

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO POR FRÍO Y EL
TRATAMIENTO POR ELECTRODIÁLISIS EN LA ESTABILIZACIÓN
TARTÁRICA EN EL VINO TINTO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL**

ALEXANDRA ESTEFANIA VELOZ CHANGOLUISA
estefi_alex@hotmail.com

DIRECTOR: ING. EDWIN VERA CALLE, Ph. D.
edwin.vera@epn.edu.ec

Quito, mayo 2015

© Escuela Politécnica Nacional (2015)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Alexandra Estefania Veloz Changoluisa, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Alexandra Estefania Veloz Changoluisa

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Alexandra Estefania Veloz Changoluisa, bajo mi supervisión.

Ing. Edwin Vera Calle, Ph. D.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen María por ser la luz que guía mi camino.

A mi Mami Susy mi ejemplo de vida, por tu apoyo incondicional, los abrazos y las palabras dulces que siempre me animaron.

A mi Papá Fabián por sus consejos, su cariño, por tu sacrificio.

A mis hermanos Jenny y Jefferson por estar siempre pendientes de mí.

Al Doctor Edwin Vera por permitirme realizar este trabajo, por su guía y el tiempo que dedico para que pueda terminar este proyecto.

Al departamento del DECAB especialmente a la Doctora Rosario Barrera y al Señor Luis Rodríguez por su tiempo y su ayuda

A mi Abuelito Nicolás, mis tías Gladys y Nelly por el cariño que siempre me brindaron.

En quienes encontré una mano amiga Ruth, Mary, Gaby, Mauri, José, Ibeth gracias por su amistad.

DEDICATORIA

*A quienes me permitieron soñar y trazarme metas,
mis padres Fabián y Susy, a Ustedes debo todo lo que soy.*

A mis hermanos Jefferson y Jenny mis amigos de la vida.

*A mis Abuelitos su ejemplo de esfuerzo, perseverancia,
honestidad son un referente para mí.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | PÁGINA |
|---|---------------|
| RESUMEN | xi |
| INTRODUCCIÓN | xiii |
| | |
| 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 1 |
| 1.1 Elaboración de los vinos | 1 |
| 1.1.1 Antecedentes | 1 |
| 1.1.2 Materia prima | 1 |
| 1.1.3 Proceso de elaboración | 4 |
| 1.1.4 El mercado de los vinos | 9 |
| 1.1.4.1 La producción de vinos | 9 |
| 1.1.4.2 El consumo de vinos | 10 |
| 1.2 Estabilización tartárica | 10 |
| 1.2.1 Química del vino | 10 |
| 1.2.1.1 Ácidos orgánicos | 10 |
| 1.2.1.2 Polifenoles | 12 |
| 1.2.1.3 Aminoácidos | 13 |
| 1.2.1.4 Carbohidratos | 13 |
| 1.2.1.5 Alcoholes | 13 |
| 1.2.1.6 Minerales | 14 |
| 1.2.1.7 Precipitación tartárica | 14 |
| 1.2.2 Tipos de estabilización tartárica | 16 |
| 1.2.2.1 Métodos extractivos | 17 |
| 1.2.2.2 Métodos aditivos: estabilización por adición de compuestos químicos | 19 |
| 1.2.3 Pruebas de estabilidad | 20 |
| 1.2.3.1 Pruebas de refrigeración y congelación | 20 |
| 1.2.3.2 Pruebas de conductividad | 21 |
| 1.2.3.3 Temperatura de saturación | 22 |
| 1.3 Estabilización por electrodiálisis | 24 |
| 1.3.1 Generalidades | 24 |
| 1.3.2 Funcionamiento | 26 |
| 1.3.3 Aplicaciones de la Electrodiálisis | 28 |
| 1.3.4 La Electrodiálisis en el Vino | 28 |
| | |
| 2. PARTE EXPERIMENTAL | 31 |
| 2.1 Materiales | 31 |
| 2.1.1 Muestras y materiales | 31 |
| 2.1.2 Reactivos | 31 |
| 2.1.3 Equipos | 31 |
| 2.1.3.1 Caracterización | 31 |
| 2.1.3.2 Tratamiento por frío | 32 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.1.3.3 | Electrodiálisis | 32 |
| 2.1.4 | Caracterización del vino | 33 |
| 2.2 | Evaluación del tratamiento por frío en la estabilización tartárica del vino tinto | 34 |
| 2.2.1 | Tratamiento por frío | 34 |
| 2.2.2 | Caracterización del vino tratado por frío | 35 |
| 2.3 | Determinación de las condiciones de operación óptimas del equipo de electrodiálisis para la estabilización tartárica del vino tinto | 36 |
| 2.3.1 | Determinación de la corriente límite | 36 |
| 2.3.2 | Condiciones de operación del electrodiálizador | 37 |
| 2.3.2.1 | Electrodiálizador | 37 |
| 2.3.2.2 | Pruebas de estabilidad tartárica con electrodiálisis | 39 |
| 2.3.2.3 | Test de mini-contacto | 39 |
| 2.3.3 | Rendimiento farádico | 39 |
| 2.3.4 | Caracterización del vino tratado por electrodiálisis | 40 |
| 2.4 | Comparación de los vinos tratados por los dos métodos de estabilización tartárica y selección del mejor tratamiento | 41 |
| 2.5 | Diseño de una planta de producción de vino tinto joven | 41 |
| 3. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 43 |
| 3.1 | Caracterización del vino | 43 |
| 3.2 | Evaluación del tratamiento por frío en la estabilización tartárica del vino tinto | 46 |
| 3.2.1 | Tratamiento por frío | 46 |
| 3.2.2 | Caracterización del vino tratado por frío | 47 |
| 3.3 | Determinación de las condiciones de operación óptimas del equipo de electrodiálisis para la estabilización tartárica del vino tinto | 50 |
| 3.3.1 | Determinación de la corriente límite | 50 |
| 3.3.2 | Evaluación del tratamiento por electrodiálisis | 51 |
| 3.3.2.1 | Pruebas de estabilidad tartárica con electrodiálisis | 53 |
| 3.3.2.2 | Test de mini-contacto | 57 |
| 3.3.3 | Rendimiento farádico | 58 |
| 3.3.4 | Caracterización del vino tratado por electrodiálisis | 59 |
| 3.4 | Comparación de los vinos tratados por los dos métodos de estabilización tartárica | 61 |
| 3.5 | Diseño de una planta de producción de vino tinto joven | 66 |
| 3.5.1 | Definición del producto | 66 |
| 3.5.2 | Capacidad y localización de la planta | 67 |
| 3.5.3 | Estudio de la disponibilidad de la materia prima e insumos | 68 |
| 3.5.4 | Diseño del proceso tecnológico | 68 |
| 3.5.4.1 | Balance de masa y balance de energía | 76 |

| | |
|---|------------|
| 3.5.4.2 Descripción detallada del proceso | 79 |
| 3.5.5 Diseño básico de la planta | 81 |
| 3.5.5.1 Especificaciones técnicas de los equipos | 82 |
| 3.5.5.2 Distribución en planta del área de producción | 83 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 90 |
| 4.1 Conclusiones | 90 |
| 4.2 Recomendaciones | 91 |
| BIBLIOGRAFÍA | 93 |
| ANEXOS | 105 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | PÁGINA |
|-------------------|--|---------------|
| Tabla 1.1 | Propiedades del ácido tartárico | 12 |
| Tabla 2.1 | Caracterización físico-química de vino estabilizado por frío | 36 |
| Tabla 2.2 | Principales propiedades de las membranas ión-selectivas Ameridia | 38 |
| Tabla 3.1 | Características principales del vino tinto | 43 |
| Tabla 3.2 | Caracterización físico-química de vino estabilizado por frío | 48 |
| Tabla 3.3 | Variación del pH | 55 |
| Tabla 3.4 | Caracterización físico-química de vino tratado por electrodiálisis | 60 |
| Tabla 3.5 | Comparación de los parámetros para los tratamientos de estabilización tartárica con las normas INEN y OIV | 62 |
| Tabla 3.6 | Prueba de rangos múltiples para el pH del vino para cada tratamiento | 63 |
| Tabla 3.7 | Prueba de rangos múltiples para la acidez total del vino para cada tratamiento | 63 |
| Tabla 3.8 | Prueba de rangos múltiples para la acidez volátil del vino para cada tratamiento | 64 |
| Tabla 3.9 | Prueba de rangos múltiples para las cenizas del vino para cada tratamiento | 66 |
| Tabla 3.10 | Características principales del vino | 67 |
| Tabla 3.11 | Materia prima e insumos | 69 |
| Tabla 3.12 | Nomenclatura y simbología de los equipos | 74 |
| Tabla 3.12 | Nomenclatura y simbología de los equipos (continuación...) | 75 |
| Tabla 3.13 | Simbología | 75 |
| Tabla 3.14 | Balace de energía para la producción de vino tinto por estabilización tartárica por frío | 76 |
| Tabla 3.15 | Requerimiento energético para cada proceso en la elaboración de vino tinto con estabilización tartárica por frío y con electrodiálisis | 79 |
| Tabla 3.16 | Lista de equipos en cada área | 82 |
| Tabla IV.1 | Análisis de varianza (ANOVA) para el test de mini-contacto | 113 |

| | | |
|--------------------|---|-----|
| Tabla IV.2 | Prueba de Rango Múltiples (LSD) para el test de mini-contacto obtenida por cada tratamiento | 113 |
| Tabla IV.3 | Análisis de varianza para el rendimiento farádico | 113 |
| Tabla IV.4 | Prueba de Rangos Múltiples para el rendimiento farádico obtenida por cada tratamiento | 114 |
| Tabla IV.5 | Análisis de varianza para el test de mini-contacto | 114 |
| Tabla IV.6 | Prueba de Rango Múltiples para el test de mini-contacto obtenida por cada tratamiento | 114 |
| Tabla IV.7 | Análisis de varianza para el grado alcohólico | 114 |
| Tabla IV.8. | Prueba de Rango Múltiples para el grado alcohólico obtenida por cada tratamiento | 115 |
| Tabla IV.9 | Análisis de varianza para el pH | 115 |
| Tabla IV.10 | Prueba de Rango Múltiples para el pH obtenida por cada tratamiento | 115 |
| Tabla IV.11 | Análisis de varianza para la acidez total | 115 |
| Tabla IV.12 | Prueba de Rango Múltiples para acidez total obtenida por cada tratamiento | 116 |
| Tabla IV.13 | Análisis de varianza para la acidez volátil | 116 |
| Tabla IV.14 | Pruebas de Rangos Múltiple para acidez volátil por tratamiento | 116 |
| Tabla IV.15 | Análisis de varianza para los polifenoles | 116 |
| Tabla IV.16 | Pruebas de Múltiple Rangos para acidez volátil por tratamiento | 117 |
| Tabla IV.17 | Análisis de varianza para las cenizas | 117 |
| Tabla IV.18 | Pruebas de Múltiple Rangos para las cenizas por tratamiento | 117 |
| Tabla VI.1 | Especificaciones de la cámara de refrigeración | 132 |
| Tabla VI.2 | Especificaciones de la cámara de refrigeración | 133 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | PÁGINA |
|---|---------------|
| Figura 1.1. Estructura de la uva | 2 |
| Figura 1.2. Esquema de precipitación del bitartrato de potasio | 15 |
| Figura 1.3. Distribución del ácido tartárico y sus iones según el pH | 16 |
| Figura 1.4. Gráfica para determinar la temperatura de saturación. (----) Vino solo; (----) vino con cristales de THK | 23 |
| Figura 1.5. Partes principales que contiene un electrodiálizador. MA: membrana aniónica; MC: membrana catiónica | 25 |
| Figura 1.6. Curva de Cowan y Brown | 27 |
| Figura 1.7. Principales aplicaciones de la electrodiálisis en la industria | 28 |
| Figura 2.1. Configuración del sistema de electrodiálisis. MC: Membrana catiónica; MA: Membrana aniónica; A, B, C: bombas peristálticas | 38 |
| Figura 3.1. Curvas determinación de la temperatura de saturación | 45 |
| Figura 3.2. Porcentaje de la caída de la conductividad por la prueba de mini-contacto después de la estabilización tartárica por frío. Las letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de rangos múltiples | 47 |
| Figura 3.3. Filtración de vino tratado por fío (izquierda); cristales tartáricos precipitados por estabilización tartárica por frío (derecha) | 49 |
| Figura 3.4. Determinación de la corriente límite para el vino tinto | 50 |
| Figura 3.5. Representación esquemática del funcionamiento del electrodiálizador en la estabilización tartárica del vino tinto. T corresponde al ión tartrato (-OOC-COH ₂ -COH ₂ -COO-) | 52 |
| Figura 3.6. Tiempo de tratamiento para cada grado de desionización | 54 |
| Figura 3.7. Variación de la conductividad del vino para cada grado de desionización a 25°C | 54 |
| Figura 3.8. Comportamiento del pH del vino para cada grado de desionización en función del tiempo a 25 °C | 55 |
| Figura 3.9. Variación de la conductividad y el pH para cada grado de desionización (%) en función del tiempo | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.10. Test de mini- contacto para el vino estabilizado por electrodiálisis. Las letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de rangos múltiples | 57 |
| Figura 3.11. Rendimiento Farádico para cada grado de desionización medido para el ácido tartárico. Las letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de rangos múltiples | 59 |
| Figura 3.12. Grado alcohólico del vino estabilizado y sin tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de rangos múltiples | 62 |
| Figura 3.13. Índice total de polifenoles del vino estabilizado y sin tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de rangos múltiples | 65 |
| Figura 3.14. Diagrama de bloques (BFD) para la producción de vino tinto mediante estabilización tartárica por frío | 70 |
| Figura 3.15. Diagrama de bloques (BFD) para la producción de vino tinto mediante estabilización tartárica por electrodiálisis | 71 |
| Figura 3.16. Diagrama de flujo (PFD) para la producción de vino tinto con estabilización por frío | 72 |
| Figura 3.17. Diagrama de flujo (PFD) para la producción de vino tinto con estabilización por electrodiálisis | 73 |
| Figura 3.18. Sistema de enfriamiento con agua glicolada para la elaboración de vino con estabilización tartárica por frío | 77 |
| Figura 3.19. Sistema de enfriamiento con agua para la elaboración de vino con estabilización tartárica con electrodiálisis | 78 |
| Figura 3.20. Distribución en planta, (A) planta productora de vino tinto con estabilización por frío, (B) planta productora de vino tinto con estabilización por electrodiálisis | 86 |
| Figura 3.21. Flujo de producto y movimiento de operarios, donde (A) representa la planta productora de vinos con estabilización por frío, (B) planta productora de vinos con estabilización con electrodiálisis | 87 |
| Figura 3.22. Elevaciones de los equipos de los cortes A-B y C-C' | 88 |
| Figura 3.23. Elevaciones de los equipos de los cortes A'-A, B-B' donde (A) representa la planta con estabilización con frío y (B) la planta con estabilización con electrodiálisis | 89 |

| | | |
|-----------------------|---|-----|
| Figura AI.1. | Temperatura de saturación del vino tinto sin adición de bitartrato de potasio | 106 |
| Figura AII.1. | Fotografías de la titulación para la determinación del índice de polifenoles | 108 |
| Figura AIII.1. | Conductividad de la solución acuosa en función de la concentración de ácido tartárico a 25 °C | 109 |
| Figura V.1. | Conductividad en función del tiempo de los compartimientos de los electrodos para cada grado de desionización | 118 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | PÁGINA |
|---|---------------|
| ANEXO I Estabilidad del vino tinto sin adición de bitartrato de potasio | 106 |
| ANEXO II Índice total de polifenoles ITP (B.O.E. 27-7-1977) | 107 |
| ANEXO III Determinación del rendimiento farádico | 109 |
| ANEXO IV Resultados de los análisis estadístico | 113 |
| ANEXO V Conductividad de los compartimientos de los electrodos | 118 |
| ANEXO VI Modelos matemáticos para el dimensionamiento de la planta | 119 |
| ANEXO VII Fichas técnicas de los equipos de la planta de producción de vino tinto joven | 134 |

NOMENCLATURA

| | |
|-------|--|
| BFD | Diagrama de bloques |
| ED | Electrodialisis |
| MA | Membrana aniónica |
| MC | Membrana catiónica |
| % DD | Porcentaje grado de desionización |
| PFD | Diagrama de flujo |
| (T) | Ión tartrato ($\text{HO}_2\text{CCHOHCHOHCO}_2\text{H}$) |
| (THK) | Bitartrato potásico o tartrato ácido de potasio |
| OIV | Organización Internacional de la viña y el vino |

RESUMEN

El vino es una bebida alcohólica que contiene de varios elementos como los ácidos orgánicos, esta composición compleja ocasiona que en el vino se produzcan precipitaciones de algunos componentes como los tartratos, los cuales disminuyen su solubilidad con el incremento del grado alcohólico y la disminución de la temperatura, es por esto que el vino debe someterse a un proceso de estabilización tartárica para evitar la precipitación de cristales de ácido tartárico en el vino.

En esta investigación se evaluó el tratamiento por frío y el tratamiento por electrodiálisis en la estabilización tartárica en el vino tinto joven.

El vino se estabilizó por frío a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 8, 15 y 22 días; mientras que, al vino tratado por electrodiálisis se desionizó hasta alcanzar el 7,5 %, 15 %, 22,5 % y 30 % de grado de desionización. La estabilidad del vino se determinó con el test de mini-contacto. Se escogió la mejor muestra que según el test de mini-contacto resultó estable y tuvo el menor tiempo de duración. Adicionalmente, para el tratamiento por electrodiálisis se consideró el rendimiento farádico.

Según el análisis ANOVA existe una diferencia estadísticamente significativa entre cada tratamiento del vino estabilizado por frío con un nivel del 95 % de confianza. De acuerdo al test de mini-contacto el vino resultó estable a los 15 y 22 días de estabilización y, se escogió como el mejor tratamiento el de 15 días por ser el de menor tiempo de duración.

Para el vino estabilizado por electrodiálisis se determinó que existe una diferencia estadísticamente significativa entre cada grado de desionización, según el análisis estadístico ANOVA. Para el método de estabilización por electrodiálisis, los tratamientos de 7,5 % y 15 % dieron como resultado un vino tartáricamente estable según el test de mini – contacto. Se escogió como el mejor tratamiento el de 7,5 % de grado de desionización.

Se realizó la comparación de los análisis físicos -químicos de las muestras escogidas por los dos tratamientos. El tratamiento por frío produjo mayores

cambios en el índice total de polifenoles y el grado alcohólico, mientras que el tratamiento por electrodiálisis ocasionó una mayor variación en la acidez.

Finalmente, se diseñó una planta productora de vino tinto joven con capacidad de 1,12 m³/ día.

Se determinó que cuando el vino es estabilizado por electrodiálisis se necesitan de 38 minutos de tratamiento, mientras que, cuando se estabilizó por frío se requirió de 15 días. El consumo energético es menor cuando se estabiliza con electrodiálisis. En cuanto a las instalaciones, el área de estabilización tartárica con electrodiálisis es de 8, 4 m² y con estabilización por frío el área es de 16,9 m².

INTRODUCCIÓN

El vino es una de las bebidas alcohólicas de mayor consumo a nivel mundial y en el Ecuador es la tercera bebida alcohólica más consumida (ProChile, 2011, pp. 11-12). En el país se han establecido empresas como Dos Hemisferios ubicada en la provincia del Guayas la cual ha ganado premios y reconocimientos a nivel nacional e internacional por la calidad de su vino (Viníssimo, 2012, p. 32). Según un estudio hecho por ProChile, el consumo de vino en el Ecuador ha aumentado en los últimos años de una copa en el 2 000 a una botella y media en el 2011 (Prochile, 2011, p. 11). Actualmente existe una demanda de 10 500 000 litros de vino al año. En los últimos años las importaciones de vinos han aumentado desde el 2004 que se importó más de 636 719 kilos de vinos (INEC, 2012).

El vino es una solución que contiene compuestos formados durante la elaboración y otros provenientes de la uva como el ácido tartárico. El ácido tartárico se encuentra en el vino formando sales o en formas ionizadas (Mondor, Ippersiel y Lamarche, 2011, p. 307).

El vino tinto joven contiene alta concentración de sales tartáricas. Una de las principales problemáticas que se presenta en la comercialización del vino son las precipitaciones tartáricas. Los precipitados que se producen en la botella no representan un riesgo para la salud del consumidor pero comercialmente no es aceptable. Para evitar la formación de precipitados, el vino antes de ser embotellado es estabilizado (Ribereau, Glories, Maujean y Dubourdieu, 2006, p. 24; Moreno y Polo, 2009, p. 147).

Para estabilizar tradicionalmente se somete al vino tinto a temperaturas bajo cero por varias semanas (Low *et al.*, 2008, p. 1203). La estabilización tartárica es uno de los procesos en la elaboración del vino que más consume energía eléctrica, requiere de tiempo y consumo de energía considerable (Bories *et al*, 2011, p.181).

Actualmente se están investigando nuevos métodos de estabilización tartárica que mantenga la calidad del vino, consuman menos energía y requiera menos tiempo.

Una de las técnicas es la estabilización tartárica por electrodiálisis. La electrodiálisis es un método extractivo de iones a través de membranas selectivas mediante la aplicación de voltaje (Xu y Huang, 2008, p. 3147).

El objetivo de este trabajo es evaluar los dos métodos de estabilización tartárica y determinar que método mantienen mejor las principales propiedades físico-químicas del vino para lo cual se ha caracterizado el vino estabilizado por frío y por electrodiálisis, se ha controlado los siguientes parámetros: grado alcohólico, pH, acidez total, acidez volátil, índice total de polifenoles y cenizas. Además, se incluye el diseño de una planta de vino tinto joven.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 ELABORACIÓN DE LOS VINOS

1.1.1 ANTECEDENTES

El vino, según la definición de la Organización Internacional de la Viña y el Vino OIV (2012) es una bebida alcohólica que se obtiene a partir de la fermentación de las uvas o del mosto de las uvas (p. I.1.3-1).

La vid tiene sus orígenes en Asia y Europa (Díaz, 2009, p. 267). La producción de vinos se remonta al 4^{to} milenio A.C. en la India y al 2^{do} milenio A.C. en la China (Estreicher, 2004, p. 6).

En América, los primeros viñedos se establecieron durante la conquista, cuando Hernán Cortez asignó tierras para su producción (Díaz, 2009, pp. 267-268).

En el Ecuador, en el año de 1544 los franciscanos traen por primera vez, la cepa conocida como “de la misión”; en 1994 se establece el primer viñedo, Chaupi Estancia Winery ubicada en Yaruquí, la primera bodega productora de vinos finos del país (Viníssimo, 2012, p. 32).

1.1.2 MATERIA PRIMA

La uva (*Vitis vinifera*) es la materia prima del vino, es una baya fruto de la vid, se la puede consumir fresca, como pasas o para la producción de vinagre (AMPEX, 2008, p. 4). Existen 5 000 variedades de uva de las cuales 40 se emplean para la producción de vino. (UNNE, n.d., p. 9).

La uva se compone de piel, pulpa y semillas como se muestra en la Figura 1.1.

La piel o mesocarpio: Su función principal es proteger al fruto, contiene una capa interna llamada pruína, es una capa cerosa cuya función es fijar las levaduras para la fermentación. La pruína está compuesta por alcoholes, esteroides, aldehídos,

ácidos grasos y el ácido oleánico. El ácido oleánico estimula el crecimiento de las levaduras. Además, contiene compuestos aromáticos y polifenoles (Antocianinas, taninos).

La pulpa contiene como componentes principales azúcares (la fructosa y la glucosa); ácido tartárico, ácido málico, proteínas y minerales.

La semilla o mesocarpio contiene aceites y taninos que dan astringencia al vino. (Baeza, Lissarrague, Sánchez, Sotés y Ruiz, n.d. pp. 11-12; Grainger y Tattersall, 2005, pp. 2- 4; Hidalgo, 2010, p. 66).

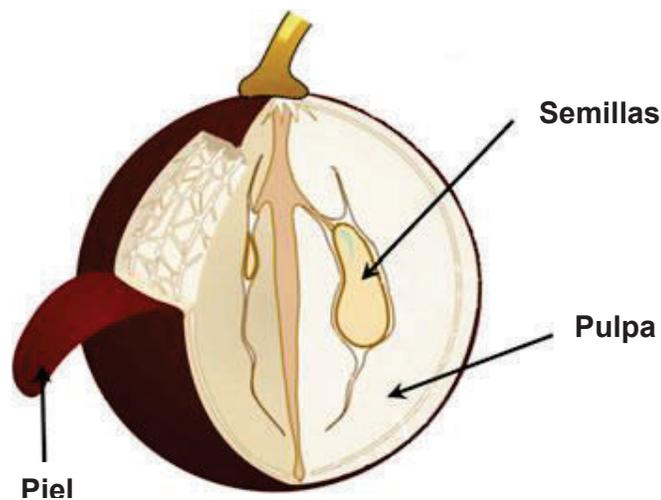


Figura 1.1. Estructura de la uva

(Fernández, Guerrero, Puertas, García y Cantos, 2013, p. 2590)

El tipo de uva determinará la calidad de vino que se pueda obtener. Para establecer que un viñedo tenga óptimas condiciones de desarrollo, se debe tomar en cuenta tres factores principales: el clima, el suelo y las prácticas agrícolas (FAO, 2009, p. 7; Grainger y Tattersall, 2005, pp. 12, 20, 24).

