

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI



FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

"EVALUACION DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE SURIMI Y
SUS GELES DE UNA ESPECIE MARINA Y UNA ESPECIE
DULCEACUICOLA Y SUS MEZCLAS A TRES NIVELES"

INGENIERIA EN ALIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

PRESENTA : LUCERO ESPINOSA SOLIS

SAN LUIS POTOSI, S.L.P

1994

335

1

MS
80
E1 S1 E1 C1



1080076921

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI



FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

"EVALUACION DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE SURIMI Y
SUS GELES DE UNA ESPECIE MARINA Y UNA ESPECIE
DULCEACUICOLA Y SUS MEZCLAS A TRES NIVELES"

INGENIERIA EN ALIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

PRESENTA : LUCERO ESPINOSA SOLIS

SAN LUIS POTOSI, S.L.P.

1994

T
SH335
E8



INDICE

RESUMEN.....	1
I.- INTRODUCCION.....	2
II.- OBJETIVOS.....	13
III.- MATERIALES Y METODOS.....	15
IV.- RESULTADOS Y DISCUSION.....	32
V.- CONCLUSIONES.....	50
VI.- BIBLIOGRAFIA.....	53
APENDICE A.....	61
APENDICE B.....	64

RESUMEN

En el presente trabajo se elaboró surimi a partir de 2 diferentes especies de pescado una marina y una de agua dulce. Se efectuaron pruebas reológicas de fractura en torsión por el método Brookfield en geles de surimi, elaborados con 3 procesos térmicos diferentes, encontrándose que al combinar en cualquier proporción un surimi sin proteólisis (trucha) con uno que lo tiene (tilapia) se elimina el efecto de dicho fenómeno, que consiste en disminuir la fuerza estructural y se origina al incubar a 60°C. De igual forma, al mezclar un surimi con efecto fuerte de fijación (trucha) que es una mayor interacción entre proteínas, con uno que no lo tiene tan marcado (tilapia) se mejorará la calidad de éste último, el fenómeno se origina al incubar a 40°C. En cuanto a deformabilidad por el proceso de fijación el surimi de tilapia se vió más afectado que el de trucha. Los procesos térmicos que originan ambos fenómenos afectan más la fuerza estructural que la deformabilidad de los surimis. Lo anterior al igual que los coeficientes de consistencia de los surimis, obtenidos por el método de extrusión capilar indican en general la posibilidad de aumentar la calidad del surimi de tilapia al mezclarlo con el de trucha dando un surimi de una calidad casi como la del segundo.

I.- INTRODUCCION

Uno de los principales problemas que afrontan los países en vías de desarrollo, es el de obtener una alimentación adecuada (Zubiran y Chávez, 1976).

En México, grandes sectores de la población presentan problemas de desnutrición, no sólo por falta de recursos, sino también por falta de conocimientos. La población recibe una alimentación monótona, con alimentos de baja calidad, lo que trae como consecuencia la desnutrición crónica y sus deficiencias concomitantes (Ramírez, 1975).

Una de las posibles formas de atenuar este problema, es lograr una explotación racional e industrialización de productos pesqueros, fuente de nutrientes de alta calidad que en la actualidad poco se aprovechan.

De acuerdo con los análisis químicos de las diferentes especies de pescado, se ha determinado que el valor principal de éste es como fuente de proteína de excelente calidad, en comparación con la carne de res, la de pescado es más rica en sales minerales esenciales, tales como calcio, fósforo, potasio, yodo y hierro; es más fácilmente digerible y asimilable, si bien su contenido de grasa es inferior (varía desde 1% a 20%); el contenido vitamínico (vitaminas del complejo B, incluyendo tiamina, riboflavina, niacina, vit. B₆, B₁₂ y ácido pantoténico) tiene importancia en diversas especies (Ramírez, 1975).

Experiencias en varios países han demostrado la efectividad de la acuacultura (definida como el cultivo

de especies de flora y fauna acuáticas en aguas continentales, interiores, el mar territorial, la Zona Económica Exclusiva y los cuerpos de agua que se construyan) como una actividad que contribuye a dotar de alimentos nutritivos a la población, y al mismo tiempo generar fuentes de empleo (*Brown, 1983; Sndifer y Smith, 1978; Wheaton, 1977*).

En México en en transcurso de los años, uno de los problemas que frena el desarrollo de la acuacultura y que al mismo tiempo restringe el aprovechamiento de los productos pesqueros, tanto marinos como aquellos de programas de acuacultura, son los hábitos alimenticios observados en las entidades federativas sin litoral, donde el consumo de tales productos es muy bajo. Los datos más recientes (*Sepesca, 1988*), muestran que en nuestro país el consumo aparente de productos pesqueros, tanto de agua dulce como salada, es de 1'215,040 toneladas por año, correspondiendo a un promedio nacional per-cápita de 14.69 kilogramos.

Para incrementar el consumo de productos pesqueros y en particular de las especies de amplia disponibilidad y bajo costo, en adición a campañas para lograr un cambio en los hábitos alimenticios de los consumidores para su aceptación, se han podido desarrollar diversos productos nuevos análogos a los ya existentes, teniendo gran aceptación y aprovechamiento de los nutrientes del pescado.

En México existen proyectos para el desarrollo y fortalecimiento de programas de acuacultura en comunidades rurales, encontrándose una excelente respuesta en la población (*Sepesca, 1988*). Sin

embargo, el pescador se enfrenta a los problemas de fácil descomposición de su producto, al intermediarismo innecesario, al alto costo de sus equipos y artes de pesca y a la desorganización e ignorancia en cuanto a técnicas adecuadas de explotación (Sepesca, 1988).

Japón es uno de los pocos países en donde se han logrado desarrollar varios productos derivados de pescado, tales como embutidos y productos "kamaboko" con un gran éxito comercial (Sonu, 1986; Tanikawa, 1971). Kamaboko es un término genérico usado para designar una serie de productos obtenidos de pescado picado y lavado que se mezcla con varios ingredientes montados en platos de madera y procesados al vapor o a las brasas. El pescado picado y lavado varias veces forma una pasta que recibe el nombre de "surimi". La serie de lavados tiene por objeto disminuir en la carne, la concentración de pigmentos, residuos de sangre, grasa, proteínas hidrosolubles y al mismo tiempo aumentar la concentración de proteínas miofibrilares (principalmente actomiosina), resultando una pasta de coloración blanca con leve olor y sabor a pescado y que al ser sometida a un tratamiento térmico y/o químico, tendrá una mejor capacidad de formar geles en comparación a la carne de pescado picada sin refinar (Buck y Fafard, 1985; Lee, 1984a; Montejano et al., 1983, 1984a, 1984c; Montejano, 1992).

La técnica para elaborar el surimi y productos kamaboko se desarrolló hace más de 700 años (Lee, 1984b). Originalmente, la producción de éstos era irregular dependiendo de la captura de pescado y se desarrollaba día con día; esto restringió la expansión

de la industria, la cual era por lo regular de poca capacidad y manejada a nivel familiar (*Miyauchi et al., 1973*). Fué hasta 1959 que se inició una gran expansión en la producción de surimi (importante porque en Japón y otros países orientales el consumo de éstos productos es común), cuando un grupo de científicos japoneses descubrió una técnica que permitió mantener el surimi en forma estable bajo congelación (*Matsumoto, 1978*).

Este descubrimiento hizo posible poder preparar surimi en grandes cantidades cuando la captura era abundante y almacenarlo para su uso posterior cuando ésta disminuyera. Adicionalmente, cerca de la mitad de la producción de surimi se realiza a bordo de barcos procesadores, en donde la pasta se congela y se lleva a las plantas de la costa en donde es empleada en la producción de productos derivados.

La creciente demanda hacia estos productos tipo imitación de mariscos (patas de cangrejo, colas de langosta, camarones, abulón, etc.) a base de surimi (*Sonu, 1986*), ha hecho que sea necesario continuar los esfuerzos sobre el aprovechamiento de nuevas especies de pescado con capacidad de formar geles con fuerza determinada, o bien, combinar especies que, a un costo muy bajo, logren estructuras con características reológicas adecuadas para su aprovechamiento como materia prima para la elaboración de este tipo de productos.

Aún cuando el surimi puede ser elaborado a partir de una gran variedad de especies de pescado,

cada una requiere de una técnica ligeramente diferente, la única especie que es procesada en volúmenes comerciales para su producción, tanto en países orientales como occidentales, es "Alaska Pollack" (*Theragra chalcogramma*), también llamada "Abadejo de Alaska". Se estima que del total de surimi producido en Japón y Estados Unidos, aproximadamente el 95% se elabora a partir de ésta especie (Lee, 1984; Sonu, 1986) y que la captura puede ser hasta de 2 millones de toneladas por año (Branson, 1984).

Poco a poco la biomasa de Alaska Pollack ha ido disminuyendo, además puede ser muy posible encontrar sustitutos de ésta especie entre la enorme diversidad de peces que habitan nuestras costas, y si una sola especie no es capaz de hacerlo, tal vez una combinación de especies pueda lograrlo. Además, es necesario considerar que al referirse a especies marinas, existen épocas del año que pueden encontrarse en cantidades sustanciales, mientras que en otras épocas éstas especies pueden existir en cantidades menores. Por otra parte, las especies de agua dulce tienen un suministro más constante pero han sido poco estudiadas en su capacidad. Por lo tanto, parece interesante el poder combinar especies marinas y dulceacuícolas entre sí y evaluar sus atributos de calidad, lo que permitirá determinar si es factible, su óptimo aprovechamiento durante todo el año.

El factor más crítico para obtener un surimi de buena calidad, es la frescura de la materia prima (pescado). Un surimi de alto grado de calidad y alta capacidad de gelación, no puede ser obtenido de especies de pescado que no sean frescas, aún cuando se

use la mejor tecnología disponible (Noguchi, 1982). La obtención de un buen surimi, lógicamente también va a depender de la especie que se esté utilizando.

No han muchos estudios que indiquen los cambios en propiedades reológicas de surimis obtenidos de diversas especies de pescado, tanto marinas como de agua dulce, y son más escasos aún los estudios que reporten valores de parámetros reológicamente fundamentales.

En el presente trabajo se elaboraron surimis de dos especies diferentes de pescado, una de agua dulce y otra marina con el objetivo de desarrollar métodos de control de calidad para éstos y obtener parámetros reológicamente fundamentales. Para ésto aprovechamos los criterios más importantes de calidad del surimi, como son sus características reológicas y capacidad de formar geles (Lanier, 1984; Lee, 1984a; Montejano et. al., 1983). Mientras que la apariencia y el sabor del material son atributos importantes para su uso, tiene mayor relevancia la capacidad de sus proteínas de solubilizarse durante el picado con sal, y posteriormente al aplicar un proceso térmico, gelificar para formar una estructura sólida que atrapa agua y grasa e imparte al producto características texturales adecuadas. Es posible que las propiedades del surimi se vean afectadas al modificar las condiciones de su elaboración debido a la adición de determinadas sustancias. Montejano y Lanier (1986), encontraron que la adición de diversos tipos de fosfatos al surimi de trucha, causaron un efecto marcado sobre sus propiedades de flujo y gelación térmica.

Los métodos reológicos para la evaluación objetiva

de la calidad del surimi que se han desarrollado hasta el momento, se basan principalmente en la preparación de geles por procesamiento térmico del surimi y medición de su fuerza y/o deformabilidad empleando diferentes métodos, algunos de tipo empírico. Tales métodos, o son muy simples y dan poca información, o son muy laboriosos llevándose mucho tiempo a fin de obtener una amplia información (Montejano et al., 1983, 1984a,b). En Estados Unidos, "Alaska Fisheries Development Foundation Inc.", es el organismo que se ha encargado de desarrollar métodos experimentales objetivos o fundamentales para la determinación de la calidad del surimi (Lanier, 1986). Los métodos propuestos se basan en la determinación del esfuerzo cortante y deformación al corte en geles prototipo, empleando un método de torsión desarrollado por Montejano y colaboradores (1983, 1984a). Es deseable el desarrollar otros métodos alternos, o bien simplificarlos para la evaluación de la calidad reológica del surimi que se caractericen por ser más rápidos y sencillos.

