

Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Química

**“CARACTERIZACIÓN DE ESPUMA DE VINOS  
COMERCIALIZADOS EN MÉXICO A TRAVÉS DE  
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en  
Ciencia de Alimentos

Presenta

América Marcela López Pineda

Santiago de Querétaro, Querétaro,

Mayo de 2008



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

FACULTAD DE QUÍMICA

PROGRAMA DE POSGRADO EN ALIMENTOS  
DEL CENTRO DE LA REPÚBLICA  
(PROPAC)

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**“CARACTERIZACIÓN DE ESPUMA DE VINOS COMERCIALIZADOS EN MÉXICO A TRAVÉS  
DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES”**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencia de Alimentos

PRESENTA

I. Q. América Marcela López Pineda

DIRIGIDO POR

Dr. Ramón Álvar Martínez Peniche

**SINODALES**

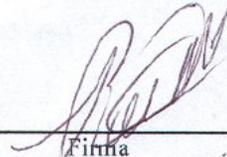
Dr. Ramón Álvar Martínez Peniche  
Presidente

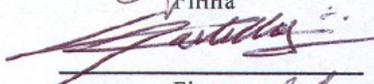
Dr. Eduardo Castillo Castañeda  
Secretario

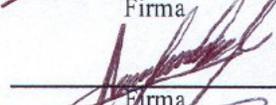
Dr. Manuel Ignacio Díaz Cervantes  
Vocal

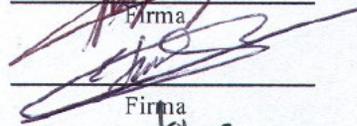
Dr. Edmundo Mercado Silva  
Suplente

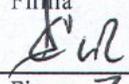
Dr. Carlos Regalado González  
Suplente

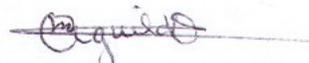
  
Firma

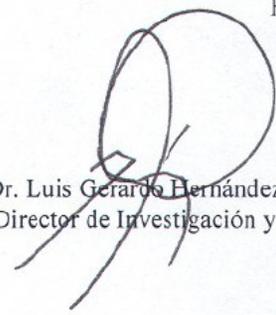
  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Q.B. Magali E. Aguilar Ortíz  
Director de la Facultad

  
Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Mayo, 2008  
México

## RESUMEN

El vino espumoso natural se obtiene a partir de la doble fermentación de mosto de uva. La calidad de la espuma está determinada por el tamaño de las burbujas generadas, su velocidad de ascenso, la formación de “trenes” y la aparición del “collar”, todo producido al momento del servido y puede evaluarse sensorialmente o por métodos instrumentales (burbujeo de gas o procesamiento de imágenes). Aparentemente, en México no existen estudios que comparen la calidad de los vinos espumosos nacionales respecto a los importados, por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue analizar la calidad de la espuma de 29 muestras de vinos presentes en el mercado nacional por medio de procesamiento de imágenes y comparar dichos resultados con los obtenidos por métodos sensoriales y por burbujeo de gas. La evaluación sensorial se llevó a cabo a partir de un panel de jueces entrenados, mientras que para el procesamiento de imágenes se establecieron las condiciones experimentales previamente a los análisis de las muestras. Para el método de burbujeo de gas se utilizó una columna automatizada y gas nitrógeno. En los métodos de análisis sensorial y procesamiento de imágenes, se consideraron las mismas variables, destacando en el collar y estabilidad de corona el *Asti* italiano, mientras que la *Champaña* lo hizo en altura de corona. Entre los vinos mexicanos *Petillant* observó buenas características espumantes, contrastando con *Chambrulet*. En el análisis por burbujeo de gas, el mayor tiempo de estabilidad de espuma, que significa buenas características espumantes, fue obtenido por un vino semiespumoso. Se observaron correlaciones significativas de las variables de la corona y el collar evaluadas por procesamiento de imágenes con las mismas evaluadas sensorialmente, no así entre las variables de efervescencia; tampoco se encontraron correlaciones de las variables medidas por burbujeo de gas con las de los otros dos métodos. En el análisis de componentes principales las muestras se agruparon en función de su contenido de gas, país de origen o variedad de uva utilizada en su elaboración. Los resultados obtenidos indican que el procesamiento de imágenes es una herramienta útil para determinar la calidad espumante de vinos espumosos.

**(Palabras clave:** *vino espumoso, espuma, procesamiento de imágenes, evaluación sensorial, método de burbujeo de gas*).

## SUMMARY

Natural Sparkling wine is obtained through a double fermentation process of grape most. Foam quality is determined by bubble size and its rising velocity, number of trains, and collar and crown formation, produced during pouring and could be evaluated by sensory analysis or by instrumental methods (sparging gas method or image processing). Apparently, in Mexico there is not any research comparing the quality of national and foreigner sparkling wines, then the aim of this work was analyze foam quality of 29 samples of sparkling wines presents in the national market by image processing and compare these results with those obtained by sensory evaluation and sparging gas method. Sensory evaluation was accomplished by means of a trained-judges panel, meanwhile experimental conditions for image processing were settled down before the analyses of the samples. For the sparging gas method an automatic column with nitrogen was used. In sensory evaluation and image processing, methods in which the same parameters were evaluated, an Italian *Asti* showed the best collar and crown stability time while *Champagne* obtained the highest crown. Among Mexican samples, *Petillant* showed good foaming characteristics, contrasting with *Chambrulet*. In the sparging gas analysis the largest foam stability was obtained by a semisparkling wine. Significant correlations between crown and collar variables measured by image processing with the same parameters measured by sensory evaluation were found, which doesn't occur between effervescence variables. Neither correlation between gas sparging method parameters and those evaluated by the other two methods was found. In the Principal Compound Analysis samples grouped according to their gas content, country origin or grape variety used in their fabrication. Results show that image processing is a useful tool to measure foaming quality of sparkling wines.

**(Key words:** *sparkling wine, foam, image processing, sensory evaluation, gas sparging method*).

**Para mi mamá con todo mi cariño, porque es mi fuerza, mi guía y mi mayor inspiración. A ella le dedico todo mi esfuerzo de los dos años de maestría**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto:

Al PROPAC, por haber facilitado las herramientas de trabajo durante el proceso de elaboración de la tesis.

Al Dr. Ramón Álvar Martínez Peniche, por haberme asesorado en este proyecto.

Al Dr. Eduardo Castillo Castañeda, por sus consejos y el apoyo para realizar una estancia en Francia, la cual fue muy fructífera tanto para la tesis como para mi crecimiento personal.

Al Dr. Manuel Díaz Cervantes, por sus aportaciones al trabajo, así como su ayuda en cuestiones después del proyecto.

Al Dr. Carlos Regalado González por sus atinados comentarios, éstos hicieron mejor el proyecto.

Al Dr. Edmundo Mercado quien realizó recomendaciones muy valiosas para la elaboración de la tesis.

A mis Hermanas de Laboratorio, Silvia y Lulucita, porque fuimos muy buen equipo y corrimos grandes aventuras en La Huerta, Chiapas y en el Viejo Continente.

A mis compañeros de la Maestría, especialmente a Giovanna, Lolis, Fanny, Fernando, Memo, con quienes pasé momentos muy divertidos y tenemos muchas anécdotas para recordar.

A mi familia, quien me ayudó y estuvo conmigo durante los dos años que estudié la Maestría y el tiempo que pasé en Francia.

Y finalmente, pero no menos importante, a Saúl, mi novio y compañero, quien me dio todo su amor, comprensión, cariño y apoyo.

Gracias ☺

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
<b>Resumen</b>	iii
<b>Summary</b>	iv
<b>Dedicatorias</b>	v
<b>Agradecimientos</b>	vi
<b>Índice general</b>	vii
<b>Índice de tablas</b>	xi
<b>Índice de figuras</b>	xii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	3
2.1. El vino	3
2.1.1. Definición	3
2.1.2. Tipos de vinos	4
2.1.3. Importancia a nivel mundial	4
2.1.3.1. Destino de la uva	4
2.1.3.2. Destino del vino	5
2.1.4. Importancia nacional	6
2.1.4.1. Destino de la uva	6
2.1.4.2. Destino del vino	7
2.2. Vinos espumosos	9
2.2.1. Importancia económica	9
2.2.1.1. Mundial	9
2.2.1.2. México	12
2.2.2. Características	12
2.2.3. Clasificación de los vinos espumosos	13
2.2.4. Métodos de elaboración	14
2.2.4.1. Método tradicional o “Champenoise”	14
2.2.4.2. Método Close o Charmat	17
2.2.4.3. Método rural	17

2.2.4.4. Carbonatación	18
2.2.5. Calidad del vino espumoso	18
2.2.5.1. Características gustativas	18
2.3.5.2. Características aromáticas	19
2.3.5.3. Características visuales	19
2.2.6. El fenómeno de la efervescencia	21
2.2.6.1. Formación	21
2.2.6.2. Factores que afectan el desarrollo de la espuma	24
2.2.6.3. Sistemas de medición de espuma	26
a) Tensiómetros	26
b) Turbiscan	27
c) Burbujeo de gas a través del vino	27
d) Evaluación sensorial	28
e) Análisis de imágenes.	31
2.3. Procesamiento de imágenes	31
2.3.1. Antecedentes	31
2.3.2. Etapas del análisis de imágenes	31
2.3.1.1. Adquisición de imágenes	32
2.3.1.2. Preprocesamiento	33
2.3.1.3. Segmentación de imágenes	34
2.3.1.4. Medición de objetos	35
2.3.1.5. Clasificación de objetos en grupos de interés	36
2.3.3. Aplicación del análisis de imágenes en la industria de los alimentos	36
2.3.4. Aplicaciones en vinos espumosos	38
<b>OBJETIVOS</b>	40
Objetivo general	40
Objetivos específicos	40
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	41
3.1. Muestras de vino utilizadas	41
4.1.1. Criterios para su elección	41

3.2. Tratamientos preexperimentales	42
3.2.1. Lavado de las copas	43
3.2.2. Caracterización de las copas	43
3.2.3. Descorche de las botellas	43
3.2.4. Servido	43
3.3. Procesamiento de imágenes	45
3.3.1. Estandarización del método	45
3.3.1.1. Adquisición de imágenes	45
3.3.1.2. Generación de técnicas para el preprocesamiento y segmentación de imágenes y medición de las variables respuesta	47
3.3.2. Conducción del experimento	47
4.3.2.1. Condiciones para las corridas experimentales	47
3.4. Evaluación sensorial	48
3.4.1. Entrenamiento del panel de evaluación sensorial	48
3.4.1.1. Condiciones experimentales	48
3.4.1.2. Adiestramiento de jueces	48
3.4.1.3. Selección de los jueces	49
3.4.2. Pruebas de evaluación sensorial	49
3.4.2.1. Condiciones ambientales	49
3.4.2.2. Condiciones de la prueba	49
3.4.2.3. Fichas de evaluación sensorial	50
3.5. Método de burbujeo de gas	50
3.6. Diseño del experimento	52
3.6.1. Diseño experimental	52
3.6.2. Factores a evaluar	52
3.6.3. Tratamientos	52
3.6.4. Variables a evaluar	52
3.7. Análisis de los datos	53
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>55</b>
4.1. Evaluación sensorial	55

4.1.1. Análisis de varianza	55
4.1.2. Separación de medias	56
4.2. Procesamiento de imágenes	68
4.2.1. Análisis de varianza	68
4.2.2. Separación de medias	69
4.3. Método de burbujeo de gas	72
4.3.1. Análisis de varianza	72
4.3.2. Comparación de medias de los tipos de vino	72
4.4. Análisis multivariados	76
4.4.1. Análisis de correlación	76
4.4.2. Análisis de componentes principales (ACP)	87
<b>V. CONCLUSIONES</b>	93
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA</b>	97
<b>VII. ANEXOS</b>	106

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
2.1. Principales estados productores de vino en México y empresas vitivinícolas existentes (2004)	8
2.2. Diferencias entre vinos semiespumosos y espumosos	13
2.3. Clasificación de vinos espumosos en función del contenido de azúcares residuales	17
3.1. Muestras analizadas	42
4.1. Valores de F y significancia estadística en el análisis de varianza de evaluación sensorial por factor	55
4.2. Efecto del servido sobre las variables consideradas	56
4.3. Efecto del tipo de vino espumoso en las características espumantes consideradas	59
4.4. Análisis de varianza para el primer servido	61
4.5. Efecto del tipo espumoso sobre las características espumantes consideradas en el primer servido	62
4.6. Valores de F y significancia estadística en el análisis de varianza para procesamiento de imágenes por factor	68
4.7. Valores de medias y su significancia estadística para las variables de respuesta medidas por procesamiento de imágenes	70
4.8. Valores de F y significancia estadística en el análisis de varianza para el método de burbujeo de gas por factor	72
4.9. Prueba de medias para HM y TS	73
4.10. Coeficientes de correlación simple entre las variables determinadas por evaluación sensorial, procesamiento de imágenes e inyección de gas	78
4.11. Valores y vectores propios del ACP	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
2.1. Destino de la producción mundial de uvas	5
2.2. Ubicación de las zonas vitícolas en México	7
2.3. Principales países que exportan a México en valor	9
2.4. Principales países importadores de vinos espumosos	11
2.5. Principales países exportadores de vinos espumosos	11
2.6. Trenes en Champagne con varias frecuencias de burbujeo	23
2.7. Esquema de un dibujo simple que se puede utilizar para medir las características de la espuma de los vinos	28
2.8. Sentidos utilizados en el proceso de catado	29
2.9. Cata de un vino joven según el contenido de CO <sub>2</sub>	30
2.10. Configuración de un sistema de procesamiento de imágenes general que incluye los cinco componentes	32
3.1. Aparato de servido utilizado en este estudio	44
3.2. Movimiento del aparato de servido	45
3.3. Esquema del aparato de adquisición de imágenes	46
3.4. Esquema del aparato de inyección de gas	51
4.1. Evolución de la altura de la corona de los distintos vinos en función del servido	65
4.2. Cambios en las estimaciones sensoriales del diámetro de burbuja respecto al orden de servido	65
4.3. Cambios en las evaluaciones sensoriales de la densidad del collar respecto al servido	66
4.4. Cambios en las evaluaciones sensoriales de la superficie del collar respecto al servido	67
4.5. Cinética del desarrollo de la espuma a través del tiempo de tres muestras contrastantes	75
4.6. Representación gráfica de la correlación entre métodos de la altura máxima de la corona	81
4.7. Representación gráfica de la correlación entre métodos del tiempo de estabilidad	82

de la corona	
4.8. Representación gráfica de la correlación entre métodos de la densidad del collar	83
4.9. Representación gráfica de la correlación entre métodos de la superficie del collar	83
4.10. Representación gráfica de la correlación entre métodos de las variables de efervescencia	84
4.11. Correlación entre la densidad y superficie del collar	86
4.12. Correlación entre la altura y estabilidad de la corona medidas por evaluación sensorial	87
4.13. Gráfica bidimensional de componentes principales (58.5%)	90
4.14. Gráfica bidimensional de componentes principales (47.5%)	91
4.15. Gráfica bidimensional de componentes principales (40.7%)	92

## I. INTRODUCCIÓN

El vino espumoso natural se obtiene a partir de la doble fermentación de mosto de uva. Su principal característica es la producción de espuma abundante o al menos persistente al momento del descorche, producto de la liberación de CO<sub>2</sub> de origen exclusivamente endógeno, generado durante la segunda fermentación. La presión de dicho gas dentro de la botella debe ser, al menos, de 3.5 bar a 20 °C (OIV, 2006). Cuando el CO<sub>2</sub> es obtenido por otro proceso, el vino espumoso es considerado artificial (Llorentes, 2003).

Los principales países productores de vinos espumosos son: Francia, donde la mayor parte proviene de la región de la Champagne; Alemania, siendo Sekt o Qualitätsschaumwein el producto de mayor calidad; España, donde existen dos denominaciones de origen: Cava y Espumoso; Italia, donde se les llama prosecco y Asti Espumante (este último es denominación de origen); EE.UU. y Australia (Daban, 2005).

En México, aproximadamente 60% de los vinos que se comercializan son importados (provenientes en mayor proporción de Chile, España, Alemania y EE.UU.) y aunque el volumen de producción nacional es aún reducido, se ha pasado de 10'476,000 litros de vino de mesa en 1996 a 14'400,000 litros en 2004. Aproximadamente 5% de dicha producción (100,000 cajas/año) corresponde a vinos espumosos (ICEX, 2006). Es importante resaltar que aproximadamente 1% los vinos espumosos comercializados en nuestro país corresponden a marcas nacionales.

La espuma es la principal característica de calidad de los vinos espumosos y es la más comúnmente observada por el consumidor (Gallart *et al.*, 2004). La calidad de la espuma está basada en el tamaño de las burbujas que se forman, prefiriéndose pequeñas, la velocidad de su ascenso a través del líquido (rápido), la formación de trenes (entre mayor número es mejor) y la aparición de un collar que debe cubrir de preferencia la totalidad de la superficie de la copa al momento del servido (Polo, 2002).

En los vinos espumosos el CO<sub>2</sub> se encuentra en estado de supersaturación; al destapar la botella, se pierde el equilibrio interno y para recobrarlo, el CO<sub>2</sub> disuelto escapa del líquido por difusión y por efervescencia. La efervescencia es el proceso relacionado con la liberación de un gas de un líquido por burbujeo (Liger-Belair, 2005). Las burbujas se originan de microburbujas que crecen en sitios de nucleación, debido a la difusión del gas

del seno del líquido hacia estas últimas. Las burbujas ascienden cuando alcanzan un radio crítico (Gallart *et al.*, 2004).

Existen diversos factores que pueden afectar el comportamiento de la efervescencia y la espuma en general, como son la variedad y el estado de madurez, los tratamientos durante la elaboración del vino base y espumosos, el tipo de copa y su lavado, así como el servido del vino (Andrés-Lacueva *et al.*, 1996a).

Entre los métodos para medir la capacidad espumante de un vino tenemos: la *evaluación sensorial*, el *burbujeo de gas a través del vino* y el *procesamiento de imágenes*. Este último comprende cinco pasos: adquisición, preprocesamiento, segmentación de imágenes, medición de objetos y clasificación de objetos en grupos de interés, para identificarlos (Du y Sun, 2004).

La ventaja de este método respecto al de burbujeo de gas estriba en que es más reproducible y las características microscópicas pueden ser observadas en la copa en función del tiempo; además, comparado con la evaluación sensorial, es menos costoso, laborioso y más confiable porque elimina la subjetividad de la prueba.

Aunque la información aportada por los métodos instrumentales es muy valiosa, es necesario que se contraste con la evaluación sensorial ya que éste es el método más utilizado para medir la calidad de vinos.

No existen hasta el momento referencias que cotejen la calidad de vinos espumosos importados con los producidos en el país y, debido a la gran diversidad de los que se comercializan, es de primordial importancia tener referencias de calidad mediante métodos confiables y modernos que permitan comparar la calidad, para generar recomendaciones, tanto a consumidores como a productores.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la calidad de la espuma de vinos presentes en el mercado nacional por medio de procesamiento de imágenes y comparar dichos resultados con los obtenidos mediante evaluación sensorial y burbujeo de gas.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. El vino

#### 2.1.1. Definición

De acuerdo al Código Internacional de Prácticas Enológicas de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV, 2006), el vino es el resultado de la fermentación biológica y natural de la uva entera o de su mosto, llevada a cabo por microorganismos presentes en el medio ambiente de la bodega o en la superficie de la propia uva.

#### 2.1.2. Tipos de vino

Existen diversas maneras de catalogar a los vinos, aunque las que se consideran más prácticas y generales son:

*1.- Clasificación General:* es la más usada y la más importante. Clasifica a los vinos según su forma de elaboración, abarcando todos los tipos posibles (Idígoras, 2006).

a) Vinos simples: Su contenido alcohólico oscila entre un 9° y 14.5°. Generalmente son secos. Su proceso de elaboración guarda muchas características comunes. Estos se clasifican por el color en **blancos**, **tintos** y **rosados**.

b) Vinos especiales: suelen ser dulces o semidulces, y frecuentemente con un elevado contenido alcohólico, que en muchos casos es adición. Su proceso de elaboración suele ser muy diferente de unos tipos a otros. Entre éstos tenemos (Idígoras, 2006):

 **Generosos**

 **Licorosos generosos**

 **Dulces naturales**

 **Mistelas**

 **Espumosos naturales**

 **Gasificados**

 **De aguja**

 **Enverados**

 **Chacolís**

 **Derivados vínicos**: vinos aromatizados, vermouths, aperitivos vínicos.

2.- *Clasificación por edad*: se refiere al tiempo de maduración del vino (Vinos y otras cosas, 2006):

- 📖 **Cosecha o jóvenes.** Con el número de año significa que el vino no ha sido madurado o solamente por poco tiempo.
- 📖 **Crianza.** El vino está en su tercer año (está madurado un año en barril y un año en botella).
- 📖 **Reserva.** Vino madurado al menos un año en barril y al menos dos años en botella.
- 📖 **Gran reserva.** Madurados al menos dos años en barril y al menos tres años en botella.

3.- *Clasificación por su contenido de azúcar*: Se utiliza en vinos generosos y espumantes. Encontramos (Amerine *et al.*, 1980):

- 📖 **Brut.** Inferior a 15 g/L.
- 📖 **Extra seco (dry).** Entre 12 y 20 g/L.
- 📖 **Seco.** Entre 17 y 35 g/L.
- 📖 **Semi seco (demi sec).** Entre 33 y 50 g/L.
- 📖 **Dulce.** Superior a 50 g/L.

4.- *Clasificación por el contenido de gas carbónico*: de acuerdo con las Normas Internacionales de Concurso de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV, 1994), se dividen en tres:

- 📖 **Vinos tranquilos.** Aquellos que no presentan contenido de CO<sub>2</sub>.
- 📖 **Vinos petillantes.** Aquellos en los que la presión generada por el CO<sub>2</sub> oscila entre 0.5 y 2.5 bares a 20 °C.
- 📖 **Vinos espumosos.** La presión de CO<sub>2</sub> es superior a 2.5 bares a 20 °C.

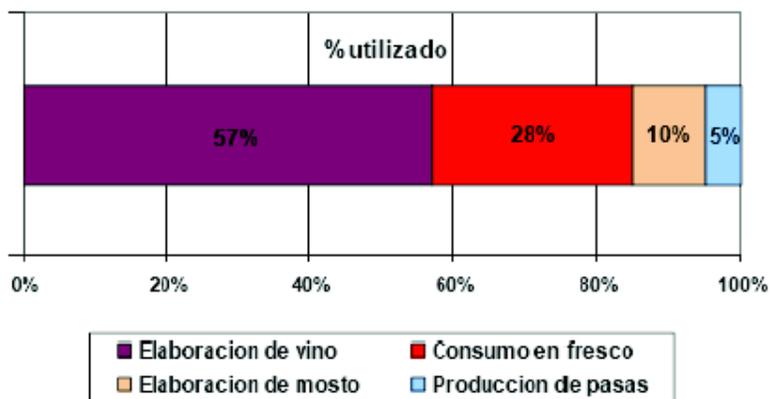
### **2.1.3. Importancia a nivel mundial**

#### **2.1.3.1. Destino de la uva**

El cultivo de la vid se encuentra diseminado en todo el mundo, aunque la mayor superficie está concentrada en pocos países. España es la nación con mayor superficie de viñedos, aunque por sus bajos rendimientos ocupa el tercer lugar en producción, siendo los

primeros productores Italia y Francia. En España se ubica 16.6% de los viñedos mundiales, en Italia 12.3% y en Francia 11.4%. (ICEX, 2006).

La utilización de la uva para la elaboración de vinos se ha ido incrementando, sobre todo porque se ha demostrado que el consumo moderado de éste proporciona beneficios a la salud (SISPRO, 2003). En la Figura 2.1 se muestran los destinos de la uva y el porcentaje que representan.



**Figura 2.1. Destino de la producción mundial de uvas (SISPRO, 2003)**

### 2.1.3.2. Destino del vino

**Consumo.** El consumo de vinos en 2002 fue de 221 millones de hectolitros. El país más consumidor de vinos es Francia (16%), seguido por Italia (14%), EE.UU. (9.5%), Alemania (8.6%), España (6.8%) y Argentina (5.8%).

Los principales países consumidores también son europeos, entre los cuales están Luxemburgo (63.5 L/hab·año), Francia (57 L/hab·año) e Italia (54.7 L/hab·año), mientras que Argentina (38.59 L/hab·año) se ubica en el sexto lugar mundial (AACREA, 2004).

**Producción.** El valor de la producción mundial de vinos fue de 276 millones de dólares en 2002. Europa elabora algo más de 67% del total de la producción, le sigue América con 18% y Asia con 6%. Los principales países productores son Francia, Italia y España. El principal país americano es Argentina ocupando el quinto lugar con 6% del total producido a nivel mundial (AACREA, 2004).

**Importaciones y exportaciones.** Las exportaciones mundiales de vino representan 23.5% del total elaborado (65 millones de hectolitros – 12,666 millones de dólares), mientras que 10 años atrás promediaban 14%. El principal exportador de vinos es Francia con 38% del total producido, seguido por Italia con 18%.

Dentro de las importaciones, medidas en porcentaje del volumen total importado, los países europeos participan con más de 60%, principalmente Alemania, Reino Unido, Francia, Países Bajos y Bélgica. Cuando se analiza el valor total importado en porcentaje aparece EE.UU. como segundo en importancia y como cuarto Japón, países demandantes de vinos de mayor precio (AACREA, 2004).

#### ***2.1.4. Importancia nacional***

##### ***2.1.4.1. Destino de la uva***

De las 331,251 toneladas de uva producidas en 2003, 59.6% se dedicó al consumo en fresco, 2.2% a la elaboración de uva pasa y 38.2% a la industrialización. De este último rubro, 18,957 tons se utilizaron para la fabricación de vinos, lo que equivale a 5.7% del total (SISPRO, 2003; INEGI, 2004).

En la Figura 2.2 se señalan las zonas vitícolas del país (UTCA, 2005). Se ha producido un grado de especialización en las diversas regiones, definidas sobre todo por el destino de la producción de los viñedos; por superficie sembrada destacan Sonora, Baja California y Aguascalientes; por su potencial enológico, sobresale Baja California y Zacatecas; Querétaro representa el límite sur de la vitivinicultura mexicana; Sonora, Aguascalientes y la región de La Laguna se distinguen por la producción de uva para la generación de destilados vínicos en la elaboración de brandy (Sánchez *et al.*, 2003).



Figura 2.2. Ubicación de las principales zonas vitivinícolas en México (UTCA, 2005)

#### 2.1.4.2. Destino del vino

**Consumo.** El consumo *per capita* de vino en México es bajo, 350 ml/año, aunque ha crecido en los últimos tiempos, debido al mayor interés mostrado por los consumidores. El aumento en el consumo en 1998 respecto a 1990 fue de 7%, pero se estimó en torno a 12% para 2004, animado en gran medida, por la inclusión de las mujeres como consumidoras de este producto. Las ventas de vino de mesa en México en 2004 fueron de 3'368,000 cajas (30'312,000 litros), distribuidas de la siguiente manera: 1'600,000 fueron producidas en el país y 1'768,000 provinieron de la importación (ICEX, 2006).

**Producción.** El volumen de producción ha pasado de 10'476,000 litros de vino de mesa en 1996 a 14'400,000 L en 2004, siendo ésta repartida en 80% en vino tinto, 15% en vino blanco y 5% en espumoso (ICEX, 2006).

En su conjunto, las casas productoras elaboran más de 180 diferentes tipos de vino, entre tintos, blancos, rosados y espumosos. Estos vinos se obtienen de las 40 variedades de uva cultivadas en México, principalmente en las zonas vitícolas de Baja California, Coahuila, Querétaro, Zacatecas y Aguascalientes. En la Tabla 2.1 se muestra el aporte de los principales estados a la producción nacional de uva para vino y el número y principales

casas vitícolas en dicho estado. En estas regiones existen condiciones especiales que generan microclimas favorables para producir frutos de calidad.

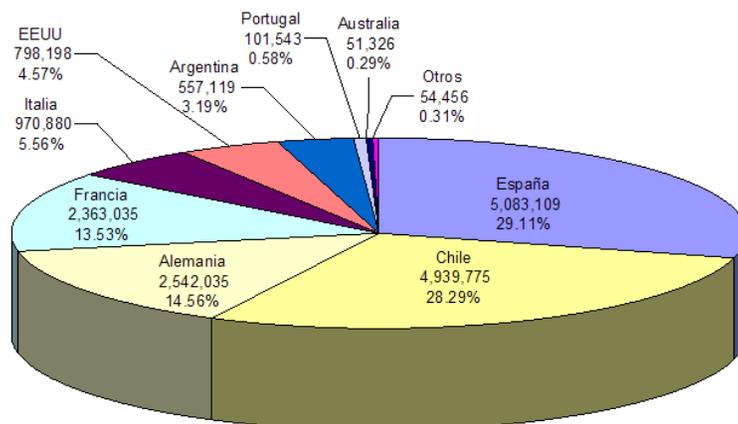
**Tabla 2.1. Principales estados productores de vino en México y empresas vitivinícolas existentes (2004)**

<i>Estado</i>	<i>Empresas vinícolas</i>	<i>Proporción de la producción nacional (%)</i>	<i>Principales casas productoras</i>
<i>Aguascalientes</i>	2	2	La Bordaleza, Dinastia Santo Tomás, Vinos Bibayoff, L.A. Cetto, Monte Xanic, Allied Domecq
<i>Baja California</i>	12	83	México, Chateau Camou, Viña de Liceaga, Casa de Piedra, Mogor Badan, Cavas Valmar, Adobe Guadalupe, Vinisterra.
<i>Coahuila</i>	3	4	Casa Madero, Bodegas Ferriño.
<i>Querétaro</i>	4	8	Freixenet, Cavas Antonelli
<i>Zacatecas</i>	3	3	Carrera, Cachola, Cantera y Plata.
<i>Total</i>	24	100	

Fuente: (UTCA, 2005)

El mercado internacional ejerce influencia sobre el tipo de cepaje que se cultiva en México, y se opta por los más comerciales, como ‘Cabernet Sauvignon’ y ‘Merlot’ en tintos y ‘Chardonnay’ y ‘Sauvignon’ en blancos, aunque actualmente se experimenta con variedades como ‘Tempranillo’ y ‘Barbera’ que son de mayor adaptabilidad al clima mexicano (UTCA, 2005).

**Importaciones y exportaciones.** México importó en el 2003 cerca de 70 millones de dólares correspondientes a 17.5 millones de litros de vino. Los países que más contribuyeron en valor son España (35%), Francia (25%), Chile (19%) y Alemania (más 5%) (Figura 2.3). Respecto al precio promedio/litro de los vinos importados, los vinos franceses tienen el primer lugar, con 7.46 dólares/litro, seguidos por los australianos con 5.80 dólares/litro (cgamex, 2004).



**Figura 2.3. Principales países que exportan a México en valor (cgamx, 2004)**

Respecto a las exportaciones, algunas bodegas de México envían parte de su producción a 36 países, principalmente a Europa, así como al continente americano, e inclusive a Japón y Australia. De la producción de vinos nacional, entre 20 y 25% se va al mercado de exportación (INFOCIR, 2005). EE. UU. es el principal importador de vinos mexicanos (40% en 2003) , seguido por Francia (8.5%), Alemania (7.5%), Gran Bretaña y Suiza (ambos con 5%), Canadá (4.5%) y Japón (2%). El resto de los países importan menos de 1% de las exportaciones nacionales.

## **2.2. Vinos espumosos**

### **2.2.1. Importancia económica**

#### *2.2.1.1. Mundial*

En el 2004 se tienen reportadas las siguientes cifras para el mercado mundial de vinos espumosos (ONIVINS, 2004):

**Producción.** El mercado mundial de los vinos espumosos alcanzó en 2003 una producción cercana a los 4.5 millones de hectolitros y una ganancia de 2,500 millones de euros. Este volumen representa 6% del mercado mundial de vinos (73 millones de hectolitros el mismo año). El mercado de vinos espumosos registró un crecimiento medio en producción del 4.5% entre 1995 y 2003, similar al registrado por los vinos tranquilos.

Los países que lideran en materia de producción son Italia, Francia y España, en ese orden (ONIVINS, 2004).

**Consumo.** Los cuatro primeros mercados de consumo de vinos espumosos son Alemania, Reino Unido, EE. UU. y el Benelux (unión aduanera y económica de Bélgica, los Países Bajos y Luxemburgo).

**Importaciones y exportaciones.** En 2003 EE. UU. ocupó la primera plaza en la clasificación de importaciones en valor, con 21%, equivalente a 485 millones de euros y el tercero en volumen (9%, 0.39 millones de hectolitros), mientras el Reino Unido obtuvo el segundo lugar en valor (19%, 455 millones de euros en 2002) y en volumen (16% del total, 0.69 millones de hectolitros en 2003). El precio promedio de este mercado se ha incrementado en más del doble, de 350 euros/hectolitro a aproximadamente 800 euros/hectolitro. Alemania ocupó la tercera posición en valor (16% del total, 366 millones de euros), y fue el primer mercado de importación en volumen (28% del total con 1.2 millones de hectolitros) y a pesar de las perturbaciones en los intercambios comerciales debido a la reunificación, ha crecido en volumen de manera casi constante, aumentando sus importaciones en valor 7%. Alemania marca el mercado mundial fijando el precio promedio en 280 euros/hectolitro en 2002. Japón es el país que presenta la mayor dinámica comercial; el valor de este mercado se ha duplicado de 1995 a 2002, mientras que el volumen se ha cuadruplicado desde 1993. Así, se ha convertido en el quinto mercado mundial en valor y volumen (Figura 2.4) (ONIVINS, 2004).

Francia, Italia y España son los principales exportadores de vino (Figura 2.5) y representan 90% de la venta y 80% del volumen. En 2004, Francia encabezó la clasificación con 1,770 millones de euros equivalentes a 1.26 millones de hectolitros. Italia superó a Francia en volumen, con 1.97 millones de hectolitros, aunque apenas fue 15% de las ventas con 381 millones de euros, y su precio promedio fue más barato (1.93 euros/litro). Los espumosos españoles generaron 255 millones de euros (10% del mercado), 18% del volumen, con 924,000 hectolitro y precio promedio de 2.76 euros/litro. El liderazgo francés se explica por el empuje del Champaña dentro de los espumosos

franceses, con 72% del volumen producido y 95% del valor, a pesar de que el precio promedio de estos vinos es el más elevado del mercado, con 13.79 euros/litro. Australia es el primer país exportador no europeo y ocupa la quinta plaza, con apenas 1% de la facturación global y 2% del volumen de negocio (ONIVINS, 2004).

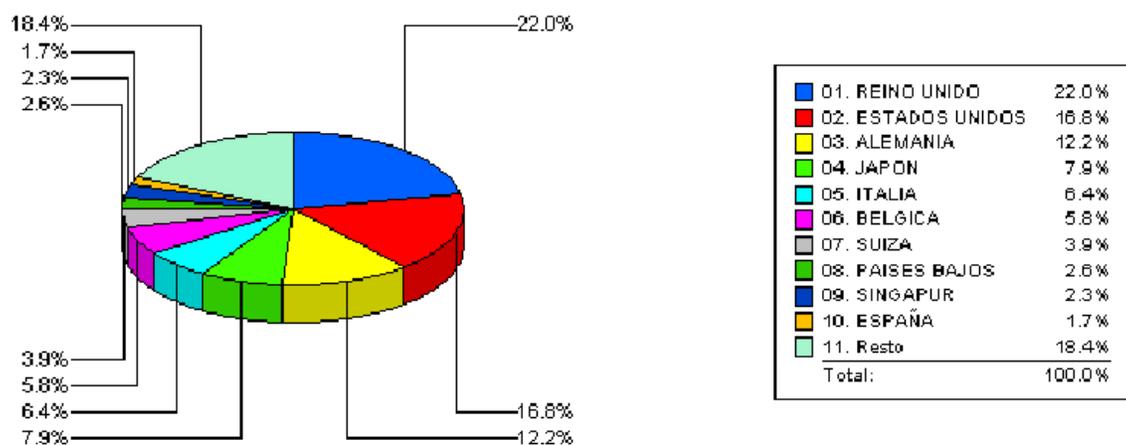


Figura 2.4. Principales países importadores de vinos espumosos (ICEX, 2004)

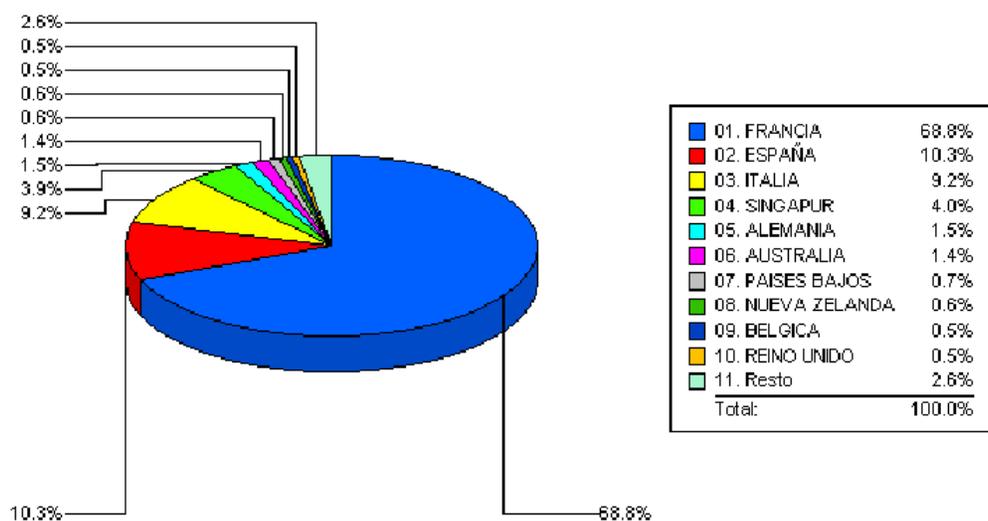


Figura 2.5. Principales países exportadores de vinos espumosos (ICEX, 2004)

### 2.2.1.2. México

De acuerdo con INEGI (2004), en México se produjeron 199 mil litros de vinos espumosos en 2003, con un valor de aproximadamente 14.5 millones de pesos, los cuales se destinaron en su totalidad al mercado nacional. Solo 1% de las marcas comercializadas en el país, corresponde a empresas mexicanas.

Sólo tres casas productoras establecidas en México (Tabla 2.1) elaboran y comercializan vinos espumosos: L.A.Cetto, Santo Tomás y Freixenet de México, que es la empresa líder en este ámbito (Asociación Nacional de Vitivinicultores A.C., 2006<sup>1</sup>).

### 2.2.2. Características

De acuerdo con la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV, 2006), un vino espumoso natural es aquel que presenta producción de espuma abundante o al menos persistente, al momento del descorche, producto de la liberación de CO<sub>2</sub> de origen exclusivamente endógeno. La presión de dicho gas dentro de la botella debe ser, al menos, de 3.5 bares a 20 °C. Para botellas de capacidad inferior a 0.25 litros, la presión mínima ejercida debe ser de 3 bares a 20°C. Cuando el CO<sub>2</sub> es agregado artificialmente, el vino espumoso es llamado artificial (Llorentes, 2003).