La vid crece a temperaturas entre 25 °C y 30 °C. Las temperaturas mayores o menores pueden matar o retardar el crecimiento de la vid. El tipo de suelo en el que se establezca la vid, depende de la variedad, existen variedades que no crecen en suelos donde otras se desarrollan con éxito. Generalmente se evitan suelos alcalinos y se requiere de una buena irrigación (FAO, 2009, p. 7).

La topografía y la altitud son parámetros que también influyen en el desarrollo de la vid (Grainger y Tattersall, 2005, p. 23). Durante el crecimiento de la vid, se deben realizar cuidados para obtener un fruto adecuado, entre la práctica agrícola más importante se encuentra la poda (Aliquó, Catania y Aguado, 2010, p. 11).

La poda es un sistema de formación de la planta, sirve para mantener un control en el rendimiento y mantener la producción. Evita que la vid ocupe espacios innecesarios que limiten las labores agrícolas. Además, sirve para alargar la longevidad de la cepa (Grainger y Tattersall, 2005, p. 26; Aliquó *et al.*, 2010, p. 12).

El tiempo de vida de la vid puede ser de hasta 100 años, pero generalmente tienen un ciclo de vida entre 30 y 40 años. A mayor edad, mejor vino, pero menor productividad. La densidad de siembra varía desde 2 000 hasta 10 000 cepas por hectárea (Grainger y Tattersall, 2005, pp. 25-26).

A continuación se describen algunas variedades de uvas que se producen en el Ecuador por las principales empresas vinícolas.

Cabernet Sauvignon: Variedad tinta con la cual se pueden producir vinos de alta calidad, esta variedad puede producir hasta 7 ton/ha. Su baya es de tamaño corto de unos 13 mm, forma redonda, con un color uniforme negro azulado y piel gruesa (Wolpert, 2003, p. 38; OIV, 2001, p.90).

Malbec: Es una variedad tinta de origen Francés, emblemática de Argentina, conocida también como Cot, tiene un ciclo vegetativo más corto que la Cabernet Sauvignon, su fruto es de color negro azulado, de tamaño mediano, con forma esferoide y elipsoidal, contiene una pulpa blanda (INV, 2013, p. 6; Catania, C. y Avagnina, S., 2007a, p. 1).

Merlot: Variedad tinta, se encuentran cultivos en Italia, Europa central y América del Sur. Produce bayas pequeñas, por las propiedades que esta contiene se utiliza generalmente para mezclarlo con Cabernet Sauvignon, Malbec y otras variedades para dar características de suavidad a la fruta o acortar tiempos de maduración (Christensen, 2003, p. 87; Vargas, Bautista y Patrick Rabi3n, 1994, p. 470).

1.1.3 PROCESO DE ELABORACIÓN

En la elaboración de vino tinto se pueden encontrar varias operaciones unitarias que pueden variar de acuerdo a: la región en donde se produce, la materia prima, el tipo de vino tinto que se quiera obtener. A continuación se describen los principales procesos para la producción de vino tinto joven (FAO, 2009, p.8).

Recepción: Las uvas ingresan al contenedor de recepción por medio de bombas o de transportadores de tornillo, la materia prima es pesada, posteriormente la vendimia pasa por las mesas de selección donde se retira de forma manual los racimos y las bayas defectuosas (Flanzy, 2003, p. 745; Hidalgo, 2011, pp. 322, 328).

Despalillado y estrujado: Las uvas ingresan a una máquina trituradora-despalilladora a través de una tolva. Las uvas se desprenden de los tallos (raspón, escobajo), posteriormente las bayas pasan por unos rodillos, para obtener el jugo. Para ciertas variedades de uvas se elimina el proceso de estrujado y algunas técnicas de elaboración de vino tinto incluyen un porcentaje de uvas enteras en la fermentación (Galitsky, Radspieler, Worrell, Healy y Zechiel, 2005, p.6; Grainger y Tattersall, 2005, pp. 54,55).

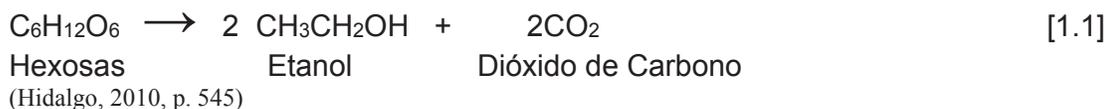
Como resultado se obtiene el mosto que es la mezcla de zumo de uva, semillas, pieles y pulpa (FAO, 2009, p. 9).

Maceración: La maceración es un proceso que inicia antes de la fermentación alcohólica, consiste en mantener en contacto el jugo con las pieles y las semillas, tiene como fin extraer el color, el aroma, sabores y taninos de los sólidos (Grainger y Tattersall, 2005, p. 59; Moreno, Vila, Fernández, Martínez y Gil, 2013, p. 770).

El tiempo y la temperatura del proceso dependen de la variedad de la uva, puede durar entre 4 a 5 días para vinos tintos jóvenes (Parenti, Spugnoli, Calamai,, Ferrari, y Gori, 2004, p. 365; Grainger y Tattersall, 2005, p. 59; Hidalgo, 2010, p. 921). La maceración por frío es una técnica que mantiene el mosto a temperaturas entre 4 °C a 15 °C, ayuda a la extracción de los polifenoles y

aumenta la calidad del vino (Casassa, Sari, Avagnina, Díaz, y Jofre, 2006, p. 3; Heredia *et al.*, 2010, p. 383).

Fermentación alcohólica: La fermentación alcohólica tiene como principio transformar el azúcar (glucosa, fructosa) en alcohol como se observa en la ecuación 1.1; en presencia de levaduras. La levadura *Saccharomyces cerevisiae* se ocupa en la industria vinícola por su capacidad para producir etanol (Jackson, 2008, p. 358; Folch, Garay, Lled, y Robles, 2004, p.24).



En la fermentación se originan otros compuestos como los ésteres; en esta fase es donde el vino adquiere su sabor y color (Galitsky *et al.*, 2005, p. 6; Grainger y Tattersall, 2005, p.57).

Durante este proceso se produce calor, el cual debe ser eliminado para mantener la temperatura óptima que varía entre 25 y 30 °C. Para mantener esta temperatura se utilizan tanques de acero inoxidable con refrigerante (Grainger y Tattersall, 2005, p. 57; Galitsky *et al.*, S., 2005, p. 6). El tiempo que dura este proceso depende de la composición inicial de azúcar en el mosto y del grado alcohólico que se quiere alcanzar, generalmente es de 7 a 10 días (Galitsky *et al.*, 2005, p. 6).

En esta etapa los sólidos del mosto forman una capa en la superficie del recipiente llamado “sombbrero”. Para que exista una homogenización que asegure una extracción de los compuestos polifenólicos de las pieles se utilizan algunas técnicas como la aireación (Rodríguez, 1999, pp. 437-438). La aireación además activa las levaduras facilitando la reacción fermentativa (OIV, 2012, p. II.2.3-6). Otros métodos de homogenización son: la agitación; el remontaje (bombear el líquido sobre el sombrero); pigeage (hundir el sombrero en el líquido); delestage (extraer el líquido del recipiente y luego poner el líquido sobre el sombrero) (Jackson, 2008, p. 353).

Durante la fermentación se deben controlar varios parámetros porque, existe el riesgo de que se produzca una fermentación lenta o que la fermentación se detenga antes que todos los azúcares sean metabolizados, los factores que se deben controlar son: La concentración de azúcares en el mosto, la temperatura, la aireación, la deficiencia de nutrientes en el jugo de la uva tales como nitrógeno, vitaminas y minerales (Moreno y Polo, 2009, pp. 18-19).

Descube: En esta operación se separa la parte sólida de la líquida mediante el vaciado del tanque por medio de una válvula. La masa sólida se transfiere a una prensa (Hidalgo, 2010, 921).

Prensado: La masa sólida obtenida después de la fermentación alcohólica ingresa a la prensa para extraer la mayor cantidad de vino, la cual contiene alrededor del 15 % del vino, denominado vino prensa y se distinguen por su gran cantidad de carga tánica y menor grado alcohólico (Cooke, 2004, p. 13; Hidalgo, 2010, p. 927). Este vino puede ser mezclado según la decisión del enólogo.

Fermentación maloláctica: La fermentación maloláctica es un proceso que ocurre después de la fermentación alcohólica, es una reacción enzimática que realizan las bacterias lácticas presentes en las uvas. El ácido málico se transforma en ácido láctico, la reacción es catalizada por la enzima láctica que es producida por estas bacterias (Moreno y Polo, 2009, p. 39; García, Quinteros y López, 2004, p. 297; Ingraham, J. y Ingraham, C., 1998, p. 737).

Esta fermentación se puede producir de manera espontánea si existen las cantidades necesarias de bacterias para activar el proceso. Para que las bacterias tengan un crecimiento óptimo, el medio debe tener aproximadamente las siguientes características: pH mayor a 3,3, temperaturas mayores a 15 °C y bajos niveles de SO₂. Para evitar que la fermentación sea lenta o no se inicie, actualmente se inocula un porcentaje de bacterias para iniciar el proceso (García et al., 2004, p. 297; Moreno y Polo, 2009, p. 31).

La fermentación maloláctica es específica para los vinos tintos, la acidez del vino disminuye, mejora la estabilidad microbiana frente a las bacterias lácticas, influye en el sabor porque le da al vino un sabor más suave por la presencia del ácido

láctico, en vez del sabor ácido y astringente del ácido málico; refuerza el color de los vinos tintos (Flanzy, 2003, pp. 326,331; Moreno y Polo, 2009, p. 39).

Este proceso termina cuando existe de 0,1 a 0,3 g/L de ácido málico. Al final de este proceso con la desaparición del ácido málico, el vino debe ser trasegado y sulfitado para obtener alrededor 25-35 mg/ L de SO₂ libre. (Blouin y Peynaud, 2003, p. 61).

Sulfitado: El sulfitado es una operación que tiene un efecto antiséptico, antioxidante y conservante dependiendo en la etapa en la que se aplique (Jacobson, 2006, pp. 5,156). Como antiséptico se añade dióxido de azufre (SO₂) para evitar una fermentación prematura, para finalizar el proceso fermentativo, para inhibir la acción de bacterias y levaduras que se encuentran en forma natural en las uvas que pueden producir pérdida de sabores (Grainger y Tattersall, 2005, p. 55; FAO, 2009, p. 9). Como antioxidante al reaccionar con el oxígeno produce una disminución en el pardeamiento y la oxidación del vino (Jacobson, 2006, p. 153). Antes del embotellado el vino debe tener entre 25 a 35 mg/L de SO₂ libre (Hidalgo, 2011, p. 1523).

No se deben exceder las dosis permitidas porque pueden alterar la calidad del vino y afectar la salud del consumidor (Suárez, 2008, pp. 565-566; Jacobson, 2006, p. 206).

Clarificación: Es una técnica de limpieza del vino para separar las partículas en suspensión como levaduras, bacterias, taninos, macromoléculas que pueden sedimentar en el fondo de recipiente de manera espontánea (Hidalgo, 2011, p. 1289).

El fin de separar las partes sólidas generalmente levaduras (lías) que se depositan en el fondo del recipiente después de la fermentación, es impedir la formación de compuestos que pueden provocar la producción de malos olores (Hernández, Alfaro y Arrieta, 2003, p.143; Hidalgo, 2011, p. 1305).

Existen factores que pueden retardar la sedimentación espontánea por lo que se utilizan técnicas para acelerar el proceso como la centrifugación o por encolado que es la adición de agentes clarificantes los más comunes son: las gelatinas, la

bentonita, la albúmina de sangre, la clara de huevo (Hidalgo, 2011, pp.1305, 1335; Molina, 2000, p. 116)

Estabilización tartárica: Los vinos tintos jóvenes tienen altas cantidades de sales tartáricas que pueden ocasionar la precipitación de estos compuestos en forma de cristales (Flanzy, 2003, p. 559).

La formación de estos cristales provoca un problema a nivel comercial por lo que es necesario realizar una estabilización tartárica (Zamora, 2003, pp. 217-218).

Existen varios métodos de estabilización tartárica el método más común es el tratamiento por frío, consiste en someter al vino hasta por tres semana a temperaturas cercanas a las de congelación (Lasanta y Gómez, 2012, p. 53).

Filtración: La filtración es una operación que se realiza antes del embotellado para de eliminar sustancias en suspensión, con el fin de asegurar la clarificación del vino y mantener la estabilidad biológica. (Grainger y Tattersall, 2005, pp. 67-69; OIV, 2003, pp. II.3.2.3 - II.3.2.5)

La filtración consiste en pasar el vino a través de materiales porosos con el uso de la presión, estos materiales impiden el paso de sustancias grandes como las proteínas y otras de menor tamaño molecular como los microorganismos. La filtración es una operación fundamental para vinos jóvenes porque tienen alto contenido de partículas y microorganismos (Grainger, y Tattersall, 2005, p.69; Ribereau *et al.*, 2006, p. 362)

Embotellado: Cuando el vino ha cumplido con los requerimientos físico- químicos y microbiológicos se procede a envasar el líquido (Fugelsang y Edwards, 2007, p. 137). Los recipientes más comunes son las botellas de vidrio, las botellas se deben lavar y desinfectar (Kolb y Schurig., 2002, p. 121).

Para cerrar las botellas se utilizan corchos por su resistencia mecánica y su cierre hermético (Jackson, 2008, p. 476). Al momento del taponado los tapones deben estar ambientados a la temperatura entre 15 °C y 30 °C con una humedad entre 50 % a 70 %, se debe esperar al menos 5 minutos antes de acostar la botella (Hidalgo, 2011, pp. 1778-1779). La botella se coloca horizontalmente para

humedecer el corcho para evitar que se seque y se encoja, además evita la oxidación del vino (Jackson, 2008, p. 504).

Etiquetado, encajado: Es una operación en la cual se coloca en la botella y/o en el embalaje la información del producto. El tipo de información que contenga la etiqueta depende de las normas del país en el que se va a comercializar (Hidalgo, 2011, p. 1792).

Almacenamiento. El vino se empaca en cajas de cartón y se coloca en pallets en las bodegas de almacenamiento hasta su comercialización (Hidalgo, 2011, pp. 1762-1764).

1.1.4 EL MERCADO DE LOS VINOS

1.1.4.1 La producción de vinos

Europa es el mayor productor de vino. En el año 2013, la producción mundial de vino fue de 2 786 000 hL de la cual el 63 % de esta producción pertenece a Europa y el 11% a América del Sur (Pîrvutoiu y Pospescu, 2009, p. 243; OIV, 2014a, p. 6). Italia, Francia, España y Portugal son los principales productores de vino; Italia es el mayor productor de vino abarca alrededor del 17 % de la producción mundial (Pîrvutoiu y Pospescu, 2009, pp. 244, 246).

En el Ecuador, la producción de vino es baja, existen pocas empresas productoras de vino de buena calidad; se producen aproximadamente (238 toneladas de uva al año). Esto ha hecho que el país sea importador de vino (INV, 2006, p. 6).

Según datos del Banco Central del Ecuador se importaron 4 045,85 toneladas de vino en el 2011, mientras que para el año 2013 se importó 4 484,09 toneladas con un incremento del 10 %. Según, la subpartida 2204210000 del banco central del Ecuador (BCE, 2014). Chile y Argentina son los principales proveedores de vino en el Ecuador (INV, 2006, p.6).

1.1.4.2 El consumo de vinos

El consumo mundial de vino en el 2013 fue de 2 387 000 hL (OIV, 2014b, p.5), menor que en el 2012 con alrededor del 1 % debido a la crisis económica del 2008 (OIV, 2014a, p.7).

Francia, Italia, España los mayores consumidores sufrieron bajas por la crisis mientras que Alemania aumentó el consumo para el año 2013. En Sudamérica se registró un aumento del consumo de hasta el 3 %, para los países de Chile, Argentina y Brasil (OIV, 2014b, p. 2).

Los mayores importadores de vino son EEUU, Reino Unido, Alemania, Canadá y China (OIV, 2014b, pp. 11-15).

En el Ecuador el consumo per cápita de vino ha aumentado en los últimos años, de una copa en el año 2 005 a una botella y media en el año 2007. El 90 % del consumo corresponde a vinos importados. El vino es la tercera bebida con mayor demanda después de la cerveza y el whisky (ProChile, 2011, pp. 11-12).

1.2 ESTABILIZACIÓN TARTÁRICA

1.2.1 QUÍMICA DEL VINO

El vino es una solución tampón, formada por la composición de soluciones ácido-base que le da al vino un equilibrio físico-químico y microbiológico (Ribereau *et al.*, 2006, pp. 10-11).

El vino está compuesto por varias especies químicas como ácidos orgánicos, polifenoles, aminoácidos, carbohidratos, alcoholes y minerales.

1.2.1.1 Ácidos orgánicos

La acidez del vino se obtiene por los ácidos presentes en la uva y por los que se forman durante el proceso de fermentación, los ácidos más abundantes son ácido tartárico y málico; en menor concentración el ácido cítrico, láctico, acético, succínico, y otros (Jacobson, 2006, p. 119; Ribereau *et al.*, 2006, p. 5).

La acidez aporta a la percepción sensorial del vino, su sabor y astringencia dependen de la concentración de las especies (Moreno y Polo 2009, p. 325). Los ácidos mantienen el pH bajo, esto ayuda a mantener el color, evitar la oxidación de los compuestos fenólicos y tiene un efecto anti-microbiano (Jackson, 2008, p. 280).

Ácido málico: Se encuentra en las uvas, representa junto con el ácido tartárico el 90 % de la acidez fija. El contenido de este ácido es un parámetro para determinar la fecha de la cosecha de la vid (Jackson, 2008, pp. 279-280; Ribereau *et al.*, 2006, p. 5)

Ácido láctico: Conocido como el ácido de la leche, se forma en la fermentación láctica; por la intervención de bacterias lácticas (Ren, 2010, pp. 4,8). El vino obtiene un sabor más suave (Jackson, 2008, p. 280)

Ácido cítrico: Se encuentra en las uvas, en el vino se tiene bajas concentraciones entre 0,5 a 1 g/ L; desacelera el crecimiento de las levaduras (Ribereau *et al.*, 2006, p. 5).

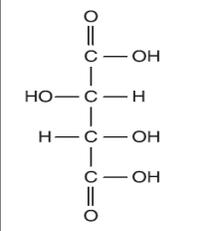
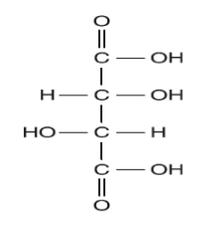
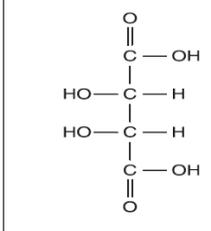
Ácido acético: Da un sabor amargo al vino, las levaduras lo producen durante la fermentación. Pero cuando en el vino aparecen altas concentraciones de ácido acético puede ser indicativo de una uva infectada con *Botrytis cinérea* (Belitz, Grosch, y Schieberle, 2009, p. 920; Jackson, 2008, p. 280)

Ácido tartárico: Se encuentra de forma natural en las plantas y de forma abundante en las uvas (Ribereau *et al.*, 2006, p. 4).

El ácido tartárico tiene 3 isómeros como se indica en la Tabla 1.1, el ácido L-tartárico es el que se encuentra en el vino de forma natural (Maga y Tu (Eds.), 1995, p. 137).

Es el principal ácido presente en el vino, se encuentra en forma de sales como ácido tartárico, bitartrato de potasio y tartrato de calcio (Ribereau *et al.*, 2006, p. 5; Lasanta y Gómez, 2012, p. 52).

Tabla 1.1 Propiedades del ácido tartárico

| | | | |
|--------------------------|---|--|---|
| Nombre | Ácido 2,3-dihidroxiбутanodioico | | |
| Fórmula Molecular | C ₄ H ₆ O ₆ (HO ₂ CCHOHCHOHCO ₂ H) | | |
| Estructura |  |  |  |
| | Ácido D-tartárico | Ácido L-tartárico | Ácido Meso-tartárico |
| Solubilidad (L8) | <ul style="list-style-type: none"> - Poco soluble en alcohol. - Alta solubilidad en el agua 115 g/ 100 mL a 0°C | | |
| Peso Molecular | 150,08 g /mol | | |

(Gawroński, y Gawrońska, 1999, p.1; Goldman (Ed.), 2013)

1.2.1.2 Polifenoles

Los polifenoles son un grupo complejo de componentes que proporcionan al vino características en el sabor, el color y el aroma (Jackson, 2008, p. 281). Los polifenoles se encuentran en las uvas; las formas y cantidades de polifenoles presentes en el vino dependen de la materia prima, la tecnología de vinificación y las condiciones de almacenamiento y envejecimiento (Garrido y Borges, 2013, pp. 1845, 1852).

Los principales grupos fenólicos presentes en los vinos son: los ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos y cumarinas (Garrido y Borges, 2013, pp. 1845-1850).

Las antocianinas son los compuestos que se encuentran mayoritariamente en el vino tinto joven, este grupo fenólico da el color rojizo al vino, se encuentra en forma libre y conjugado con el dióxido de azufre (Jackson, 2008, p. 287).

1.2.1.3 Aminoácidos

En el vino se encuentran alrededor de 20 aminoácidos libres, que representan aproximadamente el 70 % del nitrógeno orgánico. Los aminoácidos son importantes para la nutrición de las levaduras en la fermentación alcohólica y son metabolizados por las bacterias lácticas. Los aminoácidos también pueden tener un efecto en el aroma del vino (Moreno y Polo, 2009, pp. 164-165).

1.2.1.4 Carbohidratos

La glucosa y la fructosa son los principales carbohidratos presentes en el vino, los carbohidratos cumplen un papel fundamental en la transformación de azúcares en alcohol durante la fermentación alcohólica. Los carbohidratos proporcionan al vino un sabor dulce e intervienen en el aroma por la formación de compuestos volátiles (Jackson, 2008, p. 274; Moreno y Polo, 2009, p. 231).

1.2.1.5 Alcoholes

El etanol es el principal producto de la fermentación alcohólica, la concentración puede llegar hasta el 15 %. El etanol interviene en la estabilidad, el envejecimiento, en las propiedades organolépticas y en la solubilización de compuestos aromáticos. Existen otro tipo de alcoholes que se forman durante la fermentación como el metanol y alcoholes superiores que se encuentran en bajas concentraciones en el vino (Jackson, 2008, p. 276).

1.2.1.6 Minerales

En el vino se encuentran minerales que provienen de la materia prima o de las prácticas enológicas, los minerales que se encuentran en el vino son: potasio (es el más abundante), azufre, calcio, sodio, fósforo, magnesio, aluminio, zinc, hierro, cloro, bromo, yodo, cobre (Jackson, 2008, p. 316; Jacobson, 2006, p. 120).

1.2.1.7 Precipitación tartárica

Uno de los problemas que presenta el vino tinto joven después del embotellado es la precipitación tartárica, debido a la alta concentración de ácido tartárico y sus sales que se forman con los cationes más abundantes potasio y calcio (Hidalgo, 2011, p. 1448).

Las sales tartáricas presentes en el vino son: bitartrato potásico o tartrato ácido de potasio (THK), tartrato neutro de potasio (TK₂), tartrato neutro de calcio (TCa), tartrato doble de potasio y de calcio (T₂K₂Ca), y la sal mixta de malotartrato de calcio (MTCa₂); también se encuentran las formas ionizadas de los iones tartrato (HT⁻) y (T⁻²) (Ribereau *et al.*, 2006, pp. 21-22).

Los cristales se forman en sitios activos donde existen valencias libres que se unen a los iones presentes del vino como se muestra en la Figura 1.2 (Hidalgo, 2011, p. 1454).

Se produce por una nucleación rápida que induce a la formación de cristales, esto se da porque los compuestos son poco solubles y están sobresaturados, como resultado se forman un gran número de pequeños cristales que precipitan (Myerson, 2001, p. 141).

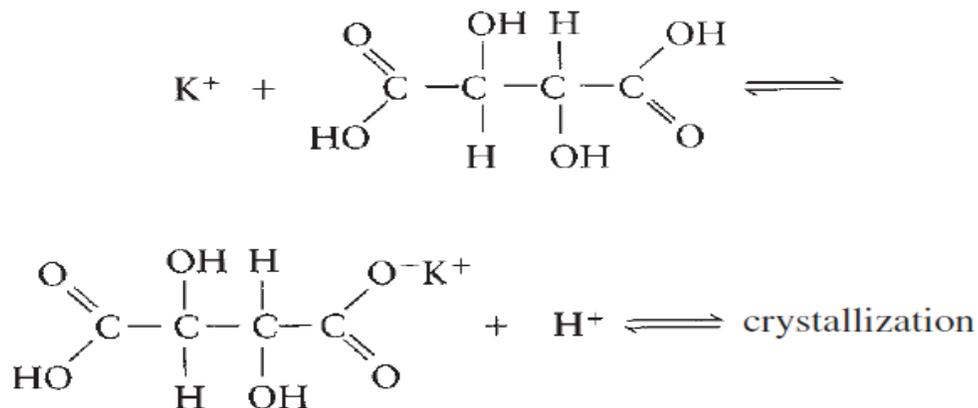


Figura 1.2. Esquema de precipitación del bitartrato de potasio
(Jackson, 2008, p.426)

La solubilidad: La solubilidad del ácido tartárico y del bitartrato de potasio cambia de acuerdo al grado alcohólico, la temperatura, el pH y los efectos interactivos con otros componentes del vino (Zoecklein, 1988, p.2).

La solubilidad del bitartrato de potasio disminuye cuando aumenta el grado alcohólico. Por ejemplo, la solubilidad del bitartrato de potasio a 20 °C en solución acuosa es de 5,7 g/L, en solución alcohólica al 10 % v/v es de 2,9 g/L (Ribereau *et al.*, 2006, p. 22).