Reología ha sido definida como la ciencia que estudia el flujo y la deformación de los materiales (Mohsenin, 1970); estudia las propiedades mecánicas y estructurales de los materiales en sus diversos estados físicos. Los materiales desde el punto de vista reológico, se clasifican en elásticos, viscoelásticos y viscosos, existiendo variaciones dentro de cada categoría (Cuadro 1). En los materiales elásticos la caracterización reológica del material necesita sólo de dos parámetros: fuerza y deformación; mientras que en los materiales viscoelásticos y viscosos se

REOLOGIA

(*)

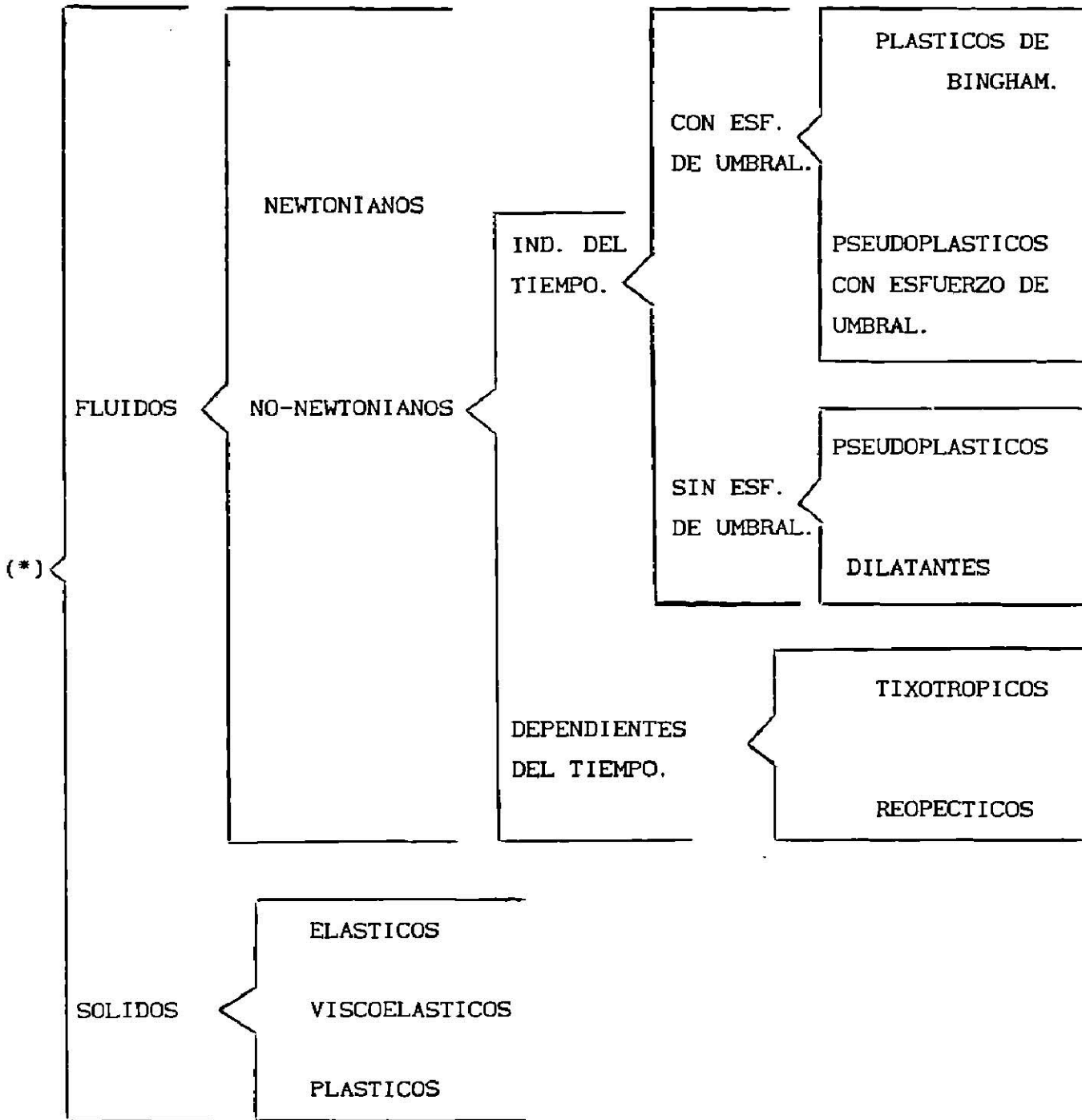


FIG.1 Clasificación Reológica General de fluidos y sólidos.

requiere de un tercer parámetro que es el tiempo. A pesar de necesitar de tan pocos parámetros, las mediciones reológicas experimentales son complicadas y difíciles de interpretar, particularmente cuando tenemos materiales complejos y multiestructurales, como son los alimentos (Montejano, 1989 a).

Desde el punto de vista reológico, un gran número de alimentos y geles obtenidos de diversas gomas presentan un comportamiento viscoelástico, que es la combinación de propiedades elásticas (sólido) y viscosas (líquido). En los alimentos fluidos y dispersiones de gomas, el comportamiento general es viscoso pero con desviaciones de la idealidad. De acuerdo a este comportamiento de flujo, los materiales se clasifican en forma general en fluidos newtonianos y no-newtonianos. Los fluidos newtonianos son aquellos que no cumplen la ley de Newton de la viscosidad, la cual indica que la fuerza por unidad de área (esfuerzo cortante), es proporcional al gradiente negativo de la velocidad local (tasa de corte). La constante de proporcionalidad de la Ley de Newton es el coeficiente de viscosidad. Los fluidos no-newtonianos son aquéllos que no cumplen con dicha ley, y pueden ser independientes del tiempo (cuadro 1).

Para describir el comportamiento de los fluidos no-newtonianos independientes del tiempo, existen varias ecuaciones o modelos matemáticos. Las ecuaciones más comúnmente aplicadas a los alimentos fluidos y dispersiones de gomas, son el modelo de Casson y el modelo de Ostwald-de Wale (ley de la potencia) (Van Wazer et al., 1963). Este último ha demostrado ser

aplicable a diversos materiales alimenticios (*Montejno y González, 1988q,b; Montejano et al., 1987*).

Para las determinaciones experimentales de las propiedades reológicas de un material simple o complejo, existen básicamente tres tipos de métodos: empíricos, imitativos y fundamentales. Los métodos empíricos e imitativos no poseen ninguna base matemática sólida y generalmente se basan en observaciones de fenómenos; son relativamente fáciles de efectuar y dependen tanto del equipo empleado, como de la cantidad de muestra y su geometría, lo que los hace difícil de reproducir si no cumplen con las mismas condiciones experimentales (*Kramer, 1973; Montejano, 1989a*). Lo anterior es importante tenerlo presente, si se desean comparar resultados que reportan un mismo parámetro pero obtenido por métodos diferentes. Los métodos fundamentales, por otra parte, tienen una base matemática sólida, pero son más laboriosos y difíciles de efectuar experimentalmente, a fin de cumplir las suposiciones teóricas que explicarán los resultados. Por otro lado, los métodos fundamentales presentan la ventaja de que las mediciones (al menos teóricamente), no son afectadas por el tipo de instrumento empleado para su determinación, ni de la cantidad de muestra y su geometría. Adicionalmente, los parámetros calculados a partir de las mediciones fundamentales, pueden ser interconvertidos entre sí; por ejemplo, el esfuerzo cortante puede ser transformado a esfuerzo compresivo o viceversa si se conoce el valor del módulo o coeficiente de Poisson (*Montejano et al., 1983*). Es posible por lo tanto, comparar evaluaciones fundamentales reportadas en la literatura aún cuando se efectúan con diferentes instrumentos y/o cantidad y

geometría de muestra, pudiendo obtener una idea más clara de las propiedades del material bajo estudio.

Los principales métodos de medición de propiedades de flujo se basan en el empleo de viscosímetros rotacionales, tales como el Brookfield o de Haake rotovisco (*Van Wazer et al., 1963*). Generalmente las mediciones de los parámetros de flujo se efectúan empleando un rango amplio de tasas de corte, ya que por el carácter no-newtoniano de la mayoría de las dispersiones de gomas, habrá una variación de la viscosidad al cambiar la tasa de corte. Es importante indicar que al comparar los valores de los parámetros de flujo para diferentes materiales, es necesario que las curvas de flujo cubran el mismo rango de tasas de corte (*Steth, 1976*). Un método fundamental para la medición de parámetros de flujo adecuado para fluidos no-newtonianos y/o de alta viscosidad, es el de retroflujo en un espacio anular, descrito en detalle por Montejano y González (*1988a,b*). Este método permite calcular los valores de índice de flujo, coeficiente de consistencia, esfuerzo de umbral en la pared, tasa de corte en la pared y, de existir, esfuerzo de umbral que es muy difícil, o imposible de determinar empleando otros métodos (*Montejano et al., 1987*).

Un método que se recomienda para la evaluación de las propiedades reológicas de geles, en particular aquéllos de alta rigidez, es el de torsión empleando un dispositivo montado en un viscosímetro Brookfield (*Montejano, 1990*), debido a que es un método fundamental que causa fractura en las muestras y que se ha demostrado que tiene alta correlación con parámetros sensoriales (*Montejano et.al., 1985*).

II.- OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL :

Elaborar surimi a partir de mezclas de dos diferente especies de pescado, una de agua dulce de disponibilidad continua (tilapia) y otra marina con fluctuaciones estacionales de captura (trucha), evaluando los atributos de calidad de cada surimi y sus mezclas. Lo anterior tiene como propósito determinar si existe algún efecto sinérgico, y si es posible aumentar la calidad del surimi cuando ésta es baja al combinarlo con surimi de mayor calidad. Las mezclas de surimi permitirén que se pueda obtener un suministro més constante de éste ingrediente protéico, pues aunque disminuya la captura de una especie, la otra permitirè compensarla para obtener un volúmen de producción adecuado.

OBJETIVOS ESPECIFICOS :

- 1) Elaborar surimi a partir de las especies de pescado tilapia (*Orochromis nilótica*) y trucha (*Cyanoscion nothus*).
- 2) Elaborar tres mezclas a diferentes niveles con los surimis de tilapia y trucha.
- 3) Evaluar los parèmetros de flujo de los surimis individuales y de sus mezclas y comparar resultados.

4) Preparar geles de surimis individuales y de mezclas, utilizando tres procesos térmicos diferentes.

5) Medir los parámetros reológicos de fuerza y deformabilidad de gel en cada uno de los geles de surimi como el criterio más importante de estimación de calidad.

III.- MATERIALES Y METODOS.

1. MATERIAS PRIMAS.

Se utilizaron las especies de trucha (*Cyanoscion nothus*) de agua marina y tilapia (*Orochromis nilótica*) de agua dulce. Las muestras de trucha fueron obtenidas directamente a través de la participación en un crucero de pesca camaronero "Aries", propiedad de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera "Huachinangueros y Camaroneros Tampiqueños, de Tampico, Tamps. Las muestras de tilapia fueron adquiridas aproximadamente 8 horas después de su captura en la pescadería "Ramón", ubicada también en Tampico, Tamps. Los pescados se procesaron en las instalaciones del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (CRIP) de la Secretaría de pesca en Tampico, Tamps. para la obtención del surimi (*Apéndice A*).

2.- EQUIPO.

- * Aparato Mikrokjeldahl: Rapid Still II, Labconco Corp., Kansas, U.S.A.
- * Aparato Soxhlet: I.V.A., S.A., Argentina.
- * Balanza analítica, Mettlet, AE 160, U.S.A.
- * Balanza granataria: Triple Beam Balance, OHAUS, U.S.A
- * Baño de agua con circulación externa para control y/o incremento de temperatura; HAAKE W. Germany.

- * Base para licuadora de dos velocidades Osterizer, Sunbeam, mexicana, México.
- * Centrífuga de canasta; construida por alumnos en el laboratorio de Ingeniería Química, F.C.Q. de la U.A.S.L.P.
- * Dispositivo para pruebas de fractura en torsión.
- * Dispositivo para medición de flujo por extrusión capilar.
- * Embutidora manual Vogt-Fuller; Stange-Pesa de México, México.
- * Estufa de dos parrillas; Bersa, S.L.P., México.
- * Hielera de unicel.
- * Máquina Universal de pruebas Instron, modelo 1000; Instron Corp. Canton, Massachusetts, U.S.A.
- * Picadora de carne (cutter), Hobart, Hobart-Dayton de México.
- * Picatodo Osterizer, Oster Mexicana, México.
- * Molino de carne Hobart. Hobart-Dayton de México.
- * Recipientes de acero inoxidable; Alfa-Laval; N.L., México.
- * Refrigerador; General Electric, México.
- * Termopares; D.F., Ecklund, Inc. Fla., U.S.A.
- * Congelador Mabe, México.
- * Esmeril de mesa, American, México.
- * Mufla.
- * Material de vidriería.
- * Viscosímetro de Brookfield modificado.

3.- REACTIVOS.

- * Acido Bórico.
- * Acido clorhídrico.

- * Acido sulfúrico.
- * Alcohol etílico.
- * Anaranjado de metilo.
- * Azul de metileno.
- * Cloruro de sodio.
- * Eter etílico.
- * Hidróxido de sodio.
- * Oxido mercúrico.
- * Sulfato de potasio.
- * Tiosulfato de sodio.

4.- ANALISIS QUIMICOS.

Para los análisis químicos del músculo de cada una de las especies de pescado y de los surimis individuales y sus mezclas, se emplearon los métodos oficiales de la A.O.A.C. (1980) que a continuación se indican :

EVALUACION	METODO
Cenizas	Residuos por calcinación.
Extracto Etéreo	Soxhlet
Humedad	Secado con estufa
Proteína	Micro-Kjeldahl
Carbohidratos	Por diferencia

Las muestras se analizaron por triplicado.

5.- PREPARACION DE SOLES DE SURIMI.

Con el fin de obtener una medición de parámetros de flujo o para posterior preparación de geles por procesamiento térmico, se prepararon soles al mezclar cada uno de los surimis obtenidos en las dos diferentes especies en una picadora de carne, con 2.5% de cloruro de sodio para solubilizar una mayor cantidad de proteínas miofibrilares (Cheng et.al., 1979). Para evitar el calentamiento de la pasta resultante durante el mezclado se le adicionó suficiente hielo picado para obtener una relación constante de Humedad-Proteína de 6:1 en base a la composición del surimi. Esto se efectuó a fin de evitar que las fluctuaciones en contenido protéico alteraran las evaluaciones reológicas y sus conclusiones. Se realizó el mezclado por tres ocasiones consecutivas durante 30 segundos cada vez, seguido por 10 segundos de reposo. La solubilización de las proteínas miofibrilares del surimi dió como resultado una pasta pegajosa. Los soles de surimi de cada especie fueron empleados directamente para las mediciones de parámetros de flujo o para elaborar geles con geometría cilíndrica como se describe enseguida.

6.- MEDICION DE PARAMETROS DE FLUJO.