Aún así, los vinos espumosos son difíciles de definir con precisión. En EE.UU. el contenido máximo de CO<sub>2</sub> para los semi-espumosos es de 0.392 g/100 ml a 15.6°C. Esto es equivalente a 1.10 bares de presión. Protín (1960), citado por Amerine *et al.* (1980) resalta que la mayoría de los países distinguen (no oficialmente) entre ligeramente espumosos, *crémant*, perlado, *perlant*, *perlé* o *petillant* de aquellos con presión total, tal como se consigna en la Tabla 2.2, donde se observan las diferencias entre vinos espumosos y petillantes o semi espumosos:

---

<sup>1</sup> Comunicación personal, Asociación Nacional de Vitivinicultores, Montecito No. 38, piso 15, desp. 22 Delegación Benito Juárez, C.P. 03810, México, D.F.

**Tabla 2.2. Diferencias entre vinos semiespumosos y espumosos (Amerine *et al.*, 1980)**

<i>País</i>	<i>Tipo</i>	<i>Presión (lb/in<sup>2</sup>, bares)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
<i>Australia</i>	Petillante	1.1 max, 0.0758	20
	Espumoso	10.0 min, 0.689	20
<i>Chile</i>	Espumoso	10.0 min, 0.689	15
<i>Francia</i>	Petillante	3.3 max, 0.227	15
	Espumoso	10.0 min, 0.689	15
<i>Alemania</i>	Petillante	1.1 max, 0.0758	20
	Espumoso	6.6 min, 0.455	20
<i>España</i>	Petillante	2.2 max, 0.197	?
	Espumoso	7.7 min, 0.530	?
<i>Suiza</i>	Petillante	1.1 max, 0.0758	15
	Espumoso	8.8 <sup>1</sup> min, 0.606	15

<sup>1</sup> También el mínimo es reportado como 4 g/l, el cual no corresponde con los datos en la tabla.

Postel (1970), citado por Amerine *et al.* (1980) señala 1.8-2.0 g CO<sub>2</sub>/L como el límite arriba del cual el vino puede dejar de considerarse como “semi-espumoso”.

### **2.2.3. Clasificación de los vinos espumosos**

Con base en la fuente del CO<sub>2</sub>, los vinos espumosos se clasifican de la siguiente manera (Amerine *et al.*, 1980):

-  **Tipo I.** Exceso de CO<sub>2</sub> producido por la fermentación de azúcar residual de la primera fermentación. Este tipo incluye varios vinos de Alsacia, Alemania, Loire e Italia, a la vez que el muscato amabile en California.
-  **Tipo II.** Exceso de CO<sub>2</sub> producido por fermentación maloláctica. El Vinho Verde del norte de Portugal es representativo de este tipo de vinos, aunque existen ejemplos en Italia y diversas partes de Europa.
-  **Tipo III.** Exceso de CO<sub>2</sub> de la fermentación de azúcar añadido en una segunda fermentación. La mayoría de los vinos espumosos en el mundo son fabricados bajo este procedimiento.
-  **Tipo IV.** Exceso de CO<sub>2</sub> añadido. Este incluye las bebidas carbonatadas (refrescos) y muchos vinos “crackling”, como las sidras elaboradas con jugo de manzana carbonatado.

Carpenè (1959) citado por Amerine *et al.* (1980) distingue cuatro tipos de vinos espumosos fermentados:

1. Fermentación lenta en botella, largo añejamiento con levaduras y degüelle.
2. Mismo procedimiento, pero transferido y filtrado.
3. Fermentación rápida en botella, añejamiento sin heces del vino, transferido y filtrado.
4. Fermentación en tanque.

#### **2.2.4. Métodos de elaboración**

Existen diversos métodos para la elaboración de vinos espumosos, la mayoría de los cuales comprenden dos fermentaciones: la primera, una fermentación alcohólica para generar el vino base, y una segunda fermentación llamada “carbónica”, donde ocurre la “ganancia de espuma”, es decir, se obtiene CO<sub>2</sub> suficiente para la producción de espuma. Dicha fermentación puede ser en botellas o tanques de gran capacidad (INFOCIR, 2005).

##### *2.2.4.1. Método tradicional o “Champenoise”*

Es el más utilizado; la segunda fermentación se realiza en botellas. Las fases del proceso son:

###### *a) Elaboración del vino base*

La uva se cosecha alcanzando la madurez óptima dado que el vino base para vinos espumosos debe tener buena acidez y no muy alto contenido de alcohol (Amerine *et al.*, 1980). Se evita romper los granos ya que se pueden producir fermentaciones anticipadas u oxidaciones de los polifenoles (Vázquez, 2006).

La uva se prensa (extracción fraccionada del mosto) y sólo se emplea el primer 50% del mosto. El jugo de la primera prensada se llama “*cuvée*” (Mareca, 1969).

El mosto se sulfita (5-10 g/hl) y se deja en reposo para el desfangado estático. Al mosto obtenido se le hacen las correcciones si fueran necesarias y se añaden levaduras seleccionadas; se fermenta entre 15 y 18 °C. Es conveniente que el vino quede seco, ya que los azúcares remanentes dificultan la clarificación. Finalizada la fermentación, se realizan varios trasiegos, el primero un mes después de la fermentación maloláctica, el segundo antes de la clarificación natural y el tercero después de la clarificación del vino (Infoagro, 2006).

Con el objeto de mantener el mismo tipo en años sucesivos, se realizan mezclas controladas por cata y análisis; en la mezcla puede ponerse vino viejo hasta un cuarto o un tercio del volumen total (Flanzy, 1998; Noguera, 1974).

#### *b) Segunda fermentación*

El vino base es embotellado para la segunda fermentación. Al conjunto de operaciones a las que se somete el vino para embotellarlo se llama “*tiraje*”, las cuales comprenden la preparación del “licor de tiraje” (jarabe de elevada concentración de azúcar) y adición de levaduras para la ganancia de espuma. Una vez realizada la mezcla, el licor es añadido a las botellas y estas últimas son selladas con un tapón corona (Amerine *et al.*, 1980).

Posteriormente, las botellas se colocan en posición horizontal en grandes hileras situadas en forma alterna en el suelo de la bodega (en rima). El tiempo necesario para completar la fermentación es variable y depende de la temperatura y la graduación alcohólica del vino. En términos generales, oscila entre uno y tres meses, en los cuales se forma CO<sub>2</sub> hasta una presión de 5 a 6 atm y se alcanzan 12 a 12.5° de alcohol. Una vez terminada la fermentación, las botellas se apilan en nuevos montones procurando acomodarlas para que la maduración sea uniforme y eliminando las botellas rotas (Infoagro, 2006).

La maduración sobre sus heces es fundamental desde el punto de vista de características sensoriales. Durante la maduración se produce una lenta y progresiva parálisis vegetativa de las levaduras, con la consiguiente muerte y autólisis de las células; se liberan proteasas y se produce la hidrólisis de pequeñas cantidades de péptidos, principalmente aquellos formados por alanina y arginina, según Lurton y Guerrau (1988). El período de maduración suele variar con la calidad del vino. Al final de la fase de maduración se someten las botellas durante 10 a 12 días a -5 °C para favorecer la clarificación (Infoagro, 2006).

### *c) Eliminación de las heces de la botella*

Finalizada la fase de maduración, las botellas se sacuden con el fin de separar completamente las heces de la pared de la botella y llevarlas a la punta, contra el tapón de la botella invertida, para poder eliminarlas después con el degüelle (Vázquez, 2006).

En el removido en pupitre clásico, las botellas salidas de la fase de maduración reciben el “golpe de puño” y se colocan por el cuello en los agujeros de los pupitres donde se dejan en reposo durante una semana aproximadamente, hasta que las heces se hayan depositado. La posición de la botella en el agujero del pupitre en esta fase es de 25 a 30° inclinada negativamente sobre la horizontal. Desde el inicio de la operación, cada botella se somete al removido cada tres a cuatro días durante un período variable que oscila entre un mes y dos, después del cual la botella estará en punta. La primera semana el giro es de un octavo, las siguientes de un sexto y las últimas de un cuarto, de manera que cada vez se da mayor inclinación hacia la posición vertical invertida. El sentido de la rotación es una vuelta completa en el sentido de las agujas del reloj y después en sentido contrario, para volver después al primer sentido (Infoagro, 2006).

Las botellas que provienen de los pupitres se transportan a otros locales a temperatura no superior a 10 °C. Las botellas pueden permanecer en punta desde un día hasta un año. Durante esta fase las heces se adhieren al tapón y el bouquet se afina (Infoagro, 2006).

La siguiente operación, llamada “degüelle”, consiste principalmente en la eliminación de estos residuos acumulados. Se congela el cuello de la botella en posición vertical invertida sumergiéndolo en un refrigerante a -25° C. Una vez congelado, se coloca la botella en posición vertical habitual, se le quita el tapón de corona y la presión interior propia expulsa el bloque de hielo que contiene los residuos procedentes de la fermentación (Freixenet, 2006).

### *d) Finalización del proceso*

Para reponer la pérdida de líquido por el degüelle se utiliza el licor de expedición, que consiste en vino o brandy y azúcar, añadido para cambiar el grado de dulzura o sequedad perceptible (Zoecklein, 2002). Los vinos espumosos se han clasificado de acuerdo a su contenido final de azúcar (Tabla 2.3):

**Tabla 2.3. Clasificación de los vinos espumosos en función del contenido de azúcares residuales**

<i>Tipo</i>	<i>Concentración de azúcar final (g/L)</i>
<i>brut nature</i>	< 3
<i>extra brut</i>	< 6
<i>brut</i>	<15
<i>extra seco</i>	12-20
<i>seco</i>	17-35
<i>Semi- seco</i>	33- 50
<i>dulce</i>	> 50

**Fuente: Infoagro (2006)**

El taponado final exige una técnica cuidadosa ya que es el medio por el cual el vino espumoso queda herméticamente cerrado y preservado de la pérdida de gas. Los tapones llenos y duros se emplean para tapar botellas que tardarán varios años en ser destapadas; los medio llenos para las que durarán al menos un año; los mitad flexibles para botellas que se consumirán antes de tres a seis meses y tapones flexibles para las de uno a tres meses (Noguera, 1974).

Las etapas críticas dentro del proceso son, de acuerdo con Amerine *et al.* (1980), la preparación de una “*cuvée*” bien balanceada, la correcta conducción de la fermentación, el añejamiento con levaduras y el degüelle.

#### 2.2.4.2. Método Close o Charmat

La segunda fermentación se realiza en un depósito de gran capacidad (entre 25,000 y 50,000 litros). El tiempo de crianza mínimo se reduce a 21 días. Una vez transcurridos éstos, el vino es filtrado, estabilizado y embotellado de forma isobárica, para evitar pérdidas de burbujas de anhídrido carbónico. Evidentemente el proceso es mucho menos costoso que los anteriores, así como los tiempos de crianza, por lo que esta categoría de vinos espumosos puede encontrarse en el mercado a precios muy inferiores que los elaborados por el método Champenoise (Enoconsulting, 2003).

#### 2.2.4.3. Método rural

Es, según se afirma, el más antiguo de la historia de los vinos espumosos, ya que existen datos sobre su introducción por los romanos cuando la conquista de las Galias. Se

parte de un mosto parcialmente fermentado que contiene como mínimo 35 g azúcar/litro, procedente de uvas dulces tipo Moscatel. La fermentación en la botella se realiza sin añadir licor de tiraje durante un tiempo mínimo de cuatro meses. La eliminación de las heces de las levaduras se hace por filtrado isobárico (Campos, 2001).

#### *2.2.4.4. Método de carbonatación*

Los vinos que se elaboran para este método son los vinos carbónicos semiespumosos o vinos de aguja, con presiones de 1 a 2.5 bares a 20 °C, o vinos espumosos o carbónicos con presiones superiores a 3 bares a 20 °C. El vino base se elabora por las técnicas habituales de vinificación en blanco, pero después no hay fermentación secundaria o toma de espuma. El CO<sub>2</sub> es exógeno y se añade continuamente al flujo de vino, que ya ha sido estabilizado y enfriado a -2 °C, en un proceso continuo. El gas proviene de un tanque de reserva que lo mantiene a presión elevada y sólo se añade gas proporcionalmente al tipo de vino. Se utiliza una cápsula metálica con una medida de poro muy reducida para distribuir el gas en finas corrientes, que se disuelve de forma instantánea en el vino. A la salida de este tanque saturador, el vino se filtra y embotella inmediatamente a contrapresión y las botellas se tapan y anillan. La efervescencia aparece cuando se abre la botella. En Francia son típicos de Bugey, Cerdon y del valle del Loira, aunque no puede etiquetarse con denominación de origen. Se denomina vino de aguja en español, *vi de perla* en catalán, *vin pétillant* en Francia, *vino frizzente* en Italia, *viho risante* en Portugal, *perlwein* en Alemania y *pearlwine* en inglés (Daban, 2005). También aplica a otras bebidas como los “wine coolers”, los cuales son preparados con agua carbonatada, vino y jugos de frutas.

#### **2.2.5. Calidad del vino espumoso**

##### *2.2.5.1. Características gustativas*

En los gustos de todo tipo de vinos interaccionan el efecto dulce (consecuencia del azúcar residual, el alcohol, y el glicerol), el ácido (por los ácidos tartárico, málico, cítrico) y el amargo (por los taninos de las uvas, de las pepitas y de las barricas, que reaccionan con las proteínas de la saliva en la boca y que producen una sensación táctil por su efecto secante). Todos estos elementos se encuentran en equilibrio y son medibles, pero su efecto

gustativo no es aditivo ni son percibidos al mismo tiempo. Diversas variables poseen un impacto sobre estos gustos: la fecha de vendimia, (para el azúcar, el alcohol, la acidez, los polifenoles), la fermentación alcohólica (el metabolismo de las cepas de levadura), el grado de extracción de los polifenoles (por la madurez, las prácticas de maceración y prensado) y procesos como la transformación maloláctica o la crianza en madera (Masters, 2006).

#### 2.2.5.2. Características aromáticas

Los aromas intensos y perdurables son preferidos. Existen diferentes tipos en el vino (Enoforum, 2004):

- 🖼 Aromas primarios: ya existían en la uva, son llamados varietales, y que debido a una cuidada vinificación siguen presentes en el vino. Fundamentalmente encontramos aromas a flores, frutas, vegetales y especias.
- 🖼 Aromas secundarios: se originan en la fermentación alcohólica y maloláctica. Pueden ser alcoholes (etílico), lácticos (mantequilla), ácidos grasos (jabón, cera), aldehídos (levadura o pan) y ésteres.
- 🖼 Aromas terciarios: éstos se denominan postfermentativos o aromas del bouquet. Normalmente se desarrollan en la fase de envejecimiento o crianza en toneles, a la que son sometidos algunos vinos. Encontramos olores animales (cuero), vegetales secos (tabacos), torrefactos (café, cacao) y frutos secos (nueces o avellanas).

#### 2.2.5.3. Características visuales

Primero debe observarse el aspecto del vino a contraluz, alzando y bajando la copa a la altura de la mirada para ver su claridad y limpidez. Para observar claramente el color se recomienda tomar la copa por la base e inclinarla sobre un fondo blanco. En el borde, al girar el vino circularmente en la copa, se puede apreciar la huella del vino, este aspecto nos puede orientar sobre la edad del vino. Finalmente, el grado de alcohol puede ser apreciado en la lágrima que deja el vino al mover la copa (Asociación Nacional de Vitivinicultores, 2006).

El desprendimiento de burbujas constituye un factor de calidad en función de los siguientes criterios (Enoforum, 2004):

- 🖨 Finura: se refiere al diámetro de las burbujas. Cuanto más pequeñas sean éstas, mayor calidad tendrá el producto.
- 🖨 Formación de rosarios, cordones o trenes: se denomina así a las filas de burbujas ascendentes que se forman en la copa. A mayor número de éstas más calidad tendrá el producto.
- 🖨 Persistencia: se refiere a la duración del desprendimiento de burbujas. También es directamente proporcional a la calidad.
- 🖨 Formación de encajes: se denominan así a las isletas de burbujas, que se forman en la superficie del vino en la copa. Está muy relacionada con la persistencia.
- 🖨 Formación de collar: este fenómeno se suele producir además de los encajes, en vinos espumosos de alta calidad. Se trata de un collar de burbujas que se forman en la superficie del vino en la copa, formando un anillo en el perímetro interior de ésta.

Si se aprecian burbujas gruesas y rápidas que suben a la superficie, se advierten signos de juventud; en el caso que sean pequeñas y finas, se advierte calidad; finalmente, la denominada espuma que se debe acumular en el centro de la copa, demuestra que se está en presencia de un espumante o champaña de calidad suprema (Malena y Rodríguez, 2006).

Los vinos espumosos comparten una presencia destacada, la del CO<sub>2</sub>, que aporta propiedades sensoriales gustativas (de exaltación de los aromas), táctiles (acídulas y ápticas) y visuales (el primer contacto del consumidor con el vino). Consecuencia directa de esta presencia es la formación de espuma, la característica organoléptica más genuina de estos vinos. Conscientes de este hecho, los elaboradores siempre han mostrado gran interés por los factores que determinan la toma de espuma y, consecuentemente, se han estudiado ampliamente sus diversos atributos, como la espuma inicial, el área superficial que ocupa y la aparición de la corona, o parámetros como el tamaño de la burbuja y la velocidad de efervescencia. (Anónimo, 2002).

## **2.2.6. Fenómeno de la efervescencia**

### **2.2.6.1. Formación**

De acuerdo a Liger-Belair (2005), el fenómeno de efervescencia se puede dividir en dos etapas:

a) Antes del descorche de la botella. El gas responsable de la efervescencia en los vinos espumosos es el CO<sub>2</sub>, producido durante la segunda fermentación. Debido a que las botellas están cerradas, el gas se disuelve en el vino y el CO<sub>2</sub> gaseoso establece un equilibrio que sigue la Ley de Henry (la cual establece que la presión parcial de un gas arriba de una solución es directamente proporcional a la concentración de dicho gas disuelto en la solución). La constante de proporcionalidad de Henry para el CO<sub>2</sub> es altamente dependiente de la temperatura: a menor valor, mayor la constante, y por lo tanto, la solubilidad también es mayor. Una vez que se ha terminado la segunda fermentación, la presión bajo el corcho es de aproximadamente 6 atm a 12 °C. A pesar de que pueden existir reacciones del CO<sub>2</sub> con el agua del vino en el cual se encuentra disuelto, el bajo pH de éste evita que especies no carbonatadas (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) coexistan con el CO<sub>2</sub> disuelto.

b) Al momento del descorche. Al abrir la botella, la presión parcial del CO<sub>2</sub> arriba del líquido disminuye y la concentración del disuelto ya no se encuentra en equilibrio con la fase vapor. El vino entra en un estado metaestable, y contiene más moléculas de CO<sub>2</sub> en la fase líquida que las que establecería la Ley de Henry. Para recuperar el equilibrio termodinámico, casi todo el CO<sub>2</sub> disuelto en el vino debe escapar. Existen dos mecanismos por los cuales se pierde gas: difusión a través de la superficie del vino (invisible a los ojos) y burbujeo (efervescencia). Experimentos recientes demuestran que en una copa clásica de flauta, aproximadamente 20% de las moléculas escapan en forma de burbujas, mientras que el 80% restante se disipa a través de la superficie libre.

Por su parte, la vida media de la burbuja implica tres etapas, que se describen a continuación (Liger-Belair, 2005):

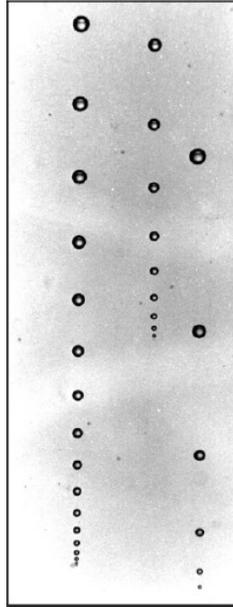
*Nucleación de la burbuja.* La formación de burbujas solo puede tener lugar en una cavidad preexistente de gas con radio mayor al radio crítico unido a un sólido inmerso en el seno del líquido o atorado en la pared de la copa. Para los vinos espumosos, el radio crítico es

alrededor de  $0.2 \mu\text{m}$  y es inversamente proporcional a la concentración de  $\text{CO}_2$  en el seno del líquido. Debido a los dos mecanismos de pérdida del gas disuelto, la disminución de éste aumenta el valor del radio crítico necesario para la formación de nuevas burbujas. En consecuencia, su producción cesa en todas las partículas que actúan como centros de nucleación, con los más grandes al final.

Los “bolsillos” de gas, llamados “lumen”, necesarios para la producción de burbujas son generados cuando el líquido fluye por la pared durante el llenado de la copa. Éstos inician la generación de burbujas cuando el  $\text{CO}_2$  se difunde hacia ellos, debido a la diferencia de concentración. La burbuja se forma y crece dentro del sitio de nucleación y cuando la fuerza de flotación supera la componente vertical de la capilaridad (que obliga a la burbuja a permanecer unida al sitio), la burbuja se eleva, dando la oportunidad a otra burbuja de formarse, crecer y despegarse con el mismo tamaño, hasta que la generación cesa por la falta de gas. Como resultado, las burbujas son liberadas con regularidad de reloj. La producción cíclica de burbujas está caracterizada por su frecuencia de burbujeo, definida como el número de burbujas producidas por segundo. En la misma copa y al mismo tiempo, existe una gran variación de la frecuencia de burbujeo. Para un sitio de nucleación dado, el tiempo necesario para que una burbuja crezca desde su tamaño embrionario hasta el de liberación ( $10$  a  $50 \mu\text{m}$ ) depende de las propiedades geométricas internas del sitio de nucleación. La cinética de formación de burbujas depende también de la concentración de  $\text{CO}_2$  disuelto y decrece con el tiempo.

*Elevación de las burbujas.* Después de que dejan el sitio de nucleación, las moléculas de  $\text{CO}_2$  del líquido continúan difundándose hacia la burbuja ascendente, incrementando su tamaño. El tamaño promedio final depende de varios factores, como la distancia viajada, temperatura, aceleración de la gravedad, presión dentro de la burbuja que es equivalente a la presión atmosférica y contenido de  $\text{CO}_2$  en la fase líquida.

Como se muestra en la Figura 2.6, el espacio entre dos burbujas sucesivas se incrementa; debido a la regularidad con que son liberadas las burbujas, esto hace inferir que las burbujas se aceleran cuando se elevan a través del líquido.



**Figura 2.6. Trenes de burbujas en Champagne con varias frecuencias de burbujeo (Liger-Belair, 2005)**

Durante el ascenso, sustancias surfactantes (proteínas, azúcares, etc.) se acumulan en la interfase de la burbuja y contribuyen a darle rigidez, incrementando la cantidad de materiales adsorbidos. Al mismo tiempo, la burbuja continúa creciendo, diluyendo esa cantidad. Así, la interfase cambia su movilidad de esfera rígida a esfera fluida. Ybert y di Meglio (1998), citados por Liger-Belair (2000) demostraron que la velocidad de ascenso de las burbujas se reduce fuertemente en soluciones de proteínas en comparación con agua, debido a que las proteínas se adsorben en su superficie.

*Rompimiento de las burbujas.* Experimentalmente se ha visto que cuando las burbujas alcanzan la superficie, sus diámetros rara vez exceden 1 mm. La parte que sobresale es esencialmente una capa de líquido de forma esférica, que se adelgaza mientras el líquido se drena. Cuando la capa alcanza el grosor crítico de aproximadamente 100 nm, se vuelve sensible a disturbios ambientales y termina por romperse. Para burbujas de 1 mm de diámetro, esto puede tardar de 10 a 100  $\mu$ s. Al estallar, generan gotas “jet” creadas por el colapso del fondo de la burbuja.

La efervescencia conduce a la creación de espuma sobre la superficie del vino (Andrés-Lacueva *et al.*, 1996a); esto implica el atrapamiento de gas y la nucleación

heterogénea, y dicha espuma se deteriora con el tiempo. Los tres fenómenos físicos que determinan mayormente el índice de estabilidad son el drenado, la coalescencia y la desproporcionalización (maduración de Ostwald) (Robillard *et al.*, 1993).

El **drenado** es el flujo de líquido desde la espuma como consecuencia de la fuerza de gravedad. Está fuertemente influenciado por la viscosidad. El efecto más importante del drenado es el adelgazamiento de la película de líquido que cubre la burbuja a través del tiempo y la probabilidad de coalescencia de burbujas se incrementa (Robillard *et al.*, 1993). Mientras el drenado se lleva a cabo, la estructura de la espuma cambia de una emulsión de burbujas circulares rodeadas por líquido a una red hexagonal con caras encontradas con un ángulo de  $120^\circ$  y bordes planos. Curvaturas en esos bordes crean zonas de baja presión que causan compresión entre caras adyacentes de burbujas, acelerando el drenado y disminuyendo la distancia entre las membranas de las caras (Hackbarth, 2006).

La **coalescencia** es la unión de dos burbujas causada por la ruptura de la capa de líquido entre ellas. Esto lleva a que la distribución de tamaño tienda a burbujas más grandes (Robillard *et al.*, 1993). Así, la capa de líquido entre las burbujas alcanza su grosor crítico. Dicha capa puede romperse espontáneamente o por causa de grasas que interfieren con su superficie externa. El colapso ocurre en la superficie de la corona por ruptura o difusión del  $\text{CO}_2$  directamente a la atmósfera a través de la capa de burbuja permeable al  $\text{CO}_2$  (Hackbarth, 2006).

La **desproporcionalización o maduración de Ostwald** es la difusión de gas entre burbujas de diferente tamaño causado por la diferencia de presión. Ocurre en función de la solubilidad del gas y depende del grosor de la película de líquido (Robillard *et al.*, 1993). La presión es inversamente proporcional al radio de burbuja, causando que el  $\text{CO}_2$  se difunda de las burbujas de menor tamaño, donde la presión es mayor, a las grandes y continuas (Hackbarth, 2006).

#### 2.2.6.2. Factores que afectan el desarrollo de la espuma

Obiols *et al.* (1998) dividen los tipos de variables que modifican el comportamiento espumante de un vino en intrínsecos y extrínsecos.

a) Intrínsecos. Relacionados con la composición química del vino base y del producto final, definida por la cepa de uva, la región de origen, técnicas de vinificación, vendimia y tiempo de prensado, entre otras.

Andrés-Lacueva *et al.* (1996b) estudiaron el efecto de diversos procesos de vinificación en la composición química de los vinos base y su relación con su capacidad espumante; encontrando que las proteínas y glutamina favorecen la formación de espuma, pero no su estabilidad en el tiempo; que los tratamientos que involucren la remoción drástica de compuestos nitrogenados deben ser evitados; que sustancias ácidas son importantes para la espumabilidad y que el ácido galacturónico y compuestos volátiles no favorecen la estabilidad en el tiempo. Las condiciones de elaboración óptimas para el vino base son: mosto obtenido por extracción, desfangado estático y clarificación con bentonita.

Hidalgo *et al.* (2004) analizaron el papel de la cepa de levadura en las características espumantes, encontrando resultados similares con cepas diferentes de levadura, lo que indicaba que las propiedades observadas pudieran ser debidas principalmente a la variedad de uva y al método de producción.

Los dueños de los lagares donde se produce Cava perciben que el añejamiento y el tipo de levadura parecen mejorar la calidad de la espuma. Aunque, a cierto tiempo de añejamiento, alrededor de los 21 meses, observan decremento en la espumabilidad (Andrés-Lacueva *et al.*, 1996b).

De acuerdo con Malvy *et al.* (1994), las macromoléculas, en particular las proteínas, tienen un efecto limitante en la cantidad de espuma. Si disminuye el contenido de proteínas del medio, también puede disminuir significativamente tanto la altura como la estabilidad de la espuma.

Durante la toma de espuma y crianza del cava, la autólisis de las levaduras propicia la liberación al medio de coloides de alto peso molecular, que mejoran la calidad de la espuma. No obstante, el aumento en la concentración de etanol ocasiona probablemente la precipitación por desnaturalización de algunas proteínas del vino, haciendo que en el balance global no se observe un incremento de la concentración de proteínas (Vanrell, 2005).

Peron *et al.* (2004) señalan que la estabilidad de las burbujas, y de la espuma en general, recae en la concentración de macromoléculas anfipáticas originarias de la uva, las

cuales forman capas moleculares en la interfase entre la Champagne y el gas, generando un equilibrio entre las fases, facilitando su estabilización.

b) Extrínsecos. Son elementos que no se relacionan directamente con el vino, sino con el tratamiento al momento de servirlo, como son la manera de servir, el lavado de la copa, la temperatura de servido, etc.

Cuando se sirve el vino desde unos centímetros por encima del borde del vaso y en el centro del fondo de la copa, la caída de espuma es muy heterogénea. La corona de burbujas inexistente al principio, se instala después de uno o dos minutos. La estabilidad de la espuma es superior cuando se llena el vaso en dos etapas (50% primero y después de unos 30 segundos el resto) que en una sola, a igualdad de volumen de líquido.

La contaminación del vaso por impurezas es el factor determinante de la calidad de la efervescencia y de la espuma. Estas contaminaciones pueden ser "físicas": partículas atmosféricas adsorbidas a la superficie del vaso, y entonces el efecto puede ser notado a nivel de la efervescencia. Las contaminaciones en la superficie del vaso pueden ser también "químicas" es el caso de un ambiente donde los vasos son almacenados, ciertas partículas de la cocina pueden contener materias grasas de los alimentos. En este caso se observa cómo la espuma es más inestable y la efervescencia más corta, así como unas burbujas más gruesas (Gutiérrez, 2003).

El lavado es un factor crítico, ya que los detergentes son muy alcalinos y agresivos sobre el vidrio; los abrillantadores pueden crear películas en la superficie que modifiquen la respuesta de la efervescencia o la espuma. El secado con papel puede dejar restos de fibra que pueden funcionar como sitios de nucleación y aumentar la efervescencia. Lo más conveniente es utilizar agua caliente para eliminar los residuos de grasa presentes y realizar el secado utilizando aire filtrado (Obiols *et al.*, 1998).

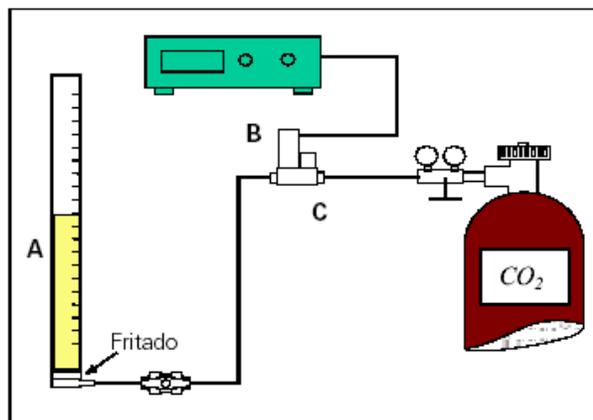
#### 2.2.6.3. *Métodos de medición de la espuma*

a) Tensiómetros. Es una medida indirecta de la capacidad espumante de un líquido. En la superficie de un líquido, las moléculas pierden el acomodo respecto a las del aire, lo que genera una fuerza neta diferente de cero. Dicha fuerza actúa perpendicularmente a cualquier línea de longitud sobre la superficie del líquido. La mayoría de los tensiómetros

miden tal fuerza. El más utilizado es el de anillo, donde dicho artefacto se jala a través de la interfase aire-líquido y se mide la fuerza máxima descendente ejercida sobre el anillo. Esta fuerza disminuye ligeramente antes de que el anillo sea jalado hacia el aire (Kibron Inc, 2006).

b) Turbiscan. Cuando una fuente de luz incide sobre una célula de cristal en la que hay una dispersión de partículas, se produce un punto de luz compuesto de dos partes: una central que corresponde a un paso corto de fotones, que sufren unos pocos acontecimientos de difusión antes de abandonar el medio, y una periférica que corresponde a un paso largo de fotones, que se difunden antes de abandonar el medio. El Turbiscan analiza principalmente la parte central y mide la distancia de penetración de los fotones sobre la muestra (IESMAT, 2006). Unido a la técnica de dispersión de luz múltiple (MLS) y el barrido de la muestra, permite trabajar en el producto real y seguir la desestabilización de la espuma. Se puede medir el drenado y seguir la cinética de maduración de burbujas, así como el número de burbujas en el sistema (Dihang *et al.*, 2006).

c) Burbujeo de gas a través del vino. Desarrollado por Bikerman en 1938. El primer aparato automatizado fue el Mosalux, realizado por el equipo de trabajo de Maujean en 1990. De acuerdo con Gallart *et al.* (1997), las variables que mejor definen el comportamiento espumante son la altura máxima (HM), el coeficiente de Bikerman ( $\Sigma$ ) y el tiempo de estabilidad de la espuma (TS) y sus coeficientes de variación son <8%, <10% y hasta 22%, respectivamente. Este método es utilizado para los vinos base. La medida de la altura se consigue con un emisor y detector de luz en la región del infrarrojo o con un emisor y detector de ultrasonidos. Este tipo de equipos permite determinar no sólo la altura que alcanza la espuma, sino también el tiempo que esta espuma permanece una vez que cesa el flujo del gas (Polo, 2002). En la Figura 2.7 se muestra un esquema de las partes de que consta este equipo.



**Figura 2.7. Esquema de un equipo simple que se puede utilizar para medir las características de la espuma de los vinos. A) Columna graduada. B) Medidor de masa de gas. C) Controlador de flujo (Pueyo *et al.*, 1995)**

d) Evaluación sensorial. Es el método más utilizado por los productores de vinos espumosos; consiste en la degustación por parte de un juez o jurado de expertos quienes determina si el vino tiene la calidad adecuada, basándose en características definidas por organismos internacionales (como OIV) (Ruíz y Martínez, 1997).

Gayon *et al.* (2006) establecen que “degustar” es gustar con atención un producto, esto es, someterlo a los sentidos, intentar conocerlo, buscando sus defectos y cualidades, y expresarlos. Para ello, se debe estudiar, analizar, describir, juzgar y clasificar. La cata es la practica de la prueba de los vinos y se conoce como cata / degustación / evaluación sensorial / análisis organoléptico.

La evaluación sensorial persigue varios fines, tales como calificar el vino por medio de los sentidos, la emisión de juicios de tipo técnico o comercial y la descripción del vino mediante sus caracteres (UTCA, 2005).

Los *sentidos* utilizados en la evaluación sensorial son (Enoforum, 2006):

 Vista. Por ella sabremos de la limpidez y del color del vino, de su intensidad y de sus matices. Es la primera impresión e influye bastante sobre las siguientes.

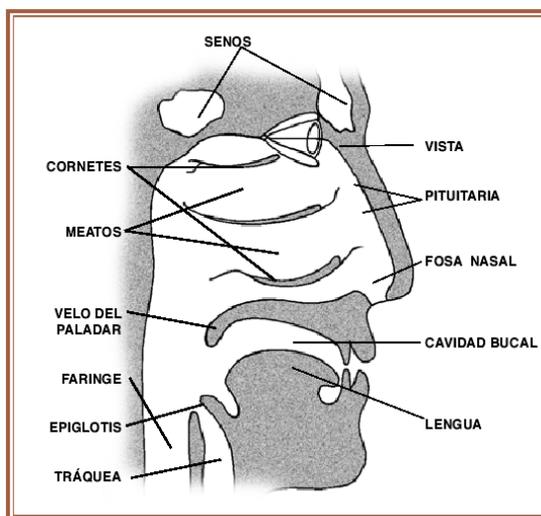
 Olfato. Existen 2 vías de acceso a la mucosa olfativa:

La *vía nasal directa*. (Inspiración por la nariz).

*Vía retrosanal*. (Los aromas pasan de la cavidad bucal a las fosas nasales).

- Gusto. Las células sensibles al gusto, están localizadas sobre la lengua. Las papilas detectan los sabores elementales, que son *dulce, salado, ácido y amargo*. El gusto dulce es el primero que se percibe, (es instantáneo), seguidamente se perciben el gusto ácido y salado. Finalmente el gusto amargo es el más lento de percibir.
- Tacto. Existen en la lengua papilas filiformes, sensibles a los estímulos táctiles. Permiten conocer temperatura, y cuerpo de un vino, así como su astringencia.

La Figura 2.8 ilustra los sentidos utilizados en la evaluación sensorial



**Figura 2.8. Sentidos utilizados en el proceso de catado (Ruiz y Martínez, 1997)**

Los factores de error en la evaluación sensorial pueden ser de diversos orígenes (ENSAM, 1989):

a) A nivel de la respuesta del catador.

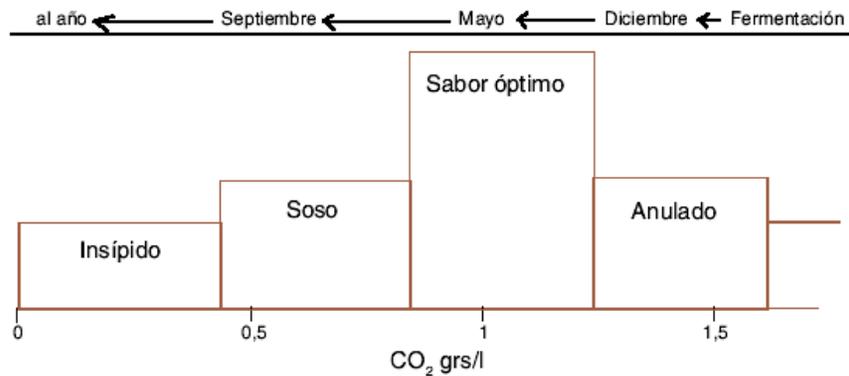
- Deficiencia en la percepción.* Catador poco sensible o enfermo (daltónico, anósmico, etc.).
- Estado fisiológico o psicológico.* Gran impacto de la memoria, la educación, la fatiga, la persuasión, la interacción entre diferentes estímulos.

b) A nivel de la interpretación estadística.

- Interpretación estadística errónea.* Muy frecuente.
- Error en estadística.* Es la probabilidad de un error. Se distinguen dos tipos, ya sea el detectar una diferencia o preferencia no existente, o no detectarla. Ésta última es

prácticamente inmedible. Corresponde esquemáticamente a una falta de robustez de la prueba y a la imposibilidad de obtener conclusiones de la evaluación.

*CO<sub>2</sub> y cata.* A partir de 1.2 g /l el CO<sub>2</sub> actúa definitivamente sobre la lengua produciendo picor (Ruiz y Martínez, 1997). Esto se aprecia en la Figura 2.9:



**Figura 2.9.** Cata de un vino joven según el contenido de CO<sub>2</sub> (Ruiz y Martínez, 1997)

Existe gran número de fichas de cata que se utilizan para la evaluación sensorial de los vinos, sin embargo, le dedican muy poca atención a la evaluación de la calidad de la espuma, menos de 5% del total de la valoración (Obiols *et al.*, 1998). Una de las más utilizadas, la unificada de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) de la Unión Internacional de Enólogos (UIOE), que se emplea en los concursos internacionales de vinos, sólo dedica un apartado a la puntuación de la calidad de la espuma que denomina “efervescencia” y que incluye la “finura” y la “persistencia” del gas (Ruiz y Martínez, 1997).

La efervescencia es un atributo de calidad difícil de concretar para el consumidor, en contraste con el aroma, color o gusto, puesto que solo percibe grandes diferencias. Los enólogos toman en cuenta factores como la formación y medida de burbujas, formación de espuma y collar, etc. Un gran número de expertos coinciden en señalar que la evaluación de espuma que se realiza en los concursos internacionales es subjetiva y no está sometida a criterios de evaluación que permitan otorgar una puntuación subjetiva y normalizada. Por este motivo, un grupo del Instituto Químico de Sarrià de la región de Cataluña, España, en colaboración con investigadores de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Barcelona y con técnicos del Grupo Freixenet, ha diseñado una ficha de cata y un protocolo de

evaluación de la efervescencia de la espuma de los vinos adecuado y normalizado. (Obiols *et al.*, 1998). De acuerdo con Polo (2002) es el protocolo más completo y adecuado para calificar la espuma de un vino. Este procedimiento prevé el control de los factores intrínsecos que puedan afectar la valoración, así como proporcionar objetividad y uniformidad a la inspección visual.

e) Análisis de imágenes. Comprende dos sistemas: captura de información y procesamiento de la información. Machet *et al.* (1993) utilizaron este método para caracterizar la espuma de Champaña en función del tiempo, midiendo la altura de corona (H) y el ancho de collar (W), encontrando valores del coeficiente de variación que fluctuaban entre 0.17 a 1.75%. El uso de cámaras fotográficas permite medir la frecuencia de formación de burbujas, la velocidad de crecimiento y su velocidad de ascenso (Liger-Belair *et al.*, 1999).