El bitartrato de potasio al tener menos solubilidad en soluciones hidroalcohólicas precipita en forma de cristales (Hidalgo, 2011, p. 1448). Los cristales de bitartrato de potasio son de forma octogonal y los cristales de tartrato de calcio de forma hexagonal (Hidalgo, 2011, p. 1454; Guillet, Gabas, Comtat y Favarel, 2002, p. 1313).

El pH: La coexistencia de las especies dependen del pH del vino, como se indica en la Figura 1.3 (Zoecklein, 1988, p.3; Eliseeva, Krisilova, Vasilevsky, y Novitsky, 2012, p. 612).

A pH 3,7, la cantidad de bitartrato de potasio es superior, en este punto es donde existe mayor riesgo de precipitación (Zoecklein, 1988, p. 2).

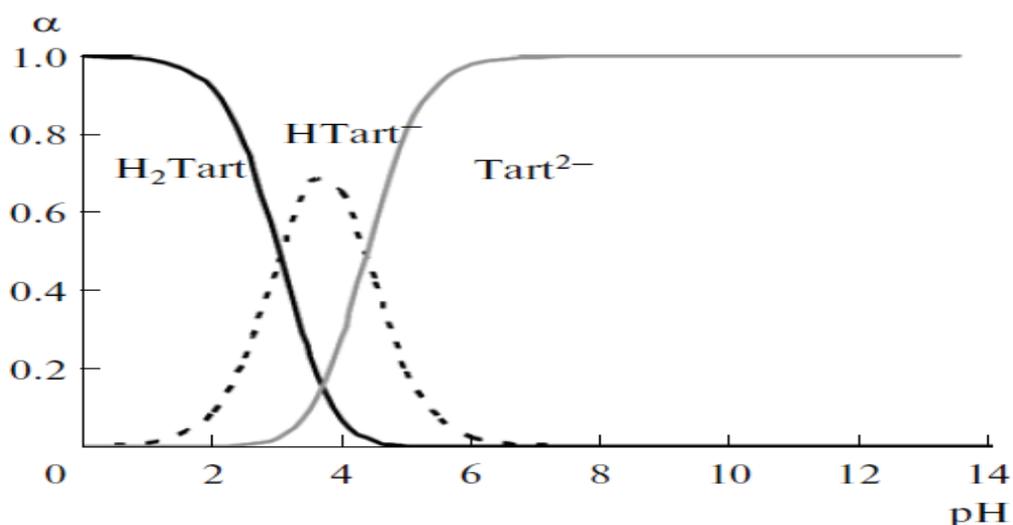


Figura 1.3. Distribución del ácido tartárico y sus iones según el pH

(Eliseeva *et al.*, 2012, p. 612)

La temperatura: La solubilidad disminuye cuando disminuye la temperatura. A bajas temperaturas existe mayor riesgo de precipitación (Hidalgo, 2011, p. 1448).

Las Interacciones: La forma en que interactúan los distintos compuestos presentes en el vino con el ácido tartárico influye en la solubilidad y/o formación de las sales tartáricas (Zoecklein, 1988, p. 3).

Los coloides son macromoléculas que tienen la capacidad de inhibir la cristalización del ácido tartárico. Las proteínas, polifenoles, aniones y cationes forman complejos con iones del ácido tartárico y de potasio libres, provocando un efecto protector inhibiendo así la formación de KHT; por lo tanto, disminuyendo el riesgo de precipitación tartárica. En los vinos tintos se forman principalmente con los polifenoles (Moreno y Polo, 2009, pp. 147,486; Zoecklein, 1988, p. 3).

1.2.2 TIPOS DE ESTABILIZACIÓN TARTÁRICA

Para evitar las precipitaciones tartáricas se ha sometido al vino a distintos tratamientos cada tratamiento tienen sus ventajas y desventajas (Smith, 2012, p. 10). Los tratamientos de estabilización tartárica son:

- ❖ Métodos Extractivos: por frío, osmosis inversa, electrodiálisis, intercambio iónico, (Hidalgo, 2011, p. 1460).
- ❖ Métodos Aditivos: ácido metatartárico, nanoproteínas, carboximetilcelulosa, ácido racémico (Low *et al.*, 2008, p. 1205).

1.2.2.1 Métodos Extractivos

El método extractivo consiste en eliminar los iones responsables de las precipitaciones tartáricas mediante, el cambio de temperatura o por el desplazamiento de los iones a través de membranas selectivas o resinas de intercambio iónico (Ribereau *et al.*, 2006, pp. 373, 382).

Estabilización por Frío: La estabilización por frío es el método más común que se emplea en las industrias vinícolas, consiste en someter al vino a temperaturas cercanas al punto de congelación hasta por varias semanas dependiendo de las características del vino (Ribereau *et al.*, 2006, p. 373). Al someter al vino a bajas temperaturas, la solubilidad del bitartrato disminuye provocando que precipite en forma de cristales (Jackson, 2008, p. 426). Se distinguen dos tipos de estabilización por frío.

- ❖ Estabilización Lenta: Es la estabilización tradicional en la que el vino se enfría en tanques durante un tiempo establecido. Para vino blancos de 8 a 10 días y en los vinos tintos es de varias semanas. Después de este tiempo el vino es filtrado para eliminar los precipitados (Ribereau *et al.*, 2006, p. 37). Se utiliza intercambiadores de calor para mantener una temperatura baja en el vino (Low *et al.*, 2008, p. 1215).

La temperatura de enfriamiento a la que el vino se estabiliza se determina según la expresión [1.2] (Ribereau *et al.*, 2006, p. 37):

$$\text{Temperatura de tratamiento} = - \left(\frac{\text{Contenido de alcohol}}{2} - 1 \right) \quad [1.2]$$

❖ **Estabilización Rápida:** Es un método modificado que se ha desarrollado para acortar el tiempo de estabilización consiste en agregar una cantidad de crémor tártaro de (30 a 40 g/hL) para saturar el vino y provocar la precipitación en menor tiempo, este proceso se realiza a temperaturas entre (- 2 a 0 °C); el tiempo se reduce a pocas horas en los vinos blancos a varios días en los vinos tintos (Lasanta y Gómez, 2012, p. 54; Ribereau *et al.*, 2006, p. 38).

Osmosis inversa: Este tratamiento separa parte del agua del vino, el vino concentrado se sobresatura de tártaros que ocasiona una cristalización más rápida, y puede ser complementado con el tratamiento por frío para eliminar los cristales. Posteriormente se restituye el agua (Hidalgo, 2011, p. 1465).

Estabilización por electrodiálisis: Es un sistema de membranas que permite el paso de aniones y cationes debido a una diferencia de potencial. El sistema consta de un sistema hidráulico y un sistema eléctrico (Farrell, Hesketh y Slater, 2003, p. 53).

La electrodiálisis es un método efectivo en la estabilización tartárica del vino, porque elimina únicamente los iones que intervienen en la precipitación tartárica sin intervenir en otros compuestos del vino, manteniendo las propiedades organolépticas casi intactas (Gonçalves, Fernandes, Cameira y Pinho, 2003, p. 234).

Intercambio iónico: El intercambio iónico es una tecnología que se usa para ajustar el pH, la estabilización oxidativa y la estabilización tartárica. Consiste en el intercambio iónico mediante resinas poliméricas. Para estabilizar el vino se puede sustituir el ión potasio por un hidrógeno en el bitartrato de potasio y/o reemplazar el ion tartrato por un grupo hidroxilo. El intercambio iónico mejora la estabilidad tartárica en los vinos tintos, produce cambios en el color pero mantiene las características sensoriales (Lasanta, Caro, y Pérez, 2013, pp. 1077-1078; Lasanta y Gómez, 2012, pp. 55-56).

Actualmente se utiliza como un tratamiento complementario con la estabilización por frío para cumplir con los límites permitidos de la Organización Internacional de la Viña y el Vino OIV (Bordeu y Cristi, 2001, p. 72).

1.2.2.2 Métodos aditivos: Estabilización por adición de compuestos químicos

Ácido metatartárico: El ácido metatartárico se utiliza como un inhibidor de la cristalización tartárica, es un polímero resultante de la mezcla de varios polímeros con distintos pesos moleculares, este compuesto es el inhibidor más ampliamente utilizado y el efecto estabilizante depende del tipo de vino. El ácido metatartárico evita que se formen los núcleos de cristalización e impide el crecimiento de los cristales, evitando la precipitación tartárica, la dosis máxima permitida es de 10 g/hL, el producto debe prepararse al momento del uso por ser un compuesto muy inestable, se prefiere añadir antes de la clarificación final (Ribereau *et al.*, 2006, pp. 40-43).

Nanoproteínas: Las nanoproteínas son compuestos producidos por las levaduras, estos compuestos tienen un efecto inhibidor en la cristalización tartárica especialmente para los vinos blancos que han sido envejecidos sobre las lías (Ribereau *et al.*, 2006, pp. 43-46).

Carboximetilcelulosa (CMC): Es un polisacárido que actúa como coloide protector por su estructura polimérica. Físicamente es un polvo blanco, higroscópico, tiene la capacidad de disminuir el crecimiento y modificar la forma de los cristales de bitartrato de potasio, algunos estudios indican que 4 g/L de CMC previene la cristalización tartárica. Una bebida alcohólica puede contener hasta 500 mg/L de CMC, pero su uso aún no está autorizado en la elaboración del vino. El CMC es una buena alternativa por ser un producto económico (Ribereau *et al.*, 2006, pp. 46-48).

Ácido racémico: Se agrega para eliminar el calcio que ocasiona precipitaciones con el ácido tartárico, el ácido oxálico, místico, glucónico entre otros; afecta la limpidez del vino, esto ocurre cuando sobrepasa entre 60 y 70 mg /L de tartrato de calcio en vinos tintos. El ácido racémico con el calcio forma la sal racemato cálcico que es menos soluble que el tartrato de calcio. Este tratamiento se combina con el tratamiento por frío y se requiere de agitación. El tratamiento dura aproximadamente 7 días. La dosis de ácido racémico que se añade es igual a 3 veces la cantidad de calcio presente en el vino (Hidalgo, 2011, p. 1469).

1.2.3 PRUEBAS DE ESTABILIDAD

Para determinar si el vino es estable o no tartáricamente, existen diferentes pruebas de estabilidad, estas pruebas se realizan generalmente con una muestra de 100 mL de vino.

1.2.3.1 Pruebas de Refrigeración y Congelación

Las pruebas de refrigeración y congelación son pruebas visuales, se considera un vino estable cuando no existe la formación de cristales.

Estas pruebas son sencillas, prácticas, y no requieren un equipo especial (Ribereau *et al.*, 2006, p. 28). Aunque, no proporcionan datos exactos sobre la estabilidad, no es fiable, no es repetible, requiere de mucho tiempo, los resultados pueden dar falsos positivos (Ribereau *et al.*, 2006, p. 28; Jacobson, 2006, p. 226).

A continuación se describen las pruebas de estabilidad por frío:

Prueba de refrigeración: Una muestra de vino se almacena durante 4 a 6 días a 0 °C (Ribereau *et al.*, 2006, p. 28).

Prueba de refrigeración a largo plazo: Para evaluar la estabilidad en condiciones de almacenamiento en los refrigeradores domésticos, el vino se mantiene a 6 °C durante 6 meses (Soares *et al.*, 2009, p. 185).

Prueba de congelación: Una muestra de vino se congela durante 4 a 16 horas, el tiempo depende del tipo de vino y del grado alcohólico, el objetivo es concentrar las sales tartáricas. Para los vinos tinto se mantiene a - 4 °C por 6 horas sin agitación (Jacobson, 2006, pp. 225-226; Soares *et al.*, 2009, pp. 184-185).

Prueba de congelación de larga duración: Se almacena durante 4 a 7 días a temperaturas cercanas a las de congelación (Hidalgo, 2011, p. 1455)

Prueba de congelación modificado: Consiste en añadir 250 a 1,250 mg/L de THK a 35 °C y luego refrigerándolo a - 5 °C durante 5 días. Se pesan los cristales y se comparan con una muestra testigo (Hidalgo, 2011, p. 1456)

1.2.3.2 Pruebas de Conductividad

La conductividad varía por la presencia o ausencia de iones K^+ y H^+ , estas pruebas de estabilidad se basan en saturar la muestra de vino con THK. Por consiguiente, se produce un cambio en la conductividad. La estabilidad del vino depende del porcentaje de la caída de la conductividad (Jacobson, 2006, p. 226). La caída de la conductividad o grado de desionización (DD) se determina según la ecuación [1.3] (Hidalgo, 2011, p.1458).

Las pruebas por conductividad son métodos rápidos pero no tiene en cuenta la reorganización coloidal en el vino durante el envejecimiento (Ribereau *et al.*, 2006, p.28).

$$\text{Caída de la conductividad} = \frac{k_o - k_f}{k_o} \quad [1.3]$$

Donde:

k_o : Conductividad inicial ($\mu\text{S/cm}$)

k_f : Conductividad final ($\mu\text{S/cm}$)

Conductividad en frío: El método consiste en agregar a una muestra de vino, una cantidad de THK en vinos tintos a $5\text{ }^\circ\text{C}$ con agitación constante. Se considera estable un vino si la caída de la conductividad es menor a 3,5 % (Jacobson, 2006, pp. 226, 227)

Mini-contacto: Se añade 4 g/L de bitartrato de potasio a una muestra de vino, con agitación constante a $0\text{ }^\circ\text{C}$ durante 2 horas. Se filtra y se pesa el precipitado o se determina la acidez. Esta prueba se utiliza como método comparativo para determinar entre dos tratamiento de estabilización cual resulta más estable según el peso de precipitado o de su acidez (Ribereau *et al.*, 2006, p. 28).

Mini-contacto modificado: Se determina la caída de la conductividad del vino con la adición de 10 g/L de bitartrato de potasio, a $0\text{ }^\circ\text{C}$ durante 5 a 10 minutos, con agitación constante. El vino es estable si la caída de la conductividad es menor o igual al 5% (Ribereau *et al.*, 2006, p.29).

Método de contacto (conductividad de Davis): Se añade 1,0 a 1,5 gramos de bitartrato potásico a una muestra de vino con agitación constante, a una temperatura entre 10 °C a 15 °C para los vinos tintos, durante 20 min. Se mide la conductividad inicial y final (Hidalgo, 2011, p. 1456).

Se considera estable si, la conductividad es constante, no se forman cristales y los agregados no se disuelven o si, la conductividad aumenta, se disuelven algunos cristales. Al contrario se considera inestable si, la conductividad desciende y existe cristalización (Hidalgo, 2011, p. 1456)

El método de Escudier: A la muestra de vino en frío se le añade 4 gramos/litro de THK, manteniéndolo a una temperatura de – 4° C en agitación durante 4 horas. Se mide la conductividad inicial hasta el valor final (Cf), extrapolar a un valor de hasta 24 horas. El vino es estable si la caída de la conductividad es menor a 3 % (Hidalgo, 2011, p.1458, 1459)

1.2.3.3 Temperatura de saturación

Según, Würdig “La temperatura de saturación de un vino es la temperatura más baja a la que es capaz de disolver bitartrato de potasio” (Ribereau *et al.*, 2006, p. 30).

Para determinar la temperatura de saturación primero, a una muestra de vino se mide la conductividad desde los 0 °C hasta los 30 °C, calentándolo a una velocidad de 0,5 °C/min; a una segunda muestra se añade 4 g/L de THK y se realiza el mismo procedimiento, con agitación constante durante todo el procedimiento (Cameira, Gonçalves y Pinho, 2002, pp. 260-261).

La temperatura de saturación se calcula graficando la temperatura versus la conductividad, para las dos muestras. El punto de intersección determina la temperatura de saturación, como se indica en la Figura 1.4 (Ribereau *et al.*, 2006, p. 30; Cameira *et al.*, 2002, p. 260).

El vino tinto joven se considera estable cuando la temperatura de saturación es menor a 15 °C (Erbslöh, 2009, p. 2).

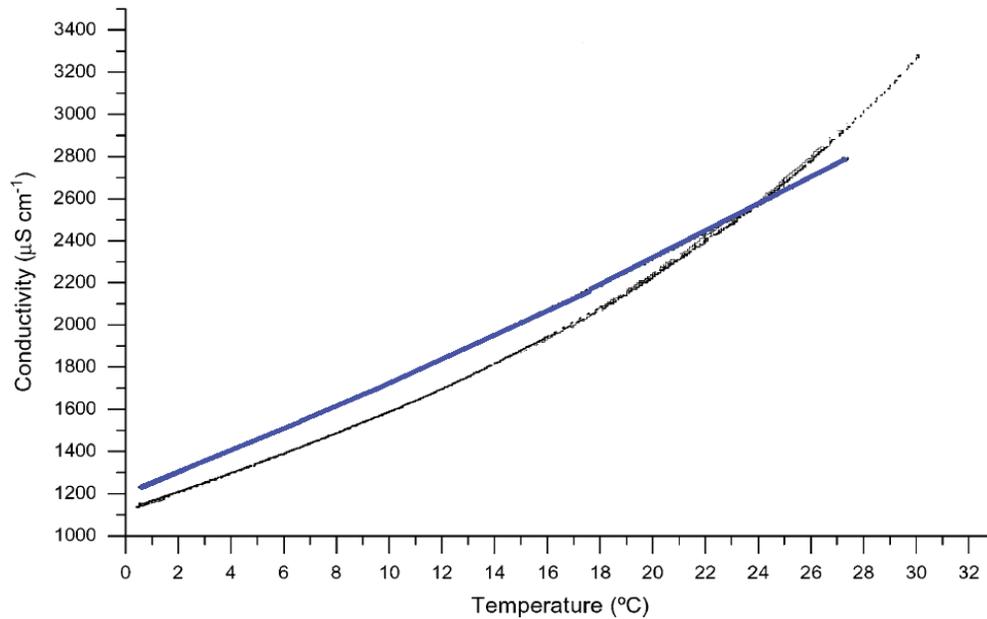


Figura 1.4. Gráfica para determinar la temperatura de saturación. (---) Vino solo; (—) vino con cristales de THK
(Cameira et al.; 2002, p. 260)

Maujean *et al.* (1985) establecieron relaciones matemáticas para determinar la temperatura de saturación. Para el vino tinto se determinaron las siguientes ecuaciones: en función de la conductividad [1.4] y con relación con el índice total de polifenoles (ITP) [1.5] (Ribereau *et al.*, 2006, p. 32; Hidalgo, 2011, p. 1458).

$$T_{\text{sat}} = 29,9 - \frac{\Delta k_{30^{\circ}\text{C}}}{58,3} \quad [1.4]$$

Donde:

$$\Delta k_{30^{\circ}\text{C}}: k_f - k_o$$

k_f : Conductividad del vino con 4 g/L de tartrato ácido de potasio (THK) a 30 °C

k_o : Conductividad del vino a 30 °C

$$T_{\text{sat}} = 10,81 + 0,297 \text{ IPT} \quad [1.5]$$

Donde:

T_{sat} : La temperatura de saturación

ITP: Índice total de polifenoles

Estas relaciones matemáticas no se cumplen en todos los vinos, por la compleja composición de la bebida (Ribereau *et al.*, 2006, p. 32).

Otro procedimiento para determinar la temperatura de saturación es mediante titulación. Se añade 400 mg/L de THK a una muestra de vino a 20° C con agitación durante 30 min., al precipitado se agrega cloruro potásico saturado en caliente. Se titula con NaOH 1/3 N. La T_{sat} se determina como se indica en la ecuación [1.6] (Hidalgo, 2011, p. 1458).

$$T_{\text{sat}} = 5,2 \times V_{\text{NaOH}}(\text{mL}) - 13,3 \quad [1.6]$$

Las pruebas tienen sus modificaciones porque se han acoplado al vino a analizar, por la compleja composición que tiene el vino, cada prueba tiene su propio criterio de evaluación.

1.3 ESTABILIZACIÓN POR ELECTRODIÁLISIS

1.3.1 GENERALIDADES

La electrodiálisis (ED) es un proceso de separación y/o concentración de iones, a través de membranas selectivas de aniones y cationes con la aplicación de una corriente continua (Huang, Xu, Zhang, Xue y Chen, 2007, p.3; Girard y Fukumoto, 2000, p. 102; Romanov y Zelentsov, 2007, p. 279; Valero, Barceló y Arbós, 2011, p. 4). La tecnología de ED es un sistema similar al filtro prensa como se muestra en la Figura 1.5, ya que, la celda de electrodiálisis se conforma por el apilamiento de placas, la celda consta de los siguientes elementos:

- **Membranas:** Polímeros que permiten o impiden el paso de iones. Existen tres tipos de membranas: aniónicas (MA), permite el paso de los aniones;

catiónicas (MC), permite el paso de los cationes; bipolares (MB), compuesta por una membrana aniónica y una membrana catiónica (Valero *et al.*, 2011, p. 6; Huang *et al.*, 2007, p. 3).

- **Espaciadores:** El flujo de las soluciones pasa entre las membranas, las trayectorias de las corrientes se forman por los espaciadores que son materiales plásticos, el diseño de espaciador determina la velocidad de la corriente y el tiempo de contacto del líquido con la membrana (Valero *et al.*, 2011, p. 7).

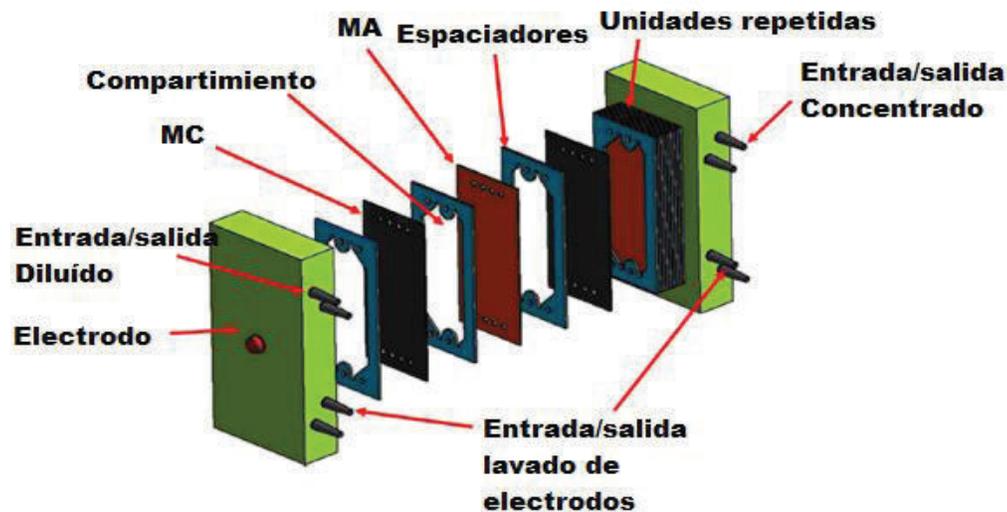


Figura 1.5. Partes principales que contiene un electrodiálisis. MA: membrana aniónica; MC: membrana catiónica (Hong y Chen, 2014, p. 142)

- **Electrodos:** Placas hechas generalmente de titanio y platino; las reacciones de oxidación y reducción se producen en los electrodos (Valero *et al.*, 2011, p.8; Xu y Huang, 2008, p. 3147; Huang *et al.*, 2007, p. 3).
- **Sellos:** Son materiales de caucho que se colocan entre los espaciadores para evitar la salida del flujo (Ávila, Cárdenas y Medina, 2000, p. 81).
- **Circuito hidráulico:** La electrodiálisis está formado por 3 circuitos hidráulicos que son: circuito del compartimiento diluido, donde se eliminan iones (cationes

y/o aniones); circuito del compartimiento concentrado, donde ingresan iones; y el circuito para el lavado de los electrodos (Farrell *et al.*, 2003, p. 53).

- **Circuito eléctrico:** Constituye de una fuente de corriente continua, proporciona la fuerza impulsadora para el transporte de iones (Montes y Álvarez, 2009, p. 495; Huang *et al.*, 2007, p. 3).

1.3.2 FUNCIONAMIENTO

El principio que rige el sistema de ED se basa en la diferencia de potencial que resulta debido al voltaje aplicado, esto provoca la migración de los iones al ánodo o al cátodo respectivamente (Girard y Fukumoto, 2000, p. 102; Valero *et al.*, 2011, p. 4).

El sistema cumple con la ley de Ohm según la ecuación [1.7].

$$V = I \times R \quad [1.7]$$

Donde:

V es el voltaje (voltios), I es la corriente (Amperios) y R es la resistencia (Ohm) (Farrell *et al.*, 2003, p. 54)

Durante el funcionamiento del electrodiálizador se deben tomar en cuenta ciertos parámetros para un rendimiento óptimo del sistema, estos son:

La corriente límite: Es la región de polarización donde se produce la electrólisis del agua (H^+ y OH^-), fenómeno que disminuye la eficiencia de la corriente. La corriente límite se determina según las curvas Cowan y Brown, la curva se determina como se indica en la Figura 1.6 (Montes y Álvarez, 2009, p. S2).

El punto de inflexión determina la corriente límite. Para un proceso eficiente se recomienda trabajar con el 80 % de la corriente límite (Muñoz, García, Segura y Pérez, 1999, p. 393).

En pruebas realizadas con vino por Vázquez (2011) para una configuración de tres compartimientos se obtuvo que la corriente límite es de $1,3 \text{ mA/cm}^2$ (p. 67).

La temperatura: Experimentos en la estabilización tartárica del vino desarrollado por Gonçalves et al. (2003) se realizaron a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (p. 231). La eficiencia en el transporte de los iones aumenta con la temperatura (Pourcelly, 2002, p. 922).