Para la medición de parámetros de flujo se utilizó un dispositivo adaptable a una máquina de pruebas universal marca Instron modelo 1000 que consta de un recipiente cilíndrico con camisa para circulación de

agua a fin de mantener la temperatura constante, un pistón de diámetro igual al diámetro interno del recipiente cilíndrico y un dado de 0.75 cm. de diámetro capilar y 10 cm. de longitud que se colocó en el interior del recipiente cilíndrico (*fig. 2*). El pistón se conectó a la celda transductora de fuerza y el recipiente se fijó en la base de la máquina. Se empacaron 275 gr. de muestra en el recipiente cilíndrico sobre el dado y se hizo circular agua fría para mantener constante la temperatura del sistema a 10 C, cada una de las muestras se hizo fluir a través del capilar del dado al descender el pistón á cinco velocidades diferentes. A cada velocidad se obtuvo un valor diferente de fuerza requerida para producir flujo. Las velocidades empleadas para el descenso del pistón fueron de 200, 100, 50, 20 y 10 mm/min. Los datos de la geometría del dado (longitud y diámetro capilar) y las fuerzas máximas de extrusión (Kg) calculadas a partir de las gráficas de Instron (*fig. 3*) para cada velocidad de descenso del pistón, fueron alimentados a una microcomputadora y procesados por un programa (*Montejano, 1989b*) que calculó los parámetros de índice de flujo y coeficiente de consistencia (η). El programa de cómputo incluye un paquete estadístico de correlación lineal para el ajuste de la ecuación linealizada. Se empleó como base la ecuación de Poiseville y el modelo de la ley de la potencia (*Mohsenin, 1970*). La ecuación linealizada obtenida al final del análisis matemático fué la siguiente :

$$\ln Q = (1/n) \ln P + \ln \{ (\pi) [(1/2\eta L)]^{1/n} (1/K) R^k \}$$

Donde :

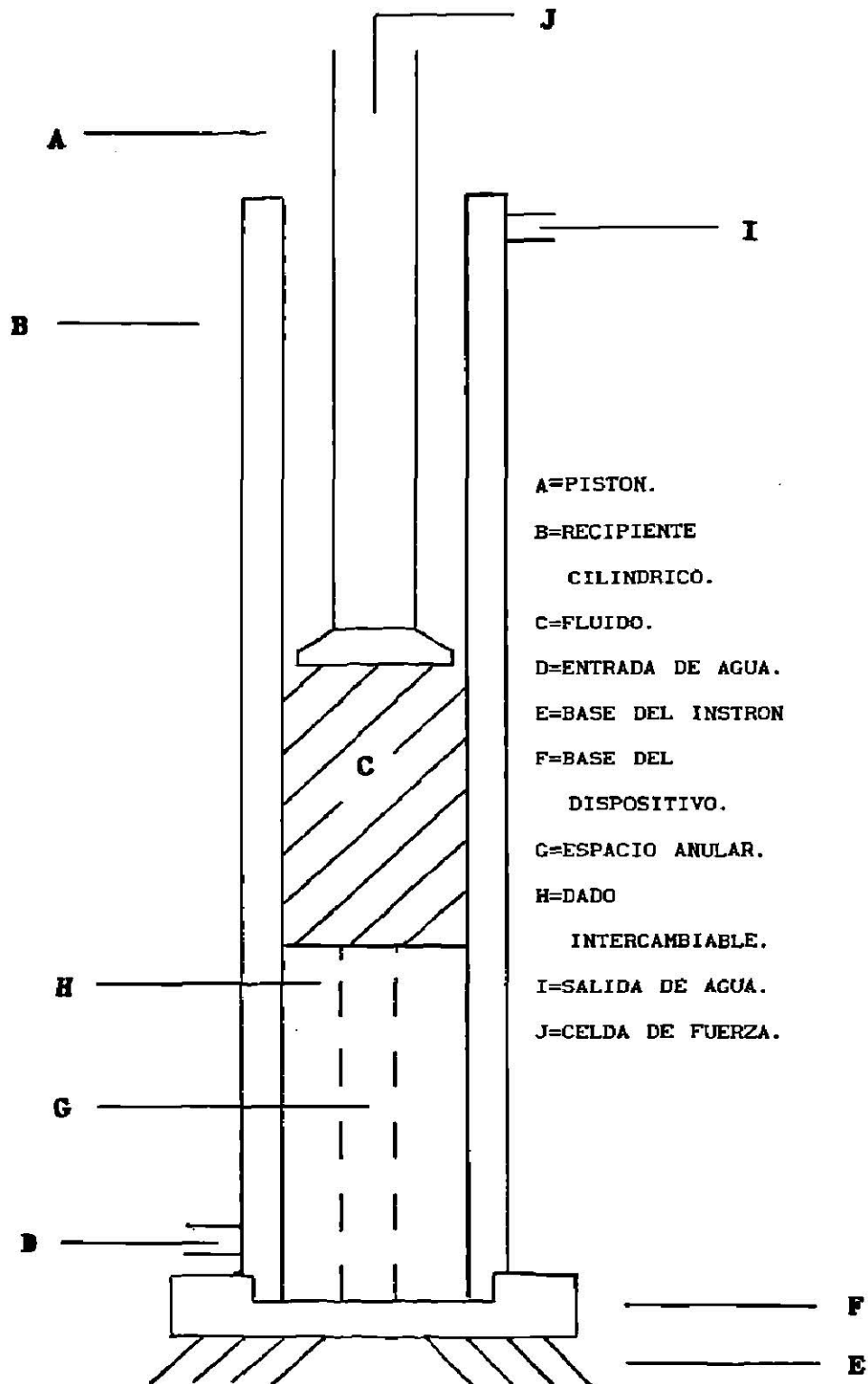


FIG. 2. Esquema del dispositivo empleado para medición de parámetros de flujo por el método de extrusión capilar.

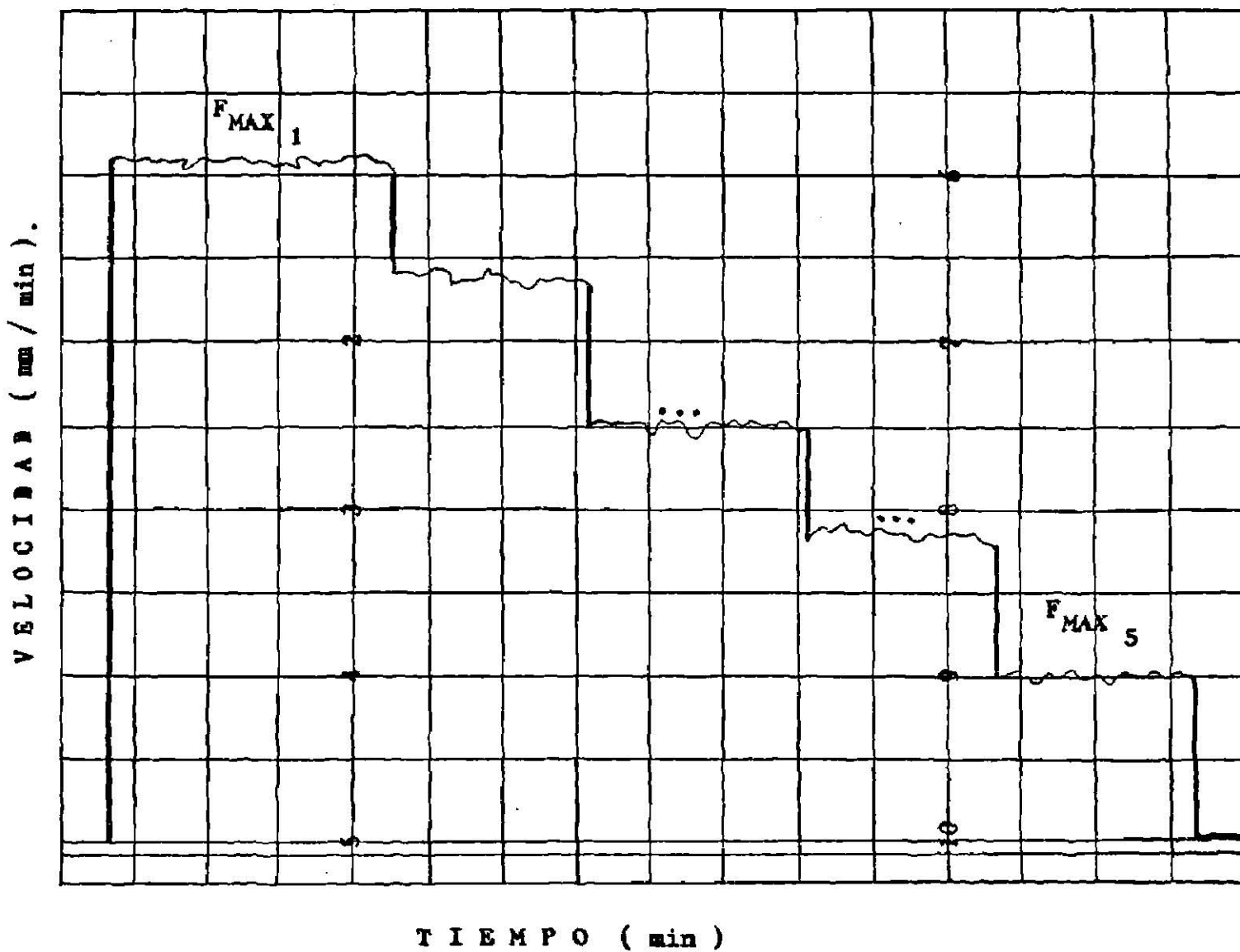


FIG. 3. Gráfica típica de fuerza contra desplazamiento, obtenida en la prueba de extrusión capilar empleando una máquina universal de pruebas Instron.

$$k = (3n + 1)/n$$

$$Q = \text{Flujo volumétrico (Kg/m}^3\text{)}$$

$$P = \text{Esfuerzo compresivo (N/m}^2\text{)}$$

$$R = \text{Radio del capilar (m)}$$

$$L = \text{Longitud del capilar (m)}$$

7.- PREPARACION DE GELES.

Debido a que en algunos tipos de surimis el uso de un proceso térmico diferencial tiene un efecto muy marcado sobre la fuerza y deformabilidad de gel (Montejano, 1984 a,b), se prepararon geles prototipo empleando tres procesos térmicos diferentes de acuerdo a los métodos de Montejano et al. (1983, 1984 b) con algunas modificaciones. La pasta resultante se empacó en tubos de acero inoxidable (D.I. = 1.9 cm., L = 15 cm.), utilizando una embutidora manual de pistón (Vogt-Fuller). Los tres procesos térmicos empleados fueron dos diferenciales (40°C/15 min y 90°C/15 min ; 60°C/15 min y 90°C/15 min) y uno directo (90°C/15 min). Los tubos fueron colocados en baños de agua a diferentes temperaturas según cada uno de los tratamientos térmicos. La temperatura en el centro de los geles se midió utilizando termopares. Después del proceso térmico, los tubos fueron enfriados en agua-hielo y los geles fueron removidos cuidadosamente.

8.- PRUEBAS REOLOGICAS DE FRACTURA EN TORSION.

Para la realización de la prueba de fractura en torsión, las muestras se formaron en una geometría especial tipo "mancuerna" (fig. 4), con un diámetro

R_c = RADIO DE CURVATURA.

R = RADIO DE LA MUESTRA.

M = TORQUE O MOMENTO.

Z^* = DISTANCIA ENTRE EL RADIO MINIMO Y RADIO MAXIMO DE LA MUESTRA.

Z = EJE CENTRAL DE LA MUESTRA.

A = DISTANCIA ENTRE EL VERTICE DEL RADIO DE CURVATURA Y EL EJE CENTRAL DE LA MUESTRA.

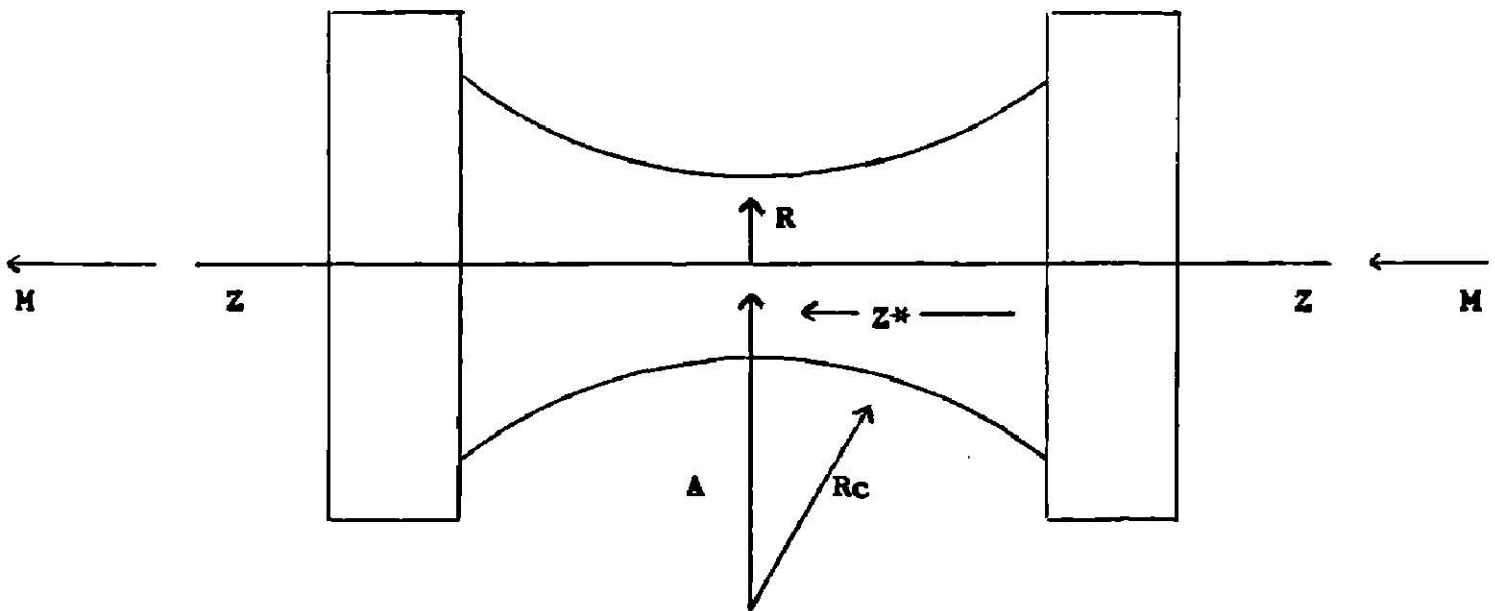


FIG. 4. Diagrama de la geometría de muestra (tipo mancuerna) empleada en las pruebas de torsión.