## **2.3. Procesamiento de imágenes**

### **2.3.1. Antecedentes**

De acuerdo con Du y Sun (2004) el incremento en la demanda de objetividad, consistencia y eficiencia de la industria alimenticia ha requerido la introducción de técnicas computarizadas de procesamiento de imágenes. La industria alimenticia se encuentra entre las diez primeras que utilizan el procesamiento de imágenes, el cual ha probado ser una técnica efectiva para la evaluación no destructiva y efectiva de muchos alimentos, ya que puede caracterizar cuantitativamente tamaños complejos, formas, color y textura de los alimentos, jugando cada vez un papel más relevante en la evaluación de la calidad de alimentos, manteniendo la precisión y consistencia mientras elimina la subjetividad de las inspecciones manuales. Las técnicas de procesamiento de imágenes son comúnmente combinadas con instrumentos que reemplazan la manipulación humana en el desarrollo de un proceso dado (Locht, 1996).

### **2.3.2. Etapas del procesamiento de imágenes**

El procesamiento de imágenes consiste básicamente de cinco etapas, las cuales se ilustran en la Figura 2.10:



Figura 2.10. Configuración de un sistema de procesamiento de imágenes general que incluye los cinco componentes (Du y Sun, 2004)

### 2.3.1.1. Adquisición de imágenes

Es la captura de una imagen en forma digital. Una imagen de alta calidad puede ayudar a reducir el tiempo y complejidad de los pasos subsecuentes, lo cual disminuye el costo de procesamiento por imagen (Du y Sun, 2004).

La iluminación es un prerequisite muy importante para la adquisición de la imagen; Novini (1990) reporta que la mayoría de los arreglos de iluminación pueden ser agrupados como algunos de los siguientes: luz frontal, luz posterior y luz estructurada. Realzando el contraste de una imagen con un sistema de iluminación bien diseñado, se puede mejorar la exactitud y llevar al éxito el análisis.

Se han utilizado varios tipos de sensores para convertir imágenes en forma digital, tales como (Du y Sun, 2004):

-  Cámaras con mecanismos de carga acoplada (CCD). Convierten la luz en cargas eléctricas y crean imágenes de alta calidad y poca distorsión con muchos píxeles y excelente sensibilidad a la luz, la cual está libre de distorsión geométrica y es altamente lineal a su respuesta a la luz. Es ampliamente usada para clasificación de calidad, detección de características físicas y estimación de propiedades de productos alimenticios. Acoplando diferentes filtros a estas cámaras se pueden analizar imágenes de regiones particulares del espectro de luz. Para adquirir una inspección completa de alimentos, es necesario utilizar más de una cámara para obtener imágenes de diferentes direcciones.
-  Ultrasonido. Para tejidos biológicos, existen dos tipos: modo A (modulación de amplitud) y modo B (modulación de brillo); mientras el primero es unidimensional y está limitado para medir profundidad del tejido, el último permite la caracterización de tejido con diferentes densidades. La mayor parte de aplicaciones se tienen en la industria de la carne, para medición de espesor de grasa, rendimiento y evaluación de calidad.

- 🖨 Resonancia magnética de imágenes (MRI). Basada en la absorción y emisión de energía en un rango de radiofrecuencia del espectro electromagnético. Se ha utilizado para medir humedad y su migración en sistemas alimenticios, para investigar propiedades físicas o biológicas y estimar el rendimiento. Las imágenes pueden ser en dos o tres dimensiones.
- 🖨 Tomografía computarizada (CT). Técnica no destructiva, basada en el diferencial que existe entre las velocidades en que un objeto atenúa los rayos X. Ha sido aplicado en muchos productos alimenticios, tales como peces, frutas, carnes y vegetales.
- 🖨 Tomografía eléctrica (ET). Explora las diferencias en las propiedades eléctricas de diversos materiales para producir capas de imágenes que son relativamente rápidas, no destructivas y de bajo costo. Existen variadas aplicaciones de esta técnica para el mejoramiento de diseño y operación de equipo y para asegurar alta y consistente calidad en alimentos. Su debilidad es que tiene relativa baja resolución espacial.

El primer sensor sólo funciona en medición de características externas, mientras que los demás son útiles para medidas internas.

### *2.3.1.2. Preprocesamiento*

El propósito de esta etapa es mejorar las imágenes, suprimiendo distorsiones inaceptables o realizando algunas características que son importantes para el tratamiento posterior y que crean una imagen más apropiada para una aplicación específica. Dos tipos de enfoque se identifican (dependiendo del tamaño de la vecindad de píxeles que es usado para calcular el nuevo píxel) (Du y Sun, 2004):

- 🖨 Por píxel. Puede ser visto como una operación de copiado píxel por píxel, excepto que los valores son modificados de acuerdo a una función de transformación específica. La transformación de un espacio de color a otro es el más utilizado. Existen diversos tipos de espacios de color, tales como HSI (matiz, saturación e intensidad),  $L^*a^*b$  (brillo, contenido de rojo o verde y contenido de amarillo o azul) y RGB (rojo, verde y azul, el cual hace referencia a la característica del ojo humano de percibir estos tres colores básicos y crear el resto a partir de sus combinaciones) (Cutanda-López, 2003).

 Por localidades. También conocido como filtrado, calcula el nuevo valor del píxel basado en el promedio de los valores de brillo en ciertos puntos de la vecindad (conjunto de píxeles que circundan al píxel de interés), que tienen propiedades similares a los puntos procesados. Las aplicaciones tienen varios enfoques, desde los relativamente directos hasta los muy complejos. El enfoque más básico, un filtro simple, es usado para suprimir el ruido u otras pequeñas fluctuaciones en la imagen. La técnica del filtro medio (no lineal) puede ser considerada un caso especial de los llamados filtros de grado estadístico, que permite a los contornos ser conservados mientras se filtra el pico de ruido. Es muy utilizado antes de aplicar una técnica de detección de bordes. Para casos especiales, se aplican métodos más complejos.

### 2.3.1.3. Segmentación de imágenes

Divide una imagen en los objetos que la constituyen. En el caso de técnicas desarrolladas para alimentos, éstas pueden ser divididas en cuatro tipos (Du y Sun, 2004):

 Binarización o “*thresholding*”. Técnica particularmente efectiva para escenas que contienen objetos sólidos sobre un fondo uniforme y contrastante, que distingue al objeto del resto con valores óptimos. En algunos casos, la sola aplicación de esta técnica no es suficiente para segmentar, debido a que el contraste varía dentro de la imagen. Otras técnicas pueden ser usadas para convertir la imagen y después segmentar con la binarización. En diversos casos, técnicas se pueden adaptar a la binarización para realizar la segmentación.

 De región. Pueden ser divididos en dos clases: de crecimiento y mezclado, GM, (método que revisa de abajo hacia arriba y agrupa los píxeles o subregiones en regiones mayores de acuerdo a criterios de homogeneidad); y separación y mezclado, SM, (revisa de arriba hacia abajo y divide sucesivamente una imagen en regiones cada vez más pequeñas hasta que cierto criterio se satisface). Los algoritmos computacionales son más lentos que los de binarización, pero pueden utilizar varias propiedades de las imágenes directa y simultáneamente para determinar la localización de la frontera final.

- 🖼 Gradiente. Intenta encontrar los contornos directamente, debido a la magnitud de gradiente que maneja. Su aplicación es limitada debido a que los contornos completos son difíciles de trazar en muchas imágenes de alimentos.
- 🖼 Clasificación. Asigna cada píxel a diferentes objetos basado en técnicas estadísticas, lógica difusa o red neural. Carecen de una forma estructurada para copiar con variaciones en rotación y escala, lo que limita su aplicabilidad.

#### 2.3.1.4. *Medición de objetos*

Una vez que la imagen ha sido segmentada en objetos discretos de interés, éstos pueden ser representados por proceso y análisis de las características de cada uno. A su vez, dichas características son comparadas con información conocida para clasificar a los objetos en una de varias categorías. Generalmente, las variables o características que son más fáciles de medir y contribuyen sustancialmente hacia la clasificación son los mejores para usar y son las siguientes (Du y Sun, 2004):

- 🖼 Tamaño. Las medidas más utilizadas son el área, perímetro y largo y ancho. La más básica es el área, que corresponde al número de píxeles dentro de una región determinada (para una representación de píxeles) y que se puede determinar contando directamente. El perímetro es muy útil cuando se trata de discriminar objetos con formas complejas de sencillas. El largo y ancho pueden ser usados para medir el tamaño. Es necesario localizar el eje mayor del objeto y medir su largo y ancho relativos.
- 🖼 Forma. Los objetos de una clase pueden ser distinguidos de otra con dimensiones físicas que caracterizan la apariencia de dichos objetos. Estas dimensiones pueden ser determinadas independientemente o por combinación de medidas de tamaño.
- 🖼 Color. Puede ser obtenido examinando cada píxel dentro de los límites del objeto y a menudo simplifica la extracción e identificación de una imagen. El color ha probado ser una medida objetiva de muchos tipos de alimentos, tales como frutas, verduras, carne y granos.
- 🖼 Textura. Representada por el arreglo espacial de niveles de gris de píxeles en una región. Es una característica importante para la descripción del área. Entre

los métodos de análisis, la mayoría de los enfoques son estadísticos, ya que calculan diferentes propiedades y proveen de características de textura como suavidad, rugosidad y granulosidad; éstos son apropiados cuando el tamaño de la textura original y el píxel son comparables. Muchos otros están basados en el espectro de Fourier y dimensiones fractales.

#### *2.3.1.5. Clasificación de objetos en grupos de interés*

Identifica la pertenencia de los objetos de interés en clases, lo cual implica comparar las medidas obtenidas con un objeto conocido o criterios conocidos y determina si ese objeto pertenece a una categoría en particular. El objetivo es simular la decisión humana, con las ventajas de consistencia y, dentro de cierto rango, claridad. Los más mencionados en la literatura son (Du y Sun, 2004):

-  Estadística. Muchos métodos de este tipo se han desarrollado para diversos productos alimenticios como canales de pollo, manzanas, cereales y pastelillos.
-  Lógica difusa. Agrupa muestras individuales en clases con fronteras no muy bien definidas. El principal beneficio es que el grado de las funciones de pertenencia pueden proveer mayor información acerca de la confianza de la asignación de la clase. Estos métodos han sido utilizados para clasificar peces, jitomate y pizza.
-  Redes neurales. Combina la complejidad de algunas técnicas estadísticas con una máquina que emula la inteligencia humana. Tienen aplicabilidad en granos, frutas, canales de pollo y verduras.

#### *2.3.3. Aplicación del procesamiento de imágenes en la industria de los alimentos*

Li, Wang y Gu (2002) implementaron un sistema automatizado para la detección de defectos superficiales en manzanas, el cual consiste en una unidad alimentadora, unidad de uniformidad espacial de manzana, un sistema de visión mecanizado y un clasificador-transportador. Las manzanas se suministraban al sistema de visión por medio del alimentador y la unidad de uniformidad espacial, y se categorizaban usando el clasificador-transportador.

Park *et al.* (1998) utilizaron una técnica multispectral de imágenes con cuatro cámaras CCD en un sistema de inspección en línea para separar las canales de pollo sanas de las que no lo estaban. Rigney *et al.* (1992) acoplaron filtros de interferencia de 400 a 620 nm a cámaras CCD para examinar el contraste entre tejido de espárrago bueno y defectuoso.

Fortín *et al.* (2003) utilizaron ultrasonido para clasificar canales de cerdo de acuerdo a su calidad; por su parte, Kim *et al.* (1998) emplearon análisis de imágenes de textura para caracterizar el contenido de grasa intramuscular en res, valiéndose de ultrasonido.

Evans *et al.* (2002) determinaron movilidad de agua y datos de humedad de fresas, mientras que Miquel *et al.* (2001) midieron la cinética de migración de lípidos en chocolate, a su vez, Song y Litchfield (1994) observaron el rompimiento por esfuerzo en granos de maíz; todas estas aplicaciones usando MRI.

Tao e Ibarra (2000) detectaron a través de CT fragmentos de hueso en pollos deshuesados, así como Barcelon *et al.* (1999) realizaron evaluación de la calidad interna de duraznos y Brecht *et al.* (1991) determinaron madurez de jitomates. También, Ogawa *et al.* (1998) emplearon CT de uso médico como método de inspección no destructivo para la detección y selección de materiales no metálicos embebidos en varios fluidos y materiales alimenticios.

Se han desarrollado sensores de tomografía de capacitancia eléctrica (ECT) para monitorear el número de piezas de fruta que entran a las máquinas de enlatado. Primrose y Bolton (2001) reportaron que la tomografía de resistencia eléctrica (ERT) puede ser aplicada para determinar la presencia de materiales extraños no conductores, concentraciones en línea de ingredientes particulares, grado de homogeneidad en mezcladores estáticos y por lote, burbujas y estructura en alimentos.

Sun y Brosnan (2003) usaron el modelo HSI para segmentar la salsa de la base de pizza y las zonas claras de las oscuras de la salsa estableciendo valores de HSI en diferentes rangos. De la misma forma, Vizhanyo y Felfoldi (2000) transformaron valores de RGB (rojo, verde y azul) a  $a^*$  y  $b^*$  y, eliminando la intensidad, obtuvieron excelentes resultados en la separación de enfermedades de champiñones.

Leemans *et al.* (1998) utilizaron dos tipos de filtros, “filtro medio 3x3” y “filtro 3x3” para segmentar defectos en manzanas ‘Golden Delicious’; a su vez, So y Wheaton

(1996) desarrollaron un método de suavizado para imágenes binarizadas de ostras, que incluye procesos de encogimiento, expansión y cerrado; también Goodrum y Elster (1992) aplicaron el “factor filtro” para resaltar las fracturas en imágenes de huevos sin aumentar otras características de la superficie y el ruido. Esta operación, junto con la extensión del contraste, produjo resultados satisfactorios.

Panigrahi *et al.* (1995) inventaron una técnica automática de binarización para segmentar el fondo de imágenes de germoplasma de maíz, basado en una modificación del algoritmo de Otsu usando teoría de probabilidades.

Sun (2000) desarrolló un algoritmo de segmentación de región para el procesamiento de imágenes de pizza. Éste emplea la segmentación de región como método dominante y combina las fortalezas de las técnicas de binarización y segmentación de bordes. El autor realizó un escaneo lineal en lugar del radial utilizado tradicionalmente.

Cober *et al.* (1997) midieron el área seccional de semillas de soya en dos orientaciones para estimar la herencia del tamaño de ésta, mientras que Paliwal *et al.* (1999) desarrollaron un algoritmo para una máquina de visión que permite distinguir las semillas de granos. A su vez, Shearer y Payne (1990) clasificaron variedades de pimientos de manera exitosa (arriba del 96%) utilizando sistemas de análisis de color de imágenes. Igualmente, Li *et al.* (1999) predijeron el grado de suavidad de la carne de res cocida por medio de características de textura de carne cruda.

#### **2.3.4. Aplicaciones en vinos espumosos**

Machet *et al.* (1993) estudiaron el comportamiento espumante de Champañas, utilizando cámaras de video conectadas a una computadora y un sistema de procesamiento de imágenes basado en binarización. Midieron la altura de la corona (H) y el ancho del collar (W) en función del tiempo, encontrando lo siguiente:

1. A pesar de ser un lote aparentemente homogéneo, se obtuvo una curva de W contra H para cada unidad experimental que se sometió al tratamiento.
2. La cinética de la desaparición de la espuma obedece a un modelo potencial.
3. El estado de la superficie de la copa afecta el comportamiento de la espuma.
4. De tres factores como son servido, orden de llenado y tipo de copa, éste último parece determinar la calidad de la espuma.

El trabajo realizado por Machet *et al.* estuvo enfocado en la caracterización de la espuma de Champaña utilizando procesamiento de imágenes, que es un método novedoso y automatizado, pero que no necesariamente refleja lo preferido por el consumidor de este tipo de vinos, por lo que es de vital importancia tener la apreciación de éste para comparar con los resultados que se obtengan por procesamiento de imágenes y dar una respuesta global acerca de la aceptación de los vinos espumosos.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

- 📄 Analizar la calidad de la espuma de vinos presentes en el mercado nacional por medio de procesamiento de imágenes y relacionar dichos resultados con los obtenidos mediante evaluación sensorial y burbujeo de gas.

### Objetivos específicos

- 📄 Analizar la calidad espumante de los vinos seleccionados a través de procesamiento de imágenes por computadora.
- 📄 Realizar la evaluación visual de la espuma de los vinos seleccionados a través de un panel de jueces entrenados para este efecto.
- 📄 Evaluar la calidad espumante de los vinos seleccionados por el método de burbujeo de gas.
- 📄 Llevar a cabo análisis estadísticos de correlación entre los resultados obtenidos por procesamiento de imágenes, evaluación sensorial y el método de burbujeo de gas.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en la Universidad Autónoma de Querétaro de México y en ENSIA (École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires) de Massy, Francia.

#### 3.1. Muestras de vino utilizadas

##### 3.1.1. *Criterios para su elección*

Se realizó un sondeo de marcas de vinos espumosos en 11 comercios, tanto en tiendas especializadas en la venta de vinos y licores como de autoservicio de la República Mexicana (de manera física y/o por vía electrónica). Este sondeo consistió en conocer el catálogo de ventas de vinos espumosos. La elección de las muestras de vinos a ser consideradas en el presente estudio se basó en los dos siguientes criterios:

1. Que la marca tuviera una distribución importante en el mercado. Se consideró así a los vinos que se encontraran en la mayor cantidad de establecimientos examinados.
2. Que en la totalidad de las muestras se contara con vinos de distintos países, con el fin de obtener una mayor diversidad en las muestras.

De acuerdo a lo anterior, se eligieron 29 muestras, las cuales satisficieron alguna de las dos características antes mencionadas o ambas. Trece muestras son de origen americano y las restantes de origen europeo. Entre las muestras americanas, la mayoría proviene de México, aunque existen muestras chilenas, californianas y argentinas. De las muestras europeas, la mayor parte es originaria de Italia y España, siendo la principal diferencia entre estos dos países el método de elaboración del vino espumoso, ya que en Italia utilizan el método Charmat y en España el método Champenoise. Finalmente dos vinos semiespumosos portugueses se eligieron para comparar su comportamiento con el de los espumosos (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Muestras analizadas

<i>Nombre</i>	<i>Origen</i>	<i>Código</i>
<i>André blanco</i>	California	ABC1
<i>André rosé</i>	California	ARC1
<i>Asti Martini</i>	Italia	AMI1
<i>Asti Riccadonna</i>	Italia	ARI1
<i>Cava Carta Nevada semi-sec</i>	España	CNE12s
<i>Cava Codorniu extra Brut</i>	España	CCE1
<i>Cava Cordón Negro brut</i>	España	CNE12
<i>Cava Sala Vivé brut</i>	México	SVM12b
<i>Cava Sala Vivé demi-sec</i>	México	SVM12s
<i>Cava Vallformosa brut</i>	España	CVE2b
<i>Cava Vallformosa demi-sec</i>	España	CVE2s
<i>Cava Viña Dolores demi-sec</i>	México	VDM2s
<i>Cava Viña Dolores rosé</i>	México	VDM2r
<i>Champagne Moët-Chandon</i>	Francia	MCF1
<i>Faber Krönung Sekt</i>	Alemania	FKA2
<i>Moscatto Caldirola</i>	Italia	MSI2
<i>Petillant brut</i>	México	PM12b
<i>Petillant demi-sec</i>	México	PM12s
<i>Prosecco Sperone</i>	Italia	PSI2
<i>Vino espumoso blanco Riunite</i>	Italia	RII2
<i>Vino espumoso Chambrulet brut</i>	México	CHM2
<i>Vino espumoso Concha y Toro</i>	Chile	CTC2
<i>Vino Espumoso Lancers demi-sec blanc</i>	Portugal	LBP2
<i>Vino Espumoso Lancers demi-sec rosé</i>	Portugal	LRP2
<i>Vino espumoso Santa Emiliana brut</i>	Chile	SEC2
<i>Vino espumoso Sire de Beaupré</i>	Francia	SBF2
<i>J.P. Chenet brut</i>	Francia	JPF2
<i>Cava Viña Dolores Gran Reserva</i>	México	VDM2g
<i>Vino espumoso Sua</i>	Argentina	SUA2

### 3.2. Tratamientos preexperimentales

Los tratamientos preexperimentales se realizaron de acuerdo a lo descrito por Obiols *et al.* (1998) y fueron aplicados tanto para el procesamiento de imágenes como para las pruebas de evaluación sensorial, de la misma manera para las pruebas de reproducibilidad.

### **3.2.1. Lavado de las copas**

Se dividió en tres etapas:

1. Lavado con agua corriente a 60 °C.
2. Enjuagado con abundante agua destilada a 60 °C, sin restregar la copa, cuidando que el agua mojara toda la superficie interior sin formar canales o puntos.
3. Escurrido libre del agua, manteniendo la copa invertida con la base hacia arriba, para favorecer la evaporación del agua y evitar que partículas de polvo y otros materiales caigan en la copa.

### **3.2.2. Caracterización de las copas**

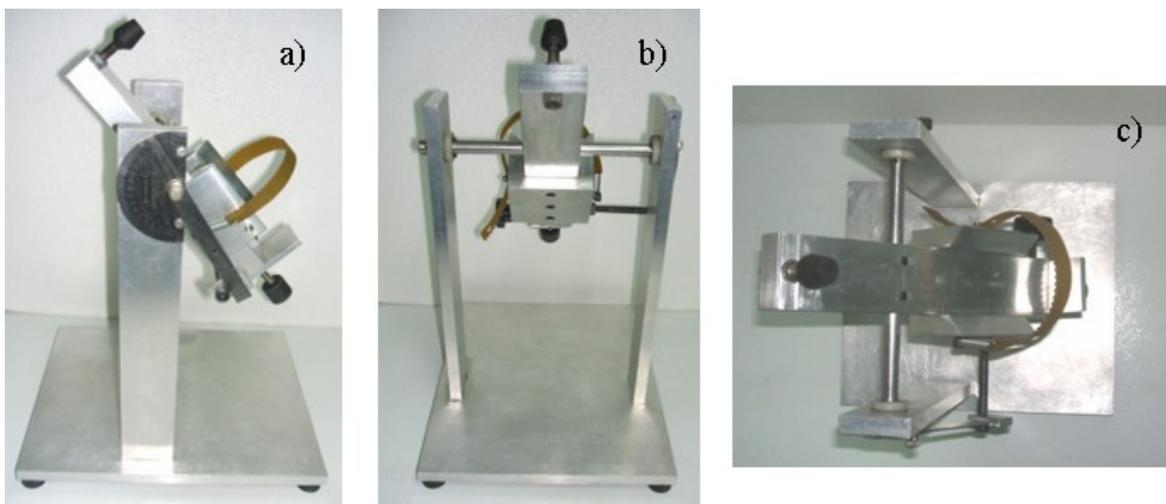
Para asegurarse de que el material con el que se encuentran hechas las copas y el lavado de las mismas no afectase el comportamiento de la espuma, se realizó un experimento consistente en hacer un único servido en cada una de las copas a utilizar, y medir la altura máxima de la corona obtenida en dicho servido por medio de procesamiento de imágenes. Se utilizaron tres botellas de bebida carbonatada de la misma marca y lote para cada copa. La copa fue lavada de la manera antes descrita entre cada servido.

### **3.2.3. Descorche de las botellas**

1. Se realizó de manera lenta, sin provocar ruido, reteniendo el tapón y sin agitar la botella, para evitar la formación de bolsillos de aire transitorios por el movimiento y que provocan una mayor efervescencia.
2. Se evitó que partículas extrañas (pedazos de corcho, del precinto o de la capucha metálica) cayeran dentro de la botella o de la copa, lo cual las invalidaría para la prueba.

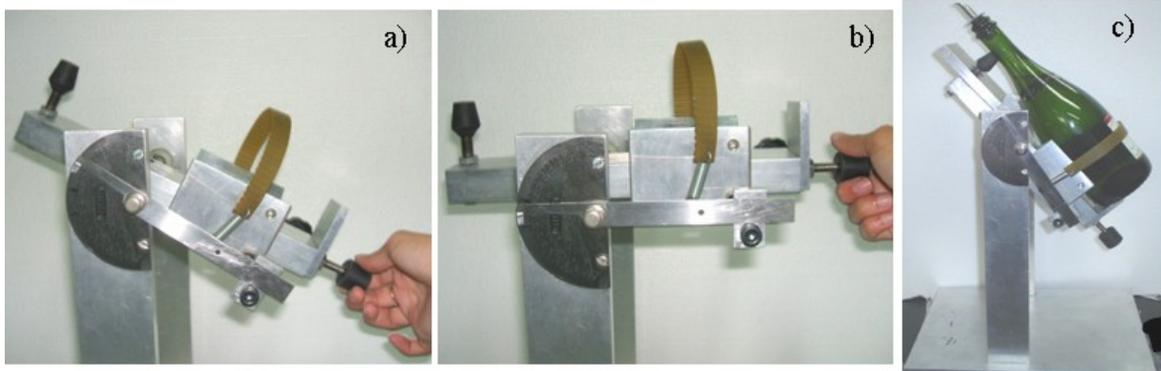
### **3.2.4. Servido**

Se define al *servido* como la acción de verter el vino en la copa. Para este proceso se diseñó un dispositivo que fuera capaz de efectuar el servido semimanual y con la menor variación posible. En la figura 3.1 se muestran las vistas del aparato fabricado.



**Figura 3.1. Aparato de servido utilizado en este estudio: a) Vista lateral; b) Vista frontal; c) Vista superior**

El aparato consiste en un soporte móvil con dos paneles laterales que impiden el rodamiento de la botella y un soporte para el cuello de la misma, unido a un eje fijo. El soporte móvil cuenta con una flecha que marca el ángulo de servido en un transportador colocado sobre uno de los lados del aparato. El movimiento del aparato de servido se ilustra en la Figura 3.2. Fijando el ángulo de servido, se pueden controlar variables de flujo como la velocidad y el volumen total de servido. Mediante pruebas preliminares se determinó que la velocidad de flujo adecuada para realizar los análisis fuera de 8 ml/s, ya que la espuma que produce el vino es suficiente para detectar diferencias sin que éste se desborde de la copa. Ahora, debido a que las botellas de las muestras utilizadas presentaban formas diversas, se realizaron pruebas para estandarizar el ángulo de servido. De manera general, para las botellas que tuvieron un diámetro de fondo mayor a 8 cm, el ángulo medido fue de 100°, y para las botellas con diámetro menor a este valor, el ángulo fue de 105°. Para controlar un poco el arco que forma el líquido al momento de salir de la botella, se colocó en la boca de la misma un tapón dosificador. Así, un servido consistió en llevar a la botella hasta el ángulo que le correspondía y sostenerla así durante 4 segundos.



**Figura 3.2. a) y b) Movimiento del aparato de servido; c) Aparato de servido con muestra**

### **3.3. Procesamiento de imágenes**

Se realizó en dos etapas: la primera consistió en la preparación y estandarización del aparato para adquirir imágenes y los programas para su análisis, y la segunda en la definición de las condiciones que prevalecerían durante la experimentación.

#### **3.3.1. Estandarización del método**

##### *3.3.1.1. Adquisición de imágenes*

Puesto que los factores que determinan en mayor medida la calidad de las imágenes son la iluminación y la posición de las cámaras, se puso mayor cuidado en estos aspectos.

En cuanto a la iluminación, se contó con dos lámparas de luz blanca de 7 W. La ubicación de la luz cambió en función de la variable a medir. Para la medición de la corona y collar se buscó generar un buen contraste entre el líquido, la espuma y la parte superior de la copa. Respecto a esto, la luz lateral (respecto a la cámara que midió la corona) fue la que ofreció mejor contraste; ésta también sirvió para el collar. Respecto a las características microscópicas, Liger-Belair (2005) menciona que la luz estroboscópica favorece la medición de velocidad de trenes porque “fija” las burbujas; así, se puede tener la distancia que recorre una burbuja en un determinado lapso de tiempo. También evita el efecto de “alargamiento” de las burbujas por el movimiento. Por eso, la iluminación que se utilizó

para imitar la luz estroboscópica fue la posterior, es decir, detrás de la copa y de frente a la cámara que adquirió imágenes de trenes.

Se contó con dos cámaras USB Philips TouCam Pro II PCVC 840, una para la corona y la otra para las burbujas. Además, para el collar, se utilizó una videocámara SONY Handycam modelo DCR-TRV140. Para la visión de la corona, se colocó una cámara frente a la copa. En el caso de las burbujas, la cámara se ubicó lo más cercano posible a la pared de la copa. Para el collar, la videocámara se posicionó en otro nivel respecto al de la copa y las otras cámaras, en ángulo de  $50^\circ$  respecto a la horizontal, con el fin de evitar atestar de aparatos el esquema y facilitar la manipulación durante los experimentos. Lo antes descrito se esquematiza en la Figura 3.3.

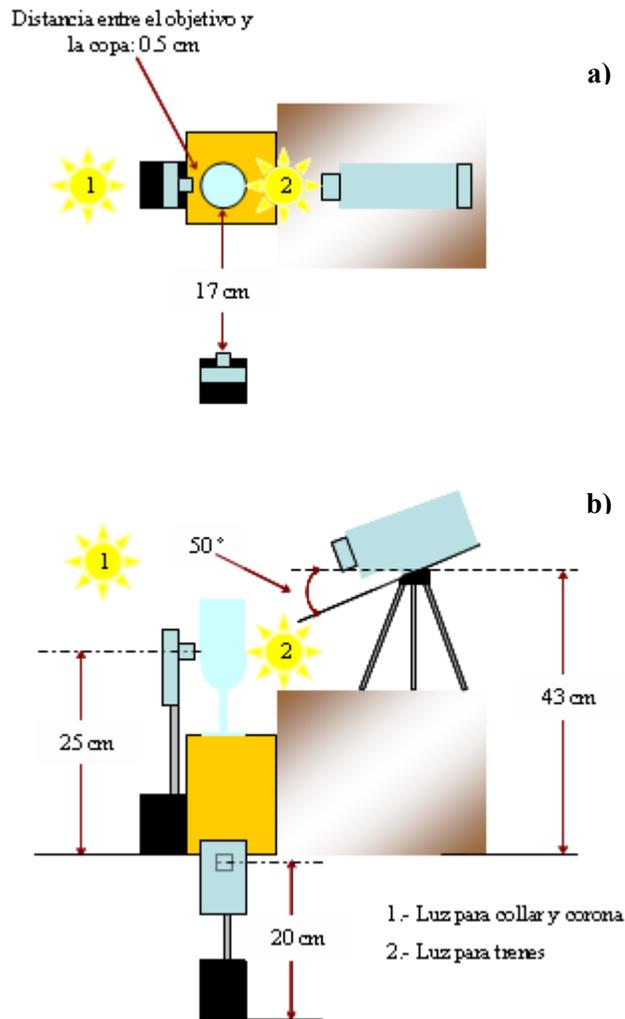


Figura 3.3. Esquema del aparato de adquisición de imágenes: a) Vista superior; b) Vista lateral

### *3.3.1.2. Generación de técnicas para el preprocesamiento y segmentación de imágenes y medición de las variables de respuesta*

Puesto que todas las cámaras obtuvieron videos y no imágenes individuales, dichos videos se fragmentaron (descompilaron) en imágenes con ayuda del programa *SC Video Decompiler* de OneStopSoft®. Una vez obtenidas las imágenes, se preprocesaron, segmentaron y algunas variables de respuesta fueron medidas con el programa *ImageJ* v. 1.33k. Para la corona, se generó un programa capaz de medir la altura de la espuma; para el collar, uno que determinó el área y forma de la espuma que cubre la superficie del vino, así como su densidad (medida indirectamente por su nivel de blancura); y, para las burbujas, uno que determinó su velocidad dentro de diferentes trenes, así como su diámetro. Finalmente, se generó otro programa en *ImageJ* para el manejo de las referencias. En el Anexo I se consigna el procedimiento utilizado para la obtención de todos los programas.

### **3.3.2. Conducción del experimento**

#### *3.3.2.1. Condiciones para las corridas experimentales*

Para enfocar las cámaras y determinar el número de píxeles/mm, se generaron varias referencias con papel milimétrico. Para la corona y el collar se colocó una tira de 1.5 x 5 cm y el enfoque se hizo respecto a la pared de la copa. Para los trenes, fue utilizado un cuadrado de 3 x 3 cm y el enfoque se hizo en la parte central de la copa, para localizar el mayor número de ellos.

Posteriormente, y con la lámpara para corona y collar encendida (lámpara A), se sirvió la muestra y se filmó la corona (cámara 1 conectada a una computadora) y, una vez que ésta desapareció y que empezaba a abrirse una zona libre de espuma sobre la superficie del vino, se filmó el collar (videocámara 2). Entre uno y dos minutos después del servido, se encendió la lámpara de trenes (lámpara B) y se grabó la efervescencia (cámara 3 conectada a una computadora).

Las condiciones de formato del video adquirido fueron las siguientes:

-  Velocidad de cuadros: 30 cuadros/s.
-  Tamaño de la imagen: 640 x 480 píxeles (corona y trenes), 720 x 480 píxeles (collar).

- 🖨️ Tamaño del píxel: de acuerdo a la referencia de la característica a medir.
- 🖨️ Control de las cámaras 1 y 3: manual, con compensación de contraluz automática para el caso de la cámara 1.

### **3.4. Evaluación sensorial**

#### ***3.4.1. Entrenamiento del panel de evaluación sensorial***

##### *3.4.1.1. Condiciones experimentales*

Para la evaluación sensorial, se siguió el procedimiento descrito por Obiols *et al.* (1998), con varias modificaciones, a saber:

- 🖨️ Copa: la capacidad de la copa fue de aproximadamente 180 ml., contrario a lo que proponen los autores arriba referidos, que debe ser de 1000 ml.
- 🖨️ Lavado: el escurrido no se llevó a cabo a través de un flujo de aire filtrado, sino por evaporación natural manteniendo las copas invertidas hasta eliminar la humedad, sin forzar el secado.
- 🖨️ Las muestras se mantuvieron a 4 °C hasta antes de la prueba.
- 🖨️ Las muestras no se presentaron por duplicado a los jueces debido al diseño experimental utilizado.
- 🖨️ Las fichas de cata fueron reformadas, ya que Gallart *et al.* (2004) determinaron que el descriptor “origen de las burbujas” no era discriminante debido a que todas las burbujas se generan en el vidrio; por lo tanto, éste se eliminó. Además, se utilizó una escala continua para calificar las variables a medir.

##### *3.4.1.2. Adiestramiento de jueces*

Con base en las modificaciones descritas en el inciso anterior, se preparó un curso para entrenar a los jueces. Los participantes fueron alumnos de licenciatura de la clase de Enología y del laboratorio de Fisiología y Bioquímica de Poscosecha de la Maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (17 personas en total).

### *3.4.1.3. Selección de los jueces*

Al finalizar el curso se realizó una prueba triangular, la cual consistió en establecer si existe diferencia sensorialmente perceptible entre dos muestras, comparando tres muestras a la vez, de las cuales dos fueron iguales entre sí y una diferente. Se realizaron diez ensayos, y cada participante marcó en la ficha de análisis la muestra desigual. Una vez recabadas las fichas, se seleccionaron a diez jueces, con el mayor número de aciertos. Para mayores detalles del curso y selección de los jueces, remitirse al Anexo II.

### **3.4.2. Pruebas de evaluación sensorial**

#### *3.4.2.1. Condiciones ambientales*

Los análisis se llevaron a cabo en un lugar donde no existió control de iluminación y temperatura, así que solo se tomaron datos de temperatura para tener la referencia del ambiente prevalente durante las pruebas.

#### *3.4.2.2. Condiciones de la prueba*

Las condiciones del análisis de acuerdo con Obiols *et al.* (1998) fueron las siguientes:

1. Las muestras se mantuvieron a 4 °C, en una cámara frigorífica.
2. La temperatura de servido durante todo el proceso fue de 10±2 °C.
3. Las pruebas se realizaron en cuatro sesiones de aproximadamente dos horas cada una, con intermedio de diez minutos para reducir el cansancio de los panelistas.
4. El servido de las copas se hizo en presencia de los jueces, quienes fueron acomodados de tal forma que pudieron observar correctamente el comportamiento de la espuma (utilizando la máquina de servido diseñada).
5. Una vez que los jueces recibieron la copa con la muestra correspondiente, se limitaron a observarla sin probar el vino.
6. En ningún caso se agitó la copa, cuando existieron burbujas de aire que pudieron interferir con la medida, se dieron pequeños golpes firmes en la mesa para eliminarlas.
7. No se permitió a los jueces tomar o agitar la copa.
8. Cada juez dispuso de tres minutos/muestra para emitir su evaluación.

Las variables evaluadas, de acuerdo a los criterios establecidos en el curso de entrenamiento fueron:

- 📄 Corona: se establece al momento de servir el vino en la copa. Debió formarse en abundancia y reducirse en el mismo tiempo en que se formó o llenó la copa. Durante la reducción de esta espuma se observó la ausencia de líquido o de espuma adherida a la pared de la copa; de no ser así, la muestra se descartaría por no ofrecer resultados reproducibles. Se midió el tiempo de reducción así como la altura máxima como se estableció anteriormente en el curso.
- 📄 Collar: es la figura que se forma después de la reducción de la corona, vista por la parte superior de la copa. Ésta debió de permanecer al menos unos 20 seg. después de la desaparición de la espuma para considerarse como collar. Se evaluó su densidad (capas de burbujas que la forman) y la superficie que cubrió respecto al vino.
- 📄 Burbujas: son producidas por el servido del vino en la copa; aparecen en diferentes puntos de nucleación y emiten trenes continuos. No se consideran las burbujas de aire ocluidas durante la operación de servido. Se determinó el número de trenes, diámetro de las burbujas y la velocidad de efervescencia (velocidad de las burbujas dentro de un tren).

#### 3.4.2.3. Fichas de evaluación sensorial

Se utilizó una modificación de las fichas utilizadas por Obiols *et al.* (1998). En dichas fichas se consignaron las variables a evaluar así como la escala bajo la cual se calificaron las diversas muestras. La escala se cambió de valores discretos a continuos, para realizar el análisis de correlación. La escala continua se midió en centímetros. El criterio de calificación de los jueces, así como el formato de la ficha de análisis se observan en el Anexo II.

### 3.5. Método de burbujeo de gas

La espuma a medir fue generada a través del método de inyección de gas, utilizando el aparato Grosseron PM 930, consistente en un tubo de plexiglass de 25 mm de diámetro

interno, en la base del cual se inyecta gas a través de un disco poroso ( $0.2 \mu\text{m}$ ) a presión y flujo conocidos (Figura 3.4).