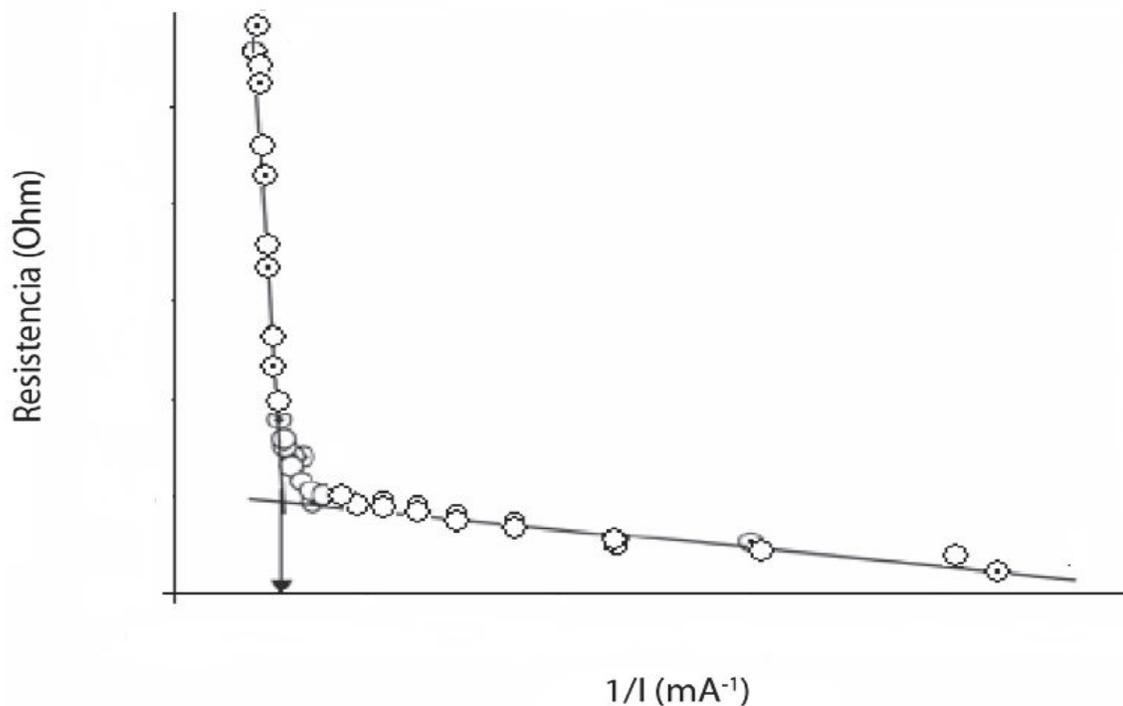


Figura 1.6. Curva de Cowan y Brown
(Montes y Álvarez 2009, p. s2)

El rendimiento farádico: La eficiencia de un proceso de electrodiálisis se determina con el rendimiento farádico (Muñoz *et al.*, 1999, p. 394) La ley de Faraday indica la cantidad de iones que pasan al electrodo es directamente proporcional a la energía eléctrica aplicada (Girard y Fukumoto, 2000, p, 104).

Esto significa que 96 500 amperios de corriente eléctrica aplicada por segundo equivale a la transferencia de un equivalente-gramo de sal para un proceso 100 % efectivo, generalmente los equipos están diseñados con 40 a 50 % de eficiencia (Valero *et al.*, 2011, p.9).

Una planta de tratamiento de desalación por electrodiálisis de un agua salobre tiene un rendimiento farádico de 58 % (Muñoz *et al*, 1999, p. 394)

1.3.3 APLICACIONES DE LA ELECTRODIÁLISIS

La electrodiálisis es una tecnología que se ha desarrollado y tiene cada vez más aplicaciones en la industria (Perry y Green, 1992, p. 17-49). Las principales aplicaciones se muestran en la Figura 1.7.

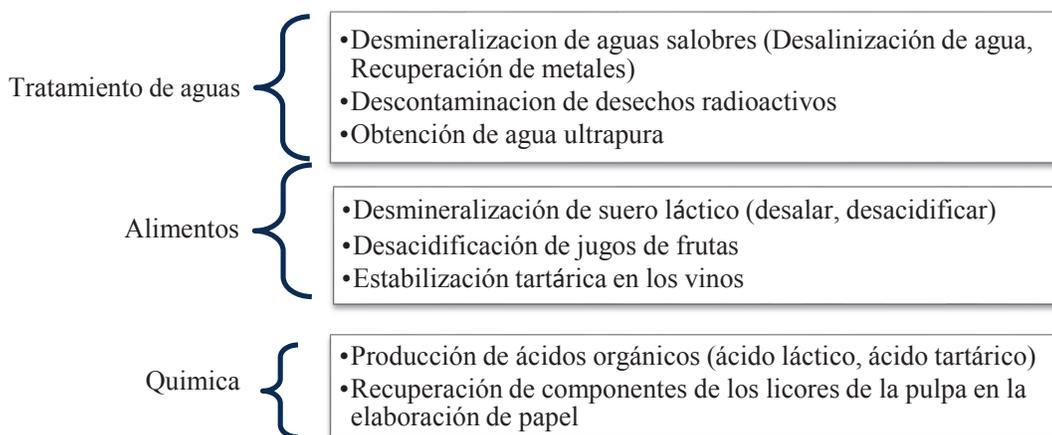


Figura 1.7. Principales aplicaciones de la electrodiálisis en la industria

(Perry y Green, 1992, pp. 17-49; Vera, et. al., 2009, p. 73; Kaya, Şahbaz, Arar, Yüksel y Yüksel, 2014, p. 7; Avila *et al.*, 2000, p. 84; Huang et al., 2007, p.1; Gonçalves *et al.*, 2003, p. 234; Xu, y Huang, 2008, p. 3148; Pourcelly, 2002, p. 924)

1.3.4 LA ELECTRODIÁLISIS EN EL VINO

A inicios de la década de los 70 aparecen las primeras investigaciones sobre el uso de la electrodiálisis en el jugo de uva (Romanov y Zelentsov, 2007, p. 281).

Una de las aplicaciones de la electrodiálisis es la estabilización tartárica en vinos jóvenes que contienen alta concentración de sales tartáricas, la electrodiálisis

elimina los iones y los cationes que provocan la precipitación de sales tartáricas (Jackson, 2008, p. 427; Girard, y Fukumoto, 2000, p. 149).

La aplicación de esta técnica se ha impulsado porque tiene poco impacto en la alteración de las propiedades organolépticas del vino en comparación con el tratamiento por frío (Romanov y Zelentsov, 2007, p. 283).

La aplicación de la ED en los vinos es aceptada por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) con las siguientes disposiciones:

- El equipo de ED debe estar armado en forma de un filtro prensa, el compartimiento diluido corresponde al vino y el concentrado a la solución acuosa (OIV, 2013, p. II.3.3.2).
- Se debe tener en cuenta la inestabilidad de cada vino, de manera que, solo se elimine tartrato ácido de potasio y sales de calcio (OIV, 2013, p. II.3.3.2).
- No debe existir cambios excesivos de la composición físico-química y de las características sensoriales del vino (OIV, 2013, p. II.3.3.2).

Las membranas según la OIV deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Debe ser de un material polimérico, con compuestos aprobados por la OIV (OIV, 2000, p.1).
- Las membranas no deben liberar sustancias en cantidades que puedan afectar la salud, ni sustancias que puedan formar nuevos compuestos en el producto que alteren las propiedades físico- químicas del vino (OIV, 2000, p. 2).
- Las membranas aniónicas solo deben extraer cationes, preferentemente K^+ y Ca^{++} ; las membranas catiónicas solo deben extraer exclusivamente aniones tartrato (OIV, 2013, p. II.3.3.2).

Los cambios permitidos por la OIV en el vino son:

- a. El pH no debe disminuir en más de 0,3 unidades.
- b. La acidez volátil debe disminuir máximo en 0,2 g/L (2 miliequivalentes expresado en ácido acético).
- c. Los polifenoles no deben variar.
- d. El grado alcohólico debe cambiar máximo en 0,1 %. (OIV, 2000, p. 3)

Se han desarrollado varias investigaciones sobre el estudio de la estabilización tartárica con vinos tintos, blancos y rosados (Soares *et al.*, 2009, p. 186).

Las configuraciones que se emplean son de dos, tres y cinco compartimientos con el uso de membranas aniónicas y catiónicas (Gonçalves *et al.*, 2003, p. 231; Soares *et al.*, 2009, p. 184; Vásquez, 2011, p. 95). Los electrodiálizadores tienen capacidades de procesamiento a nivel de laboratorio de 500 mL y a nivel industrial de 73 500 litros con hasta 150 membranas (Vásquez, 2011, p. 40; Nunes, 2011, pp. 35, 37). Las temperaturas empleadas para los experimentos son entre 24 °C y 25 °C (Vásquez, 2011, p. 35; Gonçalves *et al.*, 2003, p. 231)

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MATERIALES

2.1.1 MUESTRAS Y MATERIALES

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron los siguientes materiales: vino tinto de 10 % v/v de etanol; agua desionizada; pipetas de 2 y 10 mL; vasos de precipitación de 250 y 100 mL; matraces aforados de 100, 250 y 500 mL; erlenmeyers de 250 y 500 mL, botellas de vidrio de 1 000 mL y de 250 mL, papel filtro.

2.1.2 REACTIVOS

- Ácido tartárico (PAHI SL, España), grado alimenticio.
- Ácido acético glacial (Merk, Alemania), 100 %
- Cloruro de potasio (Merk, Alemania), grado analítico
- Hidróxido de sodio (Merk), grado analítico
- Ácido sulfúrico (SIGMA- ALDRICH, USA), 95 - 97 %
- Tartrato ácido de potasio (PAHI SL, España), grado alimenticio.
- Sulfato de Sodio Anhidro (J.T. Baker, México), polvo granular.

2.1.3 EQUIPOS

2.1.3.1 Caracterización

Para la determinación de la temperatura de saturación se utilizó:

- Cronómetro
- Termómetro termopar registrador de datos EXTECH instruments, modeloEA15
- Balanza analítica Citizen, 220 g, 0,0001, modelo Cx 220

- Balanza OHAUS, 2000 g, 0,1 g
- Conductímetro Multiparameter analyser, Consort 832
- Agitadores
- Equipo de refrigeración, SEMATEC ENGINEERING
- Termostato Temperatura controler THOMAS SCIENTIFIC

2.1.3.2 Tratamiento por frío

- Equipo de enfriamiento, SEMATEC ENGINEERING
- Timer
- Conductímetro Multiparameter analyser, Consort 832
- Termómetro termopar registrador de datos EXTECH instruments, modelo EA15

2.1.3.3 Electrodiálisis

- membranas de intercambio catiónico CMX, Ameridia
- membranas de intercambio aniónico AMX, Ameridia
- Conductímetro- pH metro Multiparameter analyser, Consort 832
- Conductímetro WTW multi 340 i
- Conductímetro, OAKTON
- Termostato, Temperatura controler THOMAS SCIENTIFIC
- Fuente de Poder, EMS POWER SUPPLY
- Osciloscopio, EXTECH Instruments
- bombas peristálticas MASTERFLEX, modelo N° 775221-40
- Computador
- 3 Agitadores magnéticos Cole-Parmer (200 rpm)
- Amperímetro, Digital Multimeter.

2.1.4 CARACTERIZACIÓN DEL VINO

Preparación de la muestra

Para esta investigación se utilizó vino tinto joven elaborado en la ciudad de Quito, fabricado por las Religiosas del Monasterio Santa Catalina de Siena.

Primero, se determinó la estabilidad tartárica del vino mediante la temperatura de saturación como se muestra más adelante. De acuerdo a esta prueba se comprobó que el vino estaba estable como se observa en el Anexo I, por lo que se procedió a agregar tartrato ácido de potasio (THK) con el objetivo de simular un vino tartáricamente inestable. A esta nueva solución se consideró como la nueva muestra testigo y en la cual se aplicó los tratamientos de estabilización tartárica.

Caracterización de la muestra

Antes de realizar los tratamientos de estabilización tartárica, se caracterizó el vino. Se midió la conductividad de acuerdo al método de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) resolución OIV-OENO 419 A-2011 (OIV, 2011, pp. 2 - 4). El pH según la norma AOAC 960.19 (AOAC, 2005). Se utilizó el conductímetro- pH-metro marca Consort 832. Los datos se midieron a 25 °C. El grado alcohólico según la Norma INEN 360 (INEN, 1978). La concentración del ácido tartárico según el método de la AOAC 920.69 (AOAC, 2005).

El índice total de polifenoles, mediante el índice de permanganato de potasio, según la B.O.E. 27-7-1977 se describe en el Anexo II (B.O.E, 1977, p. 67).

La acidez total y la acidez volátil se determinaron según la norma INEN 341 (INEN, 1978).

Las cenizas se determinaron de acuerdo a la norma INEN 348 (INEN, 1978).

Temperatura de saturación

Para determinar la temperatura de saturación, se calentó una muestra de 100 mL de vino desde 0 °C a 30 °C, la temperatura se midió con el termómetro marca

EXTECH instruments; a una segunda muestra de vino se añadió 4 g/L de tartrato ácido de potasio también se calentó desde 0 °C a 30 °C; el tartrato ácido de potasio se añade a la muestra cuando su temperatura es de 0 °C. Para las dos muestras se utilizó agitación constante y se midió la conductividad con el conductímetro marca Consort 832 durante el calentamiento. Se controló la velocidad de calentamiento con el termostato marca THOMAS SCIENTIFIC.

La intersección entre las curvas temperatura vs conductividad de las dos muestras indica la temperatura de saturación (Cameira *et al.*, 2002, pp. 257-261).

Los datos de la conductividad se tomaron con el conductímetro marca Consort 832, cada 5 segundos, se registraron en la computadora mediante una macro en Excel.

2.2 EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO POR FRÍO EN LA ESTABILIZACIÓN TARTÁRICA DEL VINO TINTO

2.2.1 TRATAMIENTO POR FRÍO

Para realizar el tratamiento de estabilización por frío, se desarrolló un diseño experimental con un solo factor, el tiempo de tratamiento; con tres niveles 8, 15 y 22 días. Se realizaron dos repeticiones.

Las muestras de 100 mL de vino se introdujeron en un equipo de enfriamiento, marca SEMATEC; durante 8, 15 y 22 días. La temperatura de estabilización o de tratamiento se determinó según la ecuación 2.1 (Ribereau *et al.*, 2006, p. 37).

$$T_{\text{estabilización}} = - \left(\frac{\% \text{ Vol etanol}}{2} - 1 \right) \quad [2.1]$$

Cuando las muestras y su respectiva paralela cumplieron el tiempo estimado, se filtraron, con papel filtro a temperaturas cercanas a cero (Ribereau *et al.*, 2006, p. 375). Después se procedió a realizar la prueba de mini-contacto.

Prueba de mini-contacto: La prueba de mini-contacto indica la estabilidad del vino. Esta prueba se realizó en las muestras que fueron sometidas a estabilización. Para lo cual el vino se enfrió hasta los 0 °C, se midió la conductividad a esta temperatura (k_o) con el conductímetro marca Consort 832. Después se añadió 10 g/L de tartrato ácido de potasio a la misma temperatura. Se midió la conductividad cuando se estabilizó (k_f), aproximadamente 10 minutos después de añadir el tartrato ácido de potasio. Todo este proceso se lo realizó con agitación constante (Flanzy, 2003, p. 561; Ribereau *et al.*, 2006, p. 29).

Con estos dos valores obtenidos, se calculó el porcentaje de la caída de la conductividad o grado de desionización (% DD), como se indica en la ecuación 2.2 y se determinó si era o no estable (Soares *et al.*, 2009, p. 183).

$$\% DD = \frac{k_o - k_f}{k_o} \times 100 \quad [2.2]$$

Donde:

k_o : conductividad inicial ($\mu\text{S/cm}$)

k_f : conductividad final ($\mu\text{S/cm}$)

Para el análisis de los resultados obtenidos se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Centurion XV.II. El análisis de los resultados se realizó mediante un análisis de varianza.

Para los vinos que se estabilizaron por frío, se escogieron los vinos que según el ensayo de mini-contacto resultaron estables (% DD < 5%) y tenían el menor tiempo de tratamiento.

2.2.2 CARACTERIZACIÓN DEL VINO TRATADO POR FRÍO

Se caracterizó a la muestra que según el ensayo de mini-contacto resultó estable y con el menor tiempo de duración. Se analizó la variación de los parámetros que se muestran en la Tabla 2.1 con la muestra testigo.

Tabla 2.1 Caracterización físico-química de vino estabilizado por frío

| Parámetro | Norma |
|---------------------------------|--------------------|
| Conductividad | OIV-OENO 419A-2011 |
| Ácido tartárico | AOAC 920.69 |
| Alcohol | INEN 360 |
| Índice total de polifenoles ITP | B.O.E. 27-7-1977 |
| pH | AOAC 960.19 |
| Acidez total y acidez volátil | INEN341 |
| Cenizas (g/1000 mL) | INEN 348 |

2.3 DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ÓPTIMAS DEL EQUIPO DE ELECTRODIÁLISIS PARA LA ESTABILIZACIÓN TARTÁRICA DEL VINO TINTO

Se determinaron las condiciones de operación para el correcto funcionamiento del electrodiálizador.

2.3.1 DETERMINACIÓN DE LA CORRIENTE LÍMITE

La corriente límite se determinó de acuerdo al método Cowan y Brown. Se realizó un aumento escalonado de corriente en un periodo de 30 segundos, durante este tiempo se midió el amperaje y el voltaje cada dos segundos. Los datos se almacenaron en una macros de Excel. Se graficó una curva, resistencia versus el inverso de la densidad de corriente. De acuerdo a la Ley Ohm como se indica en la ecuación 2.3. El punto de inflexión de la curva indicó la densidad de corriente límite.

Para que el sistema sea eficiente se trabajó con el 80 % de la densidad de corriente límite.

$$V = IR \quad [2.3]$$

Donde:

V: Voltaje (Voltios)

I: Corriente (Amperios)

R: Resistencia (ohms)

2.3.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL ELECTRODIALIZADOR

Parámetros de control

El tratamiento se realizó a temperatura constante, la temperatura se reguló con el controlador de temperatura marca THOMAS SCIENTIFIC, las soluciones se colocaron en baño María y con agitación constante durante el proceso (Gonçalves *et al.*, 2003, p. 231).

Se controló el flujo de las soluciones del compartimiento diluido, el compartimiento concentrado y del compartimiento de los electrolitos, se utilizó 3 bombas peristálticas MASTERFLEX.

2.3.2.1 Electrodializador

El sistema constó de 2 membranas aniónicas AMX y de 2 membranas catiónicas CMX. El área efectiva de la membrana fue de 35.5 cm. Las principales características de las membranas se mencionan en la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Principales propiedades de las membranas ión-selectivas Ameridia

| Propiedades | AMX | CMX |
|--|------------------------|------------------------|
| Espesor de la membrana (mm) | Min. 0,12 Max. 0,18 | Min. 0,14 Max. 0,20 |
| Resistencia al rompimiento (kg/cm ²) | 0,3 | 0,4 |
| Resistencia específica (ohm-cm ²) | Baja: 2,0 Alta: 3,5 | Baja: 1,8 Alta: 3,8 |

(Ameridia, 2014)

El electrodiálizador estuvo conformado por 3 compartimientos como se indica en la Figura 2.1.

Se trabajó con 250 mL de muestra de vino tinto, en el compartimiento diluido; en los compartimientos situados a los dos lados del vino, llamados compartimientos del concentrado, se colocó 1 000 mL de una solución de 0,01 mol/ L de ácido tartárico; los compartimientos de los electrodos se colocó 1 000 mL de una solución de 0,01 mol/ L de sulfato de sodio.

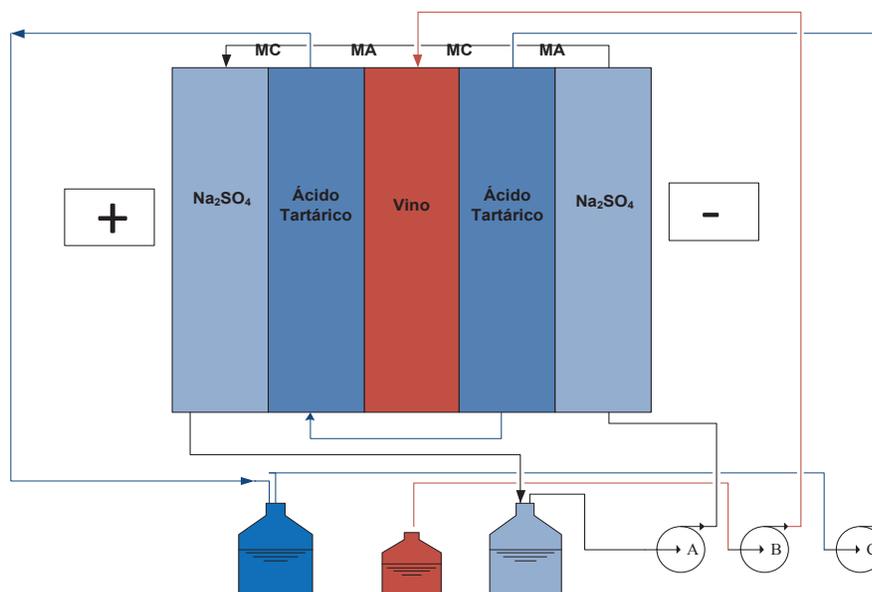


Figura 2.1. Configuración del sistema de electrodiálisis. MC: Membrana cationica; MA: Membrana aniónica; A, B, C: bombas peristálticas
(Fuente Propia, 2014)

Durante el tratamiento, se midió cada minuto la conductividad y el pH del vino. La conductividad de los compartimientos del concentrado y de los electrodos cada minuto. El pH de los compartimientos del concentrado y de los electrodos se midió al inicio y al final del proceso. Los datos se tomaron mediante una macro de Excel y se registró el pH, la conductividad del compartimiento diluido usando el multiparámetro Consort 832, el amperaje y el voltaje medido con el osciloscopio marca EXTECH. El sistema operó con un flujo de 0,038 m³/h a 25 °C.

2.3.2.2 Pruebas de estabilidad tartárica con electrodiálisis

Las muestras de vino de 250 mL se sometieron al tratamiento de electrodiálisis. Se desarrolló un diseño experimental con un solo factor, el grado de desionización. El vino se desionizó hasta alcanzar los siguientes grados de desionización (% DD) 7,5 %, 15,0 %, 22,5 % y 30,0 %. El grado de desionización se determinó con la variación de la conductividad como se indica en la ecuación [2.2]. Para cada tratamiento se controló la conductividad, el tiempo de tratamiento y el pH. Se realizaron dos repeticiones.

2.3.2.3 Test de mini-contacto

A todas las muestras tratadas por electrodiálisis se realizó la prueba de mini-contacto como se indica en la sección 2.3.1. Se realizó un análisis de varianza de los resultados obtenido por el test de mini- contacto.

2.3.3 RENDIMIENTO FARÁDICO

Para determinar la efectividad del proceso, se calculó el rendimiento farádico, como se muestra en las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.6 (Muñoz *et al*, 1999, p. 394).

$$\eta = \frac{\text{Equivalentes Reales}}{\text{Equivalentes Teóricos}} \times 100 \quad [2.4]$$

$$\text{Equivalentes reales} = \frac{m_{\text{TH}_2}}{\text{PM}} \quad [2.5]$$

Donde:

m_{TH_2} : masa de ácido removido (g)

PM: Peso molecular del ácido tartárico (g/mol)

$$\text{Equivalentes teóricos} = \frac{I_m \times N \times t \times z}{F} \quad [2.6]$$

Donde:

I_m : Intensidad media (A)

N: Número de células del equipo

t: Tiempo (s)

z: Carga del electrolito = 1

F: Número de Faraday 96 500 (c/eq)

Para determinar variación de la concentración del ácido tartárico se construyó una curva en función de la concentración versus conductividad para los compartimientos del concentrado como se muestra en el Anexo III.

2.3.4 CARACTERIZACIÓN DEL VINO TRATADO POR ELECTRODIÁLISIS

Se escogió el tratamiento que según el ensayo de mini-contacto resulto estable, tenían el mejor rendimiento farádico y el menor tiempo de duración. Se caracterizó a la muestra seleccionada se analizó: la concentración de ácido tartárico, el grado alcohólico, el índice total de polifenoles, el pH, la acidez total, la acidez volátil y las cenizas. Se analizó la variación de estos parámetros con la muestra testigo.

2.4 COMPARACIÓN DE LOS VINOS TRATADOS POR LOS DOS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN TARTÁRICA

Se realizó una comparación de las muestras escogidas que resultaron estables con el tratamiento por frío y con el tratamiento por electrodiálisis. Se analizó si las muestras cumplieron con la norma INEN 374 para bebidas alcohólicas de vino de frutas, en la cual se establecen los límites máximos y/o mínimos que debe cumplir el vino para grado alcohólico, acidez volátil, acidez total y cenizas.

También se consideró la norma del CODEX ENOLÓGICO (Oeno 29/2000) donde se especifican los cambios aceptables que se pueden producir en el vino en pH, acidez volátil, polifenoles y grado alcohólico con el tratamiento de electrodiálisis.

De acuerdo al análisis de estos parámetros se determinó que tratamiento tiene mayor efecto en la variación del pH, la acidez total, la acidez volátil, los polifenoles, el grado alcohólico y las cenizas.