mínimo de 1 cm. en su sección central. Para la reducción del diámetro en los geles, se empleó un esmeril de mesa con piedra de grano fino. El radio longitudinal de curvatura del semicírculo formado en la muestra tipo mancuerna fue de 0.95 cm. La fuerza estructural y deformabilidad de los geles de cada una de las muestras se evaluó por medio de un método de fractura en torsión (Kim et al., 1986; Montejano et al., 1983; Montejano et al., 1984 a,b,), con la modificación de Montejano (1989 b) que permitió utilizar un modelo especial de viscosímetro de Brookfield (5-XHBTD) al cual se le adaptó un dispositivo especial para montar las muestras, como se describe en Montejano y Morales (1991). Los parámetros medidos fueron esfuerzo y deformación cortante. El modelo especial de viscosímetro (5-XHBTD) que se obtuvo directamente del fabricante, se caracteriza por tener un resorte de alta resistencia para registro de valores altos de torque. Lo anterior permitió medir la fuerza requerida para la fractura de muestras sólidas de alta fuerza estructural como son los geles de surimi. Se construyó un dispositivo especial adaptable al viscosímetro para montar las muestras y realizar la prueba de torsión. El dispositivo consta de dos partes principales, un disco atornillable al eje de giro del viscosímetro y una base atornillable a la base del mismo de la misma manera como se fija el sistema thermosel o los brazos de soporte en el mismo viscosímetro, de tal manera que no interfieran en la medición ni produzcan una carga sobre el sensor. La muestra con geometría tipo mancuerna se colocó en forma vertical respecto a su eje principal. La base del dispositivo tiene el mecanismo que permite el ascender la muestra sin causar giro, a fin de poder

fijarla en el disco conectado al eje del viscosímetro. La muestra se fijó con pernos puntiagudos que no interfieren en la medición ni causan daño alguno a la muestra. El extremo de la muestra en la base del dispositivo queda fijo sin poder girar, mientras que el extremo superior podía rotar al girar el eje del viscosímetro y el disco conectado a él. La prueba se efectuó al hacer girar el eje del viscosímetro a una velocidad de 2.5 rpm (0.262 rad/seg) hasta que ocurrió la fractura de las muestras. En el graficador del viscosímetro (*fig 5*) se registró el valor del torque en unidades Brookfield y su distancia proporcional al número de giros. Se efectuaron 10 mediciones para cada tipo de gel y para cada especie. De los valores del torque y distancia se calcularon los valores de esfuerzo cortante y deformación al corte .

Para calcular éstos valores, se toma en cuenta que la muestra presenta una geometría especial tipo mancuerna con un radio mínimo de 0.5 cm. y un radio de curvatura de 0.95 cm.

Para la determinación del esfuerzo cortante, se hace un análisis del torque aplicado a la muestra y los momentos de inercia en función de su geometría. Debido a que la muestra no es un cilindro, es necesario obtener un factor de corrección geométrico (K) que se calcula con la siguiente ecuación propuesta por Neuber (1958).

$$K = \frac{3\{(1+[(r_{min}/r_c)+1]^{1/2})\}^2}{4\{1+2[(r_{min}/r_c)+1]^{1/2}\}}$$

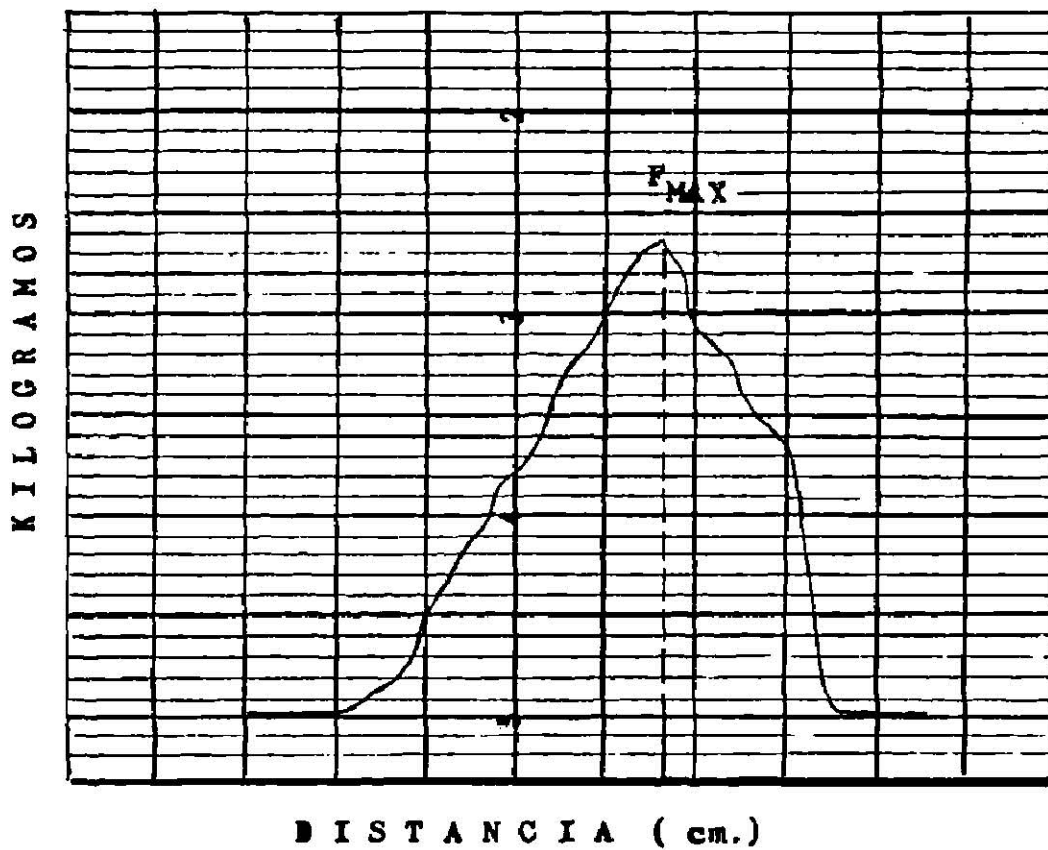


FIG. 5. Curva típica obtenida por el graficador del viscosímetro Brookfield en la prueba de fractura en torsión.

Donde :

- κ = Factor de corrección geométrico (adimensional)
- r_{min} = Radio mínimo de la muestra (0.005 m.)
- r_c = Radio de curvatura de la muestra (0.0095 m.)

El torque o momento de torsión (M_t) aplicado a la muestra, se determina en función de la lectura del viscosímetro en unidades arbitrarias Brookfield. La figura 5 muestra una curva obtenida del graficador Brookfield. Es necesario conocer el torque total del resorte del viscosímetro, el cual se proporciona en varios de los catálogos y manuales de la Compañía Brookfield. En nuestro caso, para el viscosímetro Brookfield modelo S-HBTD, una unidad Brookfield representa un torque de 0.0002875 N-m, por lo tanto, el momento Newton-metro se determina con la ecuación siguiente :

$$M_t = (0.0002875) \times (\text{Lectura en unidades Brookfield})$$

Donde :

$$M_t = \text{Torque o momento de torsión (N-m)}$$

El esfuerzo cortante a la fractura, que representa la fuerza tangencial por unidad de área, se determina con la siguiente ecuación :

$$\tau_{max} = (2\kappa M_t) / (\pi r_{min}^3)$$

Donde :

$$\tau_{max} = \text{Esfuerzo cortante a la fractura (N-m}^2\text{)}$$

Para las condiciones específicas de las pruebas en donde se conocen las dimensiones exactas de la muestra y la constante del resorte del viscosímetro, la ecuación para obtener el esfuerzo cortante (en Newtons/m²) se puede dejar en función de una constante que multiplica a la lectura Brookfield para obtener una ecuación muy simple, de la manera siguiente :

$$\tau_{\max} = \frac{(2 \times 1.08 \times 0.0002875) (\text{Unidades Brookfield})}{(\pi) (0.005)^3}$$

$$\tau_{\max} = (1580) \times (\text{unidades Brookfield})$$

La deformación cortante a la fractura es función del ángulo de giro, la geometría de la muestra y una constante (Q) que da una proporción del cambio del ángulo de giro en función del cambio de radio a cada incremento de longitud (z) de la muestra, se determina por la ecuación siguiente :

$$Q = (4 / \tau) \int_0^z (dz / r^4)$$

Para la geometría específica de la muestra y resolviendo por medio de un programa alimentado a una microcomputadora, se obtiene el valor de $Q = 8.35 \times 10^6 \text{ m}^{-3}$.

Adicionalmente, es necesario corregir por el efecto de las secciones en los extremos de la muestra donde se aplica el torque, por medio del factor de corrección U que se calcula de la siguiente manera:

$$U = (32 L) / (\pi \times De^4)$$

En donde:

L = Longitud total de las secciones en los extremos en la muestra (m).

De = Diámetro de las secciones en los extremos de la muestra (m).

Asimismo, se calculó el valor de $U = 1.25 \times 10^6 \text{ m}^{-3}$.

El ángulo de giro (en radianes) se determina en función de la velocidad de giro del eje del viscosímetro (2.5 rpm o 0.262 rad/seg en nuestro caso) y la distancia desde el inicio del giro hasta la fractura de la muestra que se registra en el graficador, de la siguiente manera :

$$\psi t = (D / V) \times \omega$$

En donde:

ψt = Angulo total de giro (radianes)

D = Distancia en el graficador desde el inicio hasta la fractura (cm)

V = Velocidad del movimiento del papel en el graficador (cm/s)

ω = Velocidad angular (0.262 rad/s)

Debido a que el viscosímetro de Brookfield tiene un resorte que se enrolla, es necesario corregir el ángulo de giro total obtenido restando el ángulo de giro debido exclusivamente al resorte. Para lo anterior, es necesario conocer la constante del resorte del aparato.

Para el viscosímetro de Brookfield modelo 5-XHBT, cada unidad de lectura Brookfield representa una rotación de 0.0148 radianes. El ángulo de giro del resorte del viscosímetro, por lo tanto, se determina de acuerdo a la siguiente ecuación :

$$\psi_r = (0.0148) \times (\text{unidades Brookfield})$$

En donde:

$$\psi_r = \text{Angulo de giro del resorte del viscosímetro (rad).}$$

La ecuación general para calcular la deformación cortante o angular tomando en consideración la geometría de la muestra y el ángulo de giro del resorte, queda de la siguiente manera :

$$\gamma_{\max} = [2K (\psi_t - \psi_r)] / [\pi \times r_{\min}^3 (Q + U)]$$

Para la geometría de la muestra y condiciones específicas de desarrollo de la prueba, la ecuación para la deformación cortante puede simplificarse de la manera siguiente :

$$\gamma_{\max} = 0.5730 (\psi_t - \psi_r)$$

En donde:

$$\gamma_{\max} = \text{Deformación cortante (adimensional)}$$

Sustituyendo las ecuaciones para los ángulos de corte total y del resorte, se obtiene :

$$\gamma_{\max} = 0.5730 [0.262 (D/V) - 0.0148(\text{unidades Brookfield})]$$

Cuando los valores de la deformación cortante son mayores de 0.8, se recomienda realizar una corrección debido a las desviaciones que ocurren en la teoría de la elasticidad empleada en la derivación de las ecuaciones que suponen deformaciones pequeñas. Para la corrección de la deformación cortante, se emplea la ecuación propuesta por Nadai (1931) :

$$\gamma_v \max = \text{Ln} \{1 + (\gamma_{\max}^2/2) + \gamma_{\max} [1 + (\gamma_{\max}^2/4)]^{1/2}\}$$

Donde :

$$\gamma_v \max = \text{Deformación cortante verdadera} \\ \text{(adimensional)}$$

9.- ANALISIS ESTADISTICO.

Los resultados numéricos obtenidos en los análisis químicos y parámetros reológicos, fueron analizados estadísticamente por el método de análisis de varianza (ANOVA) y comparación de valores de diferentes tratamientos usando la estadística S de Scheffe (John, 1971).

IV.- RESULTADOS Y DISCUSION

La tabla 1 y 2 presentan los resultados obtenidos de los análisis de composición química del músculo de cada especie de pescado, de los surimis individuales y sus 3 mezclas y de los geles de cada surimi y sus mezclas procesados a 90°C/15 min. (Gel 90) y a 60°C/15 min-90°C/15 min. (Gel 60).

Puede observarse en la tabla 1, que los músculos de trucha presentan valores significativamente mayores ($\alpha=0.05$) en contenido de grasa y cenizas, en comparación con los de tilapia. Es importante indicar que tanto la tilapia como la trucha presentan valores relativamente bajos en porcentajes de grasa, ésta concentración de grasa es disminuida aún más durante las etapas de lavado para la elaboración de surimi, como puede observarse en dicha tabla, la grasa no es soluble en agua pero durante las etapas de lavado, se forma una capa superficial de grasa que se separa de la carne picada y puede ser removida. Tanto los músculos como el surimi de tilapia presentaron un contenido de proteínas ligeramente menor, aunque significativo ($\alpha=0.05$) que los músculos y surimi de trucha.

