevier.72. pp 380-386.

Hooper S, Hughes J, Parker D, Finke M, Newcombe R.G, Addy M, West N. 2007. A clinical study in situ to assess the effect of a food approved polymer on the erosion potential of drinks. Dent. pp 541-546.

Hui Y.H, Guerrero I, Rosmini R.M, 2006. Ciencia y Tecnología de Carnes. 1<sup>a</sup> Edición. México. Limusa. pp111.

Kussy D, Aylward E, 2009. Pasteurized Process Cheese. Springer Science. 12. Pp 387-401.

Llera F M. 2012. Helm de México. S.A. de C. V. Apuntes sobre aditivos alimentarios.

Lucey A.J. 2008. Some perspectives on the use of cheese as a food ingredient. Dairy Sci. Technol. 88. pp 573-594.

NOM-122-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana. Bienes y servicios. Productos de la carne. Productos cárnicos curados y cocidos, y curados emulsionados y cocidos. Especificaciones sanitarias.

NOM-243-SSA1-2010. Norma Oficial Mexicana. Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.

NOM-247-SSA1-2008. Norma Oficial Mexicana. Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.

Sádlíková I, Bunka F, Budinský P, Voldánová B, Pavlínek V, & Hoza I. 2010. The effect of selected phosphate emulsifying salts on viscoelastic properties of processed cheese. Food Science and Technology. 43. pp 1220-1225.

Salaün F, Mietton B, Gaucheron F. 2005. Buffering capacity of dairy products. International Dairy Journal. Elsevier Science. pp 95-109.

Saldívar, S.O. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. A.G.T. Editor. México D.F. pp 248-250.

SSA. Secretaría de Salud de México. 2012. Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos y bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias.

Shahidi F & Synowiecki J. 1997. Protein hydrolyzates from seal meat as phosphate alternatives in food processing applications. Food Chem. Elsevier Science. pp 29-32.

Seth K, Bajwa U. 2013. Effect of acidulants on the recovery of milk constituent's and quality of mozzarella processed cheese. Journal Food Science Technology.

Sutton D.S, Brewer M.S, & Mc Keith F.K. 1997. Effects of sodium lactate and sodium phosphate on the physical and sensory characteristics of pumped pork loins. Journal of Muscle Foods. 8. pp 111-122

Tercinier L, Ye A, Anema S, Singh A, Singh H. 2013. Adsorption of milk proteins on to calcium phosphate particles. Journal of Colloid and Interface Science. pp 458-466.

Thomson. 2012. PLM Diccionario de especificaciones para alimentos. pp 325-328.

Tornberg E. 2005. Effects of heat on meat proteins-Implications on structure and quality of meat products. Meat Science. Elsevier. 70. pp 493-508.

Ünal B. S, Erdogdu F, Ekiz I.H, Özdemir Y. 2004. Experimental theory and mathematical evaluation of phosphate diffusion in meats. Journal Of Food Engineering. Elsevier. 65. pp 263-272.

Walstra P. 1987. Química y Física Lactológica. Acribia, S.A. ZARAGOZA. España. pp. 85-106.

Wang X, Lussi A. 2012. Functional foods/ingredients on dental erosion. European Journal of Nutrition. pp s39-s48



Weiner M.L., Salminen W.F., Larson P.R., Barter R.A., Kranetz J.L., G.s. Simon. 2001. Toxicological review of organic phosphates. Food Chem. Toxicology. PERGAMON. 39.pp 759-786.

Weiserová E, Doudová L, Galiová L,Zák L, Michálek J.2011. The effect of combinations of sodium phosphates in binary mixtures on selected texture parameters of processed cheese spreads. International Dairy Journal. Elsevier. 21. pp 979-986.

Yokel A, Hicks L, Florence L. 2008. Aluminum bioavailability from basic sodium aluminum phosphate, an approved food additive emulsifying agent, incorporated in cheese. Food and Chemical Toxicology. pp 2261-2266.

Young O.A, Zhang S. X, Farouk M. M, Podmore C. 2005. Effects of pH adjustment with phosphates on attributes and functionalities of normal and high pH beef. Meat Science. pp 133-139.

Zhang H, Önning G, Öste R, Gramatkovski, Hultén L. 2007. Improved iron bioavailability in an oat-based beverage: the combined effect of citric acid addition dephytinization and iron supplementation. European Journal of Nutrition. pp 95-101.