2.5 DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN

Se diseñó una planta para la producción de vino tinto joven. En el diseño se considera desde la recepción de la materia prima hasta el almacenamiento del producto terminado. Además, en el diseño se incluyen los dos tratamientos de estabilización tartárica.

Para determinar la capacidad de la planta, se tomaron datos de un estudio de mercado para vinos en el Ecuador hecho por la Pontificia Universidad Católica en el 2011. Se analizaron las preferencias del consumidor en cuanto al tipo de vino, la presentación del producto, el precio y el contenido alcohólico. Finalmente se tomaron proyecciones para el 2014 de la demanda insatisfecha de vino para la provincia de Pichincha, se pretende abarcar el 25 % de este mercado (Cepeda, 2011, p. 82).

La ubicación de la planta se determinó de acuerdo a criterios de disponibilidad y accesibilidad de recursos.

Los equipos se dimensionaron, de acuerdo a los balances de masa y energía. Los equipos se escogieron por catálogo con un sobredimensionamiento del 25 %, para los diagramas BFD y PFD se utilizó el programa VISIO. La distribución de los equipos, las áreas de la planta, el flujo de producto y movimiento de operarios se muestran en la distribución de planta ("Lay out"). Se consideraron los estándares y normas técnicas para el diseño de la planta: Norma de calidad INEN 374, para elaboración de diagramas Norma ANSI.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL VINO

Se caracterizó al vino al cual se adicionó 7 g/ L de tartrato ácido de potasio y resulto tartáricamente inestable. Las características físico-químicas de este vino se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Características principales del vino tinto

| Parámetro | Valor |
|---|---------------|
| Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)* | 950 |
| Alcohol (% v/v etanol) a 20 °C | 10 |
| pH* | 2,2 \pm 0,1 |
| Ácido tartárico (g/L) | 10 |
| Acidez total (g/1 000 mL de ácido acético) | 10 |
| Acidez volátil (g/1 000 mL de ácido acético) | 3,1 |
| Índice total de polifenoles ITP (mEq/L) | 12,5 |
| Cenizas (g/1 000 mL) | 1,1 |

* La conductividad y el pH se determinaron a 25 °C

El grado alcohólico cumple con los requerimientos de la INEN 374, que establece que un vino de frutas debe contener entre 8 y 18 ° GL.

El pH del vino depende de la cantidad de ácidos y la fuerza de disociación. Generalmente el pH del vino depende de la concentración de ácido tartárico (Rajković, Novaković y Petrović, 2007, p. 179).

La concentración de ácido tartárico es de 10 g/L. Los valores obtenidos por Gonçalves y Fernandes (2008) son inferiores, probablemente por que que el vino que utilizaron tiene un tiempo de almacenamiento mayor que el vino que se empleó en esta experimentación (p. 234). El ácido tartárico disminuye durante el

envejecimiento del vino debido a las precipitaciones tartáricas (Moreno y Polo, 2009, p. 92).

La materia prima influye en la cantidad de ácido tartárico presente en el vino, la concentración de ácido tartárico disminuye con la madurez de la uva (Oliveira y Sousa, 2009, p. 7).

La acidez total se encuentra dentro de los rangos aceptables por la INEN 374, que establece que el vino debe tener un máximo de 13 g/ 1 000 mL como ácido acético.

La acidez volátil no cumple con los requisitos de la INEN 374, la acidez máxima permitida es de 2,0 g/ 1 000 mL de ácido acético, el valor elevado de acidez volátil puede deberse a la degradación de azúcares reductores producida durante la fermentación láctica que provoca la generación de ácido acético (Ribereau *et al.*, 2006, p. 9).

El ITP es de 12,5 un valor muy bajo para vinos tintos, valores de ITP citados por Soares *et al.*, (2009) para vinos tintos se encuentran alrededor de 50. El valor bajo de polifenoles puede deberse a varios factores, durante el proceso de elaboración, seguramente la técnica de maceración no fue la adecuada o no existió maceración que permita extraer los polifenoles de las pieles de las uvas (Hidalgo, 2011, pp. 987 - 988; Sartini, Parpinello, Galassi y Versari, 2011, p. 1087). Además, la concentración de los compuestos presentes en la uva está influenciada por las prácticas agrícolas, la variedad de la uva (Garrido y Borges, 2013, p. 1845). Por otra parte, el tipo de botella en el que se comercializa el vino es transparente y la luz degrada los compuestos fenólicos (Catania, C., y Avagnina, S., 2007b, p. 8).

Las cenizas se encuentran dentro del rango permitido por la INEN 374. Las cenizas indican la cantidad total de minerales presentes en el vino, y representa la cantidad de cationes presentes (Zumbado, 2008, p. 178).

Temperatura de Saturación

La temperatura de saturación se determinó por la intersección entre las curvas de conductividad del vino, y del vino con la adición de 4 g/L de THK, en un rango de temperatura de 0 °C a 30 °C como se muestra en la Figura 3.1 (Ribéreau et al., 2006, p. 30).

La curva formada con la muestra de vino con 4 g/L de THK tiene la conductividad menor que la muestra solo de vino a los 0 °C, debido a que el vino se satura de sales tartáricas que son insolubles a bajas temperaturas y como consecuencia precipitan (Ribereau *et al.*, 2006, p.31).

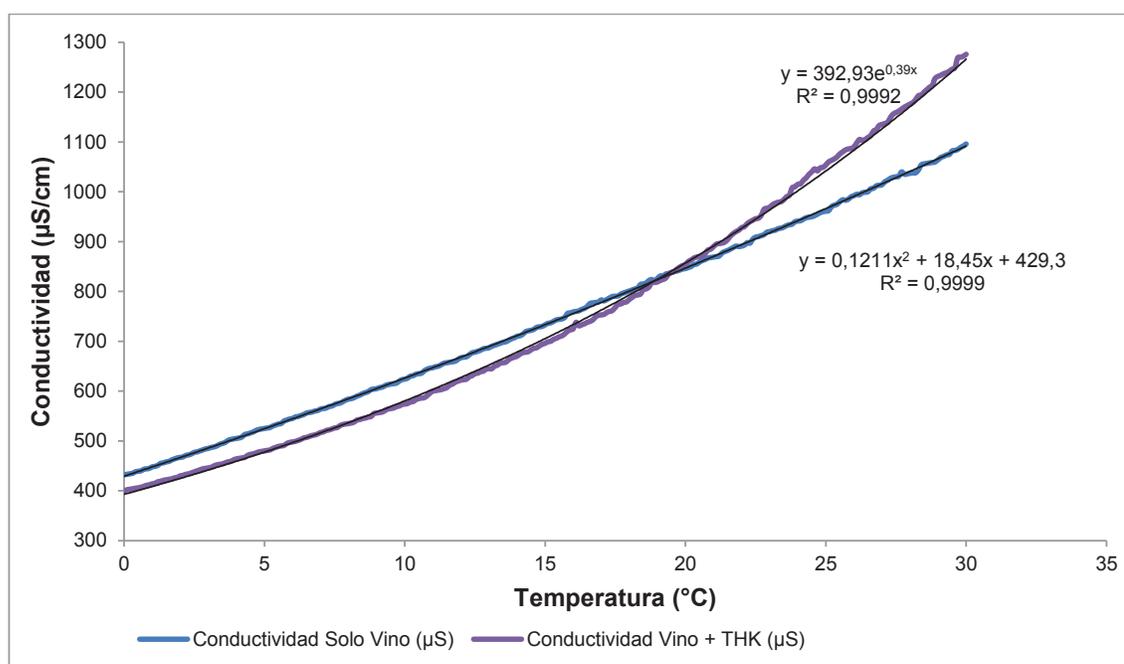


Figura 3.1. Curvas determinación de la temperatura de saturación

A temperaturas mayores de 20 °C, la conductividad del vino con THK es mayor que el vino solo, porque la solubilidad de las sales tartáricas aumenta con el incremento de la temperatura (Hidalgo, 2011, p. 1448). La concentración de las sales tartáricas está directamente relacionada con la conductividad (Ribereau *et al.*, 2006, p.27).

Un vino tinto joven se considera estable cuando tiene una temperatura de saturación menor a 15 °C (Erbslöh, 2009, p. 2). La Figura 3.1 indica la temperatura de saturación del vino es de 19,3 °C es decir, a esta temperatura existe riesgo de precipitación espontánea. Por lo tanto, el vino es tartáricamente inestable, se debe realizar un tratamiento de estabilización tartárica. Cameira *et al.* (2002) obtuvieron temperaturas de saturación entre 21,4 °C y 25,1 °C para vinos tintos sin estabilización tartárica valores cercanos a los obtenidos en esta experimentación (p. 260).

3.2 EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO POR FRÍO EN LA ESTABILIZACIÓN TARTÁRICA DEL VINO TINTO

3.2.1 TRATAMIENTO POR FRÍO

Se determinó la temperatura de estabilización para el vino que contiene 10 % de v/v de etanol según la ecuación [2.1]. Por lo tanto, la temperatura de estabilización para este vino fue de - 4 °C. Las muestras se trataron por 8, 15 y 22 días.

A las muestras estabilizadas por frío después de ser filtradas se realizó el test de mini-contacto. En la Figura 3.2, se muestran los datos del porcentaje de la caída de la conductividad (% DD) por el test de mini-contacto.

Los datos indican que a los 8 días, el vino todavía no se estabilizó, tiene un porcentaje de caída de la conductividad mayor al 5 %. A los 15 días de tratamiento, el vino tiene 3,69 % de DD, y a los 22 días 3,23 % de DD, ambos son tartáricamente estables.

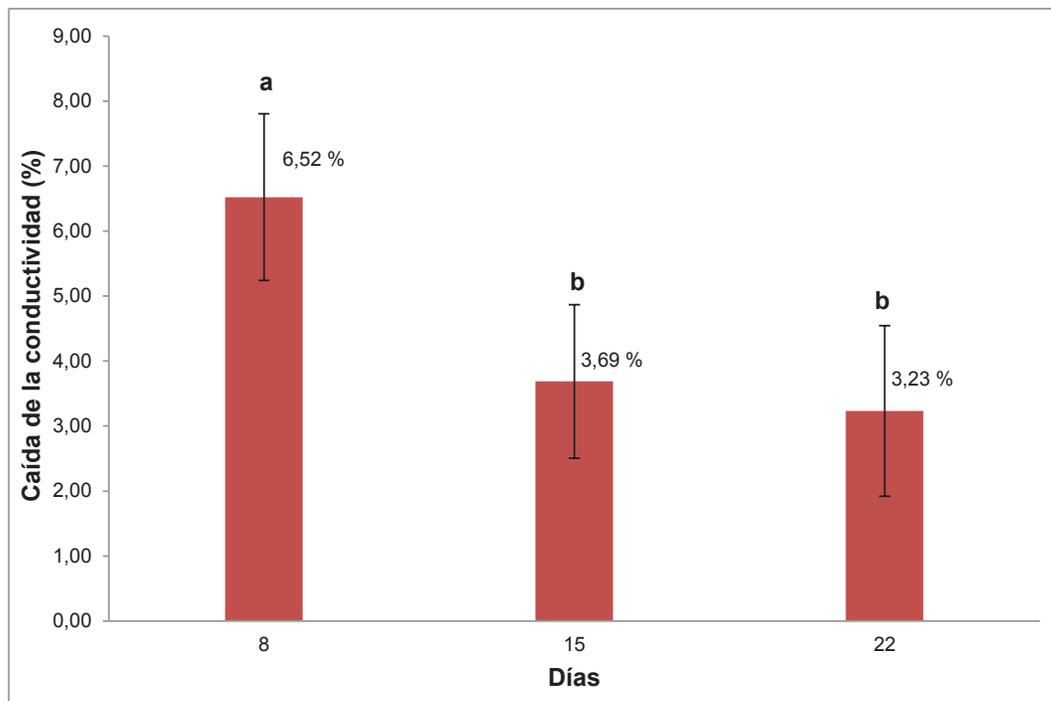


Figura 3.2. Porcentaje de la caída de la conductividad por la prueba de mini-contacto después de la estabilización tartárica por frío. Las letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de rangos múltiples

Según Forsyth (2010) para un vino tinto con 11,3 % v/v de etanol se requirió de 16 días de tratamiento, un tiempo similar al obtenido en esta experimentación (p.9). De acuerdo al análisis ANOVA, existe una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre la media de la caída de la conductividad entre un nivel de tiempo y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Los datos del análisis ANOVA se muestran en el Anexo IV. Según la prueba de rangos múltiples LDS, entre los tratamientos a los 15 y 22 días no existe diferencia estadísticamente significativa, con un nivel de confianza del 95 %. Por lo tanto, se escoge como el tratamiento óptimo el de 15 días, por ser el tratamiento de menor tiempo de duración.

3.2.2 CARACTERIZACIÓN DEL VINO TRATADO POR FRÍO

Se caracterizó al vino que se estabilizó por frío durante 15 días. Los valores se muestran en la Tabla 3.2

De acuerdo a los valores de conductividad de la muestra testigo y la muestra tratada por frío se obtuvo un grado de desionización de 8,21 % (usando la ecuación [2.2]). El tratamiento por frío también produjo cambios en la composición del vino como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Caracterización físico-química de vino estabilizado por frío

| Parámetro | Valor |
|--|--------------|
| Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)* | 872,00 |
| Alcohol (% v/v etanol) | 8,00 |
| pH* | 2,21 |
| Ácido Tartárico (g/L) | 8,50 |
| Acidez Total (g/ 1 000 mL) | 9,80 |
| Acidez Volátil (g/ 1 000 mL) | 3,10 |
| Índice total de polifenoles ITP (mEq/L) | 8,50 |
| Cenizas (g/1 000 mL) | 0,80 |

* La conductividad y el pH se determinaron a 25 °C

El grado alcohólico se redujo en 2 % v/v etanol, según Forsyth (2010), el tratamiento por frío no altera la composición alcohólica (p. 9). Este cambio seguramente se produce por que el vino durante el proceso de estabilización no estuvo herméticamente cerrado esto puede ocasionar la pérdida de compuestos volátiles.

El pH disminuyó en 0,31 unidades, no existió una variación en los valores de acidez volátil pero la acidez total conformada por la acidez volátil y la acidez fija disminuye en 0,2 g / 1 000 mL es decir, la reducción solo se produce en la acidez fija, la cual tiene como principal componente al ácido tartárico. Los datos de pH y de acidez total demuestran la variación en la concentración de ácido tartárico.

Se observó una reducción de ácido tartárico de 1,5 g/L como se indica en la Tabla 3.2. Este valor es similar al obtenido por Lasanta y Gómez (2012), que encontraron una reducción de 1,07 g/L de ácido tartárico en vinos tratados por frío (p. 55).

Los valores de ITP indican que se produjo la pérdida de 4 mili- equivalentes, que representa un 32 % de la composición fenólica. Trabajos realizados en la estabilización tartárica por frío en vinos tintos jóvenes obtuvieron una disminución en el ITP de 2,4 mili- equivalentes (Muñoz, 2003, p. 28, 83). Esta pérdida importante de polifenoles puede deberse a factores correspondientes al proceso realizado en el experimento. Los polifenoles proporcionan al vino el sabor, la astringencia y el color al vino tinto (Cheynier, 2012, p. 166). Durante la filtración, el color del vino tinto se impregnó en el papel filtro como se observa en la Figura 3.3 es decir, se produjo la pérdida de antocianinas, los polifenoles responsables del color del vino.

Además, se observó la pérdida de antocianinas en la precipitación de los cristales tartáricos como se muestra en la Figura 3.3; la pérdida de color se produce por la sedimentación de antocianinas con los cristales de ácido tartárico durante el tratamiento por frío (Odageriu, Zamfir y Cotea, 2009, p.7).



Figura 3.3. Filtración de vino tratado por frío (izquierda); cristales tartáricos precipitados por estabilización tartárica por frío (derecha)

(Fuente propia, 2014)

Con el tratamiento por frío, las cenizas se redujeron en 0,3 g/1 000 mL. Esto comprueba que el tratamiento por frío elimina los cationes presentes en el vino, los más abundantes son el potasio y el calcio, los responsables de las precipitaciones tartáricas (Jackson, 2008, p. 316).

3.3 DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ÓPTIMAS DEL EQUIPO DE ELECTRODIÁLISIS PARA LA ESTABILIZACIÓN TARTÁRICA DEL VINO TINTO

Para el correcto funcionamiento del electrodiálizador se determinaron las mejores condiciones de operación como se detalla a continuación.

3.3.1 DETERMINACIÓN DE LA CORRIENTE LÍMITE

Primero, se determinó la corriente límite del sistema, se calculó de acuerdo al método Cowan y Brown como se grafica en la Figura 3.4.

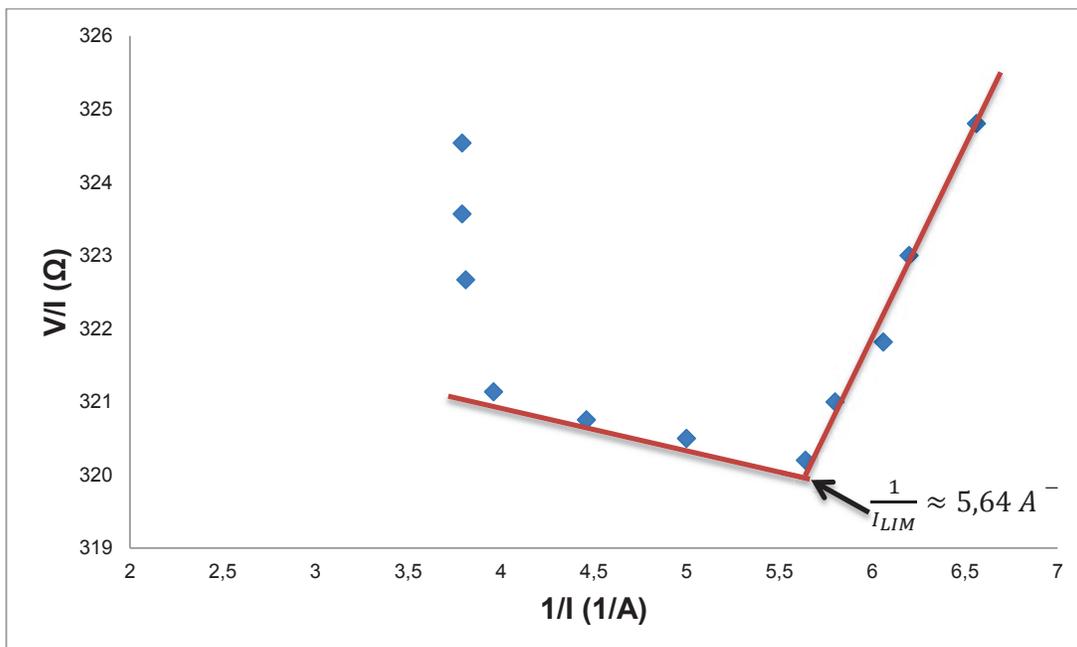


Figura 3.4. Determinación de la corriente límite para el vino tinto

La corriente límite corresponde al punto de intersección como se observa en la Figura 3.4. Para el vino, el valor obtenido de dos repeticiones fue de $0,177 \text{ A/cm}^2 \pm 0,02$. Para las pruebas de electrodiálisis se trabajó con el 80 % de la corriente límite, es decir con una densidad de corriente límite de $0,14 \text{ A/cm}^2$.

De acuerdo a Vásquez, Bonotto, Marder, Zoppas y Bernardes (2010), el porcentaje de alcohol, el pH y la concentración de ácido tartárico son factores que influyen en los valores de la corriente límite. Por ejemplo para una solución de $0,03 \text{ M}$ de ácido tartárico la corriente límite fue de $4,5 \text{ mA/cm}^2$ en cambio para una solución de $0,03 \text{ M}$ de ácido tartárico y 10 % etanol la corriente límite fue de 3 mA/cm^2 . Por lo tanto, cuando se incrementó la concentración de ácido tartárico mayor fue la corriente límite mientras tanto, la presencia de etanol disminuye la corriente límite (p. 120). Con estos datos se comprueba como dos de los componentes del vino influyen en los valores de corriente límite.

El vino al que se utilizó para este trabajo, tiene una concentración de $0,067 \text{ M}$ de ácido tartárico y 10 % etanol, se obtuvo una corriente límite diferente a la obtenida por Vásquez *et al.* (2010, p. 120). Esto probablemente se produce debido a que el vino es una solución que contiene otros componentes como ácidos orgánicos, fenoles, azúcares entre otros en diferentes concentraciones que coexisten por ejemplo como iones o coloides. Esta condición influye en los valores de la corriente límite del vino (Ribereau *et al.*, 2006, p. 3; Jackson, 2008, p. 274).

3.3.2 EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO POR ELECTRODIÁLISIS

La configuración del electrodiálizador que se usó fue C-A-C-A de dos compartimientos, similar a la configuración que utilizó Vásquez (2011) como se puede observar en la Figura 3.5 (p. 91).

En la Figura 3.5 también se muestra una representación del movimiento de los iones del vino a través de las membranas. En el compartimiento (1) que corresponde al compartimiento diluido donde se colocó el vino, se observa el movimiento de los aniones tartratos TH^- hacia el ánodo y los cationes Na^+ , K^+ y Ca^{++} hacia el cátodo a través de las membranas aniónicas MA y catiónicas MC

respectivamente, estos aniones migran hacia los compartimientos (2) y (2') que son los compartimientos del concentrado.

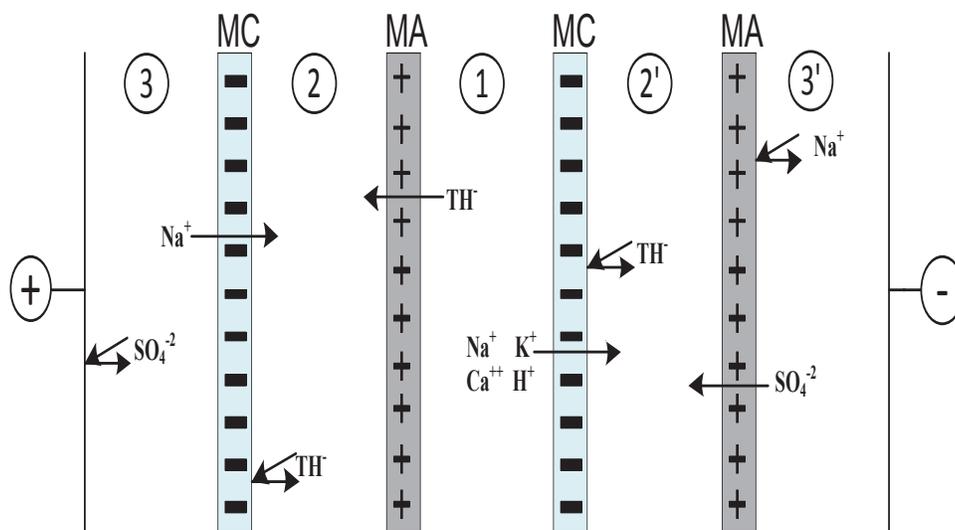


Figura 3.5. Representación esquemática del funcionamiento del electrodiálisis en la estabilización tartárica del vino tinto. T corresponde al ión tartrato (-OOC-CO₂-COH₂-COO⁻)

Según Jiří y Zdeněk (2012), en su trabajo realizado en la extracción de ácido tartárico por electrodiálisis. La concentración inicial que se utilizó en los compartimientos del concentrado corresponde al 25 % de la concentración inicial de ácido tartárico en el compartimiento diluido (p. 2263). Para esta experimentación se aplicó la misma relación. Para que la concentración final del compartimiento concentrado se encuentre sobre el límite de saturación del ácido tartárico (13,9 g/L de agua a 20 °C).

En la Figura 3.5 también se representa el movimiento de los iones de los compartimientos de los electrodos, donde se observa el desplazamiento del ión Na⁺ a través de la membrana MC y el desplazamiento del ión SO₄²⁻ por la membrana MA hacia los compartimientos del concentrado. En este compartimiento se tiene por lo tanto una mezcla del tartrato del vino y de Na₂SO₄ proveniente del compartimiento de los electrodos. Debido a la transferencia del Na⁺ y SO₄²⁻, la conductividad en el compartimiento de los electrodos disminuye durante el proceso como se ve en el Anexo V.

3.3.2.1 Pruebas de estabilidad tartárica con electrodiálisis

Establecidas las condiciones de trabajo y el funcionamiento del electrodiálizador se procedió a realizar los tratamientos de estabilización tartárica en el vino. Durante el cual se midió el tiempo, la conductividad y el pH para cuatro grados de desionización: 7,5 %, 15,0 %, 22,5 % y 30,0 %.