Puede observarse en la tabla 2 que el contenido de proteína de los geles de surimi, ya sea individuales o sus mezclas, no es significativamente diferente ($\alpha=0.05$) debido al ajuste efectuado para obtener una relación constante de Humedad:Proteína, como se describió en la sección de materiales y métodos. Como era de esperarse, no se presentó tampoco diferencia significativa ($\alpha=0.05$) en el contenido de humedad de

S U R I M I ^b

MEZCLA EN BASE A TRU- CHA (%).	HUMEDAD %S	PROTEINA %H(*)	GRASA % *	CENIZAS % *	CARBOHI- DRATOS. %	
			a	a	a	
100	22.14	77.75	13.53	0.595	0.530	8.935
75	22.20	77.80	13.65	0.450	0.462	7.638
50	22.40	77.60	11.90	0.555	0.451	9.494
25	22.20	77.80	13.31	0.470	0.447	7.973
0	21.14	78.86	12.19	0.490	0.373	6.747

M U S C U L O ^b

			a	a	a
Tilapia	18.77	81.23	16.31	0.886	0.794
Trucha	19.65	80.35	17.52	2.241	1.133

Datos con la misma letra, no son significativamente diferentes a una $\alpha = 0.05$. Comparando dentro de columnas

TABLA 1. Composición química de músculo y surimis individuales y sus mezclas.

G E L 90 ^b						
MEZCLA EN	HUMEDAD		PROTEINA	GRASA	CENIZAS	CARBOHI-
BASE A TRU-	%S	%H(*)	% *	% *	% *	DRATOS.
CHA (%).						%
				a	a	
100	25.28	74.72	14.16	0.371	2.916	7.833
75	24.66	75.34	13.82	0.480	2.590	7.770
50	25.28	74.72	13.52	0.401	2.872	8.487
25	24.75	75.25	13.75	0.666	2.665	7.669
0	24.25	75.75	13.74	0.550	2.646	7.314
G E L 60 ^b						
100	25.65	74.35				
75	24.64	75.36				
50	25.43	74.57				
25	24.94	75.06				
0	24.32	75.68				

Datos con la misma letra no son significativamente diferentes a una $\alpha = 0.05$. Comparando dentro de columnas

TABLA 2. Composición química de los geles individuales y sus mezclas, procesados a 90°C/15 min. (GEL 90) y a 60°C/15 min - 90°C/15 min. (GEL 60).

cada uno de los geles (tabla 2). La presencia de carbohidratos en cada uno de los diferentes surimis y sus geles, se debe a los crioprotectores adicionados para dar estabilidad al surimi durante su congelación y almacenamiento a temperaturas de -18°C o inferiores. Montejano (1990), demostró que la adición de éstas sustancias a surimis de 6 especies de pescado, donde se incluyó a la trucha y la tilapia, permitió almacenar los surimis bajo congelación a -20°C hasta 2 meses sin que ocurriera un cambio significativo en su calidad reológica. Los resultados de composición química de los geles obtenidos por los procesamientos térmicos diferenciales de $40^{\circ}\text{C}/15\text{min} - 90^{\circ}\text{C}/15\text{min}$ (fijación) y $60^{\circ}\text{C}/15\text{min} - 90^{\circ}\text{C}/15\text{min}$ (proteólisis) son muy similares entre sí, no existiendo diferencia significativa entre ambos, éste hecho ha sido demostrado en estudios preliminares (Montejano y Lanier; 1984), debido a que el proceso térmico no altera la composición química de los geles ya que no hay sinéresis, por tal motivo se determinó la composición química completa sólo del Gel 90 para usarlo como referencia, y la determinación de % de sólidos y % de humedad del Gel 60, observándose que no hay diferencia significativa entre dichos porcentajes en ambos geles. (tabla 2).

La tabla 3 y gráfica 1 muestran los resultados promedio obtenidos para el esfuerzo cortante verdadero a la fractura torsional en geles elaborados a partir de cada una de las combinaciones de surimis utilizados en este estudio. Este parámetro reológico representa la fuerza estructural de la malla protéica y se considera que entre más grande sea su valor mejor será la calidad del surimi (Montejano , et al, 1983 ; Montejano y Morales, 1991; Sonu, 1986). Se puede observar que en cada tratamiento térmico , los geles de trucha siempre

ESFUERZO CORTANTE (τ)
(K Pa) ^b

G E L	40	60	90
Mezcla en base a Trucha			
100 %	64.2	51.2	42.9 ^a
75 %	62.9	49.7	36.5
50 %	62.8	49.1	36.0
25 %	60.9	48.5	32.3
0 %	42.7 ^a	32.4 ^a	32.4 ^a

TABLA. 3. Valores de Esfuerzo Cortante de los geles (40, 60 y 90) individuales y sus mezclas.

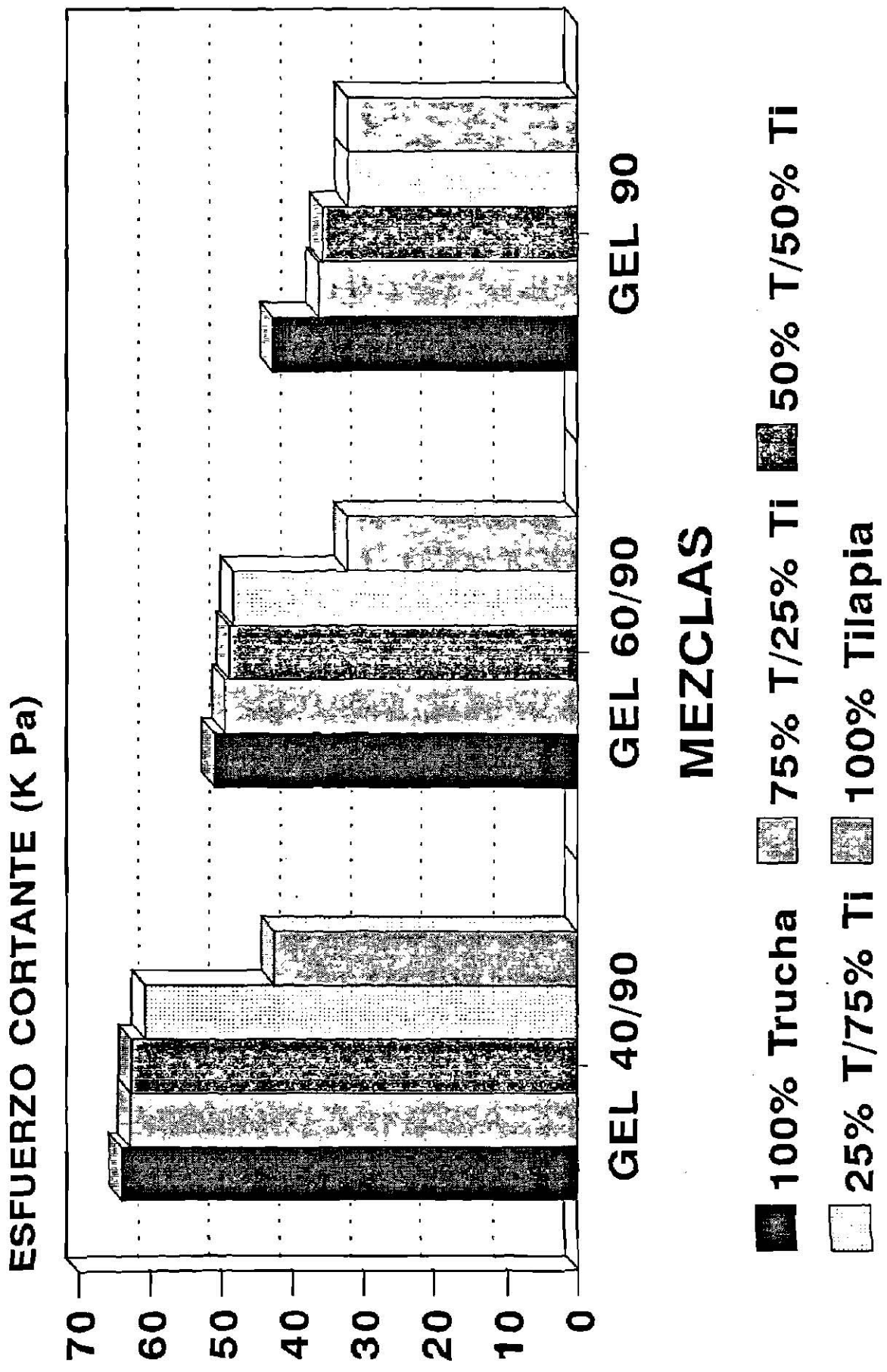
DEFORMACION CORTANTE (γ)
(Adimensional) ^b

100 %	2.25	2.21	2.09
75 %	2.20	2.00	1.84
50 %	2.24	1.98	1.79
25 %	2.26	1.89	1.59
0 %	2.32 ^a	1.79 ^a	1.58 ^c

Datos con la misma letra no son significativamente diferentes a una $\alpha=0.05$. Comparando dentro de columnas

TABLA 4. Deformación al corte de los geles individuales y sus mezclas procesados a 40°C/15 min-90°C/15 min (GEL 40), a 60°C/15 min-90°C/15 min (GEL 60) y a 90°C/15 min (GEL 90).

GRAFICA 1. FRACTURA TORSIONAL. FUERZA DE GEL.



presentaron los valores más altos de esfuerzo cortante y los de tilapia los más bajos, existiendo una diferencia estadísticamente significativa ($\alpha=0.05$) entre ellos. Los geles de tilapia tuvieron valores menores de esfuerzo cortante, estadísticamente significativos ($\alpha=0.05$), que los observados en los geles de sus mezclas, sólo con excepción del gel procesado a $90^{\circ}\text{C}/15\text{min}$ de la mezcla 25% trucha + 75% tilapia, que no es significativamente ($\alpha=0.05$) diferente del gel de tilapia sola con el mismo proceso térmico. Al emplear el tratamiento térmico directo (90°C), se observa que las mezclas 75-25 y 50-50 de trucha-tilapia, dieron valores de esfuerzo cortante verdadero a la fractura que no fueron estadísticamente ($\alpha=0.05$) diferentes entre sí pero que a su vez son significativamente ($\alpha=0.05$) menores que 100% trucha o significativamente mayores que los geles restantes.

En los procesos térmicos diferenciales, es más marcado el efecto positivo de añadir surimi de trucha al de tilapia, ya que, se logra aumentar significativamente ($\alpha=0.05$) los valores de esfuerzo cortante de los geles de las mezclas en comparación con el gel de tilapia sola. Al permitir mayor tiempo de contacto entre las proteínas de los surimis de trucha y tilapia y al mismo tiempo incubar a temperaturas en las que ocurren cambios en las mismas, se logra aumentar la fuerza estructural de la malla protéica en los geles de las mezclas, acercándose a los valores que presenta el gel de surimi de trucha sola. Al realizar una comparación estadística entre los valores de esfuerzo cortante para los geles con los procesos térmicos diferenciales, se encontró que en ambos procesos no hubo diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre los

parámetros reológicos de los geles de las 3 mezclas.

Tampoco hubo diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre los geles 50% trucha + 50% tilapia y 75% trucha + 25% tilapia y geles de trucha sola. Los geles de 25% trucha + 75% tilapia fueron estadísticamente diferentes a los de trucha sola en sus valores de esfuerzo cortante a una $\alpha = 0.05$ pero no fueron diferentes a una $\alpha = 0.01$.

Al comparar los valores de esfuerzo cortante entre geles de tilapia con el proceso directo y de proteólisis, no se encontró diferencia significativa ($\alpha=0.05$) lo que indica que en ésta especie se observa el fenómeno denominado "modori" o proteólisis (Lanier, 1986; Montejano y Morales, 1991). Este fenómeno es único en las proteínas de surimi y no se ha observado en otros sistemas protéicos. Se caracteriza porque al incubar soles de surimi a 60°C antes de su procesamiento térmico a 90°C , causa que el valor de esfuerzo cortante se mantenga igual o incluso disminuya en comparación con el valor obtenido en el gel con un proceso directo. Se piensa que enzimas de tipo proteolítico denominadas genéricamente proteasas alcalinas (Montejano, Hamann y Lanier, 1983; Park y Lanier, 1989) que solo se presentan en músculos de pescado, son las responsables de dicho fenómeno. El fenómeno de "modori" o proteólisis, puede llegar a ser muy severo e incluso causar una degradación irreversible en las proteínas del surimi, evitando su gelación térmica, lo que hace imposible que se obtengan estructuras rígidas como las que se obtienen al no incubar el surimi a 60°C . Estas enzimas, no han sido todavía aisladas y purificadas, pero se sabe que están presentes en algunos peces, ya sea en los músculos o

como parte de la cavidad ventral y que al faenar los pescados contaminan la carne obtenida (*Numakura et al., 1989*). La presencia de éstas enzimas en algunos surimis no los hace aptos para emplearse en alimentos que se procesen a temperaturas alrededor de los 60^oC (como pudiera ser en productos con proceso de ahumado).

Debe indicarse que en éste trabajo, los peces fueron procesados rápidamente después de su captura y se evitó en lo posible que durante el faenado ocurriera contaminación del músculo con residuos de la cavidad ventral. Esto, muy probablemente, ayudó a que la proteólisis del surimi de tilapia no causara un mayor grado de deterioro en la estructura del gel.