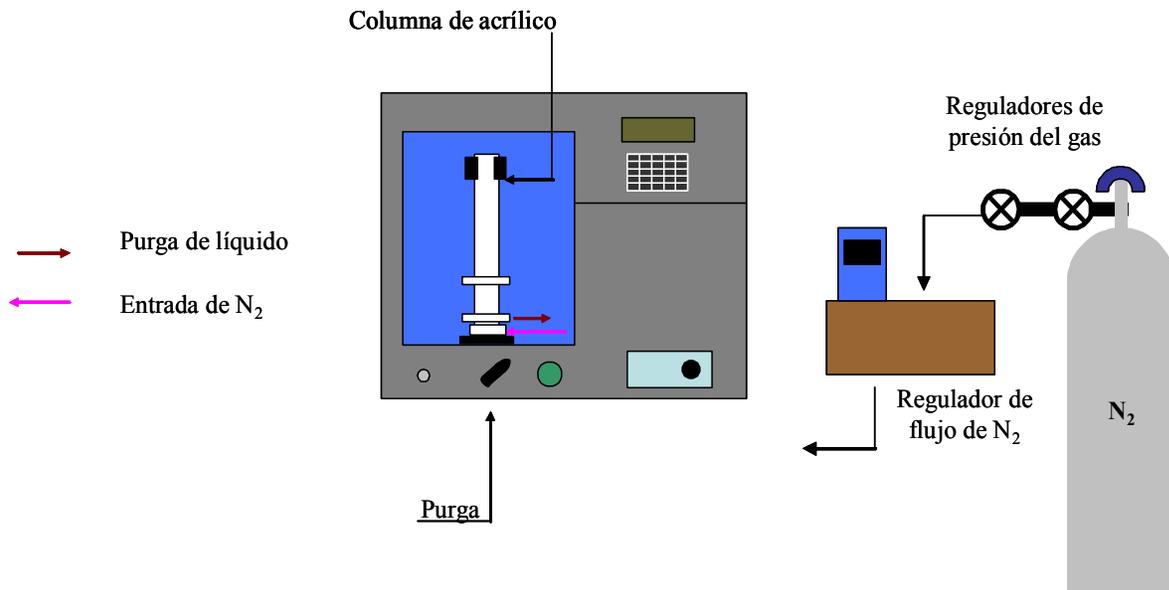


Figura 3.4. Esquema del aparato de inyección de gas

Las condiciones de prueba fueron:

- Flujo de  $\text{N}_2$ : 93 ml/min.
- Presión de salida del  $\text{N}_2$ : 1.2 bars.
- Tiempo de inyección de aire: 3 minutos.
- Volumen de muestra: 30 ml., desgasificadas por agitación durante 20 minutos.

Las variables determinadas a través de este sistema fueron las descritas por Gallart *et al.* (1997); a saber:

a) Altura máxima alcanzada por la muestra durante la inyección del  $\text{N}_2$  (HM), medida en mm.

b) Tiempo en el cual todas las burbujas colapsan después de la inyección del  $\text{N}_2$  (TS), medido en segundos.

c) Tiempo de vida promedio de una burbuja en estado estacionario, también conocido como coeficiente de Bikerman ( $\Sigma$ ), que corresponde a la relación entre el

volumen de espuma cuando se alcanza una altura constante y estable (ml) y el flujo de aire inyectado (ml/s).

Dichas variables se midieron a través de análisis de imágenes. Cada muestra se procesó por triplicado. Los detalles del sistema de adquisición de imágenes se muestran en el Anexo III.

### **3.6. Diseño de los experimentos**

#### ***3.6.1. Diseño experimental***

El diseño experimental utilizado para la evaluación sensorial y el procesamiento de imágenes fue el de bloques al azar. Para el procesamiento de imágenes, el bloque correspondió a cada uno de los servidos y para la evaluación sensorial el bloque fue el juez. Dentro de cada bloque se aleatorizó la marca del vino, que fungió como tratamiento. Se tuvieron tantas repeticiones como servidos (seis) o como número de jueces (diez). La unidad experimental para los dos análisis fue el servido. Para el método de burbujeo de gas, la unidad experimental fueron 30 ml de vino espumoso y se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones.

#### ***3.6.2. Factores de estudio***

Tipo de vino.

Servido (en evaluación sensorial).

#### ***3.6.3. Tratamientos***

Son los diferentes vinos evaluados (ver Tabla 3.1). En el caso del método de burbujeo de gas, fueron 27 muestras (no se analizaron MCF1 y ABC1 debido a la escasez de muestra).

#### ***3.6.4. Variables evaluadas***

Las variables evaluadas para analizar el comportamiento de la espuma en las pruebas de procesamiento de imágenes y evaluación sensorial fueron las siguientes:

 Tiempo de formación y destrucción de la corona.

- ☞ Altura máxima alcanzada por la corona al momento del servido.
- ☞ La densidad del collar.
- ☞ La superficie que cubre el collar respecto al vino.
- ☞ Número de trenes.
- ☞ Diámetro de las burbujas de los trenes.
- ☞ Velocidad de efervescencia (velocidad promedio de las burbujas dentro de un tren).

Las variables medidas por el método de burbujeo de gas fueron:

- ☞ HM (altura máxima alcanzada por la espuma).
- ☞ TS (tiempo en que todas las burbujas colapsan después de detener el flujo de gas).
- ☞  $\Sigma$ , coeficiente de Bikerman (volumen de espuma cuando la altura de la misma permanece constante entre el flujo de gas a presión constante).

### 3.7. Análisis de los datos

Para el caso de procesamiento de imágenes, evaluación sensorial y el método de burbujeo de gas, se realizaron análisis de varianza de Fisher para determinar la significancia estadística de los factores de estudio así como la prueba de medias de Tukey (nivel de confianza de 95%), con ayuda del paquete estadístico *JMP* versión 5.0.1.

Para la prueba triangular aplicada en la selección del panel de evaluación sensorial, para un nivel de confianza de 95%, los datos obtenidos se ordenaron según el número de respuestas correctas que obtuvo cada juez, de acuerdo con el número de veces que se repitió cada análisis. Los resultados se compararon con tablas para determinar el número mínimo de juicios correctos para un nivel de confianza de 95% y la cantidad de juicios correctos en  $N$  comparaciones efectuadas, de acuerdo con Pedrero y Pangborn (1989).

Finalmente, se llevó a cabo un análisis de correlación lineal por pares y un análisis de componentes principales entre las distintas variables evaluadas por procesamiento de imágenes, evaluación sensorial y burbujeo de gas, y entre estas tres, utilizando el paquete

estadístico *JMP* versión 5.0.1, con el objeto de encontrar relaciones entre los diferentes métodos, así como entre las muestras analizadas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Evaluación sensorial

#### 4.1.1. Análisis de varianza

En este estudio se evaluaron los efectos del tipo de vino, el servido, la interacción tipo de vino x servido, así como el del juez (correspondiente al bloque) sobre las siete variables de respuesta consideradas. En la Tabla 4.1 se muestran los valores “F” y la significancia estadística en los análisis de varianza para las siete distintas variables consideradas.

Tabla 4.1. Valores de F y significancia estadística en el Análisis de Varianza de Evaluación Sensorial por factor

<i>Variable de respuesta / F.V.</i>	<i>Altura de la corona</i>	<i>Tiempo estabilidad corona</i>	<i>Densidad collar</i>	<i>Superficie collar</i>	<i># trenes</i>	<i>Diámetro burbuja</i>	<i>V efervescencia</i>
<i>A. Tipo de vino</i>	234.6 **	106.8 **	287.0 **	552.9 **	46.6 **	11.5 **	41.9 **
<i>B. Servido</i>	47.5 **	6.2 **	14.3 **	35.7 **	19.0 **	7.0 **	7.9 **
<i>IA x B (TV*S)</i>	6.9 **	3.6 **	6.5 **	8.8 **	18.5 **	3.2 **	8.4 **
<i>Juez (bloque)</i>	45.0 **	33.4 **	34.0 **	42.7 **	19.1 **	38.2 **	13.1 **
<i>C.V. (%)</i>	<b>18.9</b>	<b>27.0</b>	<b>26.3</b>	<b>18.5</b>	<b>28.2</b>	<b>22.3</b>	<b>25.5</b>

\*\* Altamente significativo

C.V. Coeficiente de variación

En ella se observa que todos los factores de estudio y la interacción (tipo de vino x servido) tuvieron efectos altamente significativos ( $P \leq 0.01$ ) sobre todas las variables estudiadas, siendo el más relevante el tipo de vino, lo cual indica que existen grandes diferencias entre los tratamientos y que éstas fueron detectadas por los jueces. Es destacable la existencia de interacción entre el tipo de vino y el servido, lo que muestra que el comportamiento espumante es función del estado en el que se encuentre el vino al momento

del servido. Como era de esperarse, los jueces aportaron variabilidad en este estudio a pesar de haber sido sometidos a un proceso de entrenamiento; esto puede sugerir una falta de adiestramiento o diferencia en la apreciación entre los jueces, aunque de acuerdo con Chambers *et al.* (2004) un entrenamiento “corto” (4 horas) es suficiente para distinguir las diferencias entre los atributos de un producto y la variación aportada por lo jueces se redujo de la variabilidad total al utilizar el modelo de bloques al azar. Los coeficientes de variación (que van de 18.5% al 28.2%) son aceptables para pruebas sensoriales utilizando panelistas entrenados.

#### 4.1.2. Separación de medias

##### a) Efecto del servido

La altura de la corona disminuyó conforme transcurren los servidos, contrario a lo que sucede con las variables relativas al collar (densidad y superficie). En el caso del diámetro de burbuja, solo el primer servido fue diferente del resto. En las otras variables no se observó tendencia alguna en función del servido (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Efecto del servido sobre las variables consideradas <sup>1</sup>

<i>Variable de respuesta/servido</i>	<i>Altura de la corona</i>	<i>Tiempo est corona</i>	<i>Densidad collar</i>	<i>Superficie collar</i>	<i># trenes</i>	<i>Diámetro burbuja</i>	<i>V efervescencia</i>
<b>1</b>	6.36 <sup>A1</sup>	5.14 <sup>C</sup>	5.10 <sup>D</sup>	6.24 <sup>CD</sup>	5.97 <sup>A</sup>	7.78 <sup>A</sup>	5.96 <sup>C</sup>
<b>2</b>	6.06 <sup>B</sup>	5.52 <sup>AB</sup>	5.24 <sup>CD</sup>	5.94 <sup>D</sup>	5.39 <sup>BC</sup>	7.17 <sup>B</sup>	6.49 <sup>A</sup>
<b>3</b>	5.66 <sup>C</sup>	5.62 <sup>A</sup>	5.38 <sup>CD</sup>	6.25 <sup>C</sup>	4.87 <sup>D</sup>	6.99 <sup>B</sup>	6.36 <sup>AB</sup>
<b>4</b>	5.60 <sup>CD</sup>	5.20 <sup>BC</sup>	5.52 <sup>BC</sup>	6.69 <sup>B</sup>	5.42 <sup>B</sup>	7.32 <sup>B</sup>	6.03 <sup>BC</sup>
<b>5</b>	5.35 <sup>D</sup>	5.19 <sup>BC</sup>	5.84 <sup>AB</sup>	6.83 <sup>AB</sup>	5.11 <sup>BCD</sup>	7.34 <sup>B</sup>	5.91 <sup>C</sup>
<b>6</b>	5.01 <sup>E</sup>	5.13 <sup>C</sup>	5.92 <sup>A</sup>	7.09 <sup>A</sup>	5.04 <sup>CD</sup>	7.38 <sup>B</sup>	5.85 <sup>C</sup>
<b>DMS</b>	<b>0.26</b>	<b>0.34</b>	<b>0.35</b>	<b>0.29</b>	<b>0.36</b>	<b>0.39</b>	<b>0.38</b>

<sup>1</sup> Letras distintas entre cada columna indican diferencia estadística significativa; Tukey (p≤0.05)

La disminución en la altura de la corona en función del número de servido puede estar ligada a la pérdida paulatina de CO<sub>2</sub> en el seno del líquido. Después del descorche de la botella, el vino supersaturado de gas busca el equilibrio termodinámico eliminando el

CO<sub>2</sub> disuelto. De acuerdo con Liger-Belair (2005), la mayor pérdida de gas en una copa ocurre por difusión a través del espejo del líquido (80%) y el resto lo hace por efervescencia (20%), aunque esto ya había sido observado por Gomerieux (1989). Debido a que los servidos no son continuos y existe una diferencia de tiempo entre ellos, y hay pérdida de gas por la formación de corona, se puede asumir que cada servido es un pseudoequilibrio, donde la cantidad de CO<sub>2</sub> inicial para ese equilibrio y disponible para formar la corona es menor.

De la misma manera, el diámetro de burbuja está relacionado con la cantidad de gas en el líquido. En el caso de los vinos espumosos, las burbujas son formadas por nucleación heterogénea, donde se requiere una cavidad preestablecida cuyo diámetro es inversamente proporcional a la concentración de gas en el medio. Como se mencionó anteriormente, las moléculas de CO<sub>2</sub> escapan progresivamente del líquido gracias al burbujeo y difusión a través de la superficie, disminuyendo la concentración del gas en el medio y el radio crítico requerido para la formación de burbujas aumenta (Liger- Belair, 2005). Aún así, los jueces no fueron capaces de distinguir la diferencia en el tamaño de la burbuja entre el segundo y sexto servidos.

Con relación al collar, éste se forma por el colapso de la corona y es alimentado por la efervescencia (Senée *et al.*, 1999), pero su estabilidad no es exclusivamente debida a la persistencia de la efervescencia, sino también a criterios fisicoquímicos como la tensión superficial del vino y su composición química y coloidal (Gomerieux, 1989), los cuales actúan a nivel de la película de líquido funcionando como estabilizadores o desestabilizadores (Senée *et al.*, 1998). Así, puede ser que el CO<sub>2</sub> sea quien dirija la respuesta del collar en los servidos iniciales, ya que al haber mayor cantidad de gas, las burbujas que conforman el collar son más grandes, su densidad es menor y no cubren mayor superficie. Conforme transcurren los servidos, la cantidad de gas disminuye, dando oportunidad a los compuestos coloidales, tales como los polipéptidos de las levaduras, proteínas o polisacáridos de la uva de interactuar con las burbujas, a favorecer la estabilidad del collar, aunado a que las burbujas son de menor tamaño.

### b) Efecto del tipo de vino

En la Tabla 4.3 se aprecia la separación de medias de los distintos vinos analizados.

Respecto a la altura de la corona, la *Champaña* (MCF1) fue el vino mejor evaluado por los jueces (10), lo cual era de esperarse, ya que es reconocida a nivel mundial como el vino espumoso por excelencia. Los vinos *Lancers semiespumosos* (LBP2 y LRP2) obtuvieron las más bajas calificaciones (ambos con 0.47), siendo esto comprensible puesto que tienen menor contenido de gas que un vino espumoso y, por lo tanto, existe menos disponibilidad del mismo para formar la corona. Los vinos mexicanos se distribuyeron a lo largo de la tabla, lo que obviamente indica grandes diferencias en la calidad de los vinos nacionales. Esto ocurre aún dentro de un mismo productor, como lo es el caso de Freixenet de México, donde el vino *Doña Dolores* (VDM2g) estuvo entre los mejor evaluados, mientras que el *Sala Vive demi sec* (SVM12s) mostró la menor calificación (8.07 y 3.72, respectivamente), pudiendo esto deberse al tiempo de añejamiento, mayor en *Doña Dolores* que en *Sala Vive*.

En cuanto a la estabilidad de la corona, un *Asti* italiano (ARI1) presentó la mayor calificación (8.99), quedando los *Lancers semiespumosos* (LBP2 y LRP2) en el extremo opuesto (0.37 y 0.43, respectivamente). Entre los vinos mexicanos se encuentran *Petillant brut* de Freixenet (PM12b) y *Chambrulet* de L.A. Cetto (CHM2) como mejor y peor evaluados (7.32 y 3.53), respectivamente. Es de hacer notar que la *Champaña* (MCF1) presentó calificaciones bajas similares a *Chambrulet* (CHM2) (4.28). Dentro de los posibles mecanismos de estabilización de la espuma se encuentra la viscosidad del líquido, el cual es el factor determinante en el grado de drenado por gravedad (Rosen, 2004). Si consideramos al líquido como una mezcla hidroalcohólica, el mayor valor de viscosidad lo tendrá aquella muestra con menor porcentaje de alcohol. De acuerdo con la etiqueta de las muestras, el *Asti* (ARI1) contenía 7% de alcohol v/v, mientras que la mayoría de las muestras se sitúan entre 9 y 12% v/v, lo cual es compatible con los resultados. Otro fenómeno que afecta la estabilidad de la espuma es la distribución del tamaño de burbuja en la espuma. Al existir grandes diferencias de tamaño, se presentan mayores diferencias de presión y el drenado es más evidente (Walstra, 2003). Este fenómeno está ligado a la difusión del gas entre las burbujas. Datos experimentales indican que la transferencia del gas tiene lugar a través de

**Tabla 4.3. Efecto del tipo de vino espumoso en las características espumantes consideradas <sup>1</sup>**

<i>Tipo de vino</i>	<i>Altura máxima de corona</i>	<i>Tiempo estabilidad de corona</i>	<i>Densidad del collar</i>	<i>Superficie que cubre el collar</i>	<i>No. de trenes</i>	<i>D burbuja</i>	<i>V efervescencia</i>
<i>MCF1</i>	9.21 <sup>AI</sup>	4.28 <sup>IJ</sup>	0.11 <sup>M</sup>	0.08 <sup>J</sup>	4.39 <sup>G</sup>	7.91 <sup>ABCD</sup>	3.94 <sup>L</sup>
<i>CNE12</i>	8.41 <sup>B</sup>	3.37 <sup>JK</sup>	0.32 <sup>LM</sup>	0.29 <sup>IJ</sup>	6.33 <sup>BCD</sup>	8.05 <sup>ABC</sup>	6.24 <sup>DEFGHIJ</sup>
<i>VDM2g</i>	8.07 <sup>BC</sup>	6.04 <sup>DEF</sup>	8.33 <sup>BCD</sup>	9.29 <sup>ABC</sup>	5.10 <sup>EFG</sup>	7.34 <sup>ABCD</sup>	5.89 <sup>GHIJK</sup>
<i>VDM2s</i>	7.68 <sup>CD</sup>	6.69 <sup>BCD</sup>	8.11 <sup>BCDEF</sup>	9.11 <sup>ABC</sup>	6.34 <sup>BCD</sup>	7.66 <sup>ABCD</sup>	6.27 <sup>DEFGHIJ</sup>
<i>CHM2</i>	7.33 <sup>D</sup>	3.53 <sup>JK</sup>	1.09 <sup>KLM</sup>	1.43 <sup>GH</sup>	2.17 <sup>H</sup>	7.59 <sup>ABCD</sup>	5.68 <sup>IJK</sup>
<i>CTC2</i>	7.23 <sup>DE</sup>	5.26 <sup>FGH</sup>	5.22 <sup>I</sup>	8.91 <sup>BC</sup>	6.28 <sup>BCD</sup>	7.80 <sup>ABCD</sup>	6.21 <sup>DEFGHIJ</sup>
<i>CNE12s</i>	7.21 <sup>DE</sup>	4.55 <sup>HI</sup>	3.13 <sup>J</sup>	0.98 <sup>HI</sup>	5.08 <sup>EFG</sup>	7.25 <sup>ABCD</sup>	7.33 <sup>ABC</sup>
<i>CVE2b</i>	7.17 <sup>DE</sup>	4.86 <sup>GHI</sup>	0.78 <sup>KLM</sup>	0.85 <sup>HIJ</sup>	4.99 <sup>EFG</sup>	7.17 <sup>ABCDE</sup>	6.22 <sup>DEFGHIJ</sup>
<i>CVE2s</i>	7.16 <sup>DE</sup>	5.62 <sup>EFG</sup>	1.29 <sup>KL</sup>	2.07 <sup>G</sup>	5.49 <sup>DEF</sup>	6.96 <sup>CDE</sup>	6.74 <sup>BCDEFGHI</sup>
<i>ARC1</i>	6.54 <sup>EF</sup>	4.91 <sup>GHI</sup>	1.39 <sup>K</sup>	2.01 <sup>G</sup>	6.30 <sup>BCD</sup>	7.73 <sup>ABCD</sup>	7.07 <sup>BCDEF</sup>
<i>PM12b</i>	6.42 <sup>F</sup>	7.32 <sup>B</sup>	8.77 <sup>AB</sup>	9.47 <sup>AB</sup>	7.41 <sup>A</sup>	8.25 <sup>A</sup>	7.31 <sup>ABCD</sup>
<i>AMI1</i>	6.42 <sup>F</sup>	7.63 <sup>B</sup>	8.54 <sup>BC</sup>	9.46 <sup>AB</sup>	5.58 <sup>CDE</sup>	7.17 <sup>ABCDE</sup>	6.22 <sup>DEFGHIJ</sup>
<i>CCE1</i>	6.34 <sup>F</sup>	2.80 <sup>K</sup>	0.49 <sup>KLM</sup>	0.20 <sup>IJ</sup>	5.46 <sup>DEF</sup>	7.31 <sup>ABCD</sup>	6.77 <sup>BCDEFGH</sup>
<i>SEC2</i>	6.08 <sup>FG</sup>	6.82 <sup>BCD</sup>	8.22 <sup>BCDEF</sup>	9.21 <sup>ABC</sup>	4.77 <sup>EFG</sup>	7.94 <sup>ABC</sup>	7.16 <sup>BCDE</sup>
<i>VDM2r</i>	5.93 <sup>FGH</sup>	5.55 <sup>EFG</sup>	6.58 <sup>GH</sup>	8.87 <sup>BC</sup>	6.19 <sup>BCD</sup>	8.16 <sup>AB</sup>	6.93 <sup>BCDEFG</sup>
<i>SBF2</i>	5.92 <sup>FGH</sup>	6.29 <sup>CDE</sup>	3.99 <sup>J</sup>	4.93 <sup>F</sup>	6.55 <sup>ABC</sup>	7.66 <sup>ABCD</sup>	7.52 <sup>AB</sup>
<i>PM12s</i>	5.90 <sup>FGHI</sup>	5.48 <sup>EFGH</sup>	7.22 <sup>FG</sup>	9.06 <sup>ABC</sup>	5.54 <sup>CDEF</sup>	7.58 <sup>ABCD</sup>	6.51 <sup>BCDEFGHIJ</sup>
<i>ABC1</i>	5.40 <sup>GHI</sup>	4.77 <sup>GHI</sup>	3.81 <sup>J</sup>	6.09 <sup>E</sup>	4.96 <sup>EFG</sup>	6.06 <sup>E</sup>	6.02 <sup>FGHIJK</sup>
<i>ARI1</i>	5.29 <sup>HI</sup>	8.99 <sup>A</sup>	9.60 <sup>A</sup>	9.83 <sup>A</sup>	4.26 <sup>G</sup>	7.90 <sup>ABCD</sup>	5.87 <sup>HIJK</sup>
<i>PSI2</i>	5.19 <sup>I</sup>	6.12 <sup>DEF</sup>	8.22 <sup>BCDEF</sup>	9.09 <sup>ABC</sup>	5.10 <sup>EFG</sup>	7.24 <sup>ABCD</sup>	5.60 <sup>JK</sup>
<i>FKA2</i>	4.38 <sup>J</sup>	7.16 <sup>BC</sup>	7.52 <sup>DEFG</sup>	8.75 <sup>BCD</sup>	5.07 <sup>EFG</sup>	6.80 <sup>DE</sup>	6.13 <sup>DEFGHIJ</sup>
<i>SUA2</i>	4.38 <sup>J</sup>	6.27 <sup>CDE</sup>	8.52 <sup>BC</sup>	9.43 <sup>AB</sup>	7.45 <sup>A</sup>	6.96 <sup>CDE</sup>	8.27 <sup>A</sup>
<i>JPF2</i>	4.14 <sup>J</sup>	6.06 <sup>DEF</sup>	5.72 <sup>HI</sup>	8.47 <sup>CD</sup>	5.65 <sup>CDE</sup>	7.46 <sup>ABCD</sup>	6.68 <sup>BCDEFGHI</sup>
<i>RII2</i>	3.91 <sup>J</sup>	5.66 <sup>EFG</sup>	7.32 <sup>EFG</sup>	8.68 <sup>BCD</sup>	5.78 <sup>BCDE</sup>	7.06 <sup>BCDE</sup>	6.14 <sup>DEFGHIJ</sup>
<i>SVMI2s</i>	3.72 <sup>J</sup>	6.08 <sup>DEF</sup>	7.87 <sup>BCDEF</sup>	9.08 <sup>ABC</sup>	6.79 <sup>AB</sup>	7.39 <sup>ABCD</sup>	6.28 <sup>CDEFGHIJ</sup>
<i>MSI1</i>	2.45 <sup>K</sup>	5.5 <sup>EFGH</sup>	8.24 <sup>BCDE</sup>	9.22 <sup>ABC</sup>	4.55 <sup>FG</sup>	7.15 <sup>ABCDE</sup>	5.06 <sup>K</sup>
<i>LBP2</i>	0.47 <sup>L</sup>	0.37 <sup>L</sup>	5.87 <sup>HI</sup>	7.94 <sup>D</sup>	2.02 <sup>H</sup>	4.42 <sup>F</sup>	2.14 <sup>M</sup>
<i>LRP2</i>	0.47 <sup>L</sup>	0.43 <sup>L</sup>	7.66 <sup>CDEF</sup>	9.38 <sup>AB</sup>	2.84 <sup>H</sup>	7.29 <sup>ABCD</sup>	2.61 <sup>M</sup>
<b>DMS</b>	0.52	0.39	0.53	0.45	0.55	0.61	0.61

<sup>1</sup> Letras distintas entre filas indican diferencia estadística significativa; Tukey ( $\alpha < 0.05$ )  
 Para detalles de las claves de los vinos ver Tabla 4.1

poros acuosos entre las moléculas surfactantes en la superficie de la película que recubre a la burbuja (Princen *et al.*, 1967). Las moléculas surfactantes, al tener un acomodo cercano entre ellas, disminuirían el grado de difusión entre burbujas.

En cuanto a las variables del collar, encontramos al *Asti* italiano (ARI1) como el mejor evaluado tanto en densidad como en superficie (9.6 y 9.83, respectivamente) y, contrario a lo que se esperaba, la *Champaña* (MCF1) ocupó el último lugar (alrededor de 0.1). Se ha reportado que el utilizar uvas contaminadas con *Botrytis cinerea* en la elaboración de *Champaña* modifica su capacidad espumante y al servirla en una copa no se forma collar (Marchal *et al.*, 2001) debido a que las proteasas liberadas por este hongo, degradan las proteínas disueltas en el vino (Marchal *et al.*, 2006), destruyendo su capacidad surfactante, lo cual pudiera explicar el fenómeno observado por los panelistas. Entre los vinos mexicanos, *Petillant* de Freixenet (PM12b) fue el mejor evaluado por los jueces (8.77 para densidad y 9.46 para superficie), contrario a *Chambrulet* de L.A. Cetto (CHM2) (1.09 para densidad y 1.43 para superficie).

Finalmente, para las variables relacionadas con la efervescencia, el vino espumoso argentino *Sua* (SUA2) presentó tanto la mayor velocidad de efervescencia como el mayor número de trenes (8.27 y 7.45, respectivamente), así como el vino mexicano *Petillant* de Freixenet (PM12b) fue el más destacado en diámetro de burbuja al obtener la mayor calificación (8.25) y por presentar el menor diámetro. Los vinos *Lancers semiespumosos* (LBP2 y LRP2) obtuvieron las menores calificaciones en las variables de efervescencia (con un promedio cercano a 3.00), lo cual pudiera deberse a que, como se mencionó anteriormente, contienen menos cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto, el cual es el responsable mayoritario de la respuesta efervescente del vino (Liger-Belair *et al.*, 1999). El vino mexicano mejor evaluado para el diámetro de burbuja fue *Petillant* de Freixenet (PM12b) mientras *Chambrulet* de L.A. Cetto (CHM2) presentó las calificaciones más bajas en velocidad de efervescencia y número de trenes (5.68 y 2.17, respectivamente), así como *Viña Dolores* de Freixenet (VDM2g) lo hizo en diámetro de burbuja (7.34).

c) *Comportamiento espumante de los distintos vinos en el primer servido*

Para eliminar el efecto de la interacción y entendiendo que el primer servido es el más importante durante la degustación y apreciación de un vino espumoso, se realizó un análisis de varianza de los datos obtenidos considerando exclusivamente dicho servido. Los principales resultados obtenidos en éste se muestran en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4. Análisis de Varianza para el primer servido**

<i>Variable de respuesta / F.V.</i>	<i>Altura de la corona</i>	<i>Tiempo estabilidad corona</i>	<i>Densidad collar</i>	<i>Superficie collar</i>	<i># trenes</i>	<i>Diámetro burbuja</i>	<i>V efervescencia</i>
<i>Tipo de vino</i>	59.5 **	29.12 **	55.24 **	86.45 **	21.80 **	3.49 **	11.08 **
<i>Juez (bloque)</i>	7.66 **	6.39 **	2.03 **	6.55 **	4.16 **	9.32 **	2.95 **
<i>C.V. (%)</i>	<b>15.98</b>	<b>26.63</b>	<b>28.30</b>	<b>20.43</b>	<b>25.72</b>	<b>17.75</b>	<b>27.92</b>

\*\* Altamente significativo  
C.V. Coeficiente de variación

Al igual que en la Tabla 4.1, el tipo de vino afectó significativamente ( $P \leq 0.01$ ) todas las variables de respuesta, al igual que existe variación aportada por el juez. Los coeficientes de variación son muy similares a los obtenidos considerando los seis servidos.

De igual manera, se llevó a cabo una comparación de medias con los datos del primer servido. Los resultados se muestran en la Tabla 4.5. En la altura de la corona encontramos a la *Champaña* (MCF1) y a los *vinos semiespumosos* (LBP y LRP) como los mejor y peor evaluados (10.00 y 0.25) respectivamente. Para el caso de estabilidad de la corona, un *Asti* italiano (ARI1) presentó la mayor calificación (9.17), contrario a los *vinos semiespumosos* (LBP2 y LRP2) (0.06 y 0.18, respectivamente). Estos resultados son concordantes con los obtenidos para los seis servidos.

En cuanto a la densidad del collar, se observa al *Moscato* (MSI1) con la mejor evaluación (9.65) a diferencia de cuando se consideraron los seis servidos, donde un *Asti* italiano (ARI1) fue el mejor, aunque este último estuvo en el mismo grupo estadístico del *Moscato* italiano (MSI1) en el primer servido. La *Champaña* (MCF1) fue nuevamente la

Tabla 4.5. Efecto del tipo espumoso sobre las características espumantes consideradas en el primer servido <sup>1</sup>

Tipo de vino	Altura máxima de corona	Tiempo estabilidad de corona	Densidad del collar	Superficie que cubre el collar	No. de trenes	D burbuja	V efervescencia
<i>MCF1</i>	10.00 <sup>A1</sup>	2.42 <sup>KL</sup>	0.01 <sup>J</sup>	0.08 <sup>E</sup>	1.11 <sup>J</sup>	7.83 <sup>ABC</sup>	1.77 <sup>G</sup>
<i>CNE12</i>	9.98 <sup>A</sup>	3.06 <sup>JK</sup>	0.03 <sup>J</sup>	0.07 <sup>E</sup>	1.54 <sup>J</sup>	8.85 <sup>A</sup>	2.89 <sup>EFG</sup>
<i>CNE12s</i>	9.86 <sup>A</sup>	3.45 <sup>IJK</sup>	2.45 <sup>FGHI</sup>	2.41 <sup>CD</sup>	4.82 <sup>EFGH</sup>	8.26 <sup>A</sup>	6.72 <sup>ABC</sup>
<i>VDM2s</i>	8.75 <sup>AB</sup>	6.62 <sup>BCDEF</sup>	8.16 <sup>ABC</sup>	9.11 <sup>A</sup>	7.30 <sup>ABCDE</sup>	7.54 <sup>ABC</sup>	6.67 <sup>ABC</sup>
<i>VDM2g</i>	8.71 <sup>AB</sup>	5.70 <sup>DEFGHI</sup>	8.03 <sup>ABC</sup>	9.09 <sup>A</sup>	6.78 <sup>ABCDEFG</sup>	8.31 <sup>A</sup>	4.78 <sup>BCDEF</sup>
<i>CVE2b</i>	7.71 <sup>BC</sup>	4.27 <sup>GHIJK</sup>	0.87 <sup>IJ</sup>	0.74 <sup>CDE</sup>	4.34 <sup>GHI</sup>	6.65 <sup>ABC</sup>	4.74 <sup>BCDEF</sup>
<i>PM12b</i>	7.69 <sup>BCD</sup>	7.08 <sup>ABCDE</sup>	8.75 <sup>AB</sup>	9.12 <sup>A</sup>	7.82 <sup>ABCD</sup>	8.55 <sup>A</sup>	5.86 <sup>ABCD</sup>
<i>ARC1</i>	7.65 <sup>BCD</sup>	5.51 <sup>DEFGHI</sup>	1.75 <sup>GHIJ</sup>	2.18 <sup>CDE</sup>	5.10 <sup>EFGH</sup>	7.31 <sup>ABC</sup>	6.70 <sup>ABC</sup>
<i>CTC2</i>	7.58 <sup>BCD</sup>	6.02 <sup>CDEFG</sup>	4.66 <sup>DEF</sup>	8.97 <sup>A</sup>	7.95 <sup>ABCD</sup>	8.27 <sup>A</sup>	2.69 <sup>FG</sup>
<i>CCE1</i>	7.48 <sup>BCD</sup>	2.03 <sup>KLM</sup>	0.32 <sup>IJ</sup>	0.28 <sup>E</sup>	6.45 <sup>BCDEFG</sup>	8.29 <sup>A</sup>	6.02 <sup>ABCD</sup>
<i>CVE2s</i>	7.29 <sup>BCD</sup>	6.76 <sup>BCDEF</sup>	0.45 <sup>IJ</sup>	0.52 <sup>DE</sup>	5.79 <sup>CDEFG</sup>	7.73 <sup>ABC</sup>	7.09 <sup>AB</sup>
<i>CHM2</i>	7.26 <sup>BCD</sup>	2.25 <sup>KLM</sup>	0.63 <sup>IJ</sup>	0.06 <sup>E</sup>	1.52 <sup>J</sup>	7.96 <sup>AB</sup>	6.64 <sup>ABC</sup>
<i>AMI1</i>	6.77 <sup>CDE</sup>	8.13 <sup>ABC</sup>	7.48 <sup>ABC</sup>	9.20 <sup>A</sup>	6.52 <sup>BCDEFG</sup>	8.13 <sup>A</sup>	4.09 <sup>CDEFG</sup>
<i>SBF2</i>	6.69 <sup>CDE</sup>	6.13 <sup>BCDEFG</sup>	2.28 <sup>FGHIJ</sup>	2.72 <sup>C</sup>	7.20 <sup>ABCDEF</sup>	6.90 <sup>ABC</sup>	7.21 <sup>AB</sup>
<i>VDM2r</i>	6.58 <sup>CDE</sup>	4.72 <sup>FGHIJ</sup>	6.88 <sup>BCD</sup>	8.85 <sup>A</sup>	7.02 <sup>ABCDEF</sup>	8.21 <sup>A</sup>	7.82 <sup>A</sup>
<i>ABC1</i>	6.51 <sup>CDE</sup>	4.94 <sup>EFGHIJ</sup>	1.43 <sup>HIJ</sup>	6.30 <sup>B</sup>	5.66 <sup>DEFG</sup>	5.78 <sup>BC</sup>	5.27 <sup>ABCDEF</sup>
<i>ARI1</i>	6.46 <sup>CDE</sup>	9.17 <sup>A</sup>	9.41 <sup>A</sup>	9.60 <sup>A</sup>	3.09 <sup>HIJ</sup>	8.91 <sup>A</sup>	3.35 <sup>DEFG</sup>
<i>FKA2</i>	6.27 <sup>CDE</sup>	8.34 <sup>AB</sup>	7.89 <sup>ABC</sup>	8.37 <sup>AB</sup>	7.76 <sup>ABCD</sup>	7.19 <sup>ABC</sup>	7.8 <sup>A</sup>
<i>SEC2</i>	6.15 <sup>CDE</sup>	7.10 <sup>ABCDE</sup>	8.19 <sup>ABC</sup>	8.77 <sup>A</sup>	2.16 <sup>IJ</sup>	8.29 <sup>A</sup>	7.19 <sup>AB</sup>
<i>PM12s</i>	5.98 <sup>CDEF</sup>	5.77 <sup>CDEFGHI</sup>	7.37 <sup>ABC</sup>	8.60 <sup>A</sup>	7.30 <sup>ABCDEF</sup>	8.12 <sup>AB</sup>	6.82 <sup>ABC</sup>
<i>SVM12s</i>	5.90 <sup>DEF</sup>	5.24 <sup>EFGHIJ</sup>	7.76 <sup>ABC</sup>	8.73 <sup>A</sup>	8.06 <sup>ABCD</sup>	8.12 <sup>AB</sup>	7.22 <sup>AB</sup>
<i>RII2</i>	5.31 <sup>EFG</sup>	5.99 <sup>CDEFGH</sup>	5.85 <sup>CDE</sup>	8.37 <sup>AB</sup>	6.80 <sup>ABCDEFG</sup>	6.92 <sup>ABC</sup>	7.19 <sup>AB</sup>
<i>SUA2</i>	4.33 <sup>FG</sup>	5.08 <sup>EFGHIJ</sup>	8.21 <sup>ABC</sup>	9.37 <sup>A</sup>	8.66 <sup>AB</sup>	7.61 <sup>ABC</sup>	8.05 <sup>A</sup>
<i>JPF2</i>	4.09 <sup>G</sup>	3.65 <sup>HIJK</sup>	3.96 <sup>EFG</sup>	7.88 <sup>AB</sup>	4.71 <sup>FGHI</sup>	7.65 <sup>ABC</sup>	6.99 <sup>AB</sup>
<i>PSI2</i>	3.81 <sup>G</sup>	5.24 <sup>EFGHIJ</sup>	8.04 <sup>ABC</sup>	8.68 <sup>A</sup>	5.87 <sup>CDEFG</sup>	7.82 <sup>ABC</sup>	5.76 <sup>ABCDE</sup>
<i>MSI1</i>	1.58 <sup>H</sup>	7.89 <sup>ABCD</sup>	9.65 <sup>A</sup>	9.19 <sup>A</sup>	9.17 <sup>A</sup>	7.06 <sup>ABC</sup>	7.38 <sup>AB</sup>
<i>LRP2</i>	0.29 <sup>H</sup>	0.18 <sup>LM</sup>	7.51 <sup>ABC</sup>	9.16 <sup>A</sup>	6.41 <sup>BCDEFG</sup>	8.75 <sup>A</sup>	3.25 <sup>DEFG</sup>
<i>LBP2</i>	0.24 <sup>H</sup>	0.06 <sup>M</sup>	3.46 <sup>EFGH</sup>	8.62 <sup>A</sup>	8.28 <sup>ABC</sup>	5.60 <sup>C</sup>	6.35 <sup>ABC</sup>
<b>DMS</b>	<b>1.75</b>	<b>2.32</b>	<b>2.47</b>	<b>2.16</b>	<b>2.63</b>	<b>2.4</b>	<b>2.87</b>

<sup>1</sup> Letras distintas entre filas indican diferencia estadística significativa; Tukey ( $\alpha < 0.05$ )  
 Para detalles de las claves de los vinos ver Tabla 4.1

muestra con la menor calificación (0.01). En cuanto a la superficie del collar, un *Asti* italiano (ARI1) y *Chambrulet* mexicano (CHM2) fueron los que obtuvieron la mayor y menor calificación (9.60 y 0.06) respectivamente. A pesar de que en los seis servidos (Tabla 4.3), la *Champaña* obtuvo la evaluación más baja en superficie del collar, se encontró dentro del mismo grupo estadístico que *Chambrulet* (CHM2) en este análisis, es decir, las tendencias fueron similares entre los dos análisis.