El tiempo: En la Figura 3.6 se muestra el tiempo (minutos) que se necesita para alcanzar el grado de desionización requerido. El tiempo es directamente proporcional al grado de desionización. El vino alcanzó el 7,5 % de grado de desionización a los 38,75 minutos, el 15 % de grado de desionización a los 88 minutos, el 22,5% de grado de desionización se alcanzó a los 215,25 minutos de tratamiento, mientras que a los 294,75 minutos el vino se desionizó en un 30 %

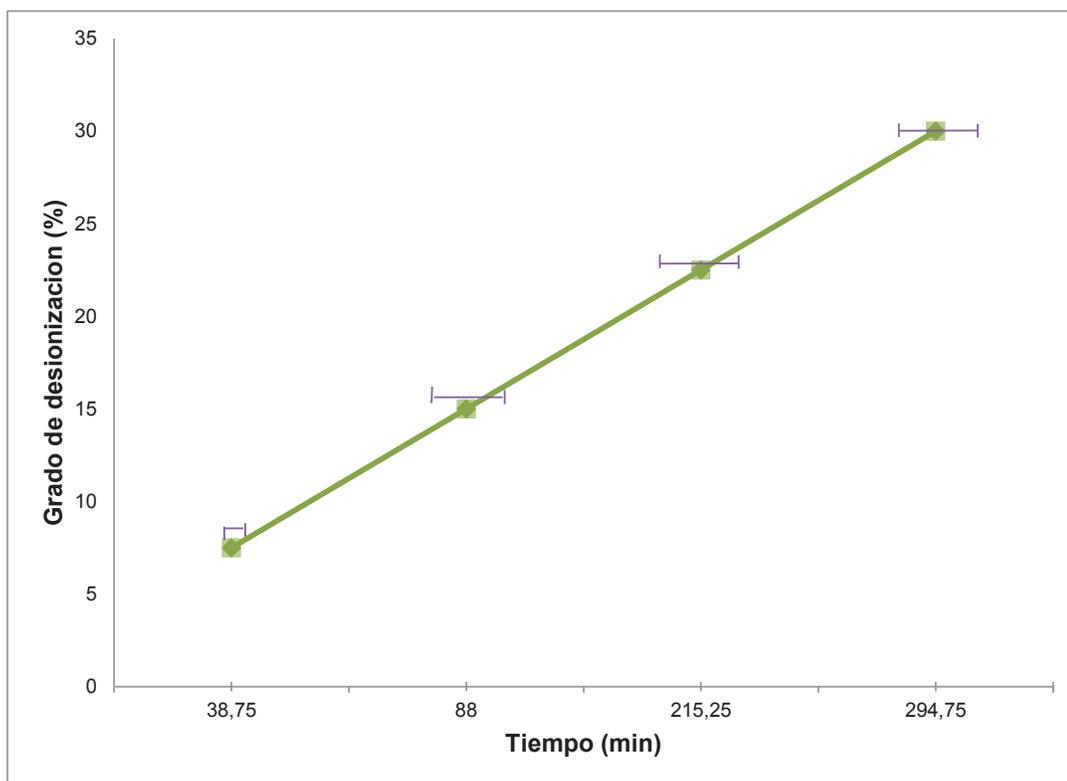


Figura 3.6. Tiempo de tratamiento para cada grado de desionización

El tiempo promedio de tratamiento obtenido por Vásquez (2011) para 7,5 % de grado de desionización fue 84 minutos para vinos tintos (p. 69), superior al tiempo

requerido en esta experimentación. En cambio, Gonçalves et al. (2003) emplearon un tiempo de 42 minutos hasta alcanzar los 7,5 % de grado de desionización en vinos tintos (p. 232) un tiempo similar al obtenido en esta experimentación.

La diferencia en los tiempos de tratamiento probablemente se debe a que el vino es una solución muy compleja y la manera en la que interactúa cada componente influye en la migración de los iones de manera que cada vino alcanza el mismo grado de desionización a un cierto tiempo.

La conductividad y pH. La variación de la conductividad durante el proceso de estabilización para los 4 tratamientos sigue la misma tendencia como se observa en la Figura 3.7, la conductividad disminuyen con el tiempo de tratamiento.

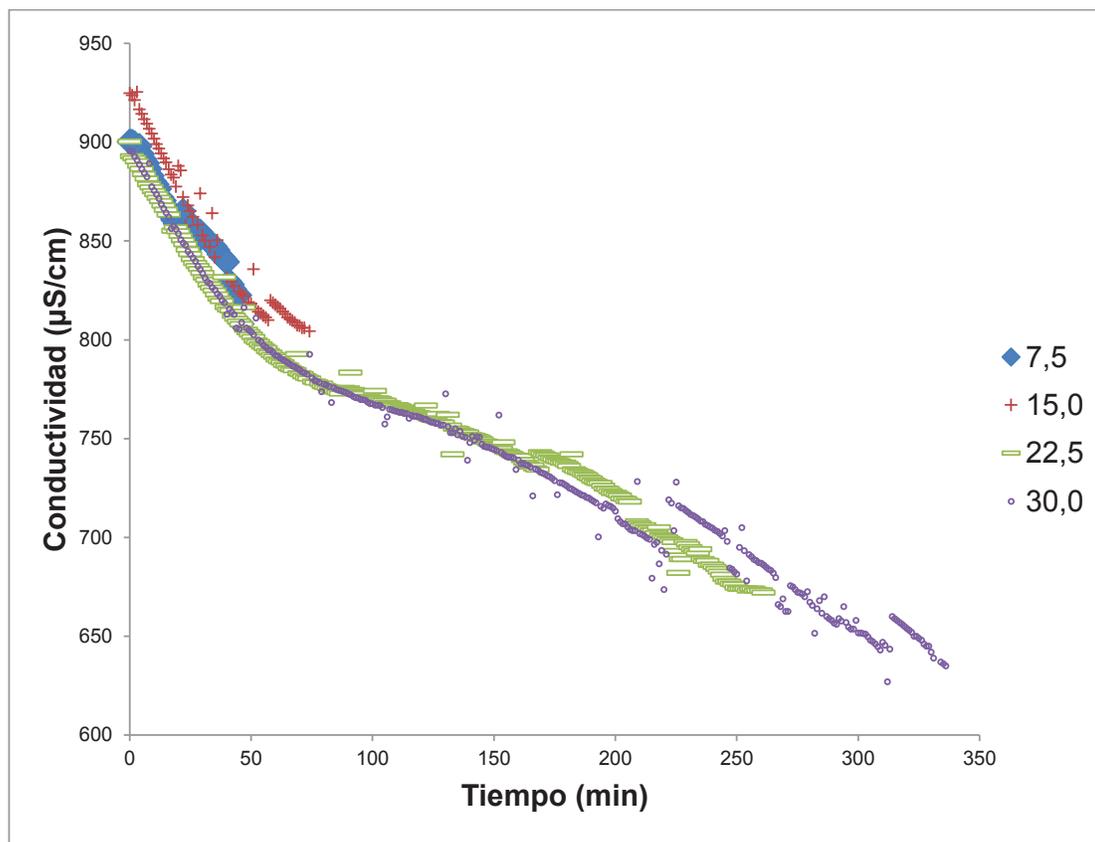


Figura 3.7. Variación de la conductividad del vino para cada grado de desionización a 25°C

La Tabla 3.3 se muestra cuantas unidades varió el pH para cada grado de desionización. Para el tratamiento de 22,5 % se produce la mayor variación de pH

y para 7,5 % la menor variación en el pH. Las variaciones de pH se encuentran dentro de los rangos permitidos por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) de máximo 3 unidades en un tratamiento de electrodiálisis.

En la Figura 3.8 se indica el cambio de pH que se produjo en el vino para cada grado de desionización. Tanto para 7, 5 % y 15,0 %, el pH disminuye con el tiempo, mientras que, para 22,5 % y 30,0 %, el pH sufre un ligero incremento a partir de los 150 minutos de tratamiento, con un mayor incremento de pH para 30,0 % de grado de desionización.

Tabla 3.3. Variación del pH

| Tratamiento | ΔpH promedio |
|-------------|----------------------------|
| 7,5 % | $0,11 \pm 0,027$ |
| 15,0 % | $0,23 \pm 0,029$ |
| 22,5 % | $0,35 \pm 0,024$ |
| 30,0 % | $0,25 \pm 0,034$ |

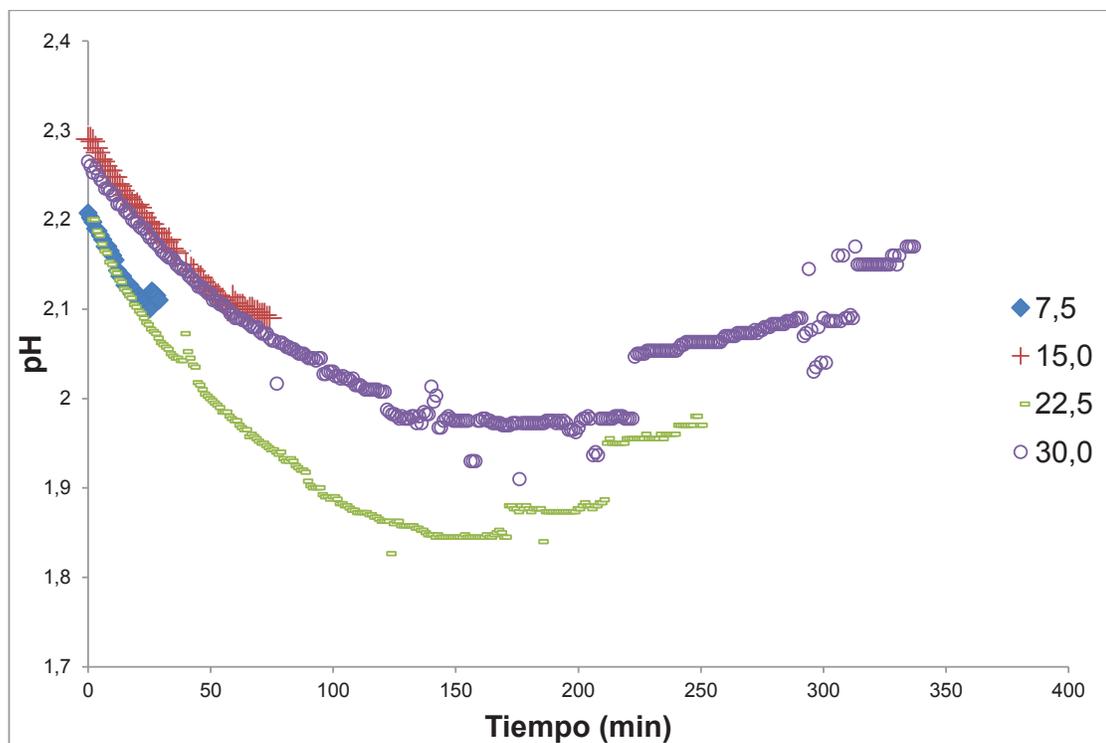


Figura 3.8. Comportamiento del pH del vino para cada grado de desionización en función del tiempo a 25 °C

En la Figura 3.9 se muestran gráficas de la variación de la conductividad y el pH para cada grado de desionización. Para 7,5 % y 15,0 % existe una relación directamente proporcional entre el pH y la conductividad mientras. Para 22,5 % y 30,0 % ambos parámetros disminuyen proporcionalmente hasta los 150 minutos aproximadamente a partir de este tiempo el pH empieza a elevarse mientras que la conductividad sigue disminuyendo. Esto nos indica que existe un cambio en el movimiento de las especies iónicas, que implica el aumento del pH en el vino, pero no influye en la conductividad.

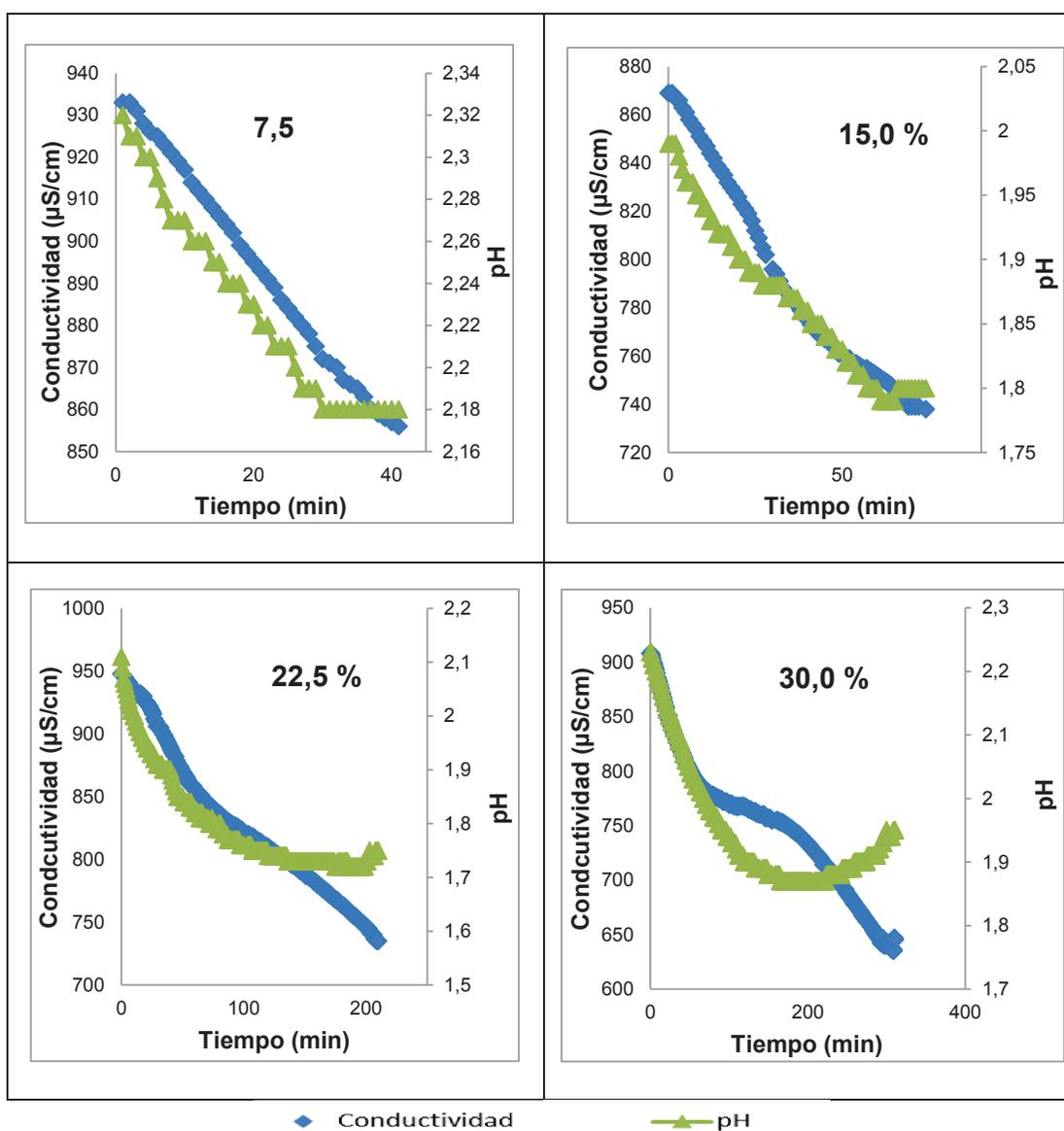


Figura 3.9. Variación de la conductividad y el pH para cada grado de desionización (%) en función del tiempo

3.3.2.2 Test de mini-contacto

Para determinar la estabilidad de los vinos tratados por electrodiálisis se realizó la prueba de mini-contacto. La figura 3.10 indica los valores obtenidos por el test de mini- contacto, los tratamientos con 7,5 % y 15,0 % resultaron tartáricamente estables con un porcentaje de la caída de la conductividad menor al 5 %. De acuerdo a Ribereau *et al.*, un vino tinto generalmente se estabiliza cuando tiene un grado de desionización entre 5 % a 20 % (2006, p. 385).

Los tratamientos de 22,5 % y 30,0 % fueron tartáricamente inestables con un porcentaje de la caída de la conductividad mayor al 5% según la prueba de mini-contacto (Ribereau *et al.*, 2006, p.29).

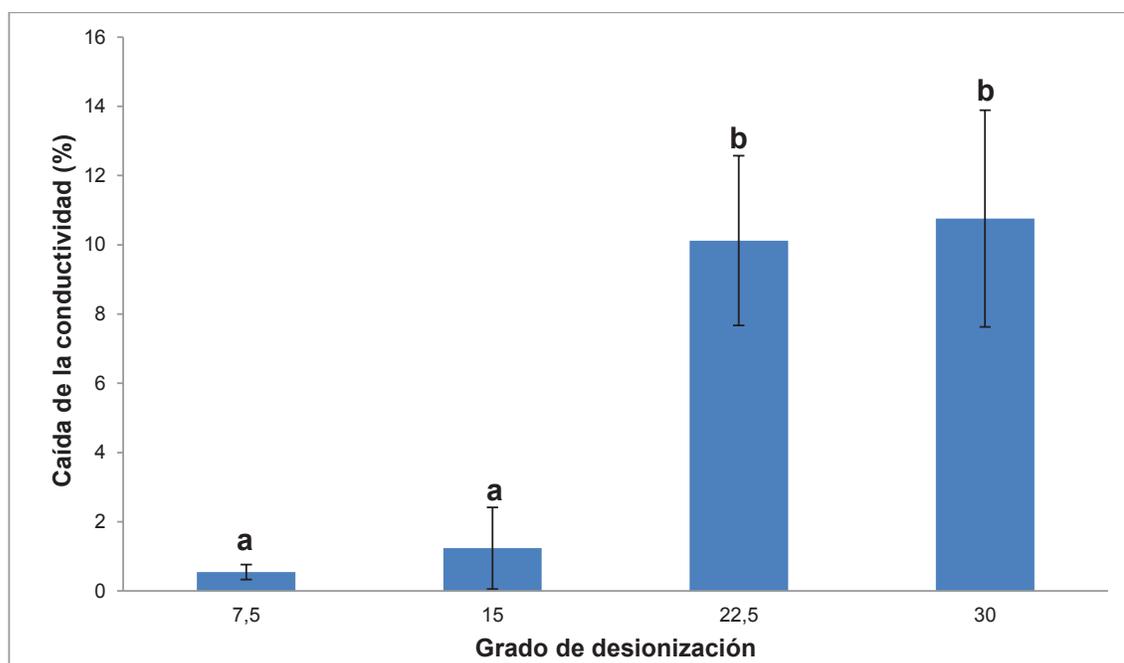


Figura 3.10. Test de mini- contacto para el vino estabilizado por electrodiálisis. Las letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de rangos múltiples

Existe una diferencia estadísticamente significativa (con un valor de $p < 0,05$) para cada tratamiento de electrodiálisis según el test de mini-contacto según el ANOVA que se indica en el Anexo IV. De acuerdo a la prueba de rangos múltiples LSD entre los tratamiento de 7,5 % y 15,0 % no existe diferencia estadísticamente significativa, con un nivel del 95 % de confianza.

Para los tratamientos de 22,5 % y 30,0 % de grado de desionización, el vino se volvió tartáricamente inestable. Esto se produce porque el vino contiene coloides formados entre los polifenoles y el tartrato ácido de potasio, los cuales se mantienen unidos mediante fuerza de interacción, estos coloides naturalmente actúan como inhibidores de la precipitación tartárica pero cuando son sometidos a variaciones externas se puede provocar la inestabilidad del vino debido a la reorganización de los coloides (Ribereau *et al.*, 2006, p. 24). Es por eso que cuando un vino se somete a un proceso de estabilización tartárica, el tartrato ácido de potasio se redistribuye (Amerine y Joslyn, 1970, p. 521). Lambri *et al.* (2014), concluyeron que, cuando mayor es la caída de la conductividad, la capacidad de retención de las especies tartáricas disminuye, debido a que las fuerzas de interacción son más débiles y como consecuencia el riesgo de precipitación tartárica aumenta (p. 446).

3.3.3 RENDIMIENTO FARÁDICO

En la Figura 3.11, se presentan los valores del rendimiento farádico para cada uno de los grados de desionización a los cuales fue sometido el vino. Se observa que el rendimiento farádico es mayor para el tratamiento de 22,5 % de grado de desionización, posteriormente empieza a disminuir.

Los valores de rendimiento farádico se encuentran dentro de los rangos normales de diseño para un equipo de electrodiálisis para extracción de sal que se encuentran entre 40 % a 60 % (Valero *et al.*, 2011, p.9)

Según el ANOVA existe una diferencia estadísticamente significativa, entre las medias del rendimiento farádico para cada grado de desionización (con un valor de p menor que 0,05, con un nivel de confianza del 95 %).

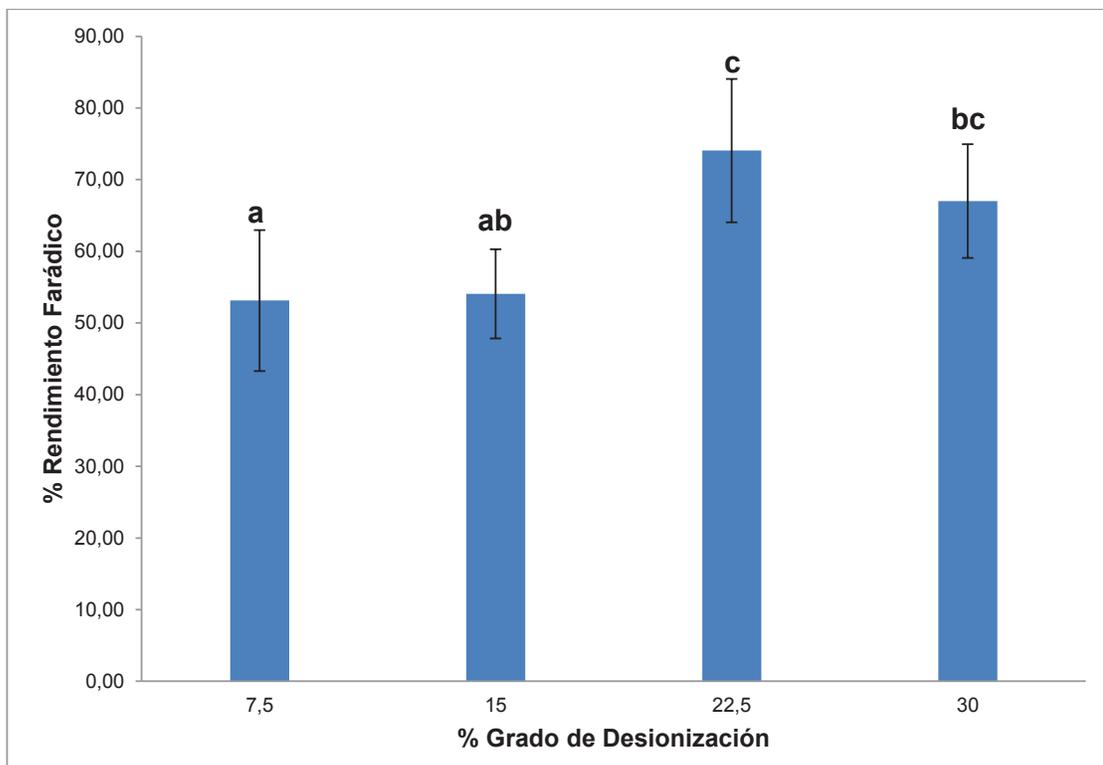


Figura 3.11. Rendimiento farádico para cada grado de desionización medido para el ácido tartárico. Las letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de rangos múltiples

Para los tratamientos que resultaron efectivos en la estabilización tartárica del vino 7,5 % y 15,0 %, de acuerdo a la prueba de rangos múltiples no existe diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95 %.

3.3.4 CARACTERIZACIÓN DEL VINO TRATADO POR ELECTRODIÁLISIS

Según el ensayo de mini-contacto los tratamientos de 7,5 % y 15,0 % resultaron estables, para el rendimiento farádico son estadísticamente iguales y finalmente el tratamiento de 7,5 % tiene el menor tiempo de duración. Por lo tanto, se escoge el tratamiento de 7,5 % de grado de desionización.

Se caracterizó al vino estabilizado por electrodiálisis con 7,5 % de desionización. Los valores se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Caracterización físico-química de vino tratado por electrodiálisis

| Parámetro | Valor |
|---|--------------|
| Alcohol (% v/v etanol) | 9,0 |
| pH* | 2,1 ± 0,12 |
| Ácido Tartárico (g/L) | 9,2 |
| Acidez Total (g/ 1 000 mL) | 8,5 |
| Acidez Volátil (g/ 1 000 mL) | 2,3 |
| Índice total de polifenoles ITP (mEq/L) | 11,4 |
| Cenizas (g/1 000 mL) | 0,7 |

* El pH se determinó a 25 °C

La concentración de ácido tartárico disminuyó en un 0,8 g/L, una reducción mayor a la registrada por Vásquez (2011) que para el tratamiento de 7,5 % desionización que obtuvo una reducción de 0,4 g/L de ácido tartárico (p. 69).

El grado alcohólico del vino disminuyó en un 1 % v/v de etanol. Según lo registrado por Forsyth (2010, p. 9), el tratamiento por electrodiálisis no produce cambios en el grado alcohólico en su experimentación. La variación en el grado alcohólico en esta experimentación puede deberse a que durante el tratamiento el vino no estaba protegido totalmente del ambiente, la temperatura de tratamiento a 25 °C y el tiempo promedio del tratamiento de 39 minutos son factores que pudieron haber provocado la pérdida de alcohol.

Los polifenoles se redujeron en 1,1 mili-equivalentes. Según la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV), un tratamiento de electrodiálisis no debe variar la composición fenólica de los vinos (OIV, 2000, p.3), pero según Nunes (2011), se puede producir una ligera disminución de polifenoles en vinos tratados por electrodiálisis debido a que los polifenoles están ligados a las superficies de los cristales de THK (p. 63). Nunes (2011) indicó una disminución de antocianinas en vinos tintos tratados con electrodiálisis (p. 58).

El pH del vino disminuyó en 0,1 ± 0,03 unidades, mientras que Vásquez (2011) obtuvo una disminución de 0,03 unidades en el pH para 7,5 % de grado de desionización (p. 76).

La acidez total en el vino con electrodiálisis disminuyó en 1,8 g/ 1 000 mL, la acidez volátil también se redujo en 0,8 g/ 1 000 mL. Esto implica que no solo se eliminó ácido tartárico durante el tratamiento sino también ácidos volátiles, por la misma razón por la que disminuyó el alcohol debido a que durante el proceso el vino estuvo expuesto al ambiente.

La cenizas se redujeron de 1,1 g/ 1 000 mL a 0,7 g/1 000 mL esto nos da un indicio de que se eliminaron cationes del vino.