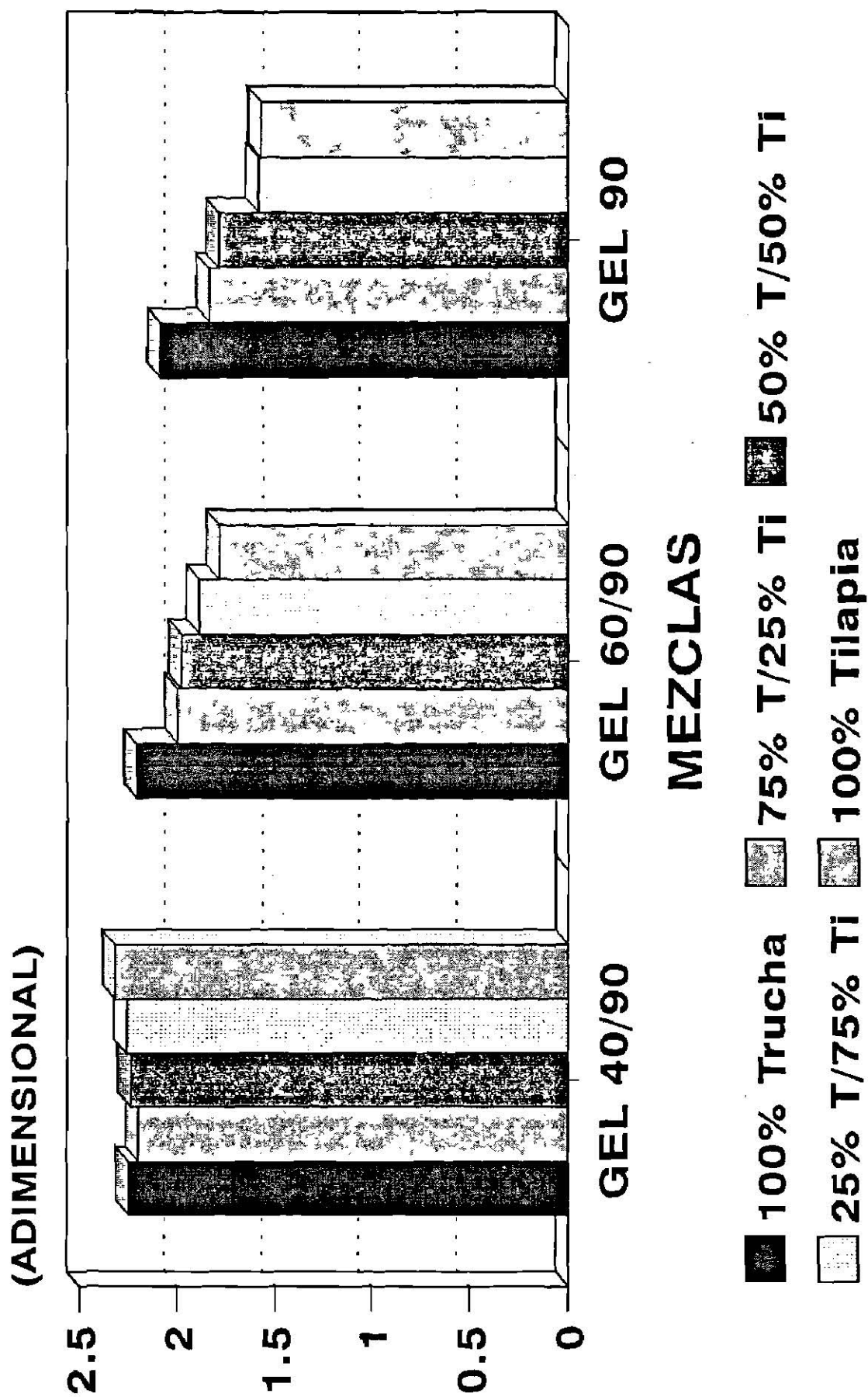
Recientemente, se han realizado varios estudios con surimis que presentan el fenómeno de "modori" o proteólisis para buscar si algunas sustancias pueden actuar como inhibidores y reducir o eliminar los efectos negativos de dicho fenómeno (*Kinoshita et al., 1990*). Entre las sustancias empleadas, se encuentran las proteínas de clara de huevo e hidrolizados de plasma, así como proteínas purificadas (*Hamann et al., 1990; Iwata et al., 1977; Scott, 1990*).

Por otra parte, al incubar a 40^oC antes de procesar a 90^oC, causa que en algunas especies de pescado se incremente considerablemente el valor del esfuerzo cortante, denominándose "suwari" o fijación a éste fenómeno (*Montejano, Hamann y Lanier, 1983; Niwa, Nakayama y Hamada, 1981*). Se piensa que interacciones de tipo hidrofóbico entre las proteínas del surimi que se ven reforzadas con un proceso posterior, son las causantes de dicho incremento (*Montejano, Hamann y*

Lanier, 1983; Sonu, 1986).

La tabla 4 y gráfica 2 muestran los resultados obtenidos con respecto a la deformación cortante verdadera a la fractura torsional en todas las combinaciones de surimi elaboradas en éste trabajo. Este parámetro representa el grado de ductilidad y deformabilidad de la estructura. Se puede observar que los valores mayores de deformabilidad se presentaron también en los geles elaborados con el tratamiento 40/90 y los menores en el de 90. En éste caso en los tratamientos 60/90 y 90, las combinaciones fueron influenciadas por la tilapia, que aunque a 40/90 presentó valores altos, en el 60/90 y en el 90 fueron valores ligeramente más bajos. Los geles elaborados con tilapia solamente presentaron valores significativamente más bajos ($\alpha=0.05$) en éstos 2 tratamientos térmicos. Esto puede explicarse, si se toma en cuenta que el fenómeno de gelación en proteínas está basado en interacciones de moléculas protéicas a través de puentes de hidrógeno, enlaces iónicos, puentes disulfuro y asociaciones hidrofóbicas, el tipo y extensión de dichas interacciones entre las moléculas de proteína, tendrá un efecto marcado sobre la textura de los geles elaborados (*Chung y Lee, 1990; Park y Lanier, 1989*). *Jhonson y Zabik (1981)* reportaron que la formación de geles fuertes y deformables puede ocurrir como resultado de un extenso entrecruzamiento entre polipéptidos. Se sugiere que durante los tratamientos térmicos utilizados en éste trabajo se llevan a cabo estructuraciones protéicas entre las moléculas de las dos especies utilizadas, resultando combinaciones positivas en algunos casos como en el de la fuerza estructural de los geles.

GRAFICA 2. FRACTURA TORSIONAL DEFORMABILIDAD



En el proceso de fijación, el surimi de tilapia se vió más afectado en su deformabilidad que el de trucha, al presentar un mayor porcentaje de incremento en su valor de deformación al corte. El tratamiento térmico de proteólisis, no afectó al surimi de tilapia al observarse que el gel obtenido tuvo un valor de deformación al corte significativamente ($\alpha=0.05$) mayor que el gel procesado directamente.

Es importante notar la escala de la gráfica 2 para deformación al corte y ver que el rango de variación entre el máximo y el mínimo fué de sólo 0.7 unidades, aproximadamente, menor que el rango de esfuerzo cortante.

Al comparar los valores de coeficiente de consistencia de los surimis individuales y sus mezclas (tabla 5 y gráfica 3), se observa que la trucha presenta los valores mayores y la tilapia los menores, con diferencias significativas ($\alpha=0.05$). En las mezclas, los valores están más cerca del máximo que del mínimo. Al aumentar los valores de coeficiente de consistencia, se tiene mayor solubilización de las proteínas (pasta pegajosa) y, en consecuencia, se espera que produzcan geles con mayores interacciones y entrecruzamientos dando estructuras más fuertes y deformables, es decir, de mejor calidad (Chung y Lee, 1990; Montejano, Hamann y Lanier, 1984; Montejano y Morales, 1991; Park y Lanier, 1989).

Los valores de índice de flujo de los surimis se presentan en la tabla 6 y gráfica 4. En todos los casos se obtuvieron valores muy inferiores a la unidad. El

COEFICIENTE DE CONSISTENCIA (η)

(Pa s) ^b

SURIMI

En base a trucha

100 %	590.1 ^a
75 %	584.9
50 %	570.2
25 %	558.4
0 %	475.1 ^a

TABLA. 5. Valores de Coeficiente de Consistencia de los surimis individuales y sus mezclas.

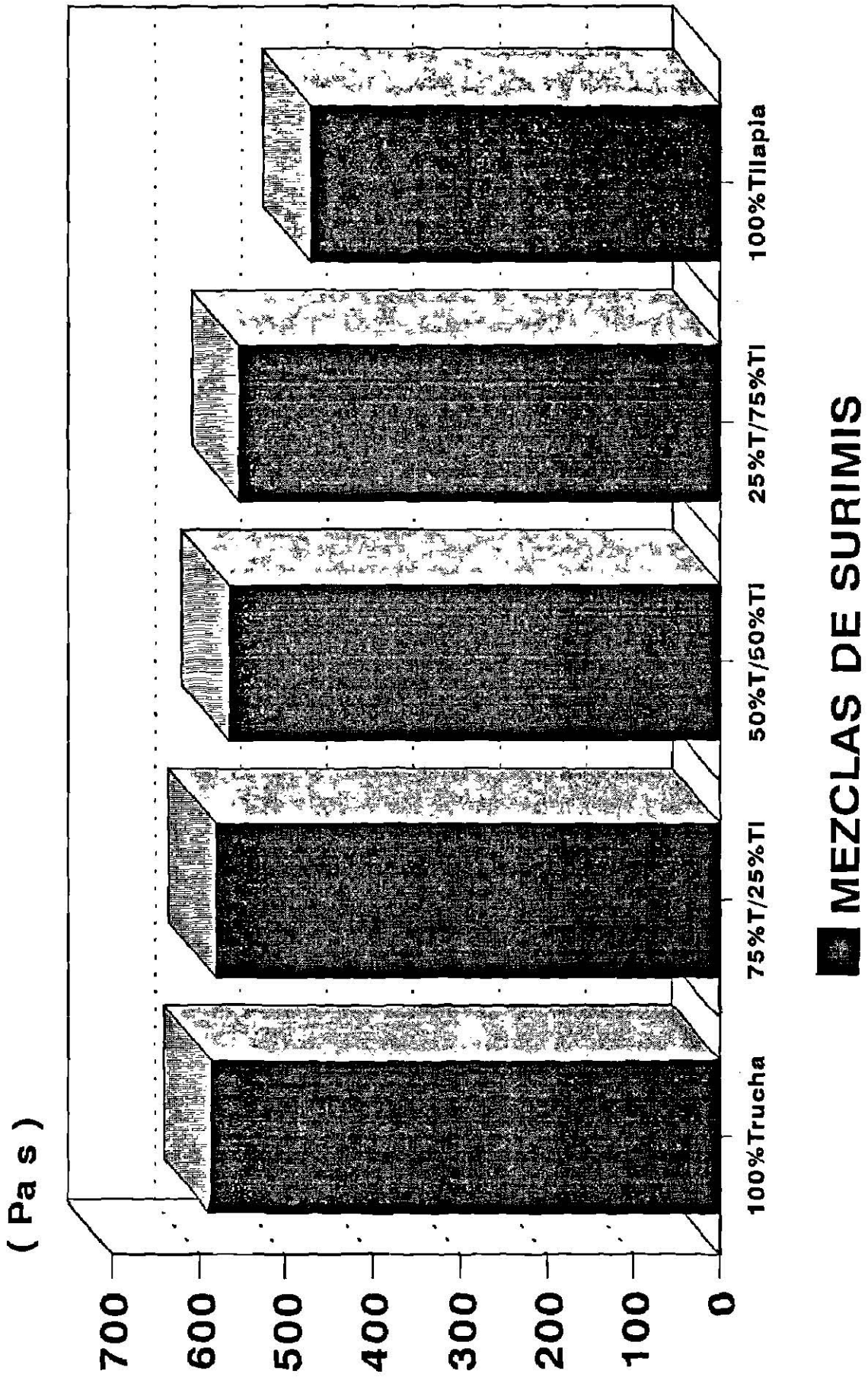
INDICE DE FLUJO (n)

100 %	0.179
75 %	0.186
50 %	0.190
25 %	0.192
0 %	0.196

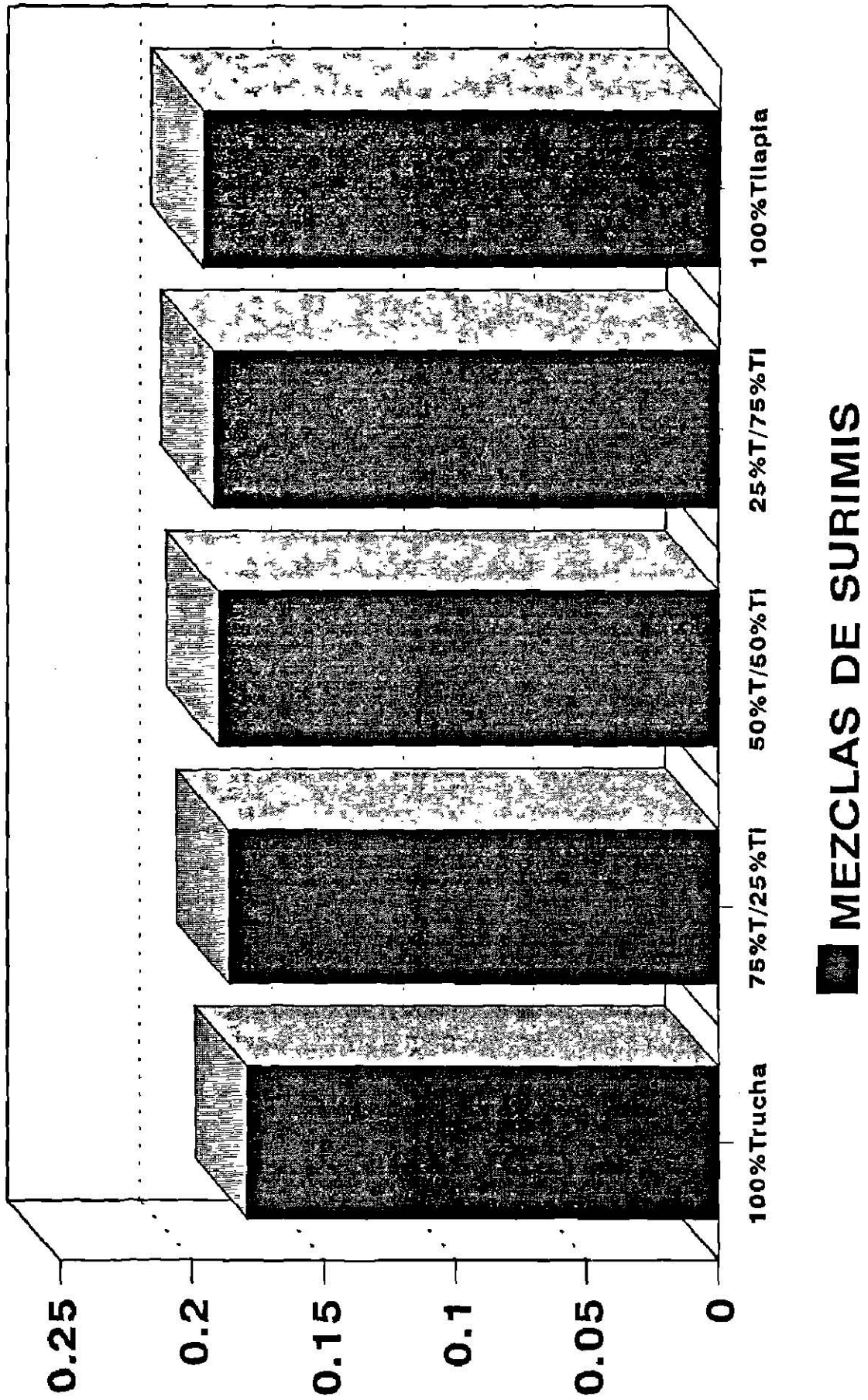
Datos con la misma letra no son significativamente diferentes a una $\alpha=0.05$. Comparando dentro de columnas.