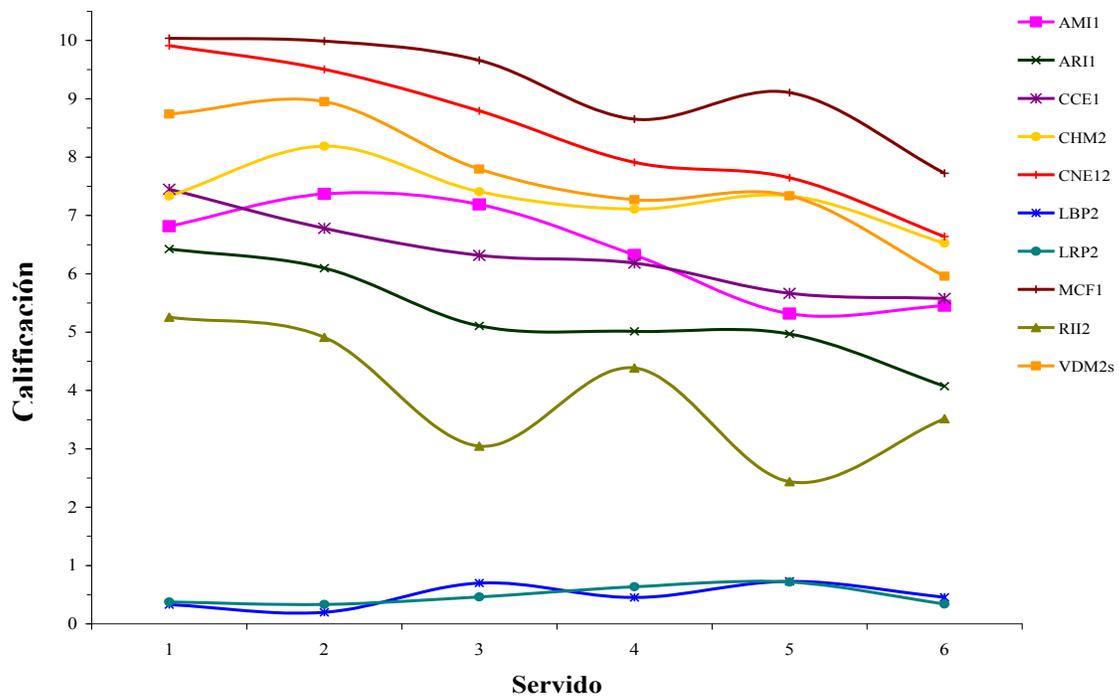
Para las variables de efervescencia, tenemos al *Moscatto* italiano (MSI1), un *Asti* italiano (ARI1) y un *vino espumoso argentino* (SUA2) con las mejores evaluaciones para el número de trenes, diámetro de burbuja y velocidad de efervescencia (9.17, 8.91 y 8.05), respectivamente; contrariamente a la *Champaña* (MCF1) para el número de trenes (1.11), *Santa Emiliana de Chile* (SEC2) en la velocidad de efervescencia (2.16) y un *Lancers semiespumoso* (LBP2) en el diámetro de burbuja (5.60). Estos resultados difieren de los obtenidos para los seis servidos, y pueden explicarse por el comportamiento global de las muestras. Es posible que existieran muestras que iniciaron con calificaciones medias y presentarían una variación discreta a través de los servidos; en otro caso, muestras con calificaciones altas pero variaciones drásticas. Como se compara el promedio del primer servido con el promedio de los 6 servidos, los cambios antes mencionados pudieron afectar la comparación entre los resultados. En cuanto a los valores más altos, para el número de trenes, tenemos al *vino espumoso argentino* (SUA2) en el mismo grupo estadístico que al *Moscatto* italiano (MSI1), de la misma manera que *Petillant* de Freixenet (PM12b) está en el grupo del *Asti* italiano (ARI1).

Finalmente, la tendencia de las calificaciones obtenidas por las diferentes muestras en cada variable de respuesta, para los seis servidos, fue similar a la mostrada por las muestras en el primer servido, es decir, La *Champaña* presentó la mejor calificación en cuanto a altura de corona y el *Asti* italiano en tiempo de estabilidad de la corona y variables del collar.

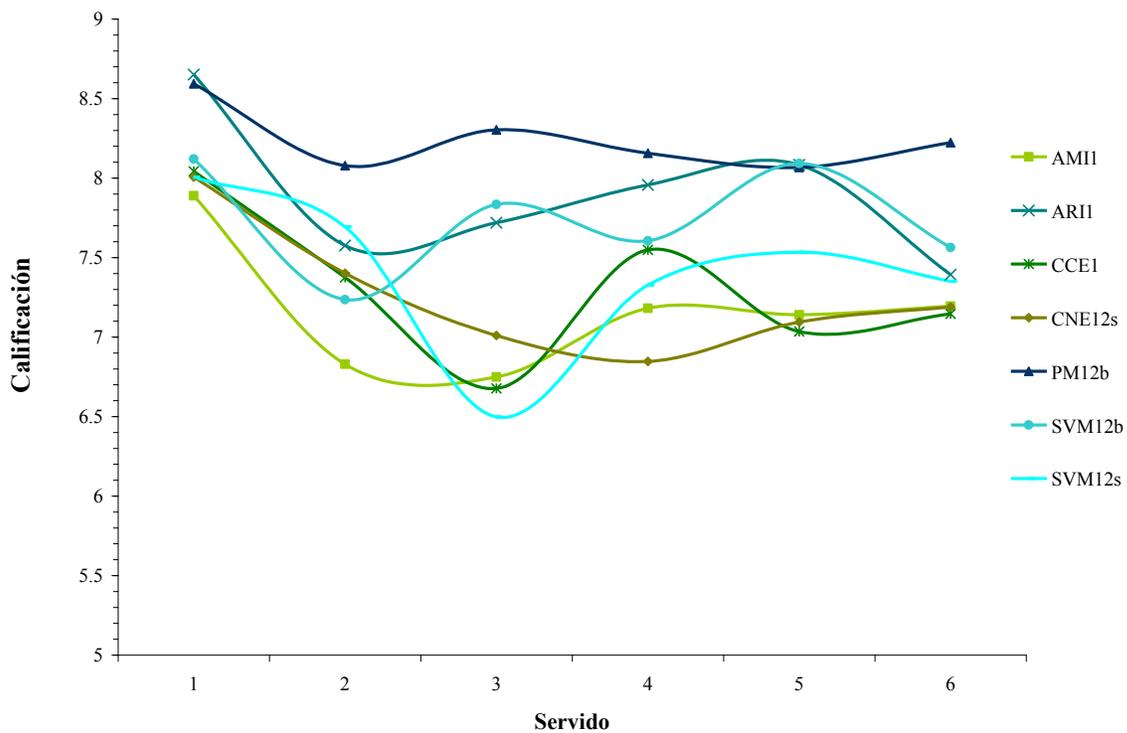
#### *d) Interacciones*

En la Figura 4.1 se observa la evolución de la altura de la corona de diez muestras contrastantes durante los servidos. El comportamiento de los vinos semiespumosos respecto a los espumosos se encuentra bien diferenciado, ya que presentaron las menores calificaciones y no se aprecia en éstos diferencia de altura a través de los servidos, mientras que los vinos espumosos obtuvieron calificaciones mayores y muestran una clara disminución de la altura de la corona entre servidos. Además, en éstos se presentaron dos tendencias: en algunas muestras la diferencia entre el primer y último servido fue muy marcada, mientras que otras tuvieron una disminución de altura discreta, lo cual, junto con el comportamiento de los semiespumosos explica la significancia en la interacción vino x servido. Las diferencias en el comportamiento de la altura de la corona entre vinos espumosos pueden ser explicadas por el contenido de alcohol dentro del vino. De acuerdo con Brissonnet (1992), el aumento de 1.3° de alcohol en el vino base al convertirse en Champaña disminuye el valor de altura de la espuma máxima medida con el Mosalux, debido al efecto que tiene el alcohol sobre las moléculas surfactantes. AMI1 y ARI1 presentan baja graduación alcohólica (alrededor de 7° G.L.), mientras que los otros vinos fluctúan entre 9 y 12° G.L. Así, la velocidad de disminución en la altura máxima es mayor en vinos con alta cantidad de alcohol, a diferencia de los que tienen menor cantidad.

Respecto al diámetro de las burbujas, la Figura 4.2 muestra una tendencia de las calificaciones a disminuir, lo que indica un aumento en el diámetro de las burbujas. Esto no es muy claro, debido al comportamiento irregular presentado por las diversas muestras, lo que explica la interacción. Se pueden observar muestras que obtuvieron altas calificaciones al inicio y después tuvieron una caída abrupta, en comparación con otras donde la disminución fue más discreta.

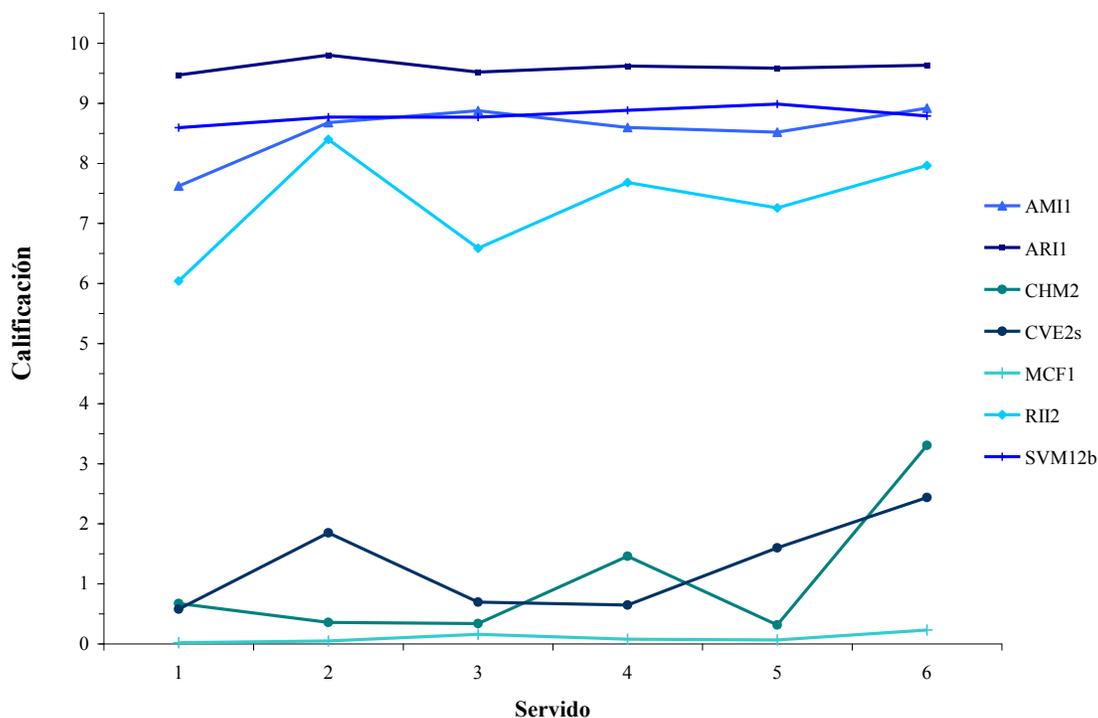


**Figura 4.1. Evolución de la altura de la corona de los distintos vinos en función del servido**  
**Para detalles de las claves de los vinos ver Tabla 4.1**

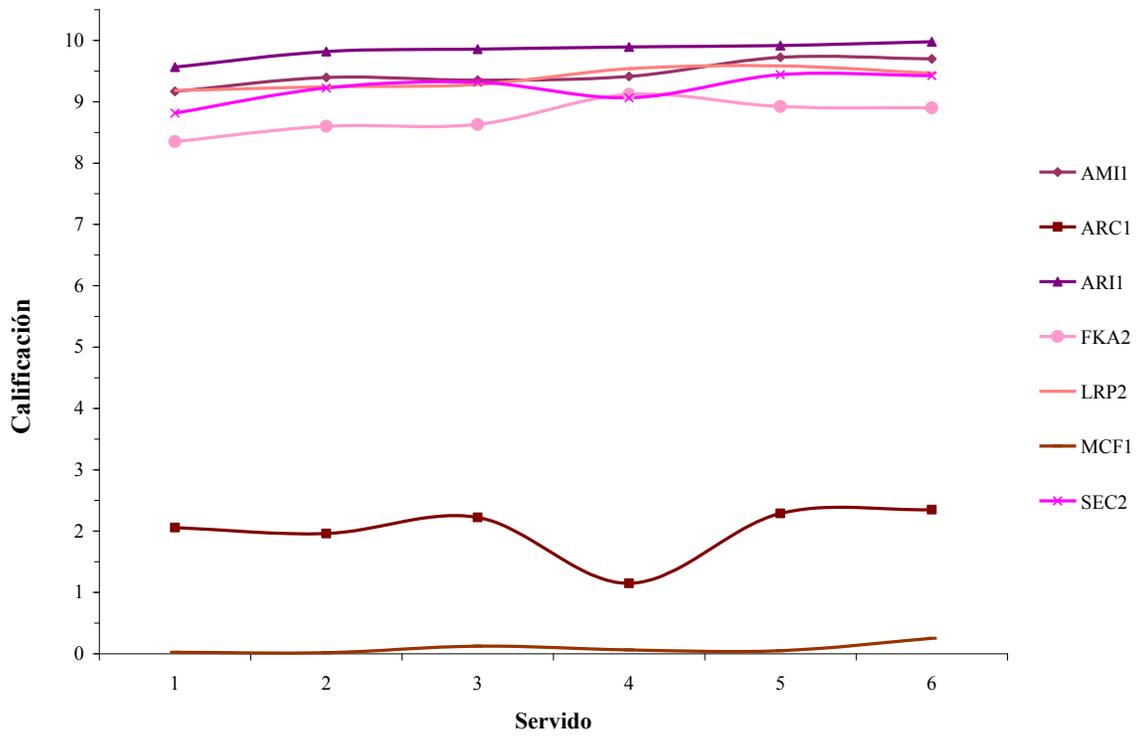


**Figura 4.2. Cambios en las estimaciones sensoriales del diámetro de burbuja**  
**respecto al orden de servido**  
**Para detalles de las claves de los vinos ver Tabla 4.1**

En las Figuras 4.3 y 4.4 se observa el comportamiento de la densidad y superficie del collar calificado por los jueces durante los diferentes servidos. Debido al método de calificación, las muestras se polarizaron, es decir, si existió collar, como en el caso del *Asti* italiano (ARI1) las muestras obtuvieron altas calificaciones, contrario a lo observado al no presentar collar, como sucedió con la *Champaña* (MCF1). Al haber collar, en ciertos tipos de vino, la diferencia entre el primer y último servido es muy notoria, tal es el caso del *Chambrulet* mexicano (CHM2), mientras que en otros no. Esto puede estar relacionado con la capacidad del juez para discriminar entre muestras que tienen comportamientos muy parecidos.



**Figura 4.3. Cambios en las evaluaciones sensoriales de la densidad del collar respecto al servido**  
**Para detalles de las claves de los vinos ver Tabla 4.1**



**Figura 4.4. Cambios en las evaluaciones sensoriales de la superficie del collar respecto al servido**  
**Para detalles de las claves de los vinos ver Tabla 4.1**

## 4.2. Procesamiento de imágenes

### 4.2.1. Análisis de varianza

Se analizó tanto el efecto del tipo de vino como el del servido (bloque). Los resultados se muestran en la Tabla 4.6. Se observa nuevamente que el tipo de vino afectó significativamente ( $P \leq 0.01$ ) todas las variables de respuesta mientras que el servido no tuvo efecto significativo ni en el diámetro de burbuja ni en la densidad del collar.

**Tabla 4.6. Valores de F y significancia estadística en el Análisis de Varianza para Procesamiento de Imágenes por factor**

<i>Variab les respuesta / F.V.</i>	<i>Altura corona (mm)</i>	<i>Tiempo estabilidad corona (s)</i>	<i>Densidad collar</i>	<i>Superficie collar</i>	<i># trenes</i>	<i>Diámetro burbuja (mm)</i>	<i>V efervesce ncia (mm/s)</i>
<i>Tipo de vino</i>	51.4**	73.65**	412.41**	138.51**	8.37**	2.9**	6.7**
<i>Servido (bloque)</i>	23.8**	4.2*	1.37 N.S.	2.22*	12.35**	0.79 N.S.	3.37*
<i>C.V. (%)</i>	<b>13.9</b>	<b>24.7</b>	<b>8.9</b>	<b>15.4</b>	<b>25.0</b>	<b>18.5</b>	<b>23.4</b>

\*\* Altamente  
significativo  
\* Significativo  
N.S. No  
significativo  
C.V. Coeficiente de  
variación

Lo anterior pudo deberse al protocolo de medición utilizado, ya que solo se eligió una sección de la imagen para determinar el diámetro, debido a que para un mismo servido las burbujas continúan creciendo en su ascenso por la copa debido a la difusión de CO<sub>2</sub> del líquido hacia ellas (Liger-Belair 2005) mismo caso para la densidad del collar, donde la región analizada pudo haber sido muy pequeña para observar una tendencia a través de los servidos. Los coeficientes de variación para la mayoría de las variables fueron en todos los casos inferiores a los obtenidos en el análisis sensorial de seis servidos, destacando el caso de la densidad del collar (8.9%), lo cual resulta lógico si consideramos que en este caso se trata de métodos instrumentales.

#### 4.2.2. Separación de medias

Las diferencias entre los tratamientos se ven reflejadas en la Tabla 4.7. Relativo a la altura de corona, el *Champaña* (MCF1) presentó el mayor valor (59.40 cm), en contraste con los vinos *Lancers semiespumosos* (LBP2 y LRP2) (3.68 cm y 2.82 cm, respectivamente) lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el análisis sensorial. Como señalábamos arriba, la *Champaña* está considerada el vino espumoso por excelencia, mientras que los *Lancers* tienen menor contenido de gas que un vino espumoso, existiendo menos disponibilidad para producir corona. De los vinos mexicanos destaca el *Petillant brut* (PM12b) como mayor altura máxima (58.95 cm) y *Sala Vivé* (SVM12s) con el valor menor (14.35 cm), ambos de la marca Freixenet.

En cuanto al tiempo de estabilidad de la corona en segundos, un *Asti* italiano (ARI1) obtuvo el mayor valor (48.5 seg), mientras que el menor tiempo se obtuvo para los vinos *Lancers semiespumosos* (LBP2 y LRP2) (7.2 seg y 5.8 seg). Entre los vinos mexicanos el *Petillant brut* (PM12b) y *Sala Vivé* (SVM12s) tuvieron el mayor y menor tiempo de estabilidad (23.1 seg y 11.3 seg), respectivamente. Los resultados obtenidos por este método también fueron similares a los generados por evaluación sensorial.

Respecto a las variables del collar, el *Asti* italiano (ARI1) obtuvo el mayor valor de índice y densidad del collar (0.86 y 0.89, respectivamente), en oposición a la *Champaña* (MCF1) (0 para ambos casos). En el caso de vinos mexicanos, *Petillant brut* (PM12b) y *Viña Dolores* (VDM2r) presentaron los valores más altos de índice y densidad (0.63 y 0.64), respectivamente, contrastando en ambos casos con *Chambrolet* de L.A. Cetto (CHM2) (0 en las dos variables). Nuevamente se encontraron similitudes entre los resultados obtenidos por evaluación sensorial y procesamiento de imágenes.

Para las variables relacionadas con los trenes, la mayor velocidad de trenes la obtuvo el vino *Sekt* alemán (FKA2) y las más lenta el *Petillat brut* mexicano (PM12b) (27.78 mm/s y 9.50 mm/s). El diámetro de burbuja mayor fue para el vino italiano genérico (RII2) y el más pequeño para el *Petillant brut* mexicano (PM12b) (0.36 mm y 0.18 mm). Por último, la *cava* (CCE1) presentó el mayor número de trenes en contraste con *Sala Vivé*

Tabla 4.7. Valores de medias y su significancia estadística para las variables de respuesta medidas por procesamiento de imágenes <sup>1</sup>

Tipo de vino	Altura máxima de corona (mm)	Tiempo estabilidad de corona (s)	Densidad del collar	Superficie que cubre el collar	No. de trenes	D burbuja (mm)	V efervescencia (mm/s)
<i>MCF1</i>	59.40 <sup>A</sup>	18.36 <sup>BCDEFGHI</sup>	0.00 <sup>G</sup>	0.00 <sup>E</sup>	6.30 <sup>ABCDEFG</sup>	0.24 <sup>ABC</sup>	13.23 <sup>CDEF</sup>
<i>PM12b</i>	58.95 <sup>A</sup>	23.07 <sup>B</sup>	0.63 <sup>CDE</sup>	0.52 <sup>BCD</sup>	5.31 <sup>BCDEFG</sup>	0.18 <sup>C</sup>	9.50 <sup>F</sup>
<i>CVE2s</i>	58.79 <sup>A</sup>	16.98 <sup>BCDEFGHIJ</sup>	0.00 <sup>E</sup>	0.00 <sup>E</sup>	6.50 <sup>ABCDEFG</sup>	0.23 <sup>BC</sup>	13.41 <sup>EF</sup>
<i>SVM12b</i>	56.45 <sup>AB</sup>	22.24 <sup>BC</sup>	0.61 <sup>CDE</sup>	0.57 <sup>BCD</sup>	1.14 <sup>G</sup>	0.26 <sup>ABC</sup>	10.44 <sup>DEF</sup>
<i>CVE2b</i>	55.30 <sup>AB</sup>	16.06 <sup>EFGHIJ</sup>	0.00 <sup>G</sup>	0.00 <sup>E</sup>	6.15 <sup>BCDEFG</sup>	0.25 <sup>ABC</sup>	16.20 <sup>BCDEF</sup>
<i>CNE12s</i>	52.88 <sup>ABC</sup>	20.25 <sup>BCDEFGH</sup>	0.00 <sup>G</sup>	0.00 <sup>E</sup>	7.33 <sup>ABCDEF</sup>	0.26 <sup>ABC</sup>	13.38 <sup>EF</sup>
<i>PM12s</i>	52.56 <sup>ABC</sup>	21.52 <sup>BCDE</sup>	0.60 <sup>CDE</sup>	0.52 <sup>BCD</sup>	3.30 <sup>FG</sup>	0.26 <sup>ABC</sup>	10.75 <sup>F</sup>
<i>JPF2</i>	50.45 <sup>ABC</sup>	20.76 <sup>BCDEFG</sup>	0.67 <sup>BCD</sup>	0.52 <sup>BCD</sup>	8.07 <sup>ABCDE</sup>	0.27 <sup>ABC</sup>	25.70 <sup>AB</sup>
<i>SBF2</i>	50.40 <sup>ABC</sup>	19.36 <sup>BCDEFGHI</sup>	0.54 <sup>EF</sup>	0.52 <sup>BCD</sup>	4.81 <sup>DEFG</sup>	0.25 <sup>ABC</sup>	17.09 <sup>BCDEF</sup>
<i>CTC2</i>	50.29 <sup>ABC</sup>	21.05 <sup>BCDEFG</sup>	0.59 <sup>DE</sup>	0.54 <sup>BCD</sup>	3.15 <sup>EFG</sup>	0.28 <sup>ABC</sup>	19.24 <sup>ABCDEF</sup>
<i>CNE12</i>	49.93 <sup>ABC</sup>	15.49 <sup>GHIJ</sup>	0.00 <sup>G</sup>	0.00 <sup>E</sup>	8.17 <sup>ABCDE</sup>	0.24 <sup>ABC</sup>	15.78 <sup>BCDEF</sup>
<i>CHM2</i>	49.44 <sup>ABC</sup>	14.57 <sup>HIJ</sup>	0.00 <sup>G</sup>	0.00 <sup>E</sup>	5.99 <sup>ABCDEFG</sup>	0.30 <sup>ABC</sup>	13.86 <sup>BCDEF</sup>
<i>ARC1</i>	45.20 <sup>BCD</sup>	16.15 <sup>DEFGHIJ</sup>	0.00 <sup>G</sup>	0.00 <sup>E</sup>	6.15 <sup>BCDEFG</sup>	0.26 <sup>ABC</sup>	15.35 <sup>BCDEF</sup>
<i>AMH1</i>	43.46 <sup>CD</sup>	44.97 <sup>A</sup>	0.73 <sup>B</sup>	0.65 <sup>B</sup>	9.87 <sup>AB</sup>	0.32 <sup>ABC</sup>	16.38 <sup>BCDEF</sup>
<i>CCE1</i>	43.00 <sup>CD</sup>	13.86 <sup>IJ</sup>	0.00 <sup>G</sup>	0.00 <sup>E</sup>	10.17 <sup>A</sup>	0.28 <sup>ABC</sup>	18.85 <sup>ABCDEF</sup>
<i>ABC1</i>	42.86 <sup>CD</sup>	16.35 <sup>DEFGHIJ</sup>	0.00 <sup>G</sup>	0.00 <sup>E</sup>	6.17 <sup>BCDEFG</sup>	0.29 <sup>ABC</sup>	18.68 <sup>ABCDEF</sup>
<i>ARI1</i>	33.66 <sup>DE</sup>	48.52 <sup>A</sup>	0.86 <sup>A</sup>	0.89 <sup>A</sup>	5.30 <sup>CDEFG</sup>	0.24 <sup>ABC</sup>	10.52 <sup>F</sup>
<i>SUA2</i>	33.61 <sup>DEF</sup>	22.54 <sup>BCD</sup>	0.69 <sup>BC</sup>	0.64 <sup>BC</sup>	8.44 <sup>ABCDE</sup>	0.28 <sup>ABC</sup>	17.21 <sup>BCDEF</sup>
<i>VDM2g</i>	32.79 <sup>DE</sup>	16.69 <sup>CDEFGHIJ</sup>	0.59 <sup>DEF</sup>	0.50 <sup>CD</sup>	7.67 <sup>ABCDE</sup>	0.32 <sup>ABC</sup>	24.09 <sup>AB</sup>
<i>PSI2</i>	30.11 <sup>EF</sup>	19.79 <sup>BCDEFGH</sup>	0.60 <sup>CDE</sup>	0.54 <sup>BCD</sup>	8.63 <sup>ABCDE</sup>	0.35 <sup>AB</sup>	24.87 <sup>ABC</sup>
<i>RH2</i>	28.50 <sup>EF</sup>	21.41 <sup>BCDEF</sup>	0.59 <sup>DEF</sup>	0.46 <sup>D</sup>	8.81 <sup>ABCD</sup>	0.36 <sup>A</sup>	24.08 <sup>ABCD</sup>
<i>FKA2</i>	27.98 <sup>EFG</sup>	20.11 <sup>BCDEFGH</sup>	0.64 <sup>BCD</sup>	0.48 <sup>D</sup>	9.00 <sup>ABC</sup>	0.32 <sup>ABC</sup>	27.78 <sup>A</sup>
<i>VDM2r</i>	25.47 <sup>EFGH</sup>	15.89 <sup>FGHIJ</sup>	0.51 <sup>F</sup>	0.64 <sup>B</sup>	8.27 <sup>ABCDE</sup>	0.26 <sup>ABC</sup>	21.19 <sup>ABCDEF</sup>
<i>SEC2</i>	20.91 <sup>FGH</sup>	20.57 <sup>BCDEFG</sup>	0.59 <sup>DE</sup>	0.55 <sup>BCD</sup>	7.55 <sup>ABCDEF</sup>	0.30 <sup>ABC</sup>	19.92 <sup>ABCDEF</sup>
<i>MSH1</i>	16.02 <sup>GHI</sup>	7.28 <sup>K</sup>	0.60 <sup>CDE</sup>	0.50 <sup>D</sup>	8.43 <sup>ABCDE</sup>	0.35 <sup>AB</sup>	23.63 <sup>ABCDEF</sup>
<i>SVM12s</i>	14.35 <sup>HIJ</sup>	11.26 <sup>JK</sup>	0.61 <sup>CDE</sup>	0.58 <sup>BCD</sup>	7.21 <sup>ABCDEF</sup>	0.33 <sup>ABC</sup>	23.89 <sup>ABCD</sup>
<i>LBP2</i>	3.68 <sup>J</sup>	7.17 <sup>K</sup>	0.67 <sup>BCD</sup>	0.49 <sup>CD</sup>	4.20 <sup>EFG</sup>	0.29 <sup>ABC</sup>	14.63 <sup>BCDEF</sup>
<i>LRP2</i>	2.82 <sup>IJ</sup>	5.82 <sup>K</sup>	0.68 <sup>BCD</sup>	0.57 <sup>BCD</sup>	5.51 <sup>CDEFG</sup>	0.29 <sup>ABC</sup>	15.64 <sup>BCDEF</sup>
<b>DMS</b>	<b>12.5</b>	<b>5.65</b>	<b>0.09</b>	<b>0.14</b>	<b>4.00</b>	<b>0.13</b>	<b>10.80</b>

<sup>1</sup> Letras distintas entre columnas indican diferencia estadística significativa; Tukey ( $\alpha < 0.05$ )

Para detalles de las claves de los vinos ver Tabla 4.1

mexicano (SVM12b) (10.17 y 1.14). Los vinos *Viña Dolores Gran Reserva* (VDM2g), *rosé* (VDM2r) y *Sala Vivé* (SVM12s) fueron los más destacados entre los mexicanos en velocidad de efervescencia, número de trenes y diámetro de burbuja (24.09 mm/s, 8.27 y 7.21 mm), respectivamente. Comparando los resultados obtenidos por evaluación sensorial contra los de este método, se observa la falta de relación para estas variables. Recientes investigaciones realizadas por Liger-Belair *et al.* (2006) en Champaña muestran que la distancia entre burbujas puede cambiar repentinamente, revelando diferentes regimenes rítmicos de burbujeo. Esto también ha sido visto en vinos espumosos y refrescos. Dentro de los regimenes, se encuentra uno donde se liberan hasta dos burbujas al mismo tiempo. Eso pudo haber confundido a los jueces en cuanto a la efervescencia. También existen reportes de que en el análisis sensorial es difícil distinguir diferencias en velocidad de efervescencia (Gallart *et al.*, 2004).

### 4.3. Método de burbujeo de gas

#### 4.3.1. Análisis de varianza

Debido a las condiciones experimentales utilizadas en el presente estudio, no fue posible obtener el coeficiente de Bikerman ( $\Sigma$ ) para todas las muestras, lo que imposibilitó la realización del análisis de varianza. La Tabla 4.8 resume el análisis de varianza para este método. Se aprecia que el tipo de vino afectó significativamente ( $P \leq 0.01$ ) la altura máxima de la espuma (HM) y el tiempo de estabilidad de la misma (TS), además que los coeficientes de variación fueron inferiores a los reportados por Gallart *et al.* (1997) para este método (8% y 22%, respectivamente), lo cual nos indica que es un método bastante preciso para analizar la capacidad espumante del líquido.

Tabla 4.8. Valores de F y significancia estadística en el Análisis de Varianza para el Método de Burbujeo de gas por factor

<i>Variables de respuesta / F.V.</i>	<i>HM (mm)</i>	<i>TS (s)</i>
<i>Tipo de vino</i>	222.7 **	696.2 **
<i>C.V. (%)</i>	5.14	4.52

HM: altura máxima de la espuma durante la inyección de gas

TS: tiempo de estabilidad de la espuma después de la inyección de gas

\*\* Altamente significativo

C.V. Coeficiente de variación

#### 4.3.2. Comparación de medias de los tipos de vino

En la Tabla 4.9 se muestra la comparación de medias para la altura máxima (HM) y tiempo de estabilidad de la espuma (TS), así como la presencia o ausencia del coeficiente de Bikerman. La muestra que presentó el mayor valor de HM fue un vino *Asti* italiano (ARI1) (134.94 mm), mientras que la mayoría de las *cavas* obtuvieron las menores alturas (promedio de 26 mm). Dentro de los vinos mexicanos, *Viña Dolores* de Freixenet (VDM2s) tuvo la mayor altura (114.15 mm) en contraste con *Chambrulet* de la marca L.A. Cetto (CHM2) (31.76 mm). Por otra parte, para TS, un vino *Lancers semiespumoso* (LRP2) observó el mayor tiempo de estabilidad de la espuma (116 segs) y una *cava* (CVE2s) el menor valor (10.6 segs); en cuanto los vinos mexicanos, *Viña Dolores* (VDM2s) y *Chambrulet* (CHM2) presentaron la tendencia antes mencionada (89.80 segs y 16.10 segs., respectivamente).

Tabla 4.9. Prueba de medias para HM y TS <sup>1</sup>

<i>Tipo de vino</i>	<i>HM (mm)</i>	<i>TS (s)</i>	<i>Σ (s)</i>
<i>ARI1</i>	134.94 A 1	86.47 B	Presencia
<i>VDM2s</i>	114.15 B	89.80 B	Ausencia
<i>FKA2</i>	112.17 B	115.80 A	Presencia
<i>PM12b</i>	109.75 B	57.30 D	Ausencia
<i>LRP2</i>	104.21 BC	116.00 A	Ausencia
<i>SVM12s</i>	95.75 C	69.60 C	Ausencia
<i>ARC1</i>	92.67 C	113.00 A	Presencia
<i>PM12s</i>	75.68 D	69.30 C	Presencia
<i>AM11</i>	75.21 DE	21.30 HI	Presencia
<i>CVE2b</i>	66.35 DEF	12.75 JK	Ausencia
<i>MS11</i>	64.97 EF	24.13 GH	Ausencia
<i>CTC2</i>	63.05 EF	73.40 C	Presencia
<i>LBP2</i>	59.34 FG	24.60 GH	Ausencia
<i>PSI2</i>	56.29 FGH	20.40 HI	Presencia
<i>SVM12b</i>	53.62 FGH	66.30 C	Ausencia
<i>R112</i>	51.29 GH	45.00 E	Presencia
<i>SEC2</i>	49.06 GHI	17.80 HIJ	Ausencia
<i>VDM2g</i>	49.06 GHI	29.90 FG	Ausencia
<i>VDM2r</i>	46.19 HIJ	56.55 D	Presencia
<i>SUA2</i>	40.51 IJK	35.80 F	Presencia
<i>SBF2</i>	36.48 JKL	21.40 HI	Presencia
<i>CNE12s</i>	35.99 JKL	15.93 IJK	Ausencia
<i>JPF2</i>	34.34 JKLM	12.75 JK	Presencia
<i>CHM2</i>	31.76 KLM	16.10 IJK	Ausencia
<i>CNE12</i>	29.75 LM	11.80 JK	Presencia
<i>CVE2s</i>	29.10 LM	10.60 K	Ausencia
<i>CCE1</i>	24.02 M	21.60 HI	Presencia

<sup>1</sup> Letras distintas entre columnas indican diferencia estadística significativa; Tukey ( $\alpha < 0.05$ )

HM: altura máxima de la espuma durante la inyección de gas

TS: tiempo de estabilidad de la espuma después de la inyección de gas

Σ: tiempo de vida media de la burbuja

Para detalles de las claves de los vinos ver Tabla 4.1

Este método se ha utilizado ampliamente por diversos investigadores (Brissonnet y Maujean, 1993; Robillard *et al.*, 1993; Andrés-Lacueva *et al.*, 1996 a y b; Gallart *et al.*, 1997) para medir las propiedades espumantes de los vinos base para producir vinos espumosos, ya que ésta se realiza bajo condiciones controladas de flujo de gas; por lo tanto, la principal cualidad del método es determinar la capacidad espumante del líquido, dada en mayor parte por la composición química del vino, de aquí que existe la posibilidad que un vino semiespumoso haya obtenido el mayor tiempo de estabilidad, ya que los compuestos presentes en esta muestra pueden tener características surfactantes que favorezcan la estabilización de la espuma.

Los resultados obtenidos por este método no parecen ser similares a los hallados por procesamiento de imágenes y evaluación sensorial. El origen de tales diferencias se podría encontrar en el proceso de obtención de la espuma. Mientras que para el método de burbujeo de gas se utilizó nitrógeno, en los otros se formó la espuma con CO<sub>2</sub>. En este tipo de sistemas bifásicos es importante tanto la composición química del líquido como la naturaleza del gas utilizado, puesto que si es poco soluble, favorecerá la respuesta espumante y si es altamente soluble, la desproporcionalización y posterior coalescencia es mayor, afectando la estabilidad de la espuma (Brissonnet, 1992). Dado que el CO<sub>2</sub> es 100 veces más soluble que el nitrógeno, y, a pesar de que este último ya ha sido utilizado para analizar la capacidad espumante de Champaña (Senné *et al.*, 1998 y 1999), existió una diferencia en la formación y estabilidad de espuma entre los diferentes métodos utilizados en este estudio.

La ausencia en ciertos vinos de  $\Sigma$  en ciertos vinos puede ser explicada en función de la mecánica del flujo. En efecto, Pueyo *et al.* (1995), utilizando CO<sub>2</sub> en un aparato de dimensiones similares a las utilizadas en el presente estudio, no detectaron HM, sino solo una altura constante (llamada HS) en cavas y vinos base para cavas, lo cual pudiera hacer pensar que la mecánica del flujo afecta la respuesta espumante, aunque es importante destacar que estos autores no mencionan el tiempo durante el cual realizaron las pruebas.

En la Figura 4.5 se observa el desarrollo de la espuma de tres muestras contrastantes respecto al tiempo. Para ARI1, el tiempo de análisis no es tan largo comparado con el de las otras muestras debido a que alcanza una altura máxima muy notoria y se estabiliza rápidamente. En el caso de SUA2, el tiempo para alcanzar la altura máxima es mayor, y el máximo que presenta se encuentra desplazado, además de ser muy poco notorio. La diferencia en comportamiento puede ser debido al método de elaboración. ARI1 está elaborado con el método Charmat (Zironi y Tat, 2005), donde la segunda fermentación se realiza en cubas isobáricas mientras que los otros dos por el método tradicional o *Champenoise*, con la segunda fermentación hecha en botellas y añejamiento con las heces de las levaduras.