3.4 COMPARACIÓN DE LOS VINOS TRATADOS POR LOS DOS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN TARTÁRICA

En la Tabla 3.5 se resumen los valores de los análisis físico- químicos realizados al vino para los dos tratamientos de estabilización tartárica y los valores permitidos por las normas de la Organización Internacional de la Viña y el Vino OIV y la Norma INEN 374.

Grado alcohólico: El grado alcohólico del vino se encuentra dentro de los rangos aceptables por la norma INEN 374, tanto para el tratamiento por frío como para el tratamiento por electrodiálisis. Pero en el tratamiento por electrodiálisis existe una variación del 1 %, sale del rango aceptable de la Organización Internacional de la Viña y el Vino OIV para vinos tratados por electrodiálisis, sin embargo esta variación se puede impedir si el vino no está expuesto al ambiente y así evitar pérdida de componentes volátiles.

Tabla 3.5. Comparación de los parámetros para los tratamientos de estabilización tartárica con las normas INEN y OIV

| Parámetro | Sin tratamiento | Tratamiento por frío | Tratamiento por electrodiálisis | Norma OIV | Norma INEN 374 |
|--|-----------------|----------------------|---------------------------------|--|-------------------|
| Grado alcohólico | 10,00 | 8,00 | 9,00 | Variación máxima de 0,1 % | Mín. 8 Máx. 18 |
| pH | 2,20 ± 0,1 | 2,21 | 2,10 ± 0,12 | No debe disminuir en más de 0,3 unidades | No se especifica |
| Acidez total, como ácido acético (g/L) | 10,00 | 9,80 | 8,50 | No se especifica | Max. 13 |
| Acidez volátil, como ácido acético (g/L) | 3,10 | 3,10 | 2,30 | Reducción máxima de 0,2 g/L | Max. 2 |
| Cenizas (g/L) | 1,10 | 0,80 | 0,70 | No se especifica | Max. 5 |

Según la prueba de rangos múltiples existe diferencia estadísticamente significativa en el grado alcohólico entre el vino sin tratar, el vino estabilizado por frío y por electrodiálisis, con un nivel de confianza del 95 % como se muestra en la Figura 3.12. El tratamiento por frío tiene mayor impacto en la reducción sobre el contenido alcohólico que el tratamiento por electrodiálisis.

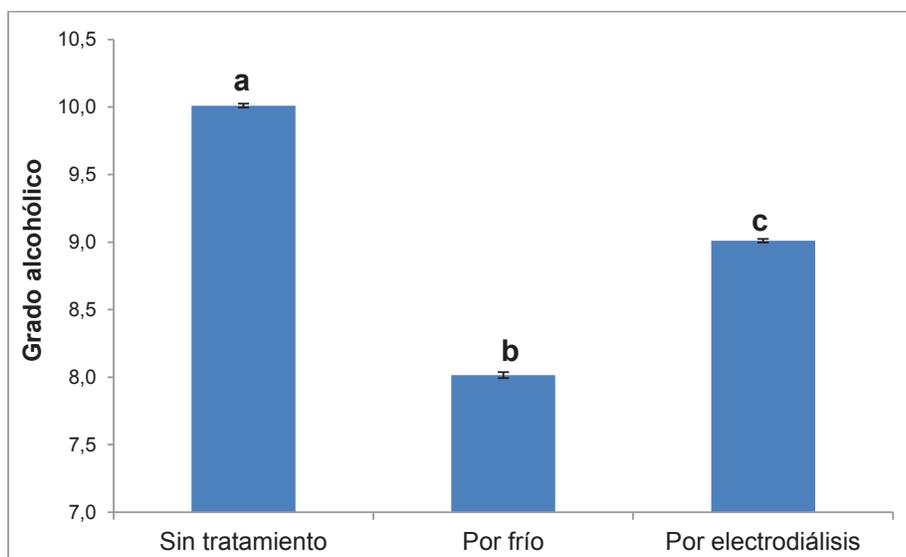


Figura 3.12. Grado alcohólico del vino estabilizado y sin tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de rangos múltiples

pH: Se cumple con el CODEX enológico de la OIV, ya que el pH no varió en más de 0,3 unidades para vinos tratados por electrodiálisis. Según Bories *et al* (2011) el tratamiento por frío tuvo mayor impacto en la variación de pH con una diferencia de 0,5 unidades en comparación con el vino tratado por electrodiálisis en vinos blancos (p. 176).

Según la prueba de rangos múltiples que se muestra en la Tabla 3.6, no existe diferencia estadísticamente significativa en el pH entre el vino sin tratar, el vino estabilizado por frío y por electrodiálisis, con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 3.6. Prueba de rangos múltiples para el pH del vino para cada tratamiento

| Tratamiento | Media | Grupos Homogéneos |
|---------------------|-------|-------------------|
| Por electrodiálisis | 2,1 | X |
| Sin tratamiento | 2,2 | X |
| Por frío | 2,2 | X |

Acidez total: Las muestras de vino tratadas por frío y por electrodiálisis se encuentran dentro de los límites máximos permitidos por la norma INEN 374. En la Organización Internacional de la Viña y el Vino OIV no se especifican parámetros para la acidez total. El tratamiento por electrodiálisis produjo una variación mayor en la acidez total que el tratamiento por frío. Es decir, en el tratamiento por electrodiálisis se extrajeron mayor cantidad de ácidos.

En la Tabla 3.7 se muestra la prueba de rangos múltiples para la acidez volátil, donde existe una diferencia estadísticamente significativa para cada tratamiento con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 3.7. Prueba de rangos múltiples para la acidez total del vino para cada tratamiento

| Tratamiento | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|---------------------|-------|-------|-------------------|
| Por electrodiálisis | 2 | 8,55 | a |
| Por frío | 2 | 9,81 | b |
| Sin tratamiento | 2 | 10,07 | c |

Acidez volátil: Según los requisitos para la norma INEN 374, los valores de acidez volátil se encuentran fuera de los rangos aceptables para el vino tratado por frío, el tratamiento por frío no tiene efecto sobre la acidez volátil, mientras que en el tratamiento por electrodiálisis se produjo una reducción de 0,8 g/1 000 cm³, esta disminución logra que el vino cumpla con los límites permitido por la INEN pero no cumple con el reglamento de la OIV que permite una reducción máxima de 0,2 g/100 cm³ para vinos tratados por electrodiálisis, pero la pérdida de volátiles se podría evitar si se protege al vino del medio ambiente durante el tratamiento de estabilización tartárica.

Según la prueba de rangos múltiples no existe diferencia estadísticamente significativa entre el vino sin tratar y el vino tratado por frío, pero tiene influencia en el vino tratado por electrodiálisis, con un nivel de confianza del 95 % como se muestra en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Prueba de rangos múltiples para la acidez volátil del vino para cada tratamiento

| Tratamiento | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|---------------------|-------|-------|-------------------|
| Por electrodiálisis | 2 | 2,28 | a |
| Por frío | 2 | 3,08 | b |
| Sin tratamiento | 2 | 3,10 | b |

Polifenoles: El ITP se analizó para tener una idea de la variación de sus características organolépticas. La Figura 3.13 muestra que la estabilización por frío y por electrodiálisis disminuye el índice total de polifenoles. El tratamiento por frío produce mayor variación en la composición fenólica.

Según la Organización Internacional de la Viña y el Vino OIV, los vinos tratados por electrodiálisis no deben variar en su composición fenólica (OIV, 2000, p.3). Según el análisis estadístico LSD no existe diferencia estadísticamente significativa entre el vino sin tratar y el vino estabilizado por electrodiálisis, con un nivel de confianza del 95 % como se muestra en la Figura 3.13 mientras que, por frío los polifenoles presentes en el vino son significativamente menor que los otros.

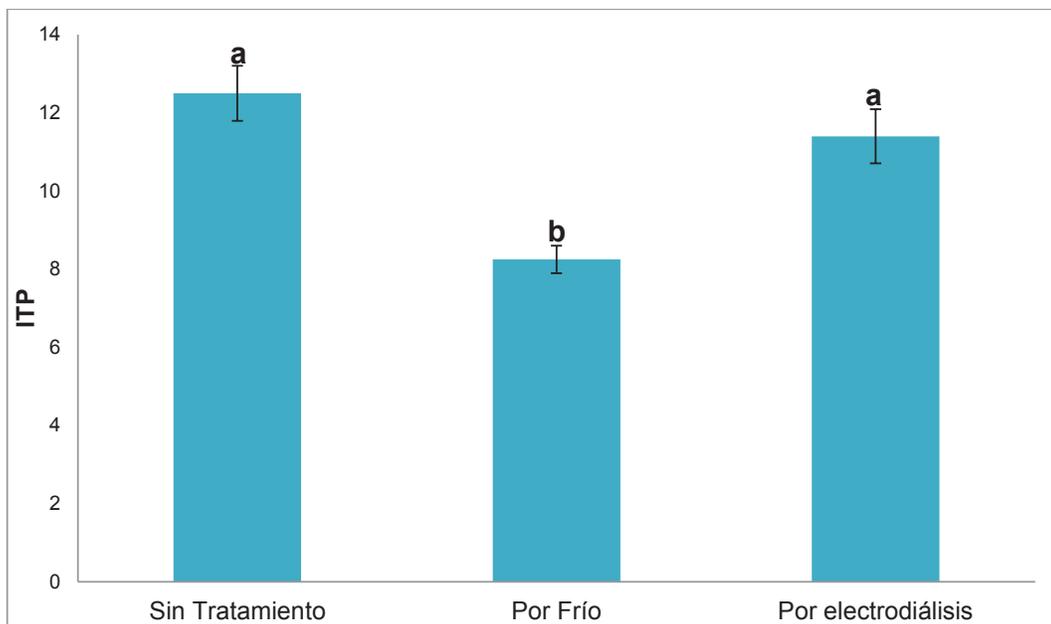


Figura 3.13. Índice total de polifenoles del vino estabilizado y sin tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes, según la prueba de rangos múltiples

Cenizas: Las cenizas indican la cantidad total de minerales presentes en el vino, y esta correlacionado con la cantidad de cationes presentes en el vino (Zumbado, 2008, p. 178). Los valores registrados en la Tabla 3.5 muestran que el vino se encuentra dentro de los límites aceptables determinado por la norma INEN.

La muestra estabilizada por electrodiálisis contiene menor cantidad de cenizas que la muestra tratada por frío es decir, el tratamiento por electrodiálisis elimina mayor cantidad de cationes que el tratamiento por frío. Según información bibliográfica, el tratamiento por electrodiálisis tiene una mayor reducción en la concentración de cationes especialmente en el ión potasio (Cameira, Pereira, Gonçalves, Simoes, y Pinho, 2000, p. 103).

La Tabla 3.9 muestra la prueba de rangos múltiples para cada tratamiento, existe una diferencia estadísticamente significativa en la concentración de cenizas entre el vino sin tratar, el tratamiento por frío y el tratamiento por electrodiálisis.

Tabla 3.9. Prueba de rangos múltiples para las cenizas del vino para cada tratamiento

| Tratamiento | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|---------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| Por electrodiálisis | 2 | 0,73 | a |
| Por frío | 2 | 0,83 | b |
| Sin tratamiento | 2 | 1,10 | c |

Por consiguiente, el vino tratado por electrodiálisis mantiene mejor la composición fenólica (ITP) y el grado alcohólico, componentes principales de las características organolépticas, mientras que, el tratamiento por frío tiene menor impacto en la acidez total, acidez volátil y cenizas.

3.5 DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN

A continuación se describe el diseño de la planta para la producción de vino tinto joven.

3.5.1 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

De acuerdo a la norma INEN 374, el vino es la bebida obtenida por la fermentación alcohólica proveniente de frutas (uvas tintas). El porcentaje de alcohol en volumen debe ser mayor al 8,5 %, según la Organización Internacional de la Viña y el Vino OIV.

El vino tinto joven no tiene periodo de crianza en barrica, es comercializado entre el primer y segundo año de vida. Su característica principal es su aroma frutal obtenido de las uvas.

Se diseñó una planta para la producción de vino tinto joven. Las principales características del producto terminado se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Características principales del vino

| | |
|---|-----------------------------------|
| Envase | Botellas de vidrio tipo bordelesa |
| Contenido Neto | 750 mL |
| Color | Rojo |
| Grado alcohólico v/v | 10 % |
| Acidez total (g/1000 cm³) | < 13 |
| Tiempo de vida útil | 2 años |

3.5.2 CAPACIDAD Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

Para determinar la capacidad de la planta se utilizó el estudio hecho por Cepeda (2011) sobre un plan de negocios para la comercialización de vinos en el cual se hizo una encuesta sobre las preferencias del consumidor en la provincia de Pichincha (p. 40).

Según la encuesta realizada en este estudio, se obtuvieron los siguientes porcentajes: el 25 % de las personas elige vino tinto, el 69 % busca una presentación en botella, el 39 % compraría a un precio de 5 a 7 dólares; el 14 % de los encuestados prefiere un vino con un grado alcohólico de 8 a 11 % v/v de etanol. Finalmente se consideró los valores las proyecciones de la demanda insatisfecha para el 2014 según Cepeda (2011) es de 5 783 Ton/año (p. 82). El mercado disponible es de 54,5 Ton/año pero solo se pretende abarcar el 25 % de ese mercado. Por lo tanto, la planta tendrá una capacidad de producción de 1,12 m³/ día, es decir 1 493 botellas diarias. Que representa el 0,24 % de la demanda insatisfecha para el 2014 en la provincia de Pichincha.

La planta se ubicará en la provincia de Pichincha en la parroquia Yaruquí se escogió este lugar según los siguientes criterios. Tiene todos los servicios básicos (agua, luz, redes de comunicación), por la cercanía al mercado de comercialización; existen buenas vías de acceso, por la cercanía al aeropuerto internacional, por la disponibilidad de mano de obra y por la cercanía a los potenciales proveedores de la materia prima.

3.5.3 ESTUDIO DE LA DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA E INSUMOS

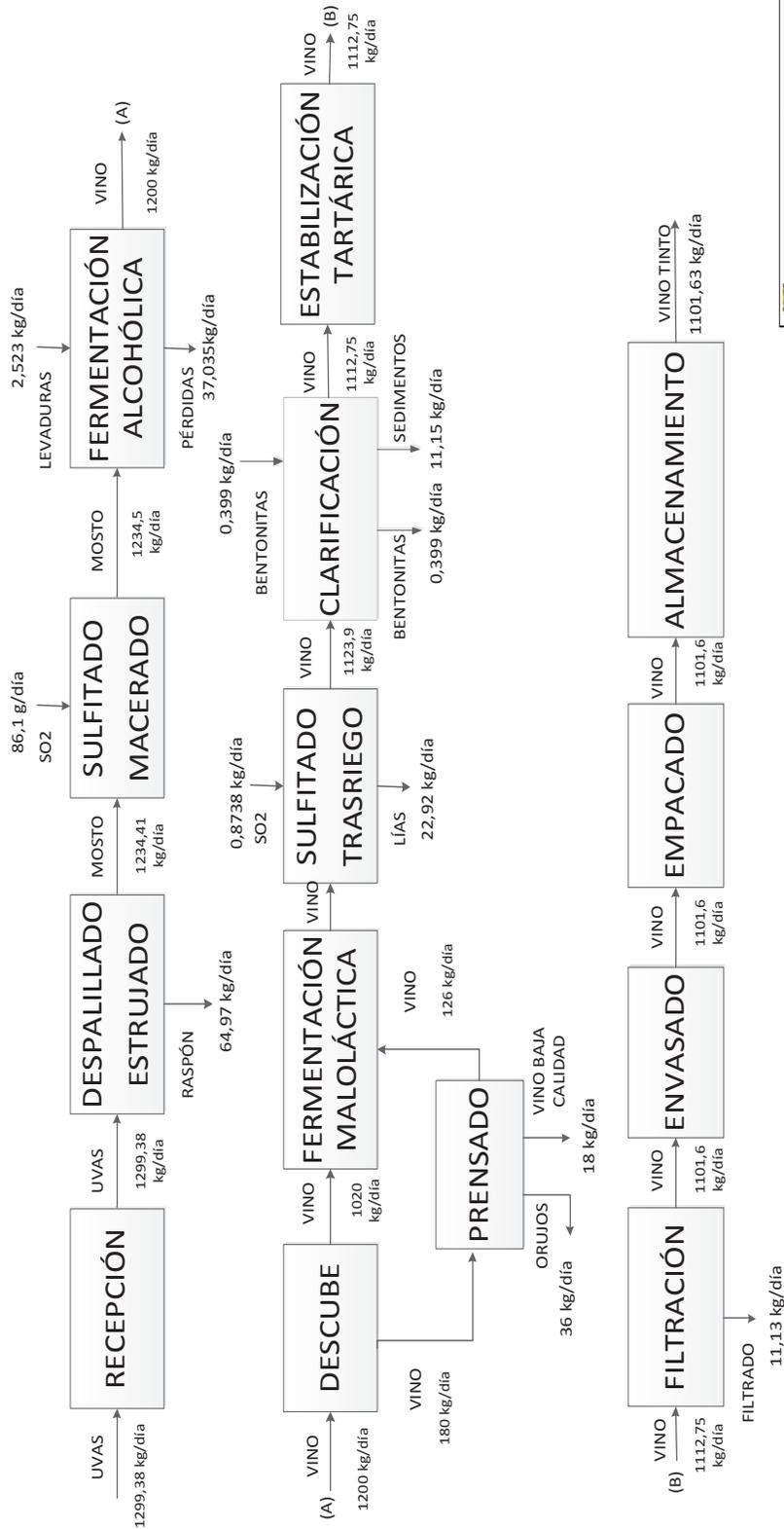
En la Tabla 3.11 se detalla la variedad y/o tipo, propiedades y las condiciones de almacenamiento de la materia prima y de los insumos necesarios para la producción de vino tinto.

3.5.4 DISEÑO DEL PROCESO TECNOLÓGICO

A continuación en las Figuras 3.14 y 3.15 se detallan los diagramas de bloques (BFD) y en las Figuras 3.16 y 3.17 los diagrama de flujo (PFD) del proceso de producción de vino tinto con estabilización por frío y por electrodiálisis respectivamente.

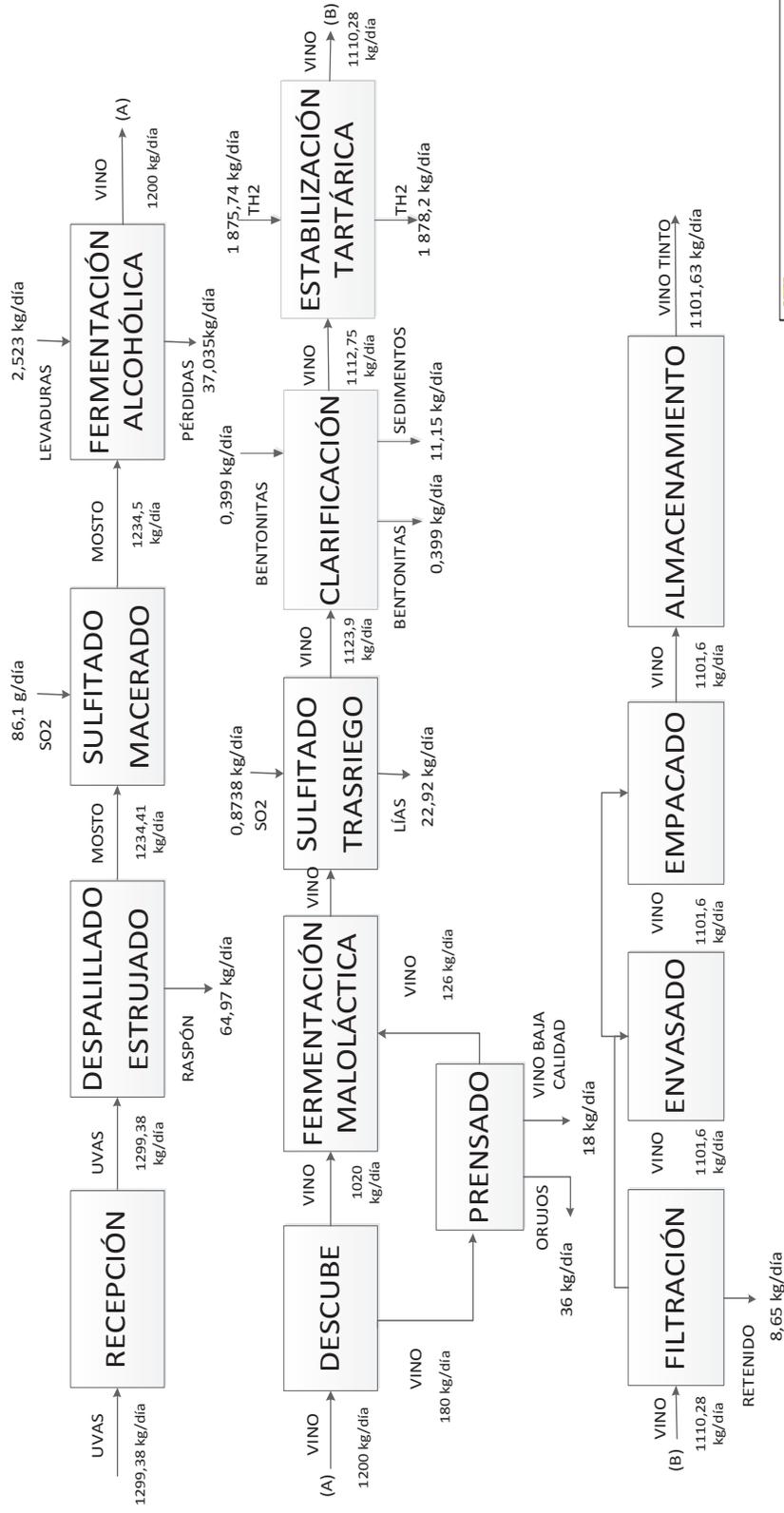
Tabla 3.11. Materia prima e insumos

| Materia Prima | |
|----------------------|---|
| Uvas | <p><i>Variedad:</i> Cabernet Sauvignon</p> <p><i>Propiedades:</i> 20,5 - 23,5 °Brix, color rojo intenso</p> <p><i>Almacenamiento:</i> Temperatura (- 0,5 °C – 0 °C); humedad (90 – 95 %); tiempo (14 a 56 días) (López, A., 2003, p. 55).</p> |
| Insumos | |
| Dióxido de azufre | <p><i>Propiedades:</i> Peso molecular 64,06 g/mol, estado gaseoso</p> <p><i>Almacenamiento:</i> En un lugar seco y ventilado</p> <p><i>Procesamiento requerido:</i> Se debe diluir en agua a una concentración de 40 g/L</p> |
| Levaduras | <p><i>Tipo:</i> Saccharomyces cerevisiae</p> <p><i>Propiedades:</i> Conversión de azúcar en alcohol 16,8 (g/L) / 1 % alcohol (v/v). Resistencia al alcohol superior a 16 %, óptimo rango de fermentación 10 – 35 °C, no produce anhídrido sulfuroso.</p> <p><i>Almacenamiento:</i> Lugar seco a temperaturas que no excedan los 25 °C, y preferentemente a menos de 10 °C cuando los periodos de conservación son muy largos.</p> <p><i>Procesamiento requerido:</i> La levadura se activa en agua.</p> |
| Bentonitas | <p><i>Propiedades:</i> Polvo algo granuloso, de color beige. Poco soluble en agua.</p> <p><i>Almacenamiento:</i> Ambiente fresco y seco.</p> <p><i>Procesamiento requerido:</i> Diluir lentamente en 4 a 5 veces su peso de agua fría.</p> |
| Botellas | <p><i>Tipo:</i> Bordelesa.</p> <p><i>Propiedades:</i> Vidrio, color verde, peso 360 g.</p> |
| Corchos | <p><i>Propiedades:</i> Madera, densidad 140 – 220 kg / m³.</p> <p><i>Almacenamiento:</i> Ambiente fresco y seco.</p> |
| Etiquetas y cajas | <p><i>Propiedades:</i> Material Papel</p> <p><i>Almacenamiento:</i> Ambiente fresco y seco.</p> |