TABLA 6. Indice de flujo de los surimis individuales y sus mezclas .

GRAFICA 3. EXTRUSION CAPILAR. COEFICIENTE DE CONSISTENCIA.



GRAFICA 4. EXTRUSION CAPILAR. INDICE DE FLUJO.



sol de trucha presenta los menores valores de índice de flujo, el de tilapia los mayores y las mezclas lo van incrementando proporcional y paulatinamente, nuevamente indicando que hay mayor solubilización de las partículas del surimi y que debido a su reactividad y temperatura de refrigeración (Sonu, 1986), causa mayor desviación del comportamiento Newtoniano (índice de flujo = 1).

Debido al carácter diferente de cada surimi estudiado, se obtuvieron diferentes rangos de tasa de corte en el método de extrusión capilar. Por tal motivo, se calculó el valor de viscosidad aparente a un mismo valor de tasa de corte común a todos los soles y de ésta manera poder realizar mejores comparaciones entre sus propiedades. Se utilizó la ecuación propuesta por Mohsenin (1970) a una tasa de corte común entre todos los soles de surimi de 10 (1/seg). Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 7 y gráfica 5 y puede observarse que la tilapia presenta los menores valores y la trucha los mayores y que las mezclas de surimi tienden más marcadamente a acercarse al valor de trucha que al de tilapia.

VISCOSIDAD APARENTE (η')
(Pa s)^b

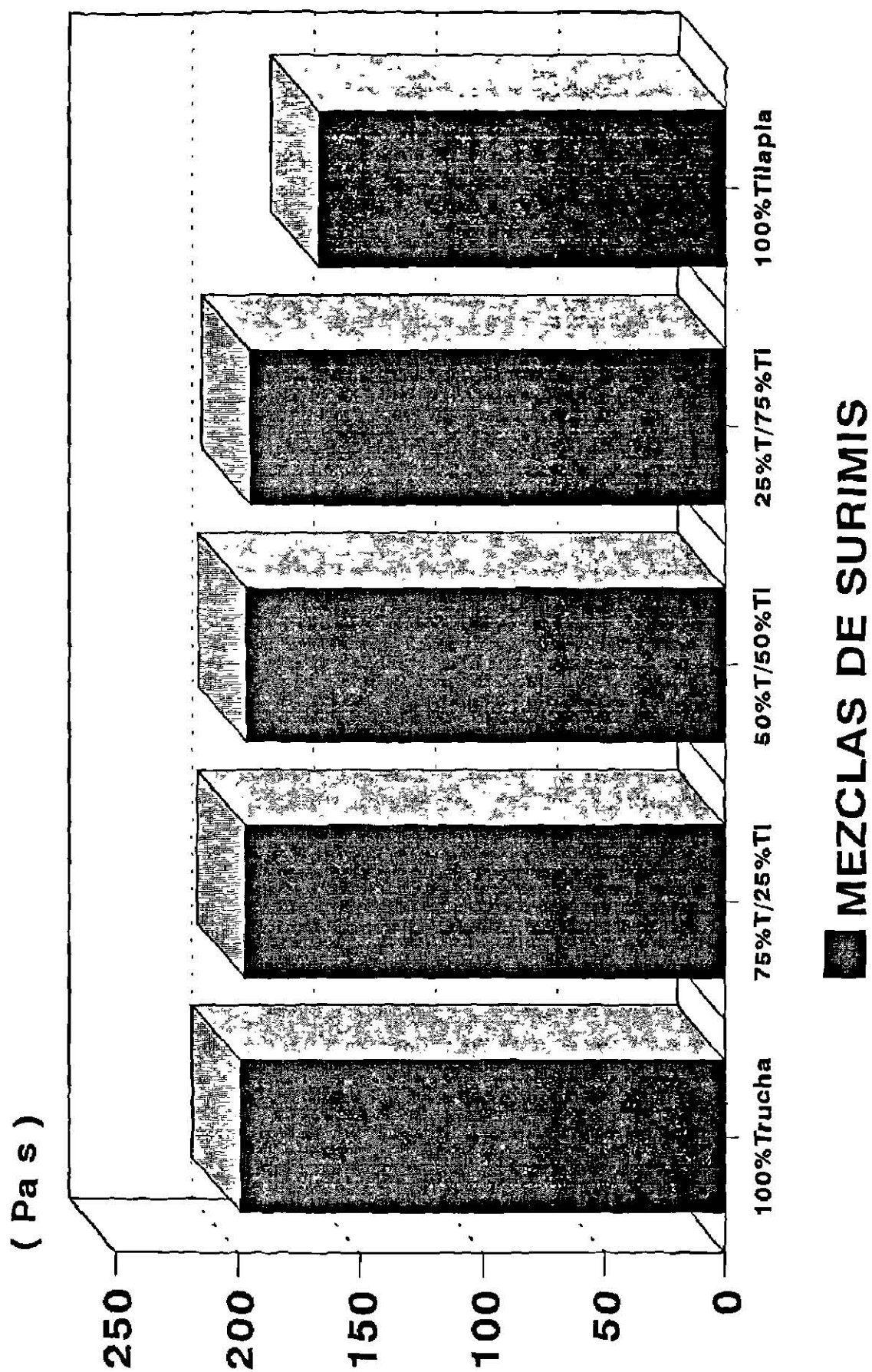
SURIMI

100 %	200.0
75 %	198.1
50 %	197.6
25 %	196.2
0 %	167.9 ^a

Datos con la misma letra no son significativamente diferentes a una $\alpha=0.05$. Comparando entre columnas.

TABLA 7. Valores de Viscosidad Aparente de los surimis individuales y sus mezclas .

GRAFICA 5. EXTRUSION CAPILAR. VISCOSIDAD APARENTE.



V.- CONCLUSIONES

El rendimiento obtenido en la elaboración de los surimis es similar al encontrado al emplear deshuesadoras mecánicas, y no parece verse afectado por el habitat de las especies (agua dulce o marina), sino más bien por las características físicas de los peces, confirmando los resultados obtenidos por otros investigadores. (APENDICE B)

El contenido de proteína es significativamente más alto en trucha que en tilapia y es el principal factor que afecta la fuerza estructural de los geles y por lo tanto su calidad. Sin embargo en éste trabajo se efectuó un ajuste para obtener una relación constante de humedad:proteína, para asegurar que las diferencias encontradas en las propiedades reológicas se deban a las diferentes propiedades de las proteínas y no a su concentración, lo cual facilitó la evaluación del efecto de mezclar surimis con diferente grado de calidad.

Los crioprotectores adicionados dieron estabilidad al surimi durante su congelación y almacenamiento, evitando así la presencia de factores que alteraran la calidad reológica de los surimis complicando evaluar los objetivos del presente trabajo.

Se comprobó que en el proceso térmico diferencial de $40^{\circ}\text{C}/90^{\circ}\text{C}$, se presenta el fenómeno de fijación, fuerte en trucha y no tan marcado en tilapia, debido a que las proteínas de surimi con fijación contribuyeron a través de sus interacciones hidrofóbicas a aumentar el

entrecruzamiento de la malla protéica una vez lograda la desnaturalización completa de las proteínas y su gelificación.

Asimismo, se comprobó que en el proceso térmico diferencial de 60^oC/90^oC, se presenta el fenómeno de proteólisis en el surimi de tilapia, el cual se eliminó al mezclarlo con surimi de trucha, los resultados obtenidos sugieren que una posible alternativa para reducir o eliminar dicho fenómeno puede ser añadiendo a un surimi que lo presente, 25% ó más de un surimi de buena calidad. Si se aplica un tratamiento directo se añade 50% ó más.

En los procesos térmicos diferenciales el efecto positivo de añadir surimi de trucha al de tilapia, es más marcado que en el proceso directo, ya que aún a los niveles más bajos de adición se logra aumentar significativamente el valor de esfuerzo cortante de los geles de las mezclas casi al valor de la trucha sola.

Los procesos térmicos se evaluaron en base al esfuerzo cortante que es el parámetro más importante de estimación de calidad, encontrándose que la malla protéica más fuerte es la del proceso de fijación y en cada proceso la más fuerte fue la de trucha.

En los procesos de proteólisis y directo, la deformabilidad de la tilapia afectó los valores disminuyéndolos a medida que aumenta la proporción mezclada, en el proceso de fijación el efecto es inverso, la tilapia tiene el valor más alto y afecta a las mezclas hacia éste valor; siendo más dúctil la trucha en los 2 primeros procesos y la tilapia en el

último.

Los procesos térmicos afectan más la fuerza estructural de los geles que su deformabilidad.

Los valores de coeficiente de consistencia indican que podemos esperar que se produzcan geles con estructuras fuertes y deformables.

Los valores de índice de flujo demostraron que todos los surimis son fluidos No-newtonianos con alta desviación de la idealidad y que además presentan un comportamiento de tipo pseudoplástico con esfuerzo de umbral.

De acuerdo con los resultados obtenidos de viscosidad aparente la tilapia resultó ser menos viscosa y más fluida mientras que el comportamiento de la trucha es a la inversa.

Los resultados obtenidos demuestran que es posible encontrar un efecto sinérgico, al mezclar surimis de diferente calidad, ya que el efecto global tiende a ser más positivo que negativo. Por lo tanto es necesario realizar más estudios con mezclas de surimis con y sin proteólisis para confirmar si ocurre siempre lo observado en éste trabajo. Esto permitiría ampliar el potencial de aprovechamiento de nuestros recursos pesqueros, tanto marinos como dulceacuícolas de amplia disponibilidad y bajo costo, al elaborar surimi de calidad que puede ser utilizado como ingrediente protéico-estructural en diversos alimentos, con la ventaja adicional de aprovechar sus valiosos nutrientes.

BIBLIOGRAFIA

- A.O.A.C. 1980. Oficial Methods of Analysis, 13th ed. Asociation of Oficial Analytical Chemist, Washington, D.C., U.S.A.
- Bardenas, A.J y M. Tejada, 1987. El surimi. Rev. Agroquim. Tecnologia en alimentos, 27:1.
- Branson, J.H. 1984. The resource base for U.S. Surimi production. Presentado en 7th. Anual convention of Natl. Food proc. Assoc., Washington, D.C. U.S.A.
- Brown, E.E., 1983. World fish farming : Cultivation and Economics, 2nd Ed. AVI Publishing, Co., Westport, CT.
- Buck, E.M. y D.D. Fafard, 1985. Development of a franfurter analog from red hake surimi. J. Food Sci 50:321.
- Cheng, C.S.;D.D. Hamman y N.B. Webb, 1979. Effect of thermal procesing on minced fish gel texture. J. Food Sci., 44:1080.
- Chung, K.H. y C.M. Lee, 1990. Relationships between physicochemical properties of nofish protein and textural properties of protein incorporated surimi gel. J. Food Sci., 55:972.
- Hamman, D.D.;P.M. Amato, M.C. Wu y E.A. Foegeding, 1990. Inhibition of modori in surimi by plasma hidrolisate and egg white. J. Food Sci., 55:665.

-Iwata, K.;K. Kobashi y J. Hase, 1977. Studies on muscle alkaline protease. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 43:181.

-John, P.M.W., 1971. Statical design and Analysis of experiments. The MacMillan Co., New York, N.Y., U.S.A.

-Johnson, T.M. y M.E. Zabik, 1981. Gelation properties of albumen protein singly and in combination. Poltry Sci, 60:2071.

-Kim. B.Y.;D.D. Hamman; T.C. Lanier y M.C. Wu, 1986. Effects of freeze than abuse on the viscosity and gel forming properties of surimi from two species. J. Food Sci.

-Kinoshita, M.;H. Toyohara y Y. Simudu, 1990. Proteolytic degradation of fish gel during heating process. En: "Chilling and freesing of new fish products". Meeting of comission C2.I.I.R. Alberdeen. pp 51-56.

-Kramer, A., 1973. Food texture definition, measurement and relation to other food quality atributes. En: Texture measurements of foods. Kramer, A y A.S. Szczesniak (eds.). D. Reidel Publ. Co. Holanda.

-Lanier, T.C., 1984. Source species for surimi production in the U.S. Presentado en : 7th Anual convention of Natl. Food Proc. Asspc. Washington, D.C., U.S.A.