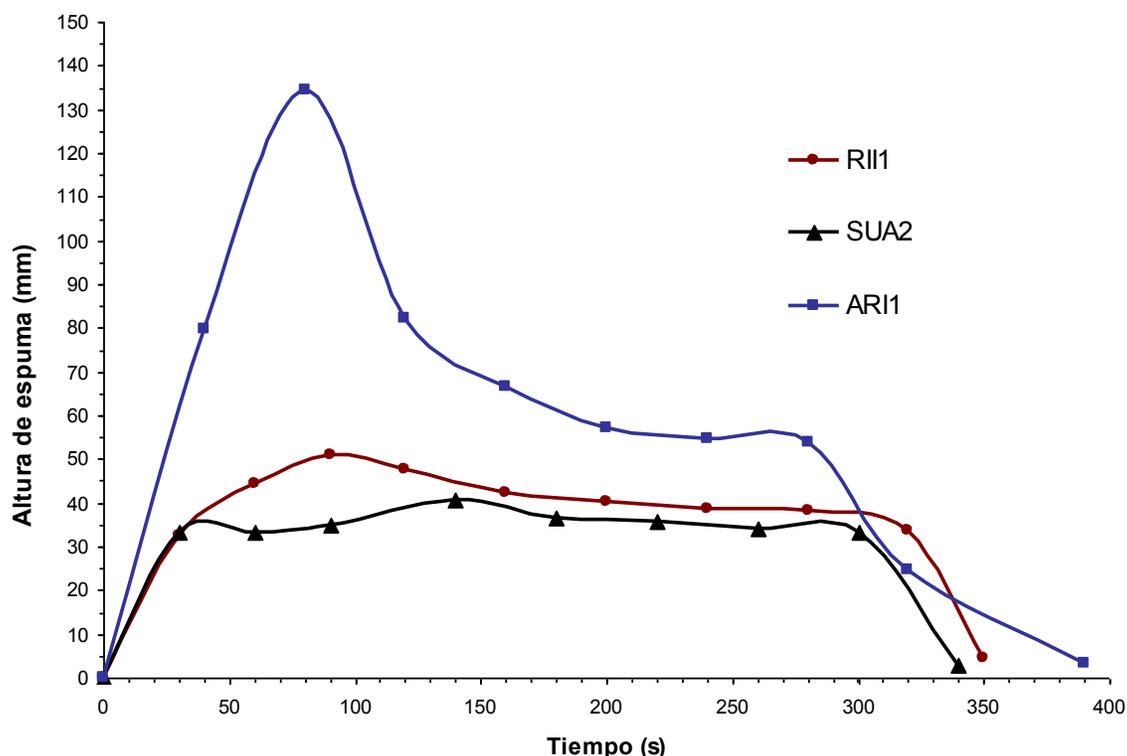


Figura 4.5. Cinética del desarrollo de la espuma a través del tiempo de tres muestras contrastantes

Las diferencias entre los productos obtenidos a través de estos dos procesos fueron estudiadas por Janke y Röhr (1960), citados por Amerine *et al.*, (1980), quienes trabajaron con 53 vinos comerciales, donde el contenido de nitrógeno promedio fue de 9.6 mg/L para

vinos del producido por el método Champenoise, contrastando con 6.2 mg/L del otro método. A pesar de tener una mayor cantidad de sustancias coloidales proteicas, de acuerdo con Senée *et al.* (1999), durante la segunda fermentación y añejamiento en presencia de las heces, el contenido de alcohol aumenta ligeramente, las proteínas se hacen menos solubles y pueden formar precipitados y posteriormente agregados, o son adsorbidas en partículas endógenas del vino. Los agregados pueden estar compuestos de proteínas o complejos fenol-proteínas, y dado que las propiedades superficiales de una solución dependen del estado de sus compuestos surfactantes, la formación de complejos modifica la capacidad surfactante de las proteínas, imposibilitándolas para formar parte de la interfase aire-líquido.

#### **4.4. Análisis multivariados**

##### *4.4.1. Análisis de correlación*

Para determinar el posible vínculo entre las variables de respuesta estudiadas, se realizó un análisis de correlación simple por pares. En la Tabla 4.10 se consignan las correlaciones obtenidas ( $P \leq 0.05$ ): en color rojo se encuentran aquellas que resultaron significativas entre variables análogas medidas por evaluación sensorial y procesamiento de imágenes, en azul entre variables evaluadas con el mismo método y en verde las encontradas entre variables no análogas y determinadas por diferentes métodos.

Se observaron altas correlaciones entre las variables de la corona ( $r = 0.778$  para altura y  $r = 0.657$  para su estabilidad) y collar ( $r = 0.892$  para densidad y  $0.859$  para la superficie) medidas tanto por evaluación sensorial como por procesamiento de imágenes. Caso opuesto para las variables de efervescencia, donde existe nula o poca correlación ( $r = 0.125$  para número de trenes,  $-0.303$  para diámetro de burbuja y  $-0.045$  para la velocidad de efervescencia). Se puede sugerir el procesamiento de imágenes como alternativa para el análisis de las variables del collar y la corona, ya que presentó menor coeficiente de variación y es más objetivo porque elimina la variabilidad de la apreciación del juez. Como se mencionó anteriormente, la falta de correlación entre las variables de la efervescencia puede deberse a los diferentes regímenes de trenes que suceden dentro de la copa. Esto no

es apreciable a simple vista, lo cual dificultaría su determinación. Al usar procesamiento de imágenes, debido a la cercanía de la cámara con la copa esto es detectable, por lo cual, para resultados confiables es mejor utilizar procesamiento de imágenes.

Entre las principales correlaciones observadas al interior de la evaluación sensorial, se tiene la de superficie del collar con su densidad ( $r = 0.872$ ) lo que puede deberse al tamaño de las burbujas, relacionado con la homogeneidad y densidad del collar. Al tener diámetros pequeños, dejan menos partes visibles en el espejo del líquido, cubriendo mayor superficie (Gallart *et al*, 2004), así como la correlación negativa entre la altura de la corona y la densidad del collar ( $r = -0.443$ ) puede sugerir una relación inversa entre la habilidad del vino para formar espuma y mantenerla. Para estas variables que no presentaron correlación entre métodos, se sugeriría usar procesamiento de imágenes, por su menor variabilidad y capacidad de discriminar entre diversos regímenes de burbujeo.

Tabla 4.10. Coeficientes de correlación simple entre las variables determinadas por evaluación sensorial, procesamientos de imágenes e inyección de gas ( $p \leq 0.05$ )

		Columna		Evaluación sensorial						Procesamiento de imágenes							
		HM	TS	Altura corona	t est	Den collar	Sup collar	no trenes	D burbuja	V eferv	Altura corona	t est	Den collar	Sup collar	no trenes	D burbuja	V eferv
Columna	HM	1.000	<b>0.772</b>	-0.326	0.271	0.497	0.463	-0.043	0.069	-0.254	-0.288	0.363	0.445	0.440	-0.202	-0.048	-0.121
	TS			-0.300	0.070	0.324	0.361	0.043	0.150	-0.162	-0.260	0.114	0.356	0.358	-0.301	-0.027	-0.047
Evaluación sensorial	Altura corona				0.359	<b>-0.443</b>	-0.488	0.397	0.580	<b>0.661</b>	<b>0.778</b>	0.348	-0.403	-0.333	0.028	-0.368	-0.217
	t est					0.480	0.403	0.539	0.477	<b>0.649</b>	0.341	<b>0.657</b>	0.358	0.422	0.046	-0.056	0.075
	Den collar						<b>0.960</b>	0.076	-0.006	-0.108	-0.451	0.327	<b>0.829</b>	0.825	-0.061	0.319	0.182
	Sup collar							0.072	-0.035	-0.174	-0.469	0.216	<b>0.872</b>	<b>0.859</b>	-0.125	0.322	0.253
	no trenes								0.507	<b>0.784</b>	0.430	0.194	0.077	0.128	<b>0.125</b>	-0.293	0.086
	D burbuja									<b>0.610</b>	0.447	0.261	-0.081	0.039	-0.016	<b>-0.303</b>	-0.110
V eferv										<b>0.649</b>	0.321	-0.136	-0.056	0.149	-0.329	<b>-0.045</b>	
Procesamiento de imágenes	Altura corona										0.269	<b>-0.348</b>	-0.331	-0.234	-0.595	-0.434	
	t est											0.353	0.422	-0.008	-0.133	-0.346	
	Den collar												<b>0.978</b>	-0.184	0.133	0.124	
	Sup collar													-0.184	0.084	0.084	
	no trenes														0.443	<b>0.616</b>	
	D burbuja																<b>0.716</b>
V eferv																	1.000

**Simbología:**

**HM:** altura máxima alcanzada por la espuma.

**TS:** tiempo en que todas las burbujas colapsan después de detener el flujo de gas.

**Altura corona:** Altura máxima alcanzada por la corona al momento del servido.

**T est:** Tiempo de formación y destrucción de la corona.

**Den collar:** La densidad del collar.

**Simbología:**

**Sup collar:** La superficie que cubre el collar respecto al vino.

**No trenes:** Número de trenes.

**D burbuja:** Diámetro de las burbujas de los trenes.

**V eferv:** Velocidad de efervescencia.

Otras relaciones son las existentes entre la velocidad de la efervescencia, diámetro de burbuja y número de trenes ( $r= 0.784$  para velocidad y número de trenes y  $0.61$  para velocidad y diámetro de burbuja). Esto se explica por el contenido de  $\text{CO}_2$  dentro del líquido. El número de trenes está en función del número de sitios de nucleación existentes. Mientras mayor sea la concentración del  $\text{CO}_2$  se llena mayor cantidad de dichos sitios, puesto que el tamaño del radio crítico (radio necesario para la formación de burbujas) es directamente proporcional a la concentración de  $\text{CO}_2$  en el medio (Liger-Belair *et al.*, 2005). De acuerdo con estudios realizados por Liger-Belair *et al.* (2000), hay una dependencia cuadrática entre el radio de la burbuja y la velocidad de ascenso en los trenes, es decir, mientras más grande, es más veloz; éstos datos son comparables a los obtenidos por Maxworthy *et al.* (1996) en burbujas de aire en líquidos viscosos. Y en cuanto a las relaciones entre la velocidad de efervescencia y las variables del collar, puesto que la efervescencia es un reflejo del contenido de gas, favorece la formación y altura de la corona, y mientras la velocidad de los trenes es alta, mantienen la corona debido a la liberación continua de gas (Senée *et al.*, 1999).

De manera similar, entre las correlaciones observadas dentro del procesamiento de imágenes se encuentran la superficie del collar con la densidad del mismo ( $r = 0.978$ ), la altura de la corona y la densidad del collar ( $r = -0.348$ ), así como la velocidad de efervescencia con el número de trenes ( $r = 0.616$ ) y el diámetro de la burbuja ( $r = 0.716$ ).

Sobresalen dos correlaciones entre dos variables distintas medidas por diferentes métodos, como son la densidad del collar medida a través del procesamiento de imágenes y la superficie del collar analizada por evaluación sensorial. Esta correlación sugiere que lo observado por los jueces y la cámara fue lo mismo, lo cual explicaría en parte que exista relación entre las variables análogas del collar utilizando cualquiera de los dos métodos. También se observa que la velocidad de la efervescencia del análisis sensorial está relacionada con la altura de la corona del análisis de imágenes, pudiendo deberse a que esta última está ligada a la altura medida por evaluación sensorial.

Hubo una alta correlación positiva ( $r= 0.772$ ) entre la altura máxima de la espuma (HM) y el tiempo de estabilidad (TS) medidos en la columna, lo cual contrasta con lo reportado por otros autores (Andrés-Lacueva *et al.*, 1996b; Gallart *et al.*, 1997) quienes encontraron una correlación alta pero negativa, indicando que entre mayor altura máxima de la espuma, es menor el tiempo de estabilidad de ésta. El resultado obtenido en el presente estudio se puede atribuir al tipo de material de que está construida la columna y a su limpieza. Mientras que los autores referidos trabajaron con vidrio que fue limpiado con una mezcla crómica, la columna aquí utilizada era de plexiglass, un polímero del tipo acrílico, el cual solo podía ser lavado con detergente y no con solventes. La limpieza posiblemente no fue suficiente para eliminar los residuos de compuestos surfactantes y de etanol presente en el líquido, provocando que la espuma interactuara con la pared, se adhiriera a ella y retrasara su descenso (Bratko *et al.*, 2001).

Finalmente, es destacable la falta de correlación entre las variables medidas por el método de burbujeo de gas y aquellas de la evaluación sensorial o el procesamiento de imágenes. Como se mencionó anteriormente, no solo la composición química del vino afecta las características espumantes, también el tipo de gas lo hace, y debido a la diferencia de gases en la espuma (nitrógeno en la columna y CO<sub>2</sub> en los otros métodos) posiblemente no se pudo encontrar una correlación entre los métodos.

Al graficar algunas de las correlaciones entre las variables análogas medidas por evaluación sensorial y procesamiento de imágenes se observan comportamientos interesantes. Las muestras fueron separadas por origen para una mejor visualización de los resultados: vinos franceses (naranja); vinos españoles (verde); vinos italianos (rosa); vinos mexicanos (azul); vinos chilenos, (cyan); vinos californianos (morado); vinos argentinos (rojo); vinos portugueses (negro) y vinos alemanes (azul oscuro).

#### a) Altura de la corona

Se observa que las muestras están cercanas a la línea de ajuste, lo que indica una alta correlación. Tenemos a los vinos *semiespumosos* presentando los valores más bajos tanto por evaluación sensorial como por procesamiento de imágenes, contrario a la

*Champaña* (MCF1) y las *cavas*. Existe una zona por encima de la línea de ajuste donde se aglomeran los vinos mexicanos y las *cavas*. Su altura está entre 45 y 60 mm, aunque fueron calificados por los jueces entre 6 y 9, de lo que se desprende que el rango de error es menor utilizando el método de procesamiento de imágenes (Figura 4.6).

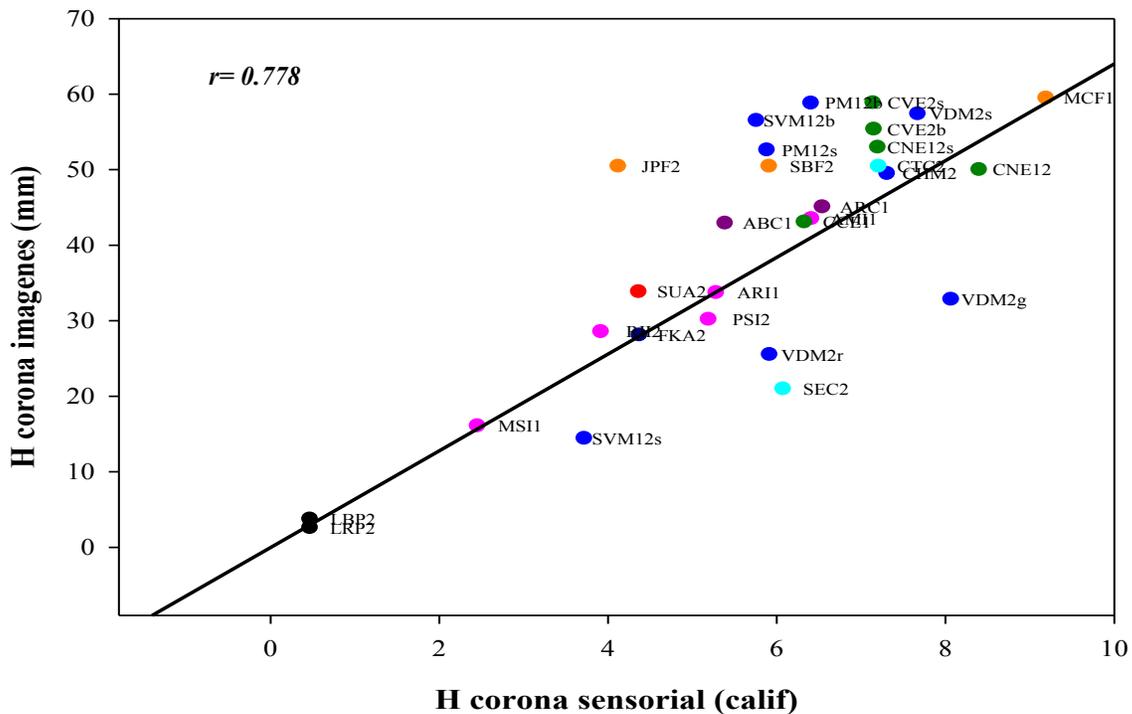


Figura 4.6. Representación gráfica de la correlación entre métodos de la altura máxima de la corona

b) Tiempo de estabilidad de la corona

A pesar de que la mayoría de los puntos están cercanos a la recta de regresión lineal, existen dos muestras, los *Asti* italianos (AMI1 y ARI1), que se encuentran totalmente separados. Si se eliminan del cálculo de regresión el valor de  $r$  aumenta (de 0.66 a 0.73), aún así, el coeficiente de correlación es suficientemente alto para aseverar que existe relación entre los dos métodos (Figura 4.7).

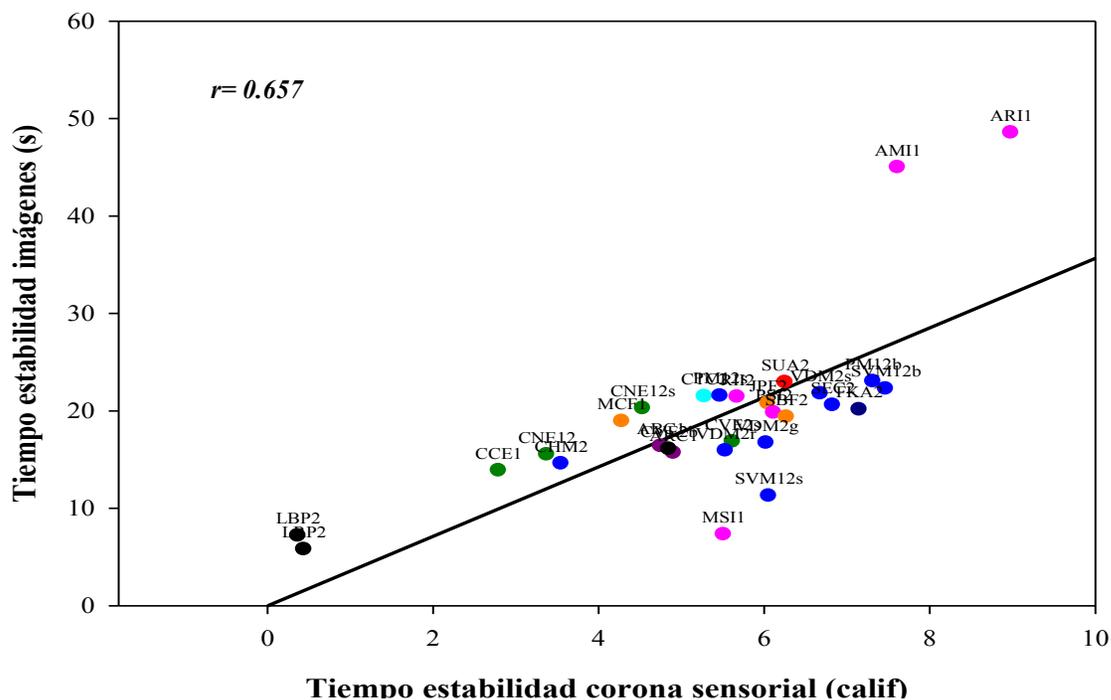


Figura 4.7. Representación gráfica de la correlación entre métodos del tiempo de estabilidad de la corona

### c) Densidad y superficie del collar

Se observan coeficientes de correlación elevados, aunque hay una clara polarización de los resultados. En las Figuras 4.8 y 4.9 se observan dos regiones: un conjunto de muestras con ausencia total de collar, y otras con altos valores de densidad y superficie tanto para evaluación sensorial como para procesamiento de imágenes. Esto encuentra explicación en la definición de ambas variables, ya que, como valor más bajo está la ausencia del collar, valores intermedios collares incompletos (que no producen la forma de anillo) y valores altos para la forma de anillo completa. Cabe destacar que con el análisis de imágenes pueden separarse muestras que los jueces determinaron como iguales o similares. Si se excluyen los puntos de valor 0 en el análisis de regresión lineal, las  $r$ 's disminuyen de alrededor de 0.9 hasta 0.45. Aún así, para  $r$ 's de 0.4, los valores de significancia estadística son de 0.02, lo cual puede indicar que finalmente la relación entre ellos existe, aunque debe ser tomada con ciertas reservas.

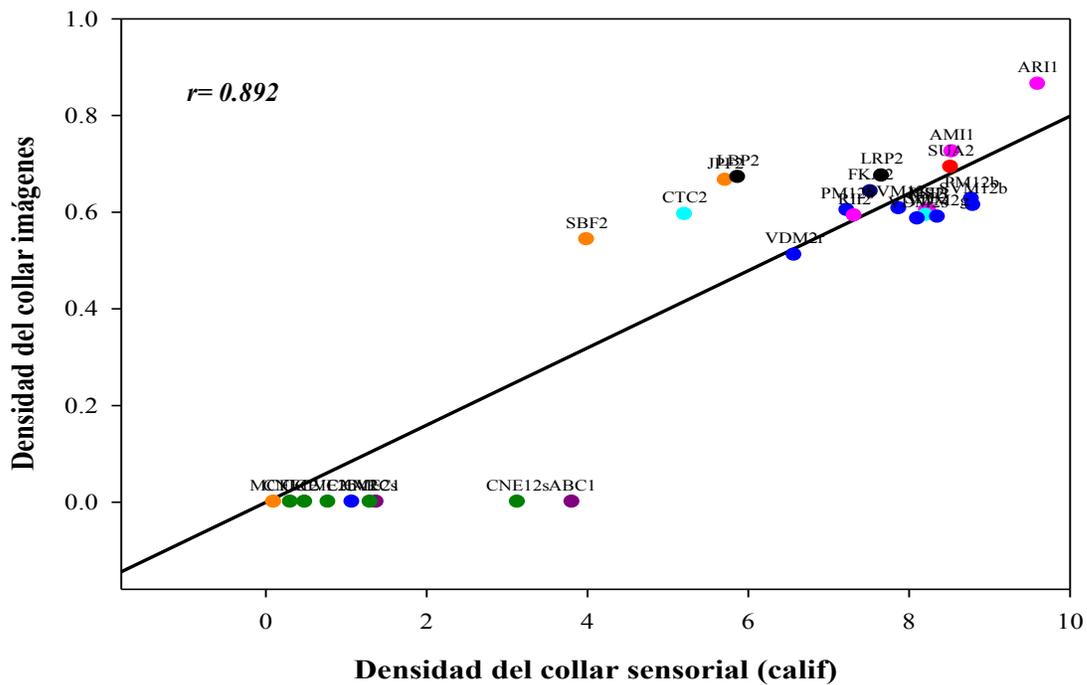


Figura 4.8. Representación gráfica de la correlación entre métodos de la densidad del collar

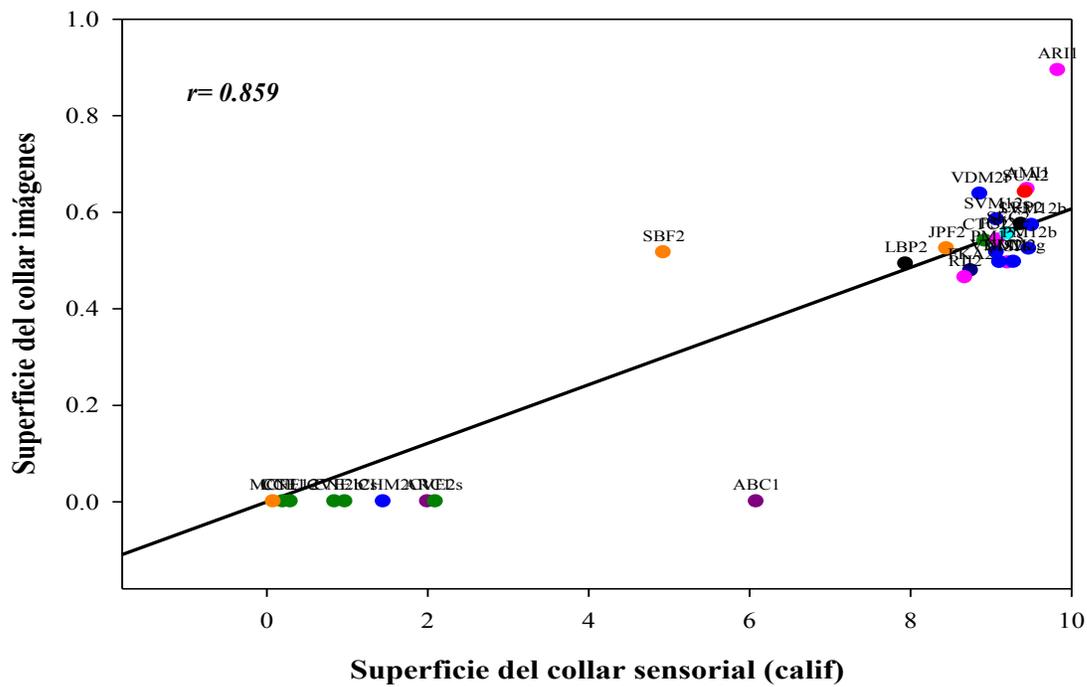


Figura 4.9. Representación gráfica de la correlación entre métodos de la superficie del collar

Finalmente, se presentan las gráficas de correlación para las variables relativas a la efervescencia. En ellas se corrobora la falta de correlación entre los métodos (Figura 4.10).

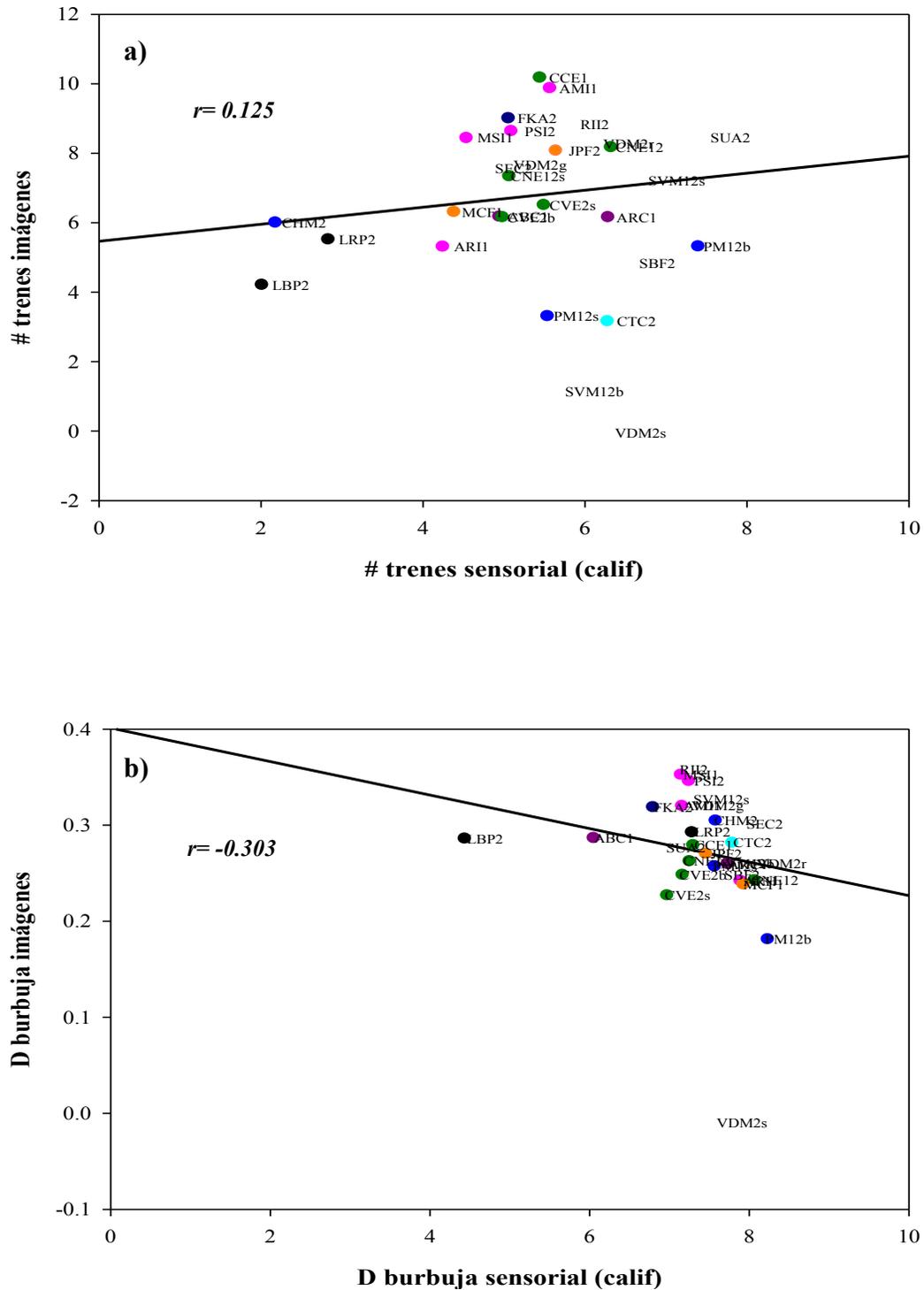


Figura 4.10. Representación gráfica de la correlación entre métodos de las variables de efervescencia: a) No. de trenes; b) D burbuja; c) V efervescencia

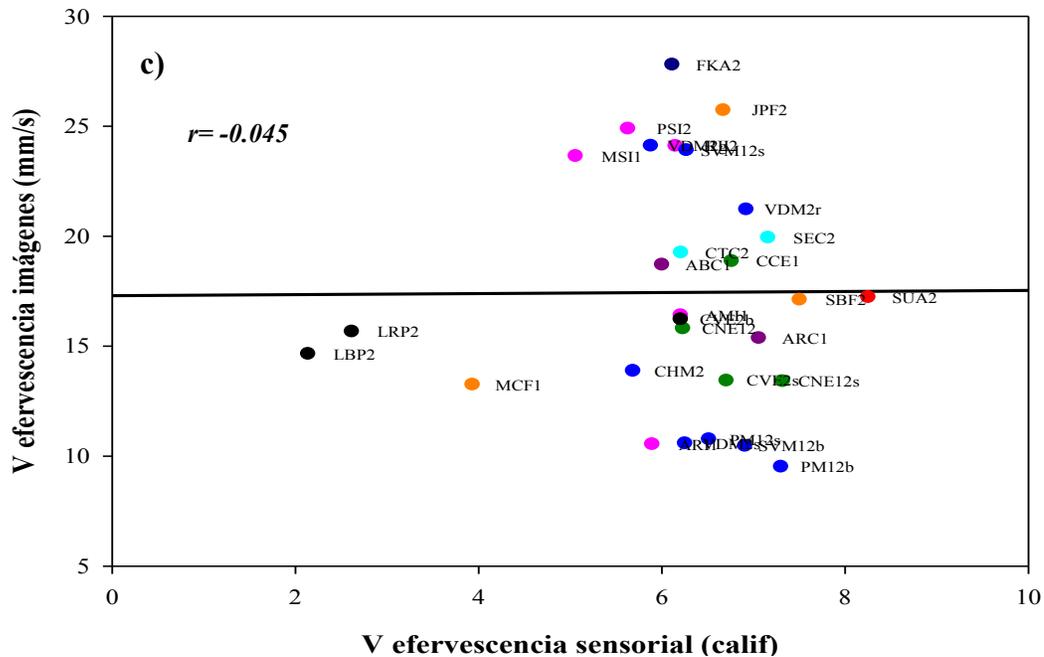


Figura 4.10. Representación gráfica de la correlación entre métodos de las variables de efervescencia: a) No. de trenes; b) D burbuja; c) V efervescencia (continuación)

En la Figura 4.11 se muestra la correlación entre la densidad y la superficie del collar medidos por evaluación sensorial (a) y por procesamiento de imágenes (b). En la gráfica (a) se observa que la mayoría de las muestras se encuentran sobre la línea de regresión lineal. En cambio, en la grafica (b) existen dos grandes grupos de muestras que dirigen la correlación. Aunque pareciera que dicha correlación está condicionada a la existencia del grupo con valores de densidad y superficie del collar de 0, es importante comentar que el procesamiento de imágenes, debido a la definición de collar (si existe, puede tener valores altos, si no existe, el valor es 0), no tiene valores intermedios como los que presenta la evaluación sensorial y que son debidos a la variación que aporta el juez.

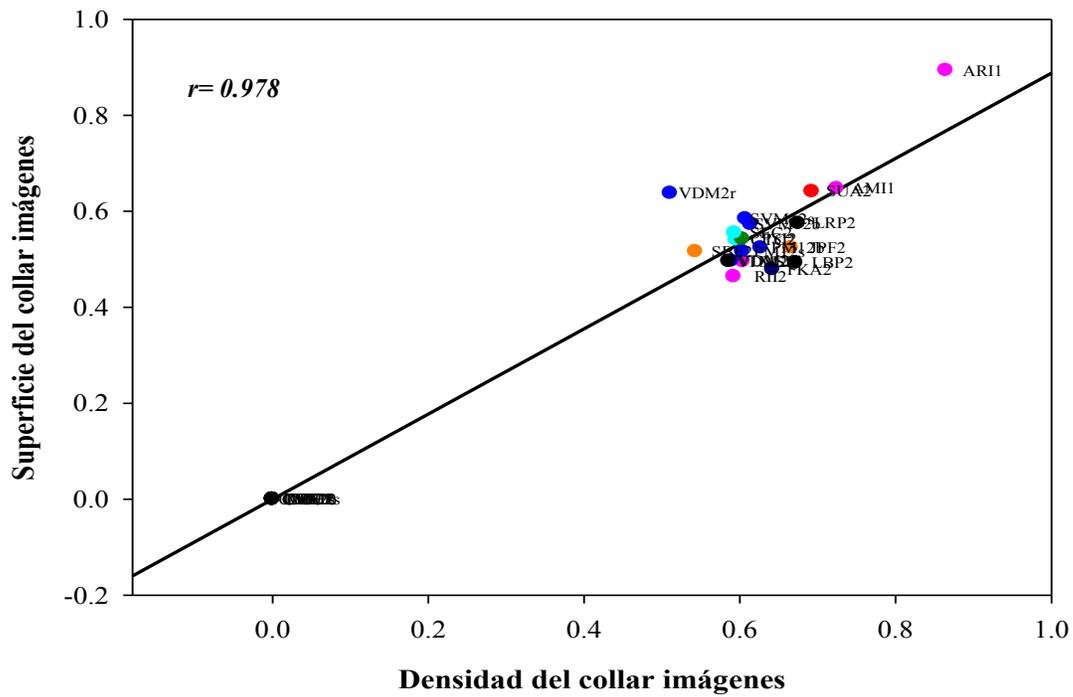
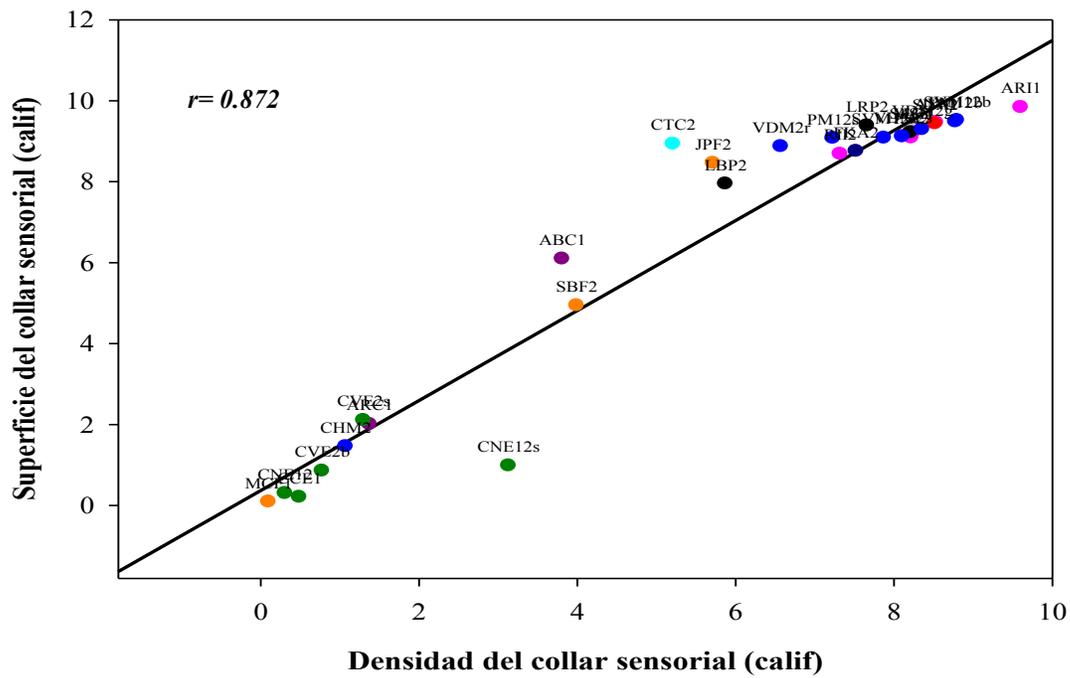


Figura 4.11. Correlación entre la densidad y superficie del collar; a) Evaluación sensorial; b) Procesamiento de imágenes

Finalmente, la relación entre la altura de la corona y la estabilidad de la misma, medidas por evaluación sensorial, es representada en la Figura 4.12. Se observa claramente que los vinos semiespumosos se separan del resto de las muestras, indicando que su comportamiento fue detectado por los jueces. En lo que respecta a los vinos espumosos, se aprecia una tendencia inversa, es decir, al aumentar el valor de la altura de la corona, disminuye el tiempo de estabilidad. Este comportamiento sugiere que la estabilidad de la espuma no se relaciona directamente con su formación. Aunque esto no se refleja claramente en el coeficiente de correlación (0.359) al ser un valor bajo y positivo, pero esto se debe a que los vinos semiespumosos modifican el análisis de regresión. Si se eliminaran los puntos del análisis, el coeficiente de correlación sería negativo aunque similar en valor (-0.355).

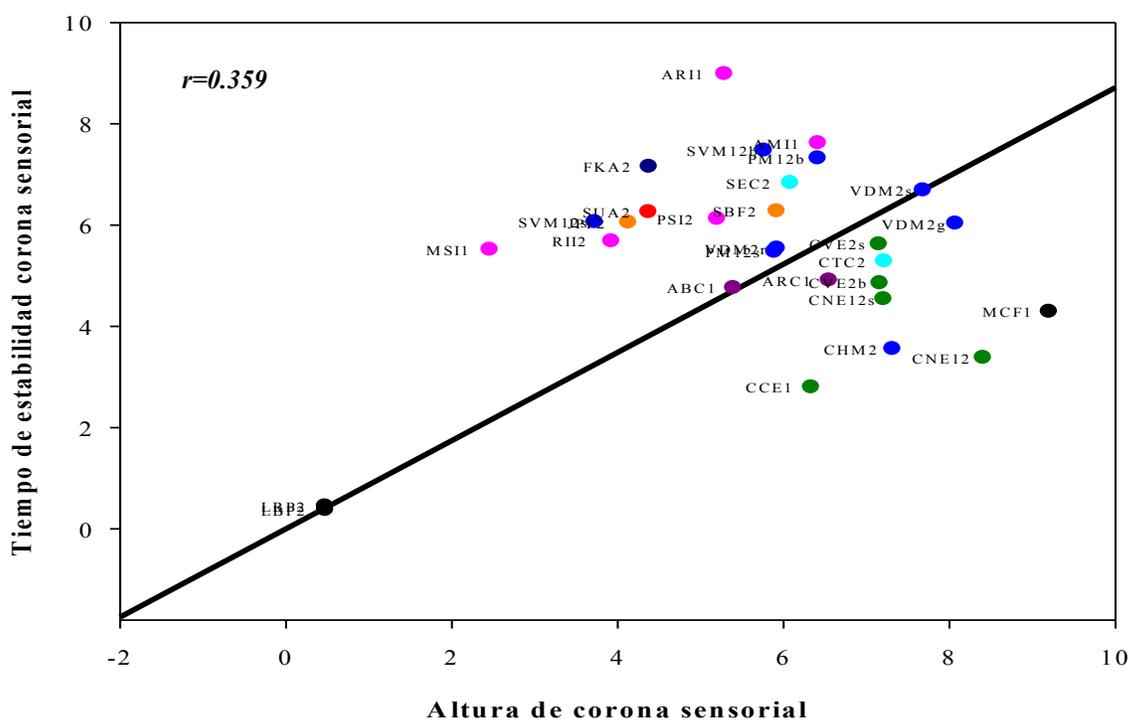


Figura 4.12. Correlación entre la altura y estabilidad de la corona medidas por evaluación sensorial

#### 5.4.2. Análisis de componentes principales (APC)

Para encontrar los patrones en los datos y expresarlos de una manera en que sea más fácil encontrar sus diferencias y similitudes, se realizó un análisis de componentes

principales (APC). En éste se observa que los dos primeros componentes explican 58% de la variación, y entre los tres primeros, 73%. En la Tabla 4.11 se condensan los valores propios, el porcentaje y porcentaje acumulado de la variación que explican, así como los vectores propios y el peso que tienen las diversas variables de respuesta en cada componente.