- Lanier, T.C., 1986. Functional properties of surimi. Food Technol. 40(3):107.
- Lee, C.M., 1984a. Surimi gel and the U.S. Seafood industry. Oceanus, 27:35.
- Lee, C.M. 1984b. Surimi process technology. Food Technology. 38(11):69-80.
- Matsumoto, J.J., 1976. Minced fish technology and potencial for developing countries. Proceedings on fish utilization technology and marketing. Vol. 18, Section III, pp 267. Indo-Pacific Fishery Commission, Bangkok.
- Mitchell, J.R., 1976. Rheology of gels. J. Texture Studies 7:313.
- Mitchell, J.R., 1980. Rheology of gels. J. Texture Studies 11:315.
- Miyachi, D.; G. Kudo y M. Patashuik, 1973. Surimi a semiprocessed wet fish protein. Marine Fisheries review, 35(12):298.
- Mohsenin, N.N., 1970. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Sci. Publ., Inc., New York, N.Y., U.S.A.
- Montejano, J.G., 1989a. Elaboración de pastas protéicas refinadas (surimi) a partir de diversas especies de pescado. Memorias del Primer foro de investigación universitaria, U.A.S.L.P. Editorial Universitaria Potosina.

-Montejano, J.G. 1989b. Desarrollo experimental y matemático de métodos para evaluar propiedades reológicas en alimentos. Trabajo ganador del "Premio Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1989". 30p. México, D.F.

-Montejano, J.G., 1989c. Desarrollo y evaluación de salchichas enlatadas a partir de mezclas de carne de cordero y surimi de carpa (C.Carpio). Avances en Ing. Quim., 1989 (en prensa).

-Montejano, J.G., 1990. Obtención de una pasta protéica refinada (surimi) a partir de diversas especies de pescado y evaluación de su calidad. Acta Cient. Pot. XII:55.

-Montejano, J.G., 1992. Surimi: Preparación, características e importancia. Cuadernos de nutrición. (en prensa).

-Montejano, J.G. y G. González, 1988a. Propiedades reológicas de surmis elaborados con agua a diferentes valores de pH. IX Encuentro Nacional de la Academia, Mexicana de Investigación y Docencia, A.C. Zacatecas, Zac. Mayo 11-13, 1988.

-Montejano, J.G.; D.D. Hamman y T.C. Lanier, 1983. Final strengths and rheological changes during processing of thermally induced fish muscle gels. J. Rheology 27:557.

-Montejano, J.G, y V,E, Hernández, 1991. Evaluación microbiológica y puntos de control crítico durante la elaboración de surimi de la especie carpa (C.Carpio). BIOTAM 2(3):19.

-Montejano, J,G,; D,D. Hamman y T.C. Lanier, 1984a. Structural failure in heat-induced muscle protein gels : stress and strain levels and microstructure. En: 'Advances in Rheology '. Volume IV Applications, pp 235. Elsevier science publishers, Amsterdam, Holanda.

-Montejano, J.G.; D.D. Hamman y T.C. Lanier, 1984b. Thermally induced gelation of selected comminuted muscle systems-rheological changes during processing, final strenght and microstructure. J. Food Sci. 49:1496.

-Montejano, J.G.; D.D. Hamman y T.C. Lanier, 1984c. Thermorheological changes in selected comminuted muscle systems during processing. En: 'Advances science publishers, Amsterdam, Holanda.

-Montejano, J.G.; D.D. Hamman y T.C. Lanier, 1985. Comparison of two instrumental methods with sensory texture of protein gels. J. Texture studies. 16(4):403.

-Montejano, J.G.; O.G. Morales; L. Valdés y L.E. Hernández, 1991. Efecto de tres procesos térmicos diferentes sobre las propiedades reológicas de surimis individuales a partir de especies de pescado de bajo valor comercial. III World congress of food technology. Barcelona, España, pp. 32.

-Montejano, J.G.; M.T. Reta; L. Vega; D. Abraham; C.M. Díaz de León; E. Dibildox y V.E. Hernández, 1987. Desarrollo de análogos de camarón a partir de surimi de carpa (*Ciprinus carpio specualris*) o tilapia (*Tilapia nilótica*). Avances en ingeniería química, 1987. Editorial Universitaria Potosina. pp. 409-440.

-Morales, O.G. y J.G. Montejano, 1991. Variación de atributos de calidad de surimis individuales elaborados a partir de trucha, sardina, lenguado, lisa, jiniguaro y carpa. BIOTAM 2(3):9.

-Nadai, A., 1931. Plasticity, Mc Graw Hill, New York. N.Y.

-Niwa, E.; T. Nakayima e I. Hamada, 1981. Effect of arylation for setting of muscle protein. Agric. Biol. Chem. 45:341.

-Noguchi, S., 1982. Science of Frozen Surimi. En: Practical Technical Handbook of Kneaded Seafoods. Nippon Shokuhin Keisaisha. Tokio, Japón. pp. 40-62.

-Numakura T.; R. Mizoguchi; I. Kimura; K. Toyada; T. Fujita; N. Seki y K.I. Arai, 1989. Changes in gel forming ability and cross-linking ability of myosin heavy chain of Alaska Pollack surimi denatured by heat-treatment. Nippon Suisan Gakaishi, 55:1083.

-Park, J.W. y T. Lanier, 1989. Scannif calorimetric behavior of tilapia myosin and actin due to processing of muscle and protein purification. J. Food Sci. 54:49.

-Ramirez, G.R., 1975. Tecnología Pesquera. Estudios y Difusión Marítimos. A.C. México.

-Sandifer, P.A. y T.I.J. Smith, 1978. Aquaculture of Malasian prawns in controlled enviroments. Food Technol. 32(7):36.

-Scott, D., 1990. Recent developments in surimi technology. Food Technol. N. 2. March: 21.

-Sheth, B.B., 1976. Viscosity measurements and interpretation of viscosity data. J. Texture Studies 7:157.

-Sonu, S.C., 1986. Surimi. NOAA Technical Memorandum NMFS-013. Termical Island, California, U.S.A.

-Tanikawa, E., 1971. Marine Products in Japan. Koseisha Koseikaku Co. Tokio, Japón.

-Tejada, M., 1990. Tendencias actuales en la utilización del surimi. Rev. Agroquim. Technol. Alimentos. 31:310.

-Van Wazer, J.R.; J.W. Lyons; K.Y. Kim y R.E. Colwell, 1963. Viscosity and flow measurement: a Laboratory Handbook of rheology. Interscience Publ., New York, N.Y., U.S.A.

-Wheaton, F.W., 1977. Aquacultural Engineering. Jhon Wiley and Sons, New York, N.Y., U.S.A.

-Zubirán, S. y A. Chávez, 1976. Algunos datos sobre la situación nutricional en México. I. La alimentación y los problemas sociales. En: La Desnutrición y la salud en México. Publicación L-34 División de Nutrición, I.N.N., México, D.F.

APENDICE A

ELABORACION DE SURIMI.

El surimi se elaboró en las instalaciones del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (CRIP) de Tampico, Tamps., de acuerdo al método de Montejano (1992) y como se muestra en la fig. 1.

Inmediatamente después del faenado de cada uno de los peces (descabezado, eviscerado y lavado), éstos fueron introducidos por separado en una deshuesadora mecánica de tambor marca Bibun modelo NF2DX con orificios de 5 cm. de diámetro. La pulpa resultante fué lavada por separado con agua fría (4-5⁰C) a una proporción de 3:1 agua:pulpa de pescado. Al agua del tercer lavado se le añadió 0.2% de NaCl para facilitar la eliminación de agua. En cada lavado la pulpa fué agitada durante 6 minutos y después se dejaba reposar de 3 a 4 minutos para que se asentará y así poder remover el sobrenadante por decantación. Posteriormente, la pulpa era escurrida a través de una pañalina. Después del tercer lavado, la eliminación de agua se llevó a cabo utilizando una centrífuga de canasta de acero inoxidable con orificios de 2 mm. de diámetro.

Posteriormente, se elaboraron mezclas de surimi en

ELABORACION DE SURIMI

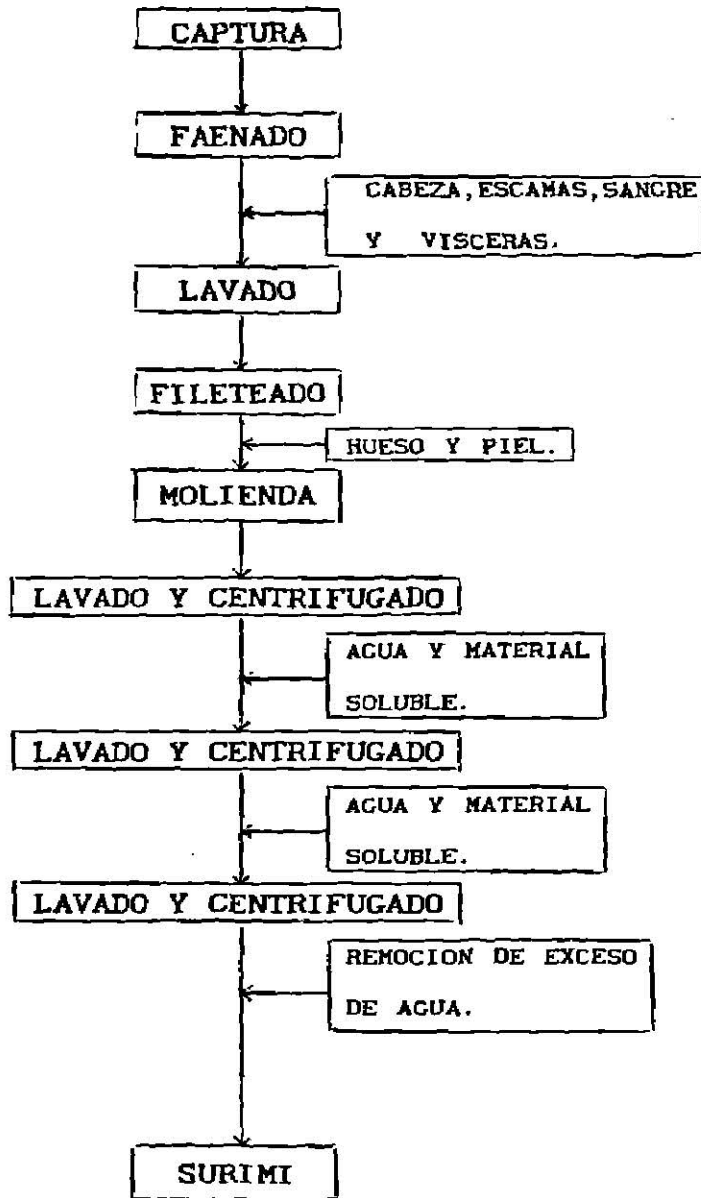


FIG. 1 . Diagrama de bloques para la elaboración de SURIMI

las siguientes proporciones:

- 1.- 100% Trucha : 0% Tilapia.
- 2.- 75% Trucha : 25% Tilapia.
- 3.- 50% Trucha : 50% Tilapia.
- 4.- 25% Trucha : 75% Tilapia.
- 5.- 0% Trucha : 100% Tilapia.

Enseguida a cada mezcla se le adicionó 4% de sorbitol y 4% de sacarosa como crioprotectores utilizando una cortadora silenciosa Hobart modelo VCM. Todas las muestras fueron empaquetadas en bolsas de polietileno con sellado sip-loc y congeladas en un congelador de placas Crepaco a -30°C y transportadas a San Luis Potosí en una hielera plástica con una cubierta de hielo seco que mantuvo la temperatura de las muestras por debajo de los -20°C . Posteriormente, las muestras se almacenaron bajo congelación a -20°C hasta su empleo.

APENDICE B

RENDIMIENTO

El rendimiento obtenido en la elaboración de surimi a partir de cada una de las especies seleccionadas, se presenta en la tabla 1. y se observa que en ambas especies se obtuvo un rendimiento porcentual de surimi, en base al pescado entero parecido y alrededor del 29%. Las mayores pérdidas se presentaron en la operación de faenado y fileteado (remover estructura ósea) y en menor grado como resultado de la operación de lavado-centrifugado. En este trabajo se utilizó un fileteado manual seguido de molienda para la obtención de la carne picada. Las deshuesadoras mecánicas separan y muelen la carne en una sola operación. Los rendimientos reportados para surimi elaborado empleando deshuesadoras mecánicas está en el intervalo de 23 a 32 % (*Bordenas y Tejada, 1987/ Lee, 1984 a,b; Lanier, 1986; Montejano et al., 1983; Morales y Montejano, 1991*). Es importante indicar que los desechos sólidos (cabeza, piel, vísceras, hueso), pueden ser empleados como ingredientes en formulaciones de alimentos para peces y mariscos de acuicultura o para diversos animales. Lo anterior representa la posibilidad de obtener una ganancia adicional al comercializar los desechos, haciendo más atractiva desde el punto de vista económico, la tecnología del surimi. Al mismo tiempo, se evita el problema ecológico de acumulación de desechos orgánicos (*Sonu, 1986*). El agua empleada en

TABLA DE RENDIMIENTO

(%)	<u>TRUCHA</u>	<u>TILAPIA</u>
PESCADO ENTERO (%)	100.0	100.0
PERDIDAS EN DESCABEZADO. Y DESANGRADO.	23.2	24.1
PERDIDAS EN DESHUESADO, DESCAMADO Y EVISCERADO.	31.1	30.2
PERDIDAS EN LAVADOS.	16.4	17.0
SURIMI OBTENIDO.	29.3	28.7

TABLA 1. Rendimiento porcentual promedio de surimi a partir de las especies de trucha y tilapia.

la elaboración de surimi puede ser tratada y empleada nuevamente. El tratamiento permitiría separar proteínas hidrosolubles que pueden emplearse tanto en alimento humano como para mamíferos y peces. También podrían separarse los lípidos y de ahí aislar los ácidos grasos omega-3 comunes en diversos peces y que son considerados de un alto valor nutritivo y médico, comercializándose en la actualidad a precios muy altos (Tejada, 1990).