Tabla 4.11. Valores y vectores propios del ACP

	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>
<i>Valor propio</i>	5.22	4.13	2.38
<i>%</i>	32.62	25.84	14.86
<i>% acumulado</i>	32.62	58.46	73.32
<i>VARIABLE</i>	<i>VECTORES PROPIOS</i>		
<i>HM</i>	0.269	0.125	<b>-0.249</b>
<i>TS</i>	0.221	0.089	<b>-0.252</b>
<i>Altura corona s</i>	<b>-0.306</b>	<b>0.266</b>	0.073
<i>t estabilidad s</i>	0.079	<b>0.415</b>	0.196
<i>Densidad collar s</i>	<b>0.385</b>	0.152	0.082
<i>Superficie collar s</i>	<b>0.397</b>	0.125	0.071
<i>no trenes s</i>	-0.076	<b>0.342</b>	0.216
<i>D burbuja s</i>	-0.110	<b>0.336</b>	0.062
<i>V efervescencia s</i>	-0.192	<b>0.368</b>	0.228
<i>Altura corona i</i>	<b>-0.307</b>	<b>0.277</b>	-0.096
<i>t estabilidad i</i>	0.073	<b>0.339</b>	-0.049
<i>Densidad collar i</i>	<b>0.373</b>	0.162	-0.014
<i>Superficie collar i</i>	<b>0.359</b>	0.204	-0.011
<i>no trenes i</i>	-0.034	-0.086	<b>0.517</b>
<i>D burbuja i</i>	0.186	-0.213	<b>0.394</b>
<i>V efervescencia i</i>	0.121	-0.133	<b>0.531</b>

En la componente 1 (CP1) se puede observar que las variables que modifican en mayor proporción la respuesta son las relacionadas con el collar y que existe una relación negativa con la altura máxima de la corona. Esta componente puede estar ligada a la ESTABILIDAD de la espuma y su relación con la formación de la misma. En los sistemas espumantes, la habilidad para resistir excesivo adelgazamiento localizado de la película que recubre la burbuja mientras sucede el adelgazamiento general, fenómeno conocido como

elasticidad de la película, es necesario para la formación de espuma, pero no es suficiente para formar espuma persistente (Rosen, 2004). Por lo tanto, se puede sugerir que la espumabilidad y la estabilidad de espuma son procesos mutuamente excluyentes en los vinos espumosos.

En la componente 2 (CP2) se puede ver que son las variables relacionadas con la ESPUMABILIDAD las que influyen de manera significativa, siendo estas las variables de la corona analizadas por los dos métodos, y las variables de efervescencia medidas por evaluación sensorial. Posiblemente, esta componente esté relacionada con la fase del gas en la espuma y la formación de la misma.

Finalmente, en la componente 3 (CP3), las variables de efervescencia medidas por procesamiento de imágenes son las que llevan el mayor peso. También existe una relación negativa con las variables de la columna. Aunque no exista correlación entre evaluación sensorial y procesamiento de imágenes, esta componente pudiera explicar el proceso de liberación del CO<sub>2</sub> del líquido.

Para comprender de una mejor manera la forma en que las muestras se ven afectadas por los diversos componentes, se realizaron gráficas en dos dimensiones. En la principal (porque es la que mayor variación explica, con 58.5%) se tiene a CP1 graficada contra CP2 (Figura 4.13). Se observan diversas agrupaciones de los vinos estudiados. Una de ellas la conforman los vinos semiespumosos, que se ubican completamente aislados en la parte negativa de CP2 y en la parte positiva de CP1. Dado que el contenido de CO<sub>2</sub> es menor en estas muestras en comparación al resto, se puede inferir que el comportamiento espumante está dado mayormente por la composición química del líquido. En el conjunto verde se tienen a las *cavas* y al *Chambrulet* (CHM2) mexicano. Están ubicados en el lado negativo de CP1 y en la zona cercana al 0 de CP2, indicando que su capacidad espumante está influenciada más por el contenido de gas que por la capacidad del líquido de estabilizar la espuma. En el grupo rojo se encuentran la mayoría de las muestras analizadas y los vinos mexicanos. A pesar de ser un grupo altamente heterogéneo, se caracteriza porque la formación y estabilidad de la espuma dependen del contenido de gas y la capacidad del

líquido en proporciones similares. Finalmente, un conjunto pequeño (marcado en color naranja) que presenta un comportamiento intermedio entre el conjunto verde y el rojo.

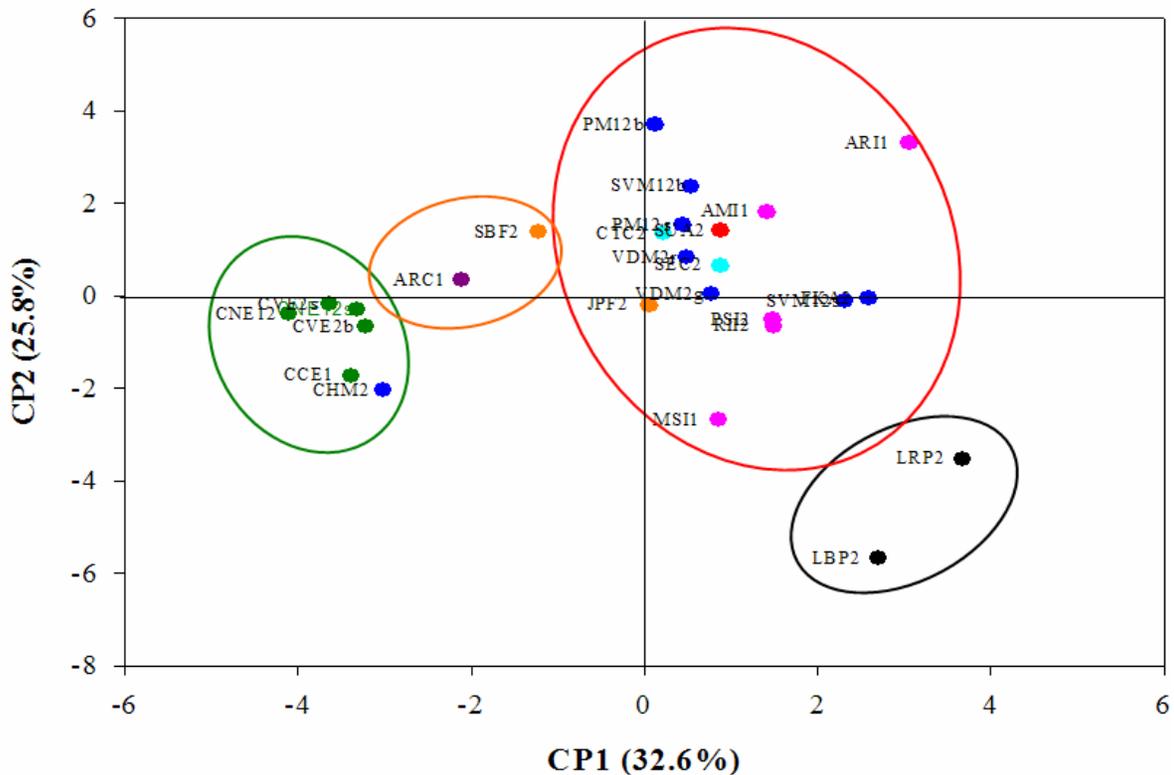
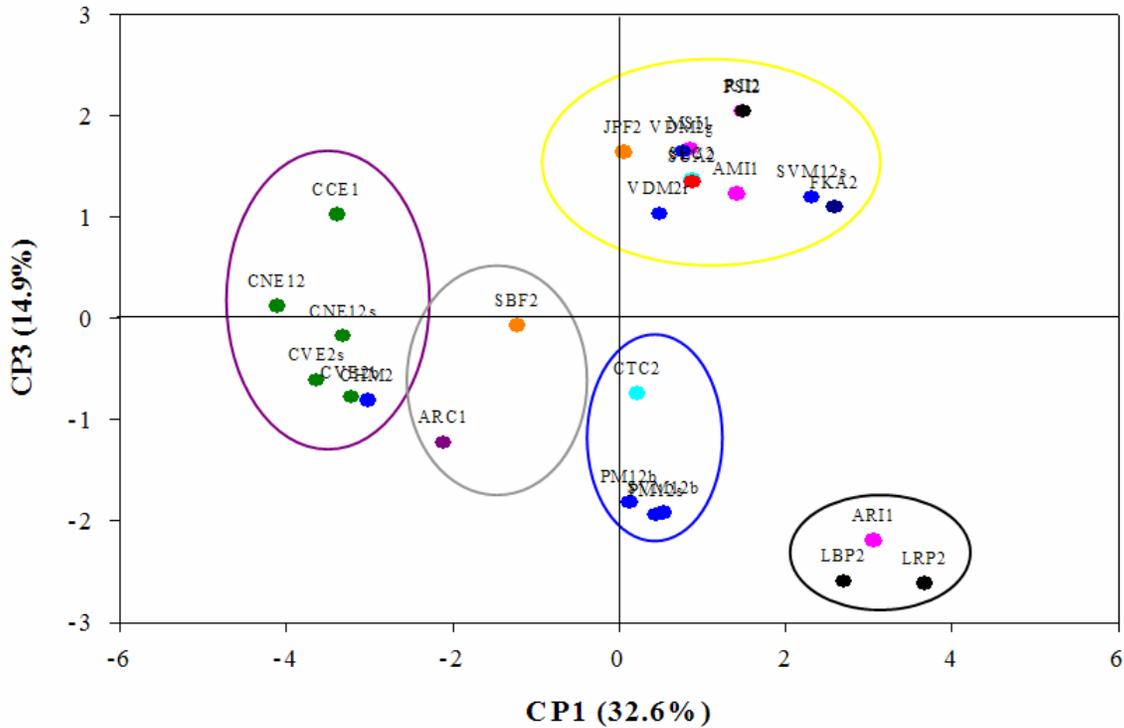


Figura 4.13. Gráfica bidimensional de componentes principales (58.5%)

En la Figura 4.14, donde se encuentran graficadas CP1 vs CP3, se distinguen cinco grupos. En morado, volvemos a encontrar a las *cavas* y al *Chambrulet* mexicano. Siguen encontrándose en la parte negativa de CP1 y cercanas a la zona del 0 de CP3. Esto nos confirma que la espuma producida por estas muestras está dada por el gas que se libera tanto al momento del servido como durante la efervescencia. Los *vinos semiespumosos* (grupo negro), acompañados del *Asti* italiano (ARI1) se encuentran en el lado negativo de CP3 y en el lado positivo de CP1, indicando que tienen poca liberación de CO<sub>2</sub> por efervescencia, y que es mucho más importante la composición química del vino para la espuma. A los *vinos mexicanos* de Freixenet los encontramos divididos en dos conjuntos, marcados en amarillo y azul. Se aprecia que tienen un comportamiento similar sobre CP1, más no para CP3. Esto sugiere que la efervescencia es diferente de acuerdo a las marcas que maneja la casa Freixenet. En el lado negativo de CP3 están los *Petillant* y *Sala Vivé*, y

en el positivo los *Viña Dolores*, siendo los primeros poco activos en la efervescencia, a diferencia de los segundos. Un último grupo se encuentra entre el grupo de las cavas y el de vinos mexicanos con poca efervescencia (gris). Su capacidad espumante no está determinada ni por la efervescencia ni por la composición del líquido.



**Figura 4.14. Gráfica bidimensional de componentes principales (47.5%)**

Finalmente, la representación entre CP2 y CP3 se muestra en la Figura 4.15. Aquí podemos establecer la separación de cuatro grupos. El más representativo del comportamiento espumante es el de los semiespumosos (en negro), los cuales se encuentran ubicados en la parte negativa de ambos componentes. Como se mencionó anteriormente, CP2 y CP3 están relacionados con la cantidad de CO<sub>2</sub> y sus mecanismos de liberación. Ya que los vinos semiespumosos tienen menor concentración de CO<sub>2</sub> que los espumosos, debido a la posición que guardan en la gráfica su comportamiento está de acuerdo con lo supuesto, lo que aumenta la confianza en los resultados obtenidos. Los vinos mexicanos se encuentran repartidos en los tres grupos restantes, lo que indica que existen diferencias entre su comportamiento efervescente. Los *Viña Dolores* de Freixenet son los que mayor

efervescencia presentan, al encontrarse en el conjunto rosa, que presenta los valores más positivos. *Chambrulet*, junto con las *cavas*, muestran efervescencia intermedia, ya que se encuentran cerca del 0. Finalmente, ubicados en la parte positiva de CP2 y en la negativa de CP3, los *Petillant* y *Sala Vivé*. Esto nos indica que la pérdida de CO<sub>2</sub> en estas muestras es primordialmente al momento del servido, y no durante la efervescencia.

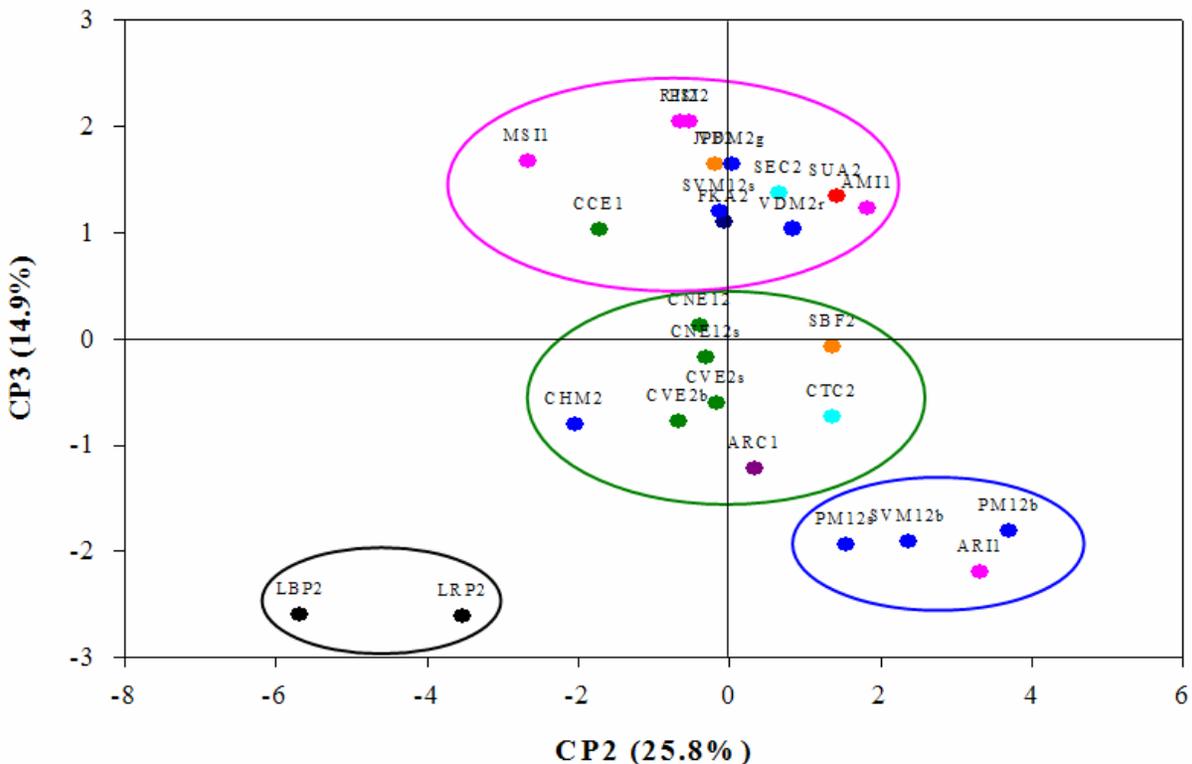


Figura 4.15. Gráfica bidimensional de componentes principales (40.7%)

## V. CONCLUSIONES

### ***Evaluación sensorial:***

- ☐ Tanto el tipo de vino como el servido tuvieron efectos altamente significativos sobre todas las características espumantes evaluadas.
- ☐ Conforme transcurren los servidos, la altura de la corona disminuye, los valores correspondientes a las variables del collar aumentan y el diámetro de la burbuja obtenido en el primer servido es menor y diferente al del resto.
- ☐ La *Champaña* (MCF1) fue el vino espumoso mejor evaluado en cuanto a la altura de la corona, mientras que obtuvo calificaciones bajas en las variables relativas al collar en las cuales el *Asti* italiano (ARI1) destacó. Los vinos *Lancers semiespumosos* (LBP2 y LRP2) presentaron las calificaciones más bajas en las variables de la corona y efervescencia.
- ☐ Dentro de los vinos mexicanos, *Petillant brut* de Freixenet (PM12b) destacó en la mayoría de las variables evaluadas, contrario a lo demostrado por *Chambrulet* de L.A. Cetto (CHM2).
- ☐ Los resultados obtenidos durante el primer servido fueron muy similares a los observados considerando los seis servidos.

### ***Procesamiento de imágenes:***

- ☐ A pesar de que no fue un factor de estudio, se observó que el servido (bloque) afectó las respuestas en las diferentes variables.
- ☐ Al igual que a nivel sensorial, la *Champaña* (MCF1) presentó la máxima altura de corona y los menores valores de superficie y densidad de collar.
- ☐ El *Asti* italiano (ARI1) obtuvo el mayor tiempo de estabilidad de la corona, al igual que los máximos valores de las variables del collar.
- ☐ Al hacer una evaluación global, las muestras mejor evaluadas por este método fueron el *Asti* italiano (ARI1) y *Petillant brut* de Freixenet (PM12b).

### ***Método de burbujeo de gas:***

- 🖼 Las condiciones experimentales utilizadas no permitieron determinar el coeficiente de Bikerman ( $\Sigma$ ) en algunas de las muestras evaluadas.
- 🖼 El *Asti* italiano (ARI1) presentó el mayor valor de altura máxima (HM), mientras que un vino *Lancers semiespumoso* (LRP2) mostró el mayor tiempo de estabilidad (TS), lo que sugiere que bajo las mismas condiciones de gas, este vino pudiera tener buenas propiedades espumantes.
- 🖼 Este método puede ser muy útil para predecir propiedades espumantes de los vinos después de la segunda fermentación.

### ***Análisis multivariados:***

- 🖼 Se encontraron correlaciones elevadas de las variables del collar y la corona analizadas por evaluación sensorial con aquellas analizadas por procesamiento de imágenes, no así para las variables de efervescencia.
- 🖼 Al interior de la evaluación sensorial, la superficie y densidad del collar, la altura de la corona y densidad del collar, y velocidad de la efervescencia con diámetro de burbuja y número de trenes mostraron correlaciones altamente significativas. En contra de lo esperado, no se obtuvo una correlación significativa entre la altura y el tiempo de estabilidad de la corona.
- 🖼 Dentro del procesamiento de imágenes se tienen correlaciones entre superficie y densidad del collar, entre la altura de la corona y la densidad del collar, así como entre la velocidad de efervescencia con el número de trenes y el diámetro de la burbuja.
- 🖼 Se encontró una correlación alta y positiva entre las dos variables determinadas por el método de inyección de gas (HM y TS), lo cual contrasta con lo reportado por la literatura y pudo deberse a la limpieza del equipo utilizado.
- 🖼 Sobresalen dos correlaciones entre dos variables distintas medidas por diferentes métodos, como son la densidad del collar medida a través del procesamiento de imágenes y la superficie del collar analizada por evaluación sensorial, y la velocidad de la efervescencia del análisis sensorial con la altura de la corona del análisis de imágenes.

- 🖨 El análisis de componentes principales (APC) mostró que los tres primeros componentes explican 73% de la variación.
- 🖨 El componente principal 1 (CP1) puede estar ligado a la estabilidad de la espuma y su relación con la formación de la misma, mientras que el CP2 posiblemente está relacionado con la fase del gas en la espuma y la formación de la misma, así como el CP3 pudiera explicar el proceso de liberación del CO<sub>2</sub> del líquido.
- 🖨 Al graficar CP1 contra CP2 se obtiene una separación en cuatro grupos: el de vinos semiespumosos, el de cavas, el de la mayoría de los vinos, donde se encuentran los vinos mexicanos y uno intermedio entre los dos últimos. Cuando se grafica CP1 contra CP3 se observan cinco grupos: el de las cavas, el de vinos semiespumosos, dos conteniendo vinos mexicanos y uno intermedio y en la gráfica de CP2 contra CP3 las muestras se dividen en cuatro grupos.

#### ***Consideraciones finales y recomendaciones para futuros trabajos:***

- 🖨 Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que el procesamiento de imágenes es un método confiable para analizar las variables de la corona y el collar, lo cual constituye una herramienta invaluable para el control de calidad en la elaboración de vinos espumosos, o bien a nivel experimental, disminuyendo al máximo la variación debida a los jueces en las evaluaciones sensoriales.
- 🖨 En el caso de las variables de la efervescencia, que no presentaron correlación entre la evaluación sensorial y el procesamiento de imágenes, se recomendaría utilizar este último puesto que puede distinguir entre diferentes regímenes de burbujeo, lo cual altera la percepción de los jueces.
- 🖨 Una ventaja que presenta el procesamiento de imágenes frente a la evaluación sensorial es que no está condicionado al entrenamiento o asistencia de los jueces.
- 🖨 Para futuros trabajos de investigación se recomienda mejorar las condiciones de iluminación durante la adquisición de imágenes, para facilitar el análisis de las mismas.
- 🖨 El análisis de imágenes puede ser utilizado para caracterizar vinos experimentales, con parámetros medibles y más objetivos.

 Se recomienda utilizar el análisis de imágenes para determinar el color de los vinos para el control de su calidad, por ser barato, objetivo y no depender de la disponibilidad del juez.

## VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- AACREA. 2004. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola. Internet: <http://www.aacrea.org.ar>. Fecha de consulta: 26 de Mayo de 2006.
- Amerine, M. A., Berg, H. W., Kunkee, R. E., Ough, C.S., Singleton, V.L., Webb, A.D. 1980. Technology of wine making. 4ta. Edición. Ed. Avi Publishing Company. EE. UU. pp. 451-453, 458-459.
- Andrés-Lacueva, C., Gallart, M., López-Tamames, E., Lamuela-Raventós, R. 1996a. Influence of variety and aging on foaming properties of sparkling wine (Cava) 1. J. Agric. Food Chem. 44(12): 3826-3829.
- Andrés-Lacueva, C., López-Tamames, E., Lamuela-Raventós, R. M., Buxaderas S., De la Torre-Boronat, C. 1996b. Characteristics of Sparkling base wines affecting foam behavior. J. Agric. Food Chem. 44: 989-995.
- Anónimo. 2002. Segunda fermentación, vinos espumosos: Un universo con leyes propias. Dossier de ACE Revista de Enología. 7:65.
- Asociación Nacional de Vitivinicultores, A.C. 2006. Comunicación personal con Lic. Pilar Meré, Coordinadora de Promoción del Comité del Vino Mexicano.
- Asociación Nacional de Vitivinicultores. 2006. La cata. Internet: <http://www.vinosdemexico.org>. Fecha de consulta: 10 de Julio de 2006.
- Barcelon, E. G., Tojo, S., & Watanabe, K. (1999). X-ray computed tomography for internal quality evaluation of peaches. J. Agr. Eng. Res. 73:323–330.
- Bratko, D., Curtis, R., Blanch, H., Prausnitz, J. 2001. Interaction between hydrophobic surfaces with metastable intervening liquid. J. Chem. Phys. 115(8):3873-3877.
- Brecht, J. K., Shewfelt, R. L., Garner, J. C., Tollner, E. W. 1991. Using X-ray-computed tomography to nondestructively determine maturity of green tomatoes. Hort. Sci. 26:45–47.
- Brissonnet, F. 1992. Identification de composés mousse-actifs des vins de Champagne. Tesis de Doctorado. Universidad de Reims, Reims. Francia. pp 11, 34-35.
- Brissonnet, F., Maujean, A. 1993. Characterization of foaming proteins in a champagne base wine. Am. J. Enol. Vitic. 44:297-301.

- Campos, R. 2001. El origen de unas burbujas (III): no es cava todo lo que burbujea. Internet: [www.verema.com](http://www.verema.com). Fecha de consulta: 25 de Mayo de 2006.
- Cgamx (Commercial Goal Achievers). 2004. Importadores y comercializadores de vino australiano en México. Internet: <http://www.cgamx.com>. Fecha de consulta: 16 de Junio de 2006.
- Chambers D., Allison A.M., Chambers IV E. 2004. Training effects on performance of descriptive panelists. *J. Sens. Stud.* 19:486–499.
- Cober, E. R., Voldeng, H. D., & Fregeau-Reid, J. A. 1997. Heritability of seed shape and seed size in soybean. *Crop Sci.* 37:1767–1769.
- Coste. E. 2006. Análisis sensorial de quesos. Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina. Internet: <http://www.vet.unicen.edu.ar/Tecnologia/Jornadas/Conferencias/Conferencia%20Beatriz%20Coste.doc>. Fecha de consulta: 10 de Julio de 2006.
- Cutanda-López, R. 2003. Manual de edición de video. Internet: <http://www.videoedicion.org/manuales>. Fecha de consulta: 10 de Octubre de 2006.
- Daban, M. 2005. Los espumosos del mundo: factor variedad y fermentación. *Dossier de ACE Revista de Enología.* 57:65.
- Dihang H., Bru P., Brunel L., Snabre P., Priester, T. 2006. Physical stability and particle size analyses of foam. *On Memories of 6th. European Conference on foam, emulsions and applications, EUFOAM, Postdam, Alemania.* p. 98.
- Du, C.J., Sun, D.W. 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends Food Sci. Technol.* 15:230-249.
- Enoconsulting C.B. 2003. Elaboración de Vinos Espumosos. *Revista Bebidas Mexicanas.* Vol. 2. México. Internet: <http://www.alfa-editores.com/historico/bebidas>. Fecha de consulta: 31 de Mayo de 2006.
- Enoforum. 2004. Iniciación a la cata de vinos. Internet: <http://www.mixmail.com>. Fecha de consulta: 6 de Junio de 2006.
- Enoforum. 2006. Mecanismos de degustación: sentidos empleados en la cata. Internet: <http://www.enoforum.com>. Fecha de consulta: 20 de Julio de 2006.
- ENSAM, 1989. Methodes d'évaluation sensorielles des aliments, Chaire de Technologie-Enologie. Ecole Nationale Superieure Agronomique de Montpellier. Francia. pp. 2-3.

- Evans, S. D., Brambilla, A., Lane, D. M., Torreggiani, D., Hall, L. D. 2002. Magnetic resonance imaging of strawberry (*Fragaria vesca*) slices during osmotic dehydration and air drying. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 35:77–184.
- Flanzy, C. 1998. *Oenologie: fondamentos científicos y tecnológicos*. Ed. Lavoisier. París. pp 45.
- Fortin, A., Tong, A. K. W., Robertson, W. M., Zawadski, S. M., Landry, S. J., Robinson, D. J., Liu, T., & Mockford, R. J. 2003. A novel approach to grading pork carcasses: computer vision and ultrasound. *Meat Sci*. 63:451–462.
- Freixenet. 2006. Elaboración del Cava. Internet: <http://www.freixenet.com.ar>. Fecha de consulta: 20 de Julio de 2006.
- Gallart, M. Tomás, X. Suberbiola, G. López-Tamames, E., Buxaderas, S. 2004. Relationship between foam parameters obtained by the gas-sparging method and sensory evaluation of sparkling wines. *J. Sci. Food Agric*. 84:127-133.
- Gallart, M., López-Tamames, E., Buxaderas, S. 1997. Foam measurements in wine: Comparison of parameters obtained by gas sparging method. *J. Agric. Food Chem*. 45:4687-4690.
- Gayon, P., Glories Y., Maujean, A., Dubourdiou, D. 2006. *Tratado d'Oenologie*, Volume 2. La Vigne, Francia. pp. 217, 243.
- Gomerieux, T. 1989. Étude du degaze et de la tenue de mousse des vins de Champagne. *Rev. Fr. Oenol*. 116:45-50.
- Goodrum, J. W., Elster, R. T. 1992. Machine vision for crack detection in rotating eggs. *Transactions of the ASAE*. 35:1323–1328.
- Gutiérrez, V. 2003. El servicio de los espumosos. Reportaje de “Bodega Canaria”. No. 16. Internet: <http://www.bodegacanaria.com>. Fecha de consulta: 15 de Mayo de 2006.
- Hackbarth, J. 2006. Multivariate analyses of beer foam stand. *J. Inst. Brew*. 112(1):17-24,
- Hidalgo, P., Pueyo, E., Pozo-Bayón, M.A., Martínez-Rodríguez, A.J., Martín-Álvarez, P., Polo, M.C. 2004. Sensory and Analytical Study of Rosé Sparkling Wines Manufactured by Second Fermentation in the Bottle. *J. Agric. Food Chem*. 52:6640-6645.
- ICEX (Instituto de Comercio Exterior de España). 2006. Internet: <http://www.icex.es/staticFiles>. Fecha de consulta: 11 de Junio 2006.

- ICEX. 2004. Informes Estadísticos de Comercio Exterior. Internet: <http://www.icex.es>. Informe no. 2204101712021. Fecha de consulta: 22 de Junio 2006.
- Idígoras, J. 2006. Curso sobre el Vino. Internet: <http://www.aulafacil.com>. Fecha de consulta: 23 de Junio de 2006.
- IESMAT. 2006. Dispersión de Luz Múltiple-Multiple Light Scattering: Principio de medida y tratamiento de datos para el Turbiscan. Internet: [www2.iesmat.com](http://www2.iesmat.com). Fecha de consulta: 2 de Junio de 2006.
- INEGI. 2004. Censos económicos. Internet: <http://www.inegi.gob.mx>. Fecha de consulta: 11 de Julio de 2006.
- Infoagro. 2006. El cava, método de elaboración. <http://www.infoagro.com>. Fecha de consulta: 25 de Mayo de 2006.
- INFOCIR. 2005. Boletín del Fondo de Capitalización e Inversión del Sector Rural (FOCIR) No. 11, volumen 1. Internet: <http://vinomex.homestead.com/>. Fecha de consulta: 31 de Mayo de 2006.
- Kibron Inc. 2006. Surface Tension and Tensiometers. Internet: <http://www.kibron.com>. Fecha de consulta: 22 de Mayo de 2006.
- Kim, N., Amin, V., Wilson, D., Rouse, G., Udpa, S. 1998. Ultrasound image texture analysis for characterizing intramuscular fat content of live beef cattle. *Ultrasonic Imaging*. 20:191–205.
- Leemans, V., Magein, H., Destain, M. F. 1998. Defects segmentation on ‘Golden Delicious’ apples by using colour machine vision. *Comput. Electron. Agr.* 20:117–130.
- Li, J., Tan, J., Martz, F. A., Heymann, H. 1999. Image texture features as indicators of beef tenderness. *Meat Sci.* 53:17–22.
- Li, Q. Z., Wang, M. H., Gu, W. K. 2002. Computer vision based system for apple surface defect detection. *Comput. Electron. Agr.* 36(2–3):215–223.
- Liger-Belair, G. 2005. The Physics and Chemistry behind the Bubbling Properties of Champagne and Sparkling Wines: A State-of-the-Art Review. *J. Agric. Food Chem.* 53: 2788-2802.
- Liger-Belair, G., Marchal, R., Robillard, B., Dambrouck, T., Maujean, A., Vignes-Adler, M., Jeandet P. 2000. On the velocity of expanding spherical gas bubbles rising in line in

- supersaturated hydroalcoholic solutions: application to bubble trains in carbonated beverages. *Langmuir*. 16:1889-1895.
- Liger-Belair, G., Marchal, R., Robillard, B., Vignes-Adler, M., Maujean, A., Jeandet, P. 1999. Study of effervescence in a glass of champagne: Bubble formation frequencies, growth rates and velocities of rising bubbles. *Am. J. Enol. Vitic.* 50:317-323.
- Liger-Belair, G., Tufaile, A., Jeandet, P., Sartorelli, J. 2006. Champagne experiences various rhythmical bubbling regimes in a flute. *J. Agric. Food Chem.* 54:6989-6994.
- Llorentes, A. 2003. *Vinos espumantes*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Alto Valle, Argentina. pp. 1-3.
- Locht, P. 1996. Full-color Space Image Analysis of Food Products Using the WinGrain System. Internet: <http://www.machinevisiononline.org/>. Fecha de consulta: 20 de Julio de 2006.
- Lurton, L., Guerreau, J. 1988. Etude de la proteolyse des levures de vinification lors de l'levage d'un vin sur ses lies. *Rev. Fr. Oenol.* 28(113):35-41.
- Machet, F., Robillard, B., Duteurtre, B. 1993. Application of image analysis to foam stability of sparkling wines. *Sc. Aliments.* 13:73-87.
- Malena, M., Rodríguez, S. 2006. El mundo del vino. Link: <http://www.argentinaturistica.com/vinosmundo.htm>. Fecha de consulta: 5 de Junio de 2006.
- Malvy, J., Robillard, B., Duteurtre, B. 1994. Influence des protéines sur le comportement de la mousse des vins de Champagne. *Sc. Aliments.* 14:87-98.
- Marchal, R., Tabary, I., Valade, M., Moncomble, D., Viaux, L., Robillard, B., Jeandet, P. 2001. Effects of *Botrytis cinerea* infection on Champagne wine foaming properties. *J. Sci. Food Agric.* 81:1371-1378.
- Marchal, R., Warchol, M., Cilindre, C., Jeandet, P. 2006. Evidence for protein degradation by *Botrytis cinerea* and relationships with alteration of synthetic wine foaming properties. *J. Agric. Food Chem.* 54:5157-5165.
- Mareca, I. 1969. *Enología*. Ed. Alhambra. Madrid. España. pp. 156, 158.
- Masters, J. 2006. La cata, arte o ciencia. *ACE Revista de Enología.* 67:65.
- Maxworthy, T., Gnann, C., Kürten, M., Durst, F. 1996. Experiments on the rise of air bubbles in clean viscous liquids. *J. Fluid Mech.* 321:421.

- Miquel, M. E., Carli, S., Couzens, P. J., Wille, H. J., Hall, L. D. 2001. Kinetics of the migration of lipids in composite chocolate measured by magnetic resonance imaging. *Food Res. Int.* 34:773–781.
- Noguera, J. 1974. *Enotecnia Industrial*. 2ª. Ed. Dilagro. Lérida. España. pp. 395, 397-399, 404.
- Novini, A. 1990. Fundamentals of machine vision component selection. In *Food Processing Automation II—Proceedings of the 1990 Conference* (pp. 60). Hyatt Regency, Lexington, Kentucky: ASAE
- Obiols J.M., De la Presa-Owens C., Buxaderas S., Bori J.L., De la Torre-Boronat M.C. 1998. Protocol d'avaluació de la formació d'efervescència i escuma en vins escumosos. *ACE Revista de Enología*. 15(44):3-15.
- Ogawa, Y., Morita, K., Tanaka, S., Setoguchi, M., Thai, C. N. 1998. Application of X-ray CT for detection of physical foreign materials in foods. *Transactions of the ASAE*. 41:157–162.
- OIV. 1994. Norme O.I.V. des Concours Internationaux des Vins. Organisation internationale de la vigne et du vin. Francia. Anexo I. pp. 14-15.
- OIV. 2006. Code International Des Pratiques Œnologiques. Organisation internationale de la vigne et du vin. Francia. Capítulo I, pp. 4-6.
- ONIVINS. 2004. Le marché mondial des vins effervescents: trente ans d'évolution. *ONIVINS-INFOS*. ISSN 1165-7154. N° 118.
- Paliwal, J., Shashidhar, N. S., Jayas, D. S. 1999. Grain kernel identification using kernel signature. *Transactions of the ASAE*. 42:1921–1924.
- Panigrahi, S., Misra, M. K., Bern, C., Marley, S. 1995. Background segmentation and dimensional measurement of corn germplasm. *Transactions of the ASAE*. 38:291–297.
- Park, B., Chen, Y. R., Nguyen, M. 1998. Multi-spectral image analysis using neural network algorithm for inspection of poultry carcasses. *J. Agric. Eng. Res.* 69:351–363.
- Pedrero D., Pangborn R. 1989. Evaluación sensorial de los alimentos: métodos analíticos. Ed. Alhambra Mexicana. México D.F. México. pp. 77-82, 117-121, 231-232, 235.
- Pérez-Gómez, J., 2006. Efecto de pasteurización y adición de sulfitos en la fermentación de vino de piña. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico. pp. 19-26.

- Peron N., Meunier J., Cagna A., Valade M., Douillard R. 2004. Phase separation in molecular layers of macromolecules at the champagne-air interface. *J. Microsc.* 214(1):89-98.
- Polo, C. 2002. El análisis sensorial como herramienta para evaluar la calidad de la espuma de los vinos espumosos. En *Memorias del I Encuentro Internacional de Ciencias Sensoriales y de la Percepción 2002, Análisis Sensorial [Vino]*. Barcelona, España. pp 13-15.
- Primrose, K. M., Bolton, G. 2001. Applications of electrical process tomography in food processing. In *American Association of Chemical Engineering—Conference of Food Engineering—on the use of electrical resistance tomography in the food sector*.
- Princen, H., Overbeek, J., Mason, S. 1967. The permeability of soap films to gases. *J. Colloid Interface Sci.* 24:125.
- Pueyo, E., Martín-Alvarez, P., Polo C., 1995. Relationship between foam characteristics and chemical composition in wines and cavas (sparkling wines). *Am. J. Enol. Vitic.* 46(4):518-524.
- Rigney, M. P., Bruswitz, G. H., Kranzler, G. A. 1992. Asparagus defect inspection with machine vision. *Transactions of the ASAE.* 35:1873–1878.
- Robillard, B., Depuelch, E., Viaux, L., Malvy, J., Vignes-Adler M., Duteurtre B. 1993. Improvements of Methods for Sparkling Wine Foam Measurements and effect of wine filtration on foam behavior. *Am. J. Enol. Vitic.* 44(4):387-392.
- Rosen, M. 2004. *Surfactants and Interfacial phenomena*. 3era. edición. Ed. Wiley-Interscience. Nueva Jersey, EE.UU., pp. 278, 282-284.
- Ruíz, M., Martínez, M. 1997. *Curso Popular de Cata de Vinos*. Edición de la Conserjería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo rural de La Rioja. La Rioja. España. pp. 1-2, 9, 12, 50-51.
- Sánchez, N., Sánchez R., Guzmán S., Ritter W. 2003. El clima y las viñas del Señor. *Revista Teorema Ambiental*. No. 43. Internet: <http://www.teorema.com.mx>. Fecha de consulta: 5 de Julio de 2006.
- Senée, J., Robillard, B., Vignes-Adler, M., 1999. Films and foams of Champagne wines. *Food Hydrocolloid.* 13:15-26.

- Senée, J., Viaux, L., Robillard, B., Duteurtre, B., Vignes-Adler, M., (1998). The endogenous particles of a sparkling wine and their influence on the foaming behaviour. *Food Hydrocolloid*. 12:217-226.
- Shearer, S. A., Payne, F. A. 1990. Color and defect sorting of bell peppers using machine vision. *Transactions of the ASAE*. 33:2045–2050.
- SISPRO. 2003. Sistemas-Producto Agrícola del SIAP. Internet: <http://w4.siap.sagarpa.gob.mx>. Fecha de consulta: 5 de Julio de 2006.
- So, J. D., Wheaton, F. W. 1996. Computer vision applied to detection of oyster hinge lines. *Transactions of the ASAE*. 39:1557–1566.
- Song, H. P., Litchfield, J. B. 1994. Measurement of stress cracking in maize kernels by magnetic resonance imaging. *J. Agric. Eng. Res.* 57:109–118.
- Sun, D. W. 2000. Inspecting pizza topping percentage and distribution by a computer vision method. *J. Food Eng.* 44:245–249.
- Sun, D. W., Brosnan, T. 2003. Pizza quality evaluation using computer vision—part 1 pizza base and sauce spread. *J. Food Eng.* 57:81–89.
- Tao, Y., Ibarra, J. G. 2000. Thickness-Compensated X-Ray Imaging Detection of Bone Fragments In Deboned Poultry—Model Analysis. *Transactions of the ASAE*. 43(2): 453-459.
- UTCA. 2005. Universidad de Turismo y Ciencias Administrativas (UTCA). *Apuntes de Diplomado en Vinos*. México D.F. México. 7-8, 49, 56.
- Vanrell, G., Esteruelas, M., Canals, J., Zamora, F., Poinssaut, P., Sieczkowski, N., Leboeuf, S. 2005. Influence du type de clarification du vin de base et des adjuvants de tirage sur la qualité de la mousse des vins effervescents. *Revue des Œnologues* 114:28-30.
- Vázquez, C. 2006. Historia del Cava. Internet: <http://www.terra.es/personal5>. Fecha de consulta: 20 de Julio de 2006.
- Vinos y otras cosas. 2006. De todo un poco. Internet: <http://www.detodounpocotv.com>. Fecha de consulta: 10 de Julio de 2006.
- Vizhanyo, T., Felfoldi, J. 2000. Enhancing colour differences in images of diseased mushrooms. *Comput. Electron. Agr.* 26:187–198.
- Walstra, P. 2003. *Physical Chemistry of foods*. Ed. Marcel Dekker Inc., Nueva York, EE.UU. pp. 399.

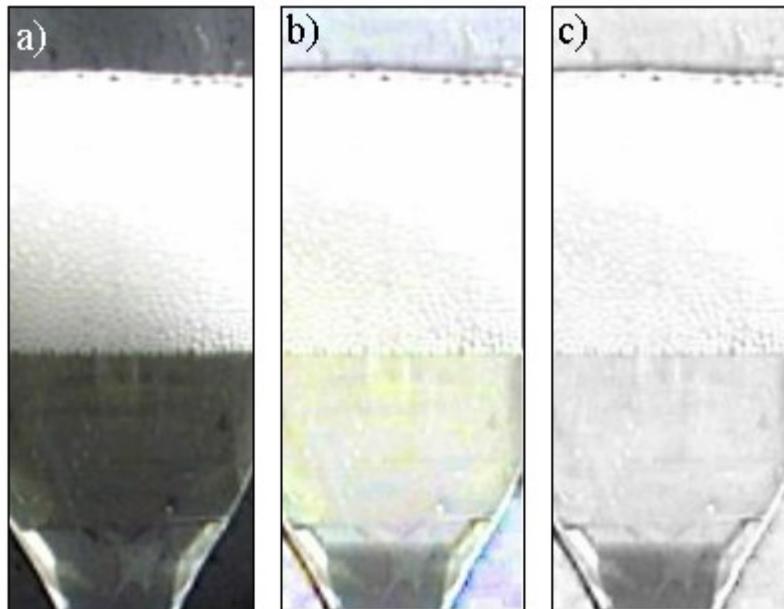
- Wittig de Penna, E., Bunger Timemlann, A., Serrano Valdes, L. 2000. Entrenamiento de paneles sensoriales constituidos por niños. ALAN. 50(1):19-25.
- Zironi, R., Tat, L. 2005. Vinos espumosos y de aguja en Italia. ACE Revista de Enología. 57:65.
- Zoecklein B. 2002. A Review of Méthode Champenoise Production. Departamento de Ciencia y Tecnología de alimentos del Instituto Politécnico y Universidad Estatal de Virginia. 2ª. Virginia. EE. UU. p. 14.

## ANEXO I

### Elaboración de los programas para el análisis de imágenes

Para las diferentes variables evaluadas en este proyecto se crearon pequeños programas, llamados “macros”, en el programa *ImageJ*. En este anexo, se explica el proceso de concepción según las características a analizar.

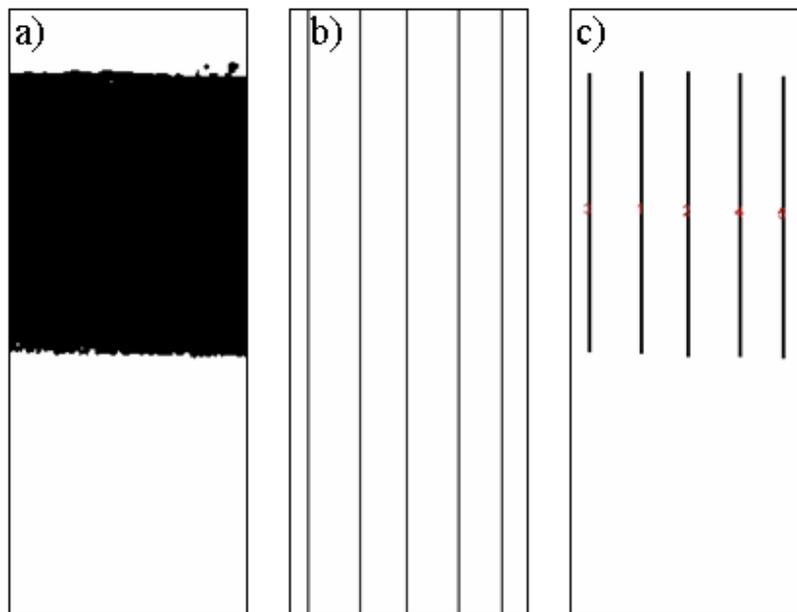
- 🖼️ **Altura máxima de la corona al momento del servido:** se eligieron entre 25 y 30 imágenes que fueron preprocesadas sustrayéndoles el fondo y convirtiéndolas de RGB (color) a 8 bits (Figura A1.1).



**Figura A1.1. Preprocesamiento de la imagen original: a) Imagen original; b) Imagen sin fondo RGB; c) Imagen sin fondo 8 bits**

Posteriormente, las imágenes se binarizaron (convirtieron de 8 bits a blanco y negro) para separar el fondo de la corona y, finalmente, se invirtieron para que la corona quedara en color negro y el fondo en blanco. Para obtener la altura de la corona se hizo una comparación entre la imagen binarizada y una regla (imagen de líneas paralelas en blanco y negro) a través de la operación lógica “or”, la cual genera zonas negras solo donde se

intersectan partes negras de las dos imágenes. Así, se obtiene una imagen resultante donde se tienen líneas paralelas del tamaño de la altura de la corona (Figura A1.2).



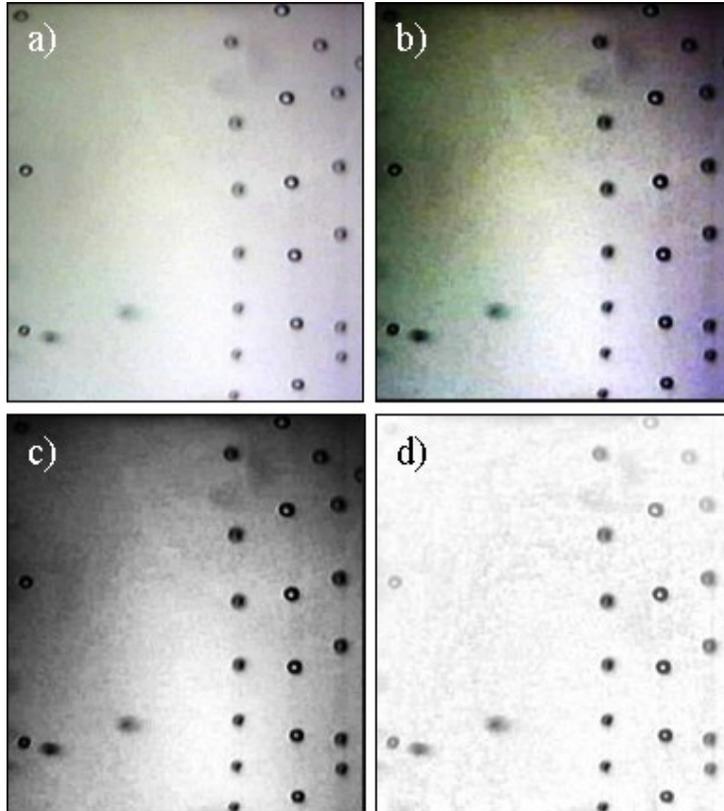
**Figura A1.2. Procesamiento de las imágenes: a) Imagen binarizada; b) Regla; c) Altura de la corona**

Por último, a través del comando “Analyze particles”, las imágenes resultantes fueron analizadas por el programa *ImageJ*, la cual nos devuelve los valores de área de las líneas, considerándolas como rectángulos. Puesto que la “base” de dicho rectángulo mide 1 pixel, el área arroja el valor real de la altura de la corona.

El macro en lenguaje para ImageJ se presenta a continuación:

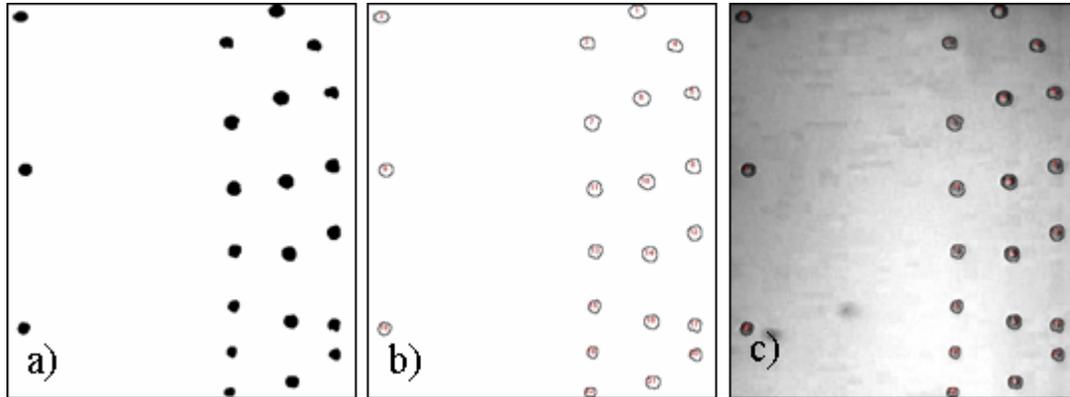
```
run("Image Sequence...", "open='D:\\corona decompilados\\fka2\\fka2-a\\stack\\Frame200.jpeg' number=26 starting=1 increment=1 scale=100 file=");
run("Subtract Background...", "rolling=50 white stack");
run("8-bit");
//run("Threshold...");
setThreshold(0, 210);
run("Threshold", "thresholded remaining black stack");
run("Invert", "stack");
open("D:\\corona decompilados\\regla corona tesis.jpeg");
run("Image Calculator...", "image1=Stack operation=OR image2='regla corona tesis.jpeg' create stack");
run("Set Measurements...", "area perimeter bounding redirect=None decimal=3");
run("Threshold", "stack");
run("Analyze Particles...", "minimum=1 maximum=999999 bins=1 show=Outlines display clear record stack");
```

📄 **Variables relacionadas con la efervescencia:** para el caso de los trenes, entre 20 y 50 imágenes fueron preprocesadas aumentando el contraste entre el fondo y las burbujas, convirtiéndolas de RGB (color) a 8 bits y sustrayendo el fondo, para ampliar más aún el contraste entre las burbujas y el resto de la imagen (Figura A1.3).



**Figura A2.3. Preprocesamiento de la imagen original: a) Imagen original; b) Imagen con contraste aumentado en RGB; c) Imagen contraste aumentado y 8 bits; d) Imagen con sustracción del fondo**

Acto seguido, se binarizaron las imágenes y las burbujas se cerraron y rellenaron los posibles agujeros que pudieran haberse producido por efecto de la luz. Para concluir, se utilizó el comando “Analyze particles” para medir variables de interés como son el diámetro de la burbujas y su posición, esta última servirá para calcular la velocidad del tren. Para corroborar que los diámetros extraídos de la imagen binarizada correspondan con mayor exactitud a los de la imagen original, se realiza una superposición de la imagen con partículas contadas por ImageJ y de la original, con la orden lógica “and” (Figura A1.4).



**Figura A1.4. Adquisición de los valores de las variables relacionadas con la efervescencia: a) Imagen binarizada; b) Imagen de las partículas contadas; c) Comprobación de la exactitud del análisis**

Se presenta también el esquema general del macro producido.

```
run("Image Sequence...", "open='D:\\trenes decompilados\\sua2\\sua2-a\\stack\\Frame01.jpeg' number=20 starting=1 increment=1 scale=100 file=");
run("Enhance Contrast", "saturated=0.2 equalize process");
run("8-bit");
run("Subtract Background...", "rolling=50 white stack");
//run("Threshold...");
setThreshold(45, 195);
run("Threshold", "thresholded remaining black stack");
run("Close-", "stack");
run("Fill Holes", "stack");
run("Analyze Particles...", "minimum=5 maximum=1000 bins=1 show=Outlines display clear record stack");
run("Image Sequence...", "open='D:\\trenes decompilados\\sua2\\sua2-a\\stack\\Frame01.jpeg' number=20 starting=1 increment=1 scale=100 file=");
run("Enhance Contrast", "saturated=0.2 equalize process");
run("Rename...", "title='para seguir burbujas'");
run("Image Calculator...", "image1='Drawing of Stack' operation=AND image2='para seguir burbujas' create stack");
```

 **Variables relacionadas con el collar:** para la superficie del collar se trabajó con la zona del vino que no estuvo cubierta con la espuma y evitar así los efectos de pared que existen entre el collar y el vidrio de la copa. Se preprocesaron hasta 25 imágenes, por las cuales se pasó un filtro mediano, para homogenizar la apariencia

de la espuma del collar y evitar que existieran interferencias en el proceso de binarización. También, se convirtió de color RGB a 8 bits.

La imagen preprocesada fue binarizada e invertida, para obtener la espuma blanca en contraste con el vino en negro. La zona del vino se “cerró” para asegurar que se midiera un solo objeto. Utilizando el comando “Analyze Particles”, y debido a la distorsión ocasionada por el ángulo de la cámara, se asemejó el claro del vino a una elipse. El eje mayor de dicha elipse es el diámetro de la zona sin espuma. Como el diámetro de la copa es fijo y conocido, se obtuvo el área de la copa completa y de la zona sin espuma y de la resta se calculó el área del collar. También se determinó la circularidad de dicha zona. Puesto que la variable “superficie del collar” implica no sólo el área cubierta por la espuma, sino la forma del collar, se propuso un ”índice del collar”, el cuál es un promedio ponderado del área normalizada más la forma, y fue definido como:

$$I_c = 0.7 \cdot A_N + 0.3 \cdot C \quad (1)$$

donde:

$I_c$ = índice de collar

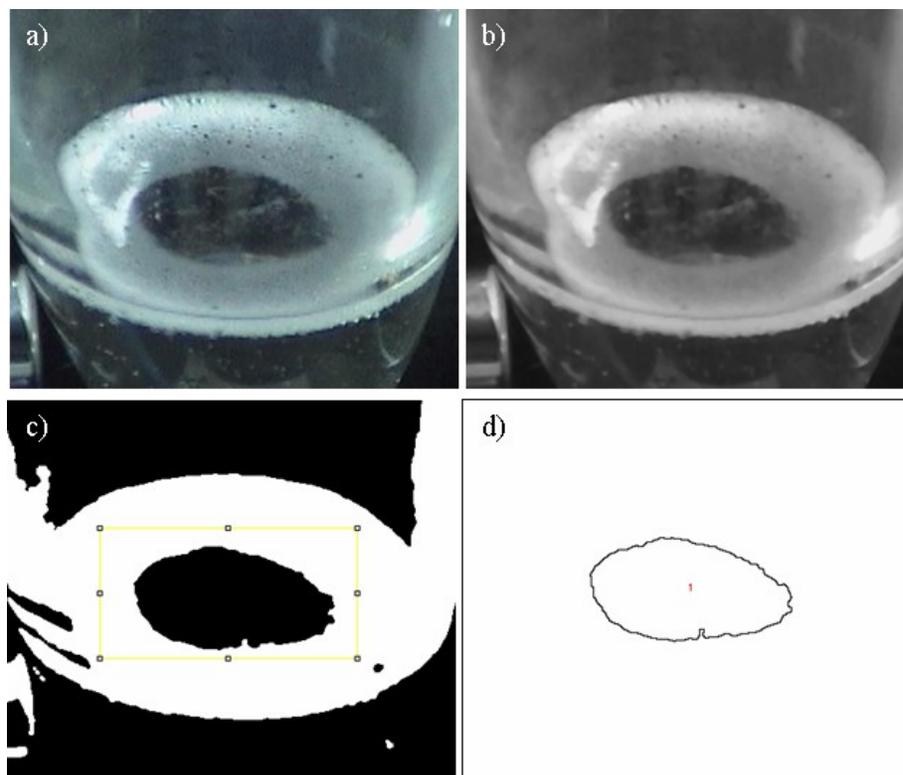
$A_N$ = área normalizada, definida como el área del collar/ área máxima medida.

$C$ = circularidad, definida como el perímetro al cuadrado entre el área.

Un ejemplo de este programa se muestra a continuación:

```
run("Image Sequence...", "open='D:\\collar decompilados\\ami1\\ami1-  
f\\stack\\Frame540.jpeg' number=21 starting=1 increment=1 scale=100 file=");  
run("Median...", "radius=2 stack");  
run("8-bit");  
//run("Threshold...");  
setThreshold(112, 240);  
run("Threshold", "thresholded remaining black stack");  
run("Invert", "stack");  
makeRectangle(262, 218, 233, 118);  
run("Close-", "stack");  
run("Set Measurements...", "area centroid bounding fit circularity redirect=None  
decimal=3");  
run("Analyze Particles...", "minimum=100 maximum=999999 bins=1 show=Outlines  
display clear record stack");
```

La Figura A1.5 muestra a grandes rasgos las etapas del preprocesamiento de las imágenes.



**Figura A1.5. Procesamiento de la superficie del collar: a) Imagen original; b) Imagen filtrada 8 bits; c) Imagen binarizada; d) Resultado del ImageJ.**

En cuanto a la densidad del collar, se analizaron alrededor de 20 imágenes, las cuales se convirtieron de color RGB a 8 bits, para obtener imágenes en tonos de grises. Posteriormente, en la zona del collar se tomó una muestra de 204 x 19 píxeles de la cual se obtuvo el histograma por medio del comando “Histogram”, generando una curva de intensidad de píxel contra su frecuencia. Para eliminar el posible “ruido”, las curvas se suavizaron con un filtro “promedio” utilizando el programa *SigmaPlot v. 10.0* (Figura A1.6). Se eligió la blancura del collar para representar la densidad, puesto que esta última implica homogeneidad de la espuma, y de acuerdo con Brissonnet (1992), la fineza y la blancura del collar es dependiente del tamaño de burbuja, y por lo tanto, de su distribución y homogeneidad. Los valores de píxeles relacionados con la blancura están entre 0 (negro) y 256 (blanco). Se propuso una relación lineal, con 256 como valor máximo (1) y el de 0 como mínimo (0).

El programa en lenguaje de *ImageJ* se observa como sigue:

```
run("Image Sequence...", "open='D:\\collar decompilados\\vdm2s\\vdm2s-f\\stack\\Frame620.jpeg' number=21 starting=1 increment=1 scale=100 file=");  
run("8-bit");  
makeRectangle(463, 204, 94, 19);  
run("Histogram");
```

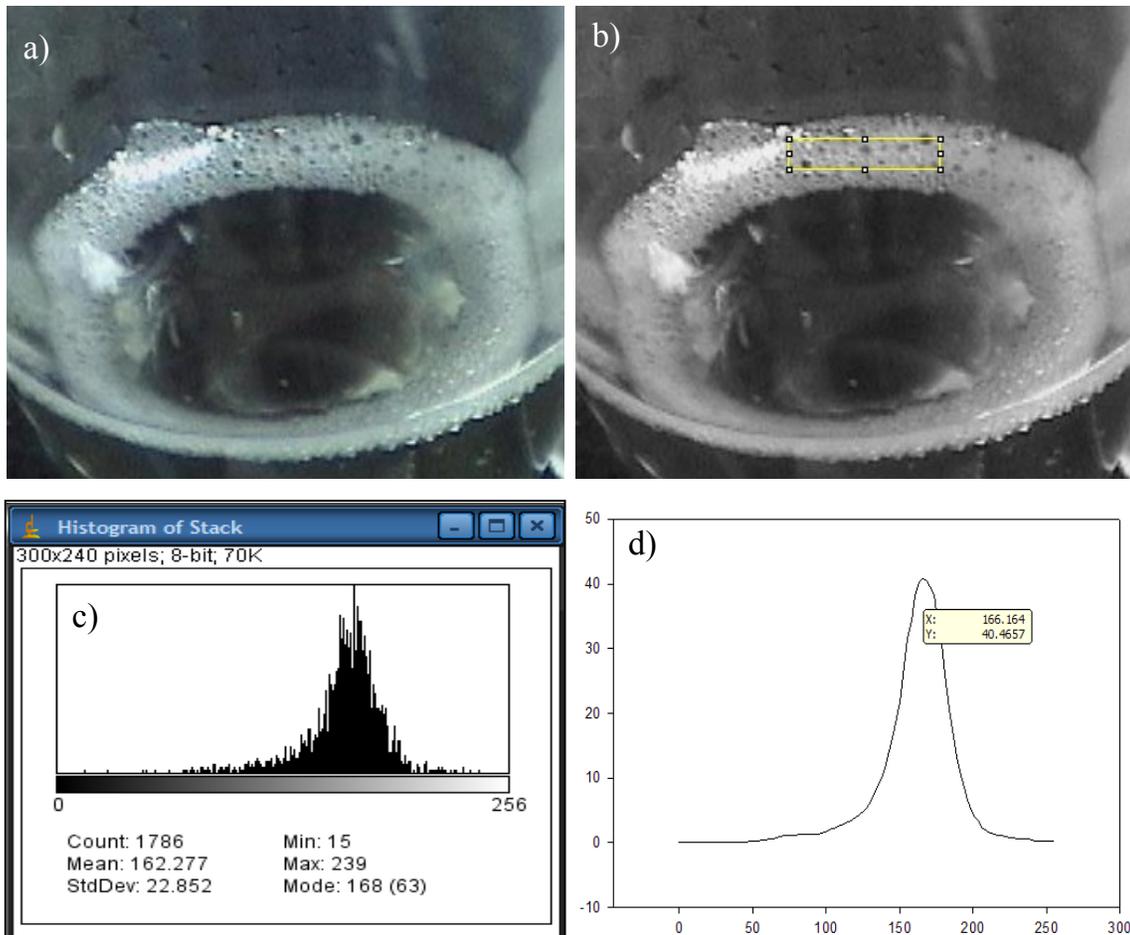
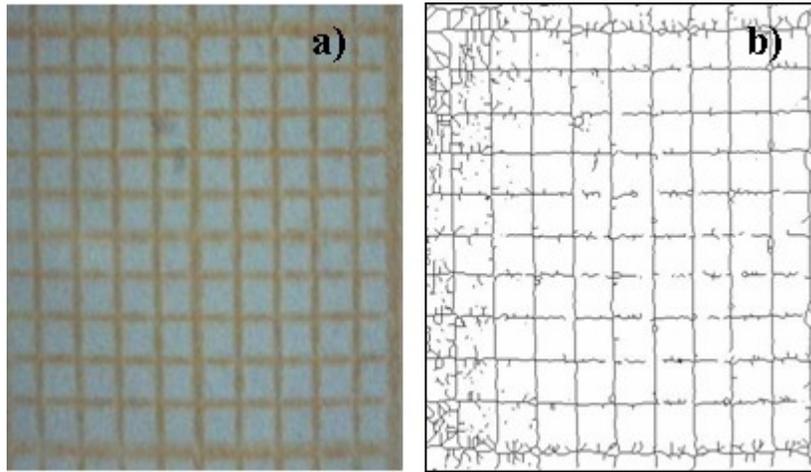


Figura A1.6. Procesamiento de la densidad del collar: a) Imagen original; b) Imagen 8 bits; c) Histograma generado por ImageJ; d) Curva suavizada por el programa SigmaPlot.

 **Determinación del tamaño de la imagen en mm.** Para convertir las medidas de las variables obtenidas en unidades de uso común (ya que originalmente éstas se encuentran en píxeles), se tomó una imagen de papel milimétrico como referencia. De esta manera, se pudo determinar el número de píxeles contenidos en un mm, y hacer la conversión correspondiente. Como ejemplo, se tomó el caso de la

referencia de la efervescencia. La imagen original fue convertida de color RGB a 8 bits, binarizada y posteriormente se aplicó el comando “Skeletonize” para obtener el “esqueleto” de la malla. Después, se contaron los píxeles contenidos en la malla en forma vertical y horizontal. Finalmente, se obtuvo la relación número de píxeles por mm. La Figura A1.7 muestra la imagen original (a) en contraste con la generada por *ImageJ* (b).



**Figura A1.7. Determinación del número de píxeles/mm para las variables de efervescencia**

## ANEXO II

### Programa del Curso de Evaluación Sensorial

La elaboración de dicho programa se realizó de acuerdo con lo descrito por diversos autores respecto al entrenamiento de paneles sensoriales para la cuantificación de atributos (Wittig *et al.*, 2000; Pérez-Gómez, 2006; Coste, 2006).

Dicho curso constó de varias etapas, las cuales se encuentran descritas en la Tabla A2.1. Un total de 17 personas asistieron al curso, de los cuales 13 fueron alumnos de la clase de Enología, cuyas edades fluctuaron entre 22 y 24 años, y el resto fueron alumnos pertenecientes al Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Poscosecha, donde el rango de edades fue de 26 a 34.

Tabla A2.1. Temas y objetivos del curso de adiestramiento de jueces

<i>Etapa</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Fecha</i>
<i>Introducción a la evaluación sensorial</i>	Sentó bases para la comprensión de la evaluación sensorial	11 de Agosto de 2006
<i>Características del evaluador y del lugar donde se realiza la evaluación</i>	Se reconoció la importancia del ambiente en el proceso de la prueba y el instrumento para realizarla	15 de Agosto de 2006
<i>Obstáculos en el proceso de evaluación sensorial</i>	Analizó los problemas que se pudieron presentar durante la prueba	15 de Agosto de 2006
<i>Revisión de los descriptores visuales para la espuma</i>	Dio a conocer los parámetros a medir y la valoración cuantitativa	22 de Agosto de 2006
<i>Prácticas de evaluación sensorial</i>	Se reforzó el conocimiento adquirido y generó experiencia para las pruebas finales	25 de Agosto de 2006
<i>Elección de panelistas</i>	Se escogió a los jueces para las sesiones de evaluación sensorial	29 de Agosto de 2006

La parte teórica del curso comprendió cuatro sesiones de una hora cada una, en las cuales se expusieron diversos aspectos de la evaluación sensorial y de la preparación de

paneles, así como los posibles problemas que pudieran presentarse durante las pruebas. También se hizo la introducción a las variables a evaluar y, debido a que éstos fueron visuales, se mostraron videos del comportamiento de diversas bebidas espumosas y así los participantes observaron las diferencias entre ellas.

Al finalizar cada sesión, se contestó un cuestionario corto acerca de lo explicado durante la misma. Dicho cuestionario se calificó y en la sesión siguiente se analizó y discutió con el grupo, para corregir las fallas detectadas, aclarar conceptos y practicar el uso de antónimos, sinónimos, etc.

La práctica se realizó en una sesión de dos horas, donde se demostró a los asistentes la técnica de servido, así como el escenario de la prueba definitiva. Se afinaron detalles de conceptos, se aclararon dudas sobre cómo practicar las pruebas o cómo responder los cuestionarios.

Una vez concluida la preparación, los jueces se eligieron de entre los participantes de acuerdo con lo descrito por Pedrero y Pangborn (1989). Se realizó una prueba triangular para determinar la confiabilidad de la evaluación realizada por cada uno de los participantes. Dicha prueba se basó en establecer si existió diferencia sensorial perceptible entre dos muestras, comparando tres muestras a la vez. La probabilidad de acertar una respuesta al azar es del 33%.

Se efectuaron diez ensayos, en cada uno se presentó a los concurrentes tres muestras de bebidas carbonatadas en las siguientes combinaciones, de manera aleatoria: AAB, ABA, ABB, BBA, BAB, BAA, donde la misma letra indica muestras iguales y la letra diferente la posición de la muestra desigual. A cada integrante de la prueba se le pidió que identificara la muestra diferente, marcándola en la ficha de análisis.

Una vez recabadas las fichas, se seleccionaron a los 10 jueces, que tuvieron un mínimo de siete aciertos en los diez ensayos (Pedrero y Pangborn, 1989).

En la Figura A2.1 se muestra la ficha utilizada en la prueba triangular. Las instrucciones de cómo completar la forma se encuentran al inicio de la hoja. Las muestras se codificaron de la siguiente manera: BP significa bebida de prueba; las letras A a la J, ensayo que se evaluó; los números del 1 al 28, el orden de presentación de la bebida durante la prueba.

<i>Selección de jueces</i>				
<b>Instrucciones: para cada prueba, marque con una cruz el código de la muestra que sea diferente entre las muestras analizadas.</b>				
<i>Fecha:</i>	29 de Agosto de 2006			
<i>Panelista:</i>				
<i>Ensayo</i>	<i>Muestra</i>			
A	BPA-1	BPA-2	BPA-3	
B	BPB-4	BPB-5	BPB-6	
C	BPC-7	BPC-8	BPC-9	
D	BPD-10	BPD-11	BPD-12	
E	BPE-13	BPE-14	BPE-15	
F	BPF-16	BPF-17	BPF-18	
G	BPG-19	BPG-20	BPG-21	
H	BPH-22	BPH-23	BPH-24	
I	BPI-25	BPI-26	BPI-27	
J	BPJ-28	BPJ-29	BPJ-30	

Figura A2.1. Ficha de análisis utilizada en las pruebas triangulares

Los jueces seleccionados llevaron al cabo las evaluaciones visuales de las muestras. La ficha utilizada para este efecto se muestra en la Figura A2.2. Ésta es una variante de la utilizada por Obiols *et al.* (1998), donde la respuesta fue continua en lugar de discreta. Al inicio de la hoja se presentan las instrucciones a seguir para el llenado de la ficha. Después aparecen las variables respuesta a evaluar en el orden en que debieron ser evaluadas. La escala se presenta como una línea de 10 cm de longitud y el juez estimó la posición que a su juicio tenía el comportamiento espumante de la muestra. Para obtener dichos valores en forma numérica, se midió con una regla la distancia hasta la marca anotada por el juez.

Los puntos marcados en la escala de cada variable como 0, 5 y 10 corresponden a lo mencionado en la Tabla A2.2:

<b><i>Variable de respuesta</i></b>	<b><i>Calificación</i></b>		
	<b><i>0</i></b>	<b><i>5</i></b>	<b><i>10</i></b>
<b><i>Altura máxima alcanzada por la corona al momento del servido</i></b>	Llena menos de la mitad de la copa	Llena la mitad de la copa	Llena toda la copa
<b><i>Tiempo de formación y destrucción de la corona</i></b>	Desaparece en pocos segundos	Tarda el mismo tiempo en formarse que en desaparecer	Tarda en desaparecer más tiempo del que tardó en formarse
<b><i>La densidad del collar</i></b>	Las burbujas no son suficientes para formar collar	Formado únicamente por una capa de burbujas	Está formado por dos o tres capas de burbujas
<b><i>La superficie que cubre el collar respecto al vino</i></b>	No existe	La mitad de la circunferencia	Toda la circunferencia
<b><i>Número de trenes</i></b>	Ausencia	Pocos	Muchos
<b><i>Diámetro de las burbujas de los trenes</i></b>	Pequeño	Mediano	Grande
<b><i>Velocidad de efervescencia</i></b>	Lenta	Normal	Rápida

<b>Instrucciones: marque en la escala, con una cruz, la calificación que tenga la muestra de acuerdo con su criterio.</b>			
# muestra:			
Panelista:			
<i>Altura máxima alcanzada por la corona al momento del servido</i>			
0		5	10
<i>Tiempo en que se forma y reduce la corona</i>			
0		5	10
<i>Densidad del collar</i>			
0		5	10
<i>Superficie que cubre el collar respecto al vino</i>			
0		5	10
<i>Número de trenes</i>			
0		5	10
<i>Diámetro de las burbujas de los trenes</i>			
0		5	10
<i>Velocidad de efervescencia</i>			
0		5	10

Figura A2.2. Ficha de evaluación visual de las muestras

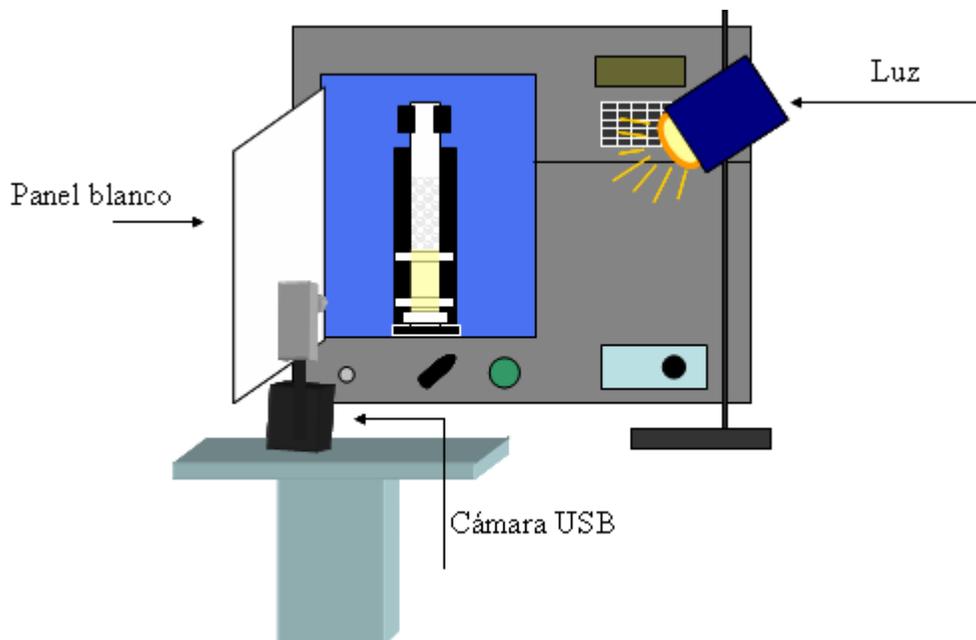
## ANEXO III

### Estandarización del método de burbujeo de gas

Las condiciones de flujo de gas y presión, así como el volumen de la muestra, fueron adaptadas y estandarizadas a través de la realización de diversos ensayos en los que se varió el flujo de nitrógeno y la presión, utilizando una muestra de vino adquirida en el mercado local, hasta que se obtuvo la generación de espuma en cantidad suficiente para que pudiera ser cuantificada a través de análisis de imágenes. Se probaron flujos de nitrógeno desde 117 hasta 93 ml/min, presiones de salida entre 1.5 y 1.2 bares y cantidades de muestra entre 50 y 30 ml. De acuerdo con Senné *et al.* (1999), se obtiene mejor reproducibilidad al presaturar la zona debajo del disco poroso de la columna con el gas antes de hacer la corrida experimental. Debido a esto, se hizo pasar nitrógeno a través de la columna vacía por 45 segundos antes de colocar la muestra. Una vez establecidas las condiciones del flujo de nitrógeno, volumen de muestra y tiempo, se llevó a cabo una prueba de reproducibilidad con la misma muestra consistente en seis ensayos sucesivos de 5 minutos de duración cada uno.

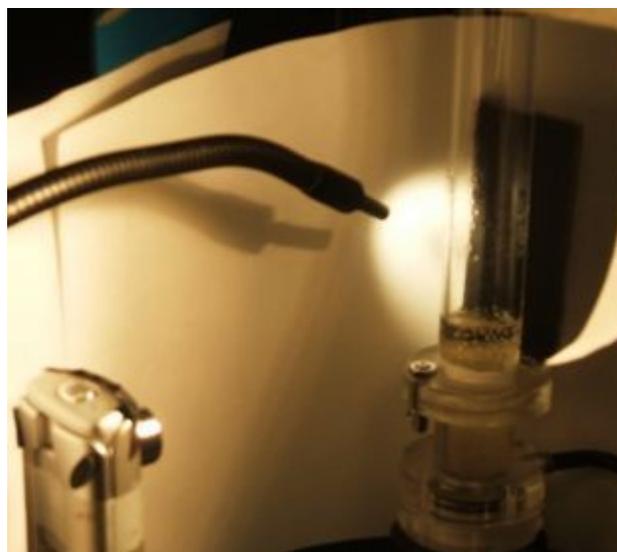
Las variables evaluadas se midieron a través de análisis de imágenes, para lo cual se adquirió un video durante el proceso de generación y desaparición de la espuma (5 minutos, cinco imágenes/segundo, tamaño de 640 x 480 píxeles) con ayuda de una cámara marca Philips TouCam Pro II PCVC 840 que se encontraba a 17 cm de distancia de la columna y que estaba conectada a una computadora. Dicho video se descompiló usando el programa *SC Video Decompiler*, y su posterior análisis se realizó por medio del programa *ImageJ* v. 1.33. Se colocó papel milimétrico en la superficie de la columna, como referencia, para enfocar la cámara y determinar el número de píxeles/mm.

La iluminación se colocó en posición lateral, con una lámpara para fotografía de 100 W, reflejada en un medio blanco, que permite realzar la espuma al momento de su formación; como los vinos son blancos, se colocó un fondo negro detrás de la columna, para mejorar la definición (Figura A3.1).



**Figura A3.1. Esquema del aparato de análisis de imágenes**

En la Figura A3.2 se observa la posición de la cámara respecto a la columna, así como detalles de la iluminación.



**Figura A3.2. Columna de inyección de gas y esquema de adquisición de imágenes**

Los resultados de las pruebas de reproducibilidad se presentan en la Tabla A3.1:

**Tabla A3.1. Reproducibilidad del método**

<b><i>Repetición</i></b>	<b><i>HM (pix)</i></b>	<b><i>HS (pix)</i></b>
<i>a</i>	244	224.6
<i>b</i>	246	220.8
<i>c</i>	242	217.2
<i>d</i>	246	215.4
<i>e</i>	235	214.2
<i>f</i>	247	223.2
<b><i>Promedio</i></b>	243.33	219.23
<b><i>DE</i></b>	4.46	4.27
<b><i>CV</i></b>	1.83	1.95

donde:

HM: altura máxima de la espuma durante la inyección de gas.

HS: altura estable de la espuma durante la inyección de gas.

El coeficiente de variación (CV) se encuentra por debajo de 2% tanto para HM como para HS que es un valor aceptable para asegurar reproducibilidad.

Durante las pruebas, las variables medidas (HM y HS) fueron observadas mucho antes de los cinco minutos que duraba la inyección de gas proyectada, por lo que se disminuyó el tiempo de inyección a tres minutos.

Así, las condiciones generadas de las pruebas de reproducibilidad son 30 ml de muestra y un flujo de nitrógeno de 93 ml/min a una presión constante de 1.20 bares durante 3 minutos, presaturando la columna con nitrógeno durante 45 segundos.