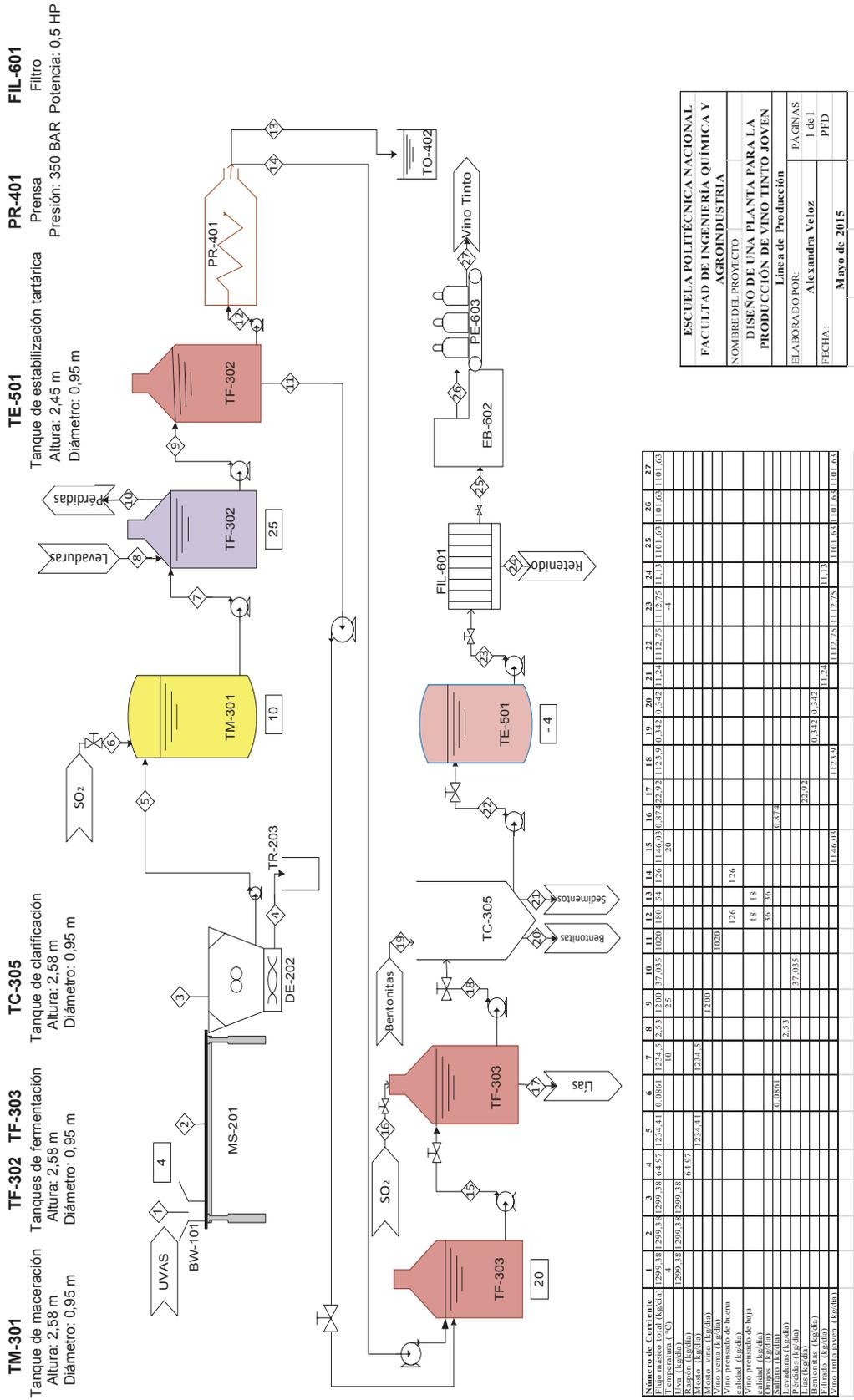
| | |
|---|---------------------------|
|  ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA | |
| NOMBRE DEL PROYECTO: DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN | |
| ELABORADO POR: Alexandra Veloz | |
| FECHA: septiembre de 2014 | PAGINAS: 1 de 1 BFD |

Figura 3.14. Diagrama de bloques (BFD) para la producción de vino tinto mediante estabilización tartárica por frío



| | |
|---|----------|
|  ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA | |
| NOMBRE DEL PROYECTO: | |
| DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN | |
| Línea de Producción | |
| ELABORADO POR: | PÁGINAS: |
| Alexandra Veloz | 1 de 1 |
| FECHA: | BFD |
| septiembre de 2014 | |

Figura 3.15. Diagrama de bloques (BFD) para la producción de vino tinto mediante estabilización tartárica por electrodiálisis



| Número de Corriente | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | |
|---|---------|---------|---------|-------|---------|--------|--------|------|------|--------|------|-----|----|-----|---------|-------|--------|-------|------|---------|---------|---------|------|--------|--------|---------|---------|--|
| Flujo másico total (kg/día) | 1299,38 | 1299,38 | 1299,38 | 64,97 | 1234,41 | 0,0861 | 1234,5 | 2,53 | 1200 | 37,035 | 1020 | 180 | 54 | 126 | 1146,03 | 0,872 | 237,93 | 0,342 | 1124 | 1112,75 | 1112,75 | 1112,75 | 1113 | 101,63 | 101,63 | 1101,63 | 1101,63 | |
| Flujo (L/día) | 1299,38 | 1299,38 | 1299,38 | 64,97 | 1234,41 | | 1234,5 | | 1200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Respon (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mosto (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lias (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vino yema (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vino prensado de buena calidad (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vino prensado de baja calidad (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corros (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sulfuro (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P-grafías (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lias (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bentonitas (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sedimentos (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vino listo para em (kg/día) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| |
|---|
| ESCUOLA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA |
| NOMBRE DEL PROYECTO DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN |
| LABORADO POR PÁGINAS 1 de 1 |
| FECHA: Mayo de 2015 |

Figura 3.16. Diagrama de flujo (PFD) para la producción de vino tinto con estabilización por frío

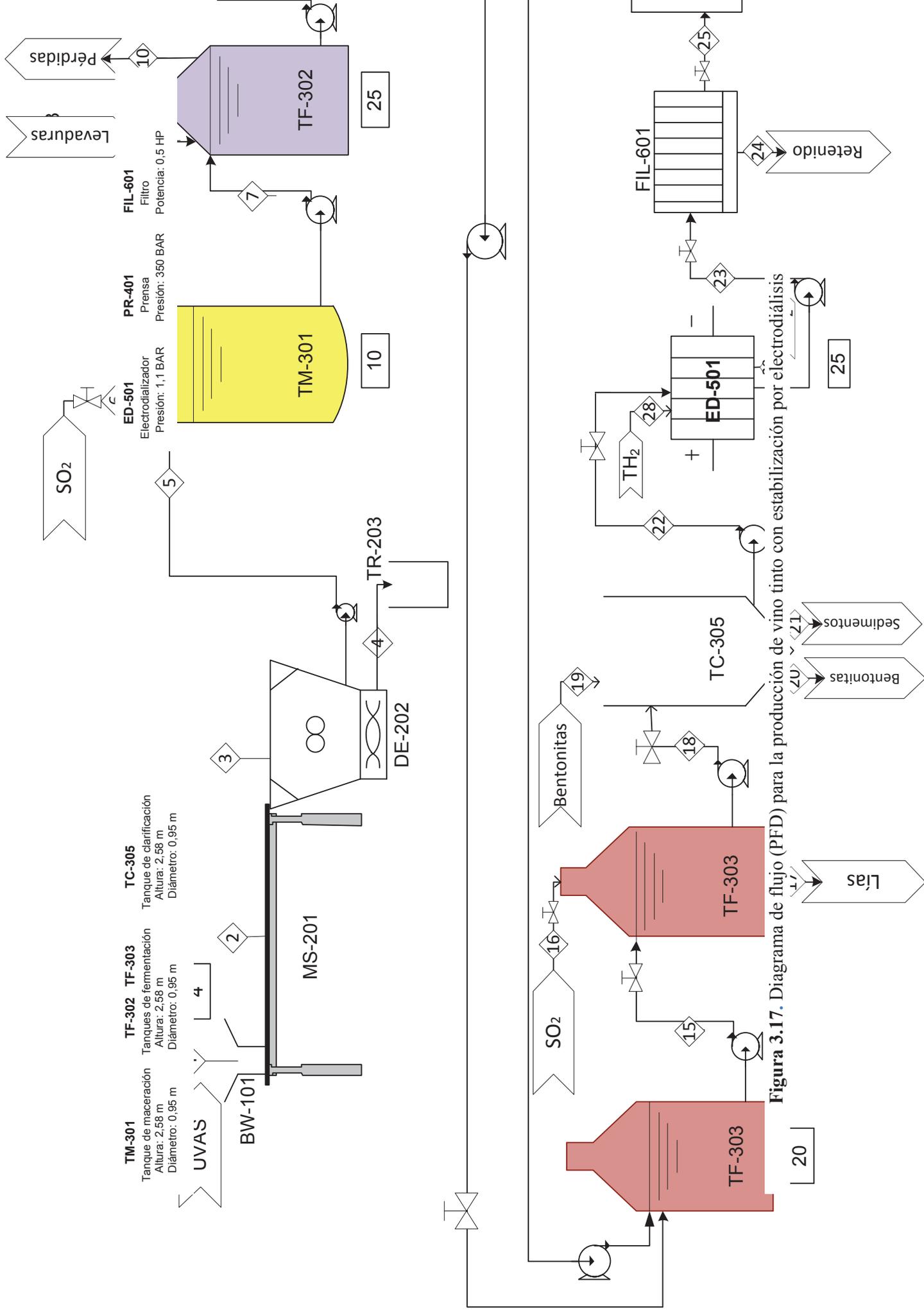


Figura 3.17. Diagrama de flujo de vino tinto con estabilización por electrodiálisis

En la Tabla 3.12 se describen la nomenclatura y el plano de simbología de los equipos que se utilizaron en el PFD.

Tabla 3.12. Nomenclatura y simbología de los equipos

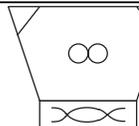
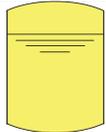
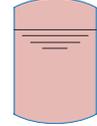
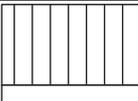
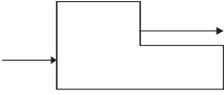
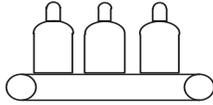
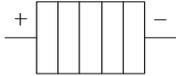
| Equipo | Nomenclatura | Símbolo |
|------------------------------------|--------------|---|
| Tolva -basculante | BW-101 |  |
| Mesa de selección | MS-201 |  |
| Estrujadora- despalladora | DE- 202 |  |
| Tanque de maceración | TM-301 |  |
| Tanque fermentador maloláctica | TF-303 |  |
| Tanque fermentador alcohólico | TF-302 |  |
| Prensa | PR-401 |  |
| Tanque de clarificación | TC-305 |  |
| Tanque de estabilización tartárica | TE-501 |  |
| Filtro | FIL-601 |  |

Tabla 3.12. Nomenclatura y simbología de los equipos (**continuación...**)

| Equipo | Nomenclatura | Símbolo |
|------------------------|--------------|---|
| Envasadora | EB-602 |  |
| Taponadora-enjauladora | PE-603 |  |
| Tanque para raspón | TR-203 |  |
| Tanque para orujos | TO-402 |  |
| Electrodializador | ED-501 |  |

A continuación la Tabla 3.13 indica el significado de la simbología que se empleó en el PFD.

Tabla 3.13. Simbología

| Símbolo | Significado |
|---|------------------------------|
|  | Número de corriente |
|  | Temperatura del proceso |
|  | Válvula |
|  | Bomba |
|  | Entrada o salida del proceso |

3.5.4.1 Balance de masa y balance de energía

De acuerdo al balance de masa que se muestra en las Figuras 3.14 y 3.15 se determinó que existe un rendimiento de 84,7 % en la transformación de la materia prima en vino con los dos métodos de estabilización tartárica.

El balance de energía se determinó para los procesos en los que se debía mantener temperaturas específicas, se requiere de líquido refrigerante. Los cálculos del balance de energía se detallan en el Anexo VI

En la Tabla 3.14 se resumen los valores obtenidos en el balance de energía para la producción de vino con estabilización con frío y con electrodiálisis.

Tabla 3.14. Balance de energía para la producción de vino tinto por estabilización tartárica por frío

| | Por frío | Por electrodiálisis |
|---------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Proceso | Energía (kJ/día) | Energía (kJ/día) |
| Maceración | 30 416,59 | 30 416,59 |
| Fermentación alcohólica | 55 966,86 | 55 966,86 |
| Fermentación maloláctica | 20 360,78 | 20 360,78 |
| Estabilización tartárica | 114 662,81 | |
| TOTAL | 221 407,04 | 106 744,23 |

En el proceso de elaboración de vino tinto con estabilización tartárica por frío requiere de 22 1407,04 kJ/día, mientras que con electrodiálisis 106 744,23 kJ/día

Circuito de refrigeración empleando estabilización por frío Para la elaboración del vino se requiere de temperaturas específicas para la maceración, fermentación y estabilización tartárica. Se ha diseñado un circuito de refrigeración que trabajará con agua glicolada al 30 %. El agua glicolada se enfriará a - 8 °C con el uso de enfriadores de agua, el agua mediante tuberías aisladas llegarán hasta los tanques. Mediante transferencia de calor se alcanzarán las temperaturas correspondientes a cada proceso como se indica en la Figura 3.18, con el objetivo de optimizar el uso del agua. El agua recirculará y será cambiada cada cierto tiempo. Los balances del circuito refrigerado se detallan en el Anexo VI.

Para la producción de vino tinto joven se requiere de 1 562,16 kg/día de agua glicolada al 30 %. Se recalca que el agua glicolada puede ser reutilizada.

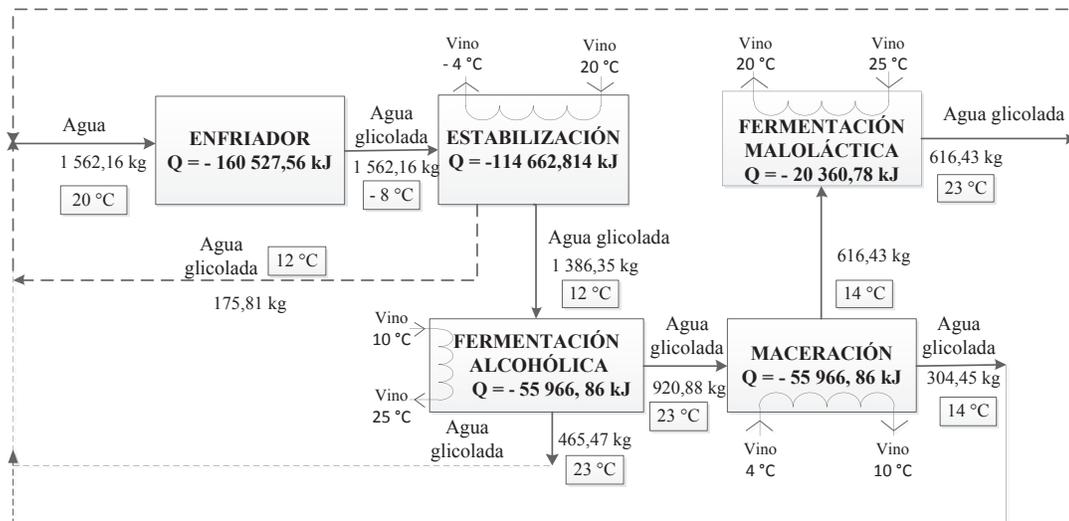


Figura 3.18. Sistema de enfriamiento con agua glicolada para la elaboración de vino con estabilización tartárica por frío

Circuito de refrigeración empleando estabilización por electrodiálisis Para la elaboración de vino tinto con estabilización con electrodiálisis se emplea otro circuito de enfriamiento como se indica en la Figura 3.19, debido a que la estabilización tartárica por electrodiálisis no opera a temperaturas bajo cero no se requiere de agua glicolada. Para lo cual se requiere de 1 217,2 kg/día de agua.

Balace de energía del electrodiálizador La energía consumida en electrodiálisis se determina de acuerdo a la ecuación [3.1], los valores para el cálculo se determinaron de acuerdo a los datos experimentales obtenidos en el laboratorio.

$$W = \frac{\sum U^{\Delta t} \times i \times \Delta t}{V_{\text{vino}}} \quad \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \text{vino}} \right] \quad (\text{Vera et al, 2009, p. 72}) \quad [3.1]$$

Donde:

i : intensidad de corriente (A)

Δt : tiempo de operación (min)

Tabla 3.15. Requerimiento energético para cada proceso en la elaboración de vino tinto con estabilización tartárica por frío y con electrodiálisis

| Proceso | Equipos | Cantidad | Tiempo de uso (h) | Por frío | Por electrodiálisis |
|---------------------------|----------------------------|----------|-------------------|--------------------|---------------------|
| | | | | Kwh | kwh |
| Recepción | Cámara de refrigeración | 1 | 16,00 | 34,56 ^a | 34,56 ^a |
| Estrujado-despalillado | Despalilladora-estrujadora | 1 | 0,72 | 0,54 ^a | 0,54 ^a |
| Maceración - | Tanques de maceración | 1 | 24,00 | 8,45 ^b | 8,45 ^b |
| Fermentación alcohólica | Tanque de fermentación | 1 | 24,00 | 0,02 ^b | 0,02 ^b |
| Estabilización tartárica, | Tanque de estabilización | 1 | 24,00 | 31,85 ^b | |
| | Electrodializador | 1 | | | 7,10 ^a |
| Filtración | Filtro | 1 | 8,00 | 2,98 ^a | 2,98 ^a |
| Envasado | Embotelladora | 1 | 1,90 | 2,79 ^a | 2,79 ^a |
| | Enjauladora | | | | |
| | Enjuagadora | | | | |
| TOTAL | | | | 81,19 | 56,44 |

a: energía eléctrica, b: energía térmica

3.5.4.2 Descripción detallada del proceso

Los racimos de la uva son almacenados en la cámara de refrigeración en cajas de plástico, las cajas se apilan en forma de pallets. La cámara de refrigeración tiene una capacidad de almacenamiento de 6 500 kg y mantiene el producto a 4 °C. Las uvas tintas (Cabernet Sauvignon) ingresa a la planta (1) a través de la tolva basculante BW-101 donde son pesadas, pasan a la mesa de selección MS-201 para inspeccionar visualmente la materia prima (2).

Las uvas (4) ingresan a la despalladora-estrujadora DE-202 para separar el raspón (3), liberar la pulpa y las semillas. La fruta estrujada o mosto (5) se dirige al tanque de maceración TM-301 en el cual se agrega agua sulfitada (6) para evitar que se produzca una fermentación espontánea. El mosto se mantiene a 10 °C durante 4 días con el objetivo de extraer el color, sabor y taninos de las cáscaras de las uvas.

El mosto sulfitado y macerado (7) se dirige al tanque de fermentación alcohólica TF-302, durante 7 días a 25 °C. Para iniciar la fermentación alcohólica se agrega levaduras activas *Saccharomyces cerevisiae* (8). Cuando se cumple el tiempo establecido se realiza el descube (9) mediante una válvula. La parte líquida (vino yema) (11) ingresa al tanque de fermentación maloláctica TF-303. La parte sólida (12) se dirige a la prensa PR-401, en esta operación se obtiene el vino prensado (14) que es enviado a los tanques de fermentación maloláctica TF-303 para que se mezcle con el vino yema. La fermentación maloláctica inicia espontáneamente y el vino se mantiene a 20 °C por 15 días. La parte semi-sólida obtenida en el prensado corresponde a los orujos y al vino de baja calidad, que se refiere a la parte líquida que no se puede extraer de los orujos, (13) se ubican en el tanque para orujos TO - 402.

Al vino después de su segunda fermentación (15) se trasiega para eliminar las lías (17), las lías son las levaduras depositadas en el fondo del recipiente, finalmente se realiza el sulfitado (16) para suspender la fermentación. El vino se envía (18) al tanque de clarificación TC-305, en donde es filtrado mediante el uso de las bentonitas (19) para eliminar las partículas en suspensión formadas durante la fermentación y los restos de levadura (21).

El vino clarificado (22) se envía, si es por estabilización por frío, al tanque de estabilización tartárica TE-501 para eliminar el ácido tartárico, el vino se mantiene durante 15 días a - 4 °C. Si el vino es estabilizado por electrodiálisis, el vino ingresa al electrodiálizador ED-501. El vino después de ser estabilizado (23) se pasa por el filtro FIL-601 con el objetivo de eliminar las partículas en suspensión y los microorganismos (24).

El filtrado (25) se envasa en la embotelladora EB-602 en botellas de vidrio de 0,75 L, las botellas pasan previamente por la enjuagadora EJ-901 y se encorcha en la taponadora enjauladora PE-603 (26).

Finalmente el vino envasado (27) se empaca en cajas de cartón para 12 botellas y palleteliza en palets de 45 cajas las cuales se almacenan en la bodega de producto terminado con la ayuda de un montacargas. La bodega de producto terminado se mantiene a temperatura ambiente a 25 °C.

De acuerdo a lo antes descrito se determina que el tiempo estimado para la elaboración de vino tinto, con estabilización tartárica por frío es de 44 días, si se emplea estabilización por electrodiálisis se requiere de 29 días.

Preparación de agua sulfitada El sulfitado se realiza con la adición de agua sulfitada (6) y (16). La dosis de dióxido de azufre es de 3 g SO₂/ hL de vino, la concentración del agua sulfitada es de 40 g SO₂/L de solución.

Activación de levaduras Comercialmente las levaduras se obtienen secas, para activar las levaduras se agrega agua en relación 1:10 levadura-agua. La dosis empleada para los balances es de 20 g de levadura / hL de mosto.

Hidratación de bentonitas La dosis de bentonita es de 30 g/hL, la bentonita primero se hidrata con 4 veces su peso de agua fría.

3.5.5 DISEÑO BÁSICO DE LA PLANTA

Las áreas se han dividido de acuerdo a los tratamientos realizados en la materia prima para evitar posible contaminación por cruzamiento de materiales y a las condiciones de operación que se realizan para la producción del vino. Las áreas, el número de equipos y su capacidad se resumen en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16. Lista de equipos en cada área

| Área # | Nombre del área | Equipos | # ^a | Capacidad | Código |
|--------|--|--|----------------|------------------------|---------|
| 1 | Recepción y almacenamiento | Tolva basculante | 2 | 3 m ³ | BW-101 |
| | | Bodega de almacenamiento de materia prima | 1 | 6 500 kg | BA-102 |
| 2 | Despalillado y estrujado | Mesa de selección | 1 | | MS-201 |
| | | Estrujadora despalilladora | 1 | 1,80 Ton/h | DE-202 |
| | | Tanque para raspón | 1 | 210 L | TR-203 |
| 3 | Maceración, sulfitado | Tanques de maceración | 4 | 1,45 m ³ | TM-301 |
| | | Tanque de fermentación alcohólica | 7 | 1,45 m ³ | TF-302 |
| | Fermentación (alcohólica y maloláctica), clarificación | Tanque de fermentación maloláctica | 15 | 1,45 m ³ | TF-303 |
| | | Tanque dosificador de SO ₂ | 1 | | FS-304 |
| | | Tanque de clarificación | 1 | 1,45 m ³ | TC-305 |
| 4 | Prensado | Prensa | 1 | 0,21 m ³ | PR-401 |
| | | Tanque para orujos | 1 | 210 L | TO-402 |
| 5 | Estabilización tartárica | Tanque de estabilización o electrodializador | 15 | 1,45 m ³ | TE-501 |
| | | | 1 | 0,13 m ³ /h | ED-501 |
| 6 | Filtración y Envasado | Filtro | 1 | 120-140 L/h | FIL-601 |
| | | Envasadora | 1 | 400 botellas/h | EB-602 |
| | | Taponadora enjauladora | 1 | 500 botellas/h | PE-603 |
| | | Enjuagadora | 1 | 1 000 botellas/h | EJ-603 |
| 7 | Almacenamiento | Bodega de almacenamiento de producto terminado | 1 | 5 580 botellas/h | BA-701 |
| | | Montacargas | 1 | 1,50 Ton | MT-702 |
| 8 | Almacenamiento de insumos | Bodega de almacenamiento de insumos | 1 | | BI-801 |
| 9 | Lavado | Enjuagadora | 1 | 1000 botellas/h | EJ-901 |

a: número de equipos

3.5.5.1 Especificaciones técnicas de los equipos

La capacidad de los equipos tiene el 25 % de sobredimensionamiento. Las fichas técnicas para cada equipo se especifican en el Anexo VII

Todos los equipos que tienen contacto directo con el alimento están hechos de acero inoxidable o con materiales de grado alimentario.

Los tanque de maceración, fermentación y estabilización tartárica tienen como refrigerante agua glicolada. El tanque de estabilización tartárica tiene como aislante una capa de poliuretano.

La prensa es hidráulica contiene un pistón de 90 mm de diámetro su presión es de 350 BAR.

El filtro tiene un área filtrante de 0,4 m² con placas de MOPLEN no tóxico, contiene un manómetro y válvula de regulación del flujo.

La envasadora es semiautomática, sistema de llenado por gravedad con sistema neumático para el levantamiento de la botella, alimentación manual de las botellas.

La taponadora- enjauladora consta en un mismo equipo. La taponadora con funcionamiento a pedal, distribución de tapón manual, levantamiento neumático de la botella. La enjauladora funciona con pulsador, el cierre y levantamiento de la botella es neumático

El electrodiálizador su modo de operación es batch, área de la membrana es de 10 m², el equipo permite la adaptación de termostato, filtro y agitador según las necesidades.

La enjuagadora es un sistema rotatorio, las botellas son volcadas y colocadas manualmente se puede utilizar en botellas de vidrio o pet.

3.5.5.2 Distribución en planta del área de producción

A continuación en la Figura 3.20 se muestra la distribución en planta para producción de vino tinto joven con estabilización por frío (A) y por electrodiálisis (B) respectivamente, en los planos también se distinguen las áreas de la planta y los cortes A-A', B-B', C-C'.

Área de recepción y almacenamiento Se diseñó una cámara de almacenamiento para mantener la materia prima a 4 °C, la cámara esta térmicamente aislada mediante poliestireno con un espesor de 50 mm.

La cámara consta de dos puertas una para el ingreso de la uva a la cámara y la otra para el ingreso de la materia prima a la planta de procesamiento.

Área de despalillado y estrujado Se han colocado los equipos de forma continua de la siguiente manera la tolva basculante (BW-101), la mesa de selección (MS-201) y la estrujadora-despalilladora (DE-202). A 0,5 m de distancia se colocó el tanque para raspón TR-203. Esta área se encuentra junto a la cámara de refrigeración y al área de maceración. Además consta de una puerta para la eliminación de los desechos. Tiene un área de 15,6 m².

Área de maceración, fermentación y clarificación Esta área se divide en secciones. La primera para la maceración donde se ubican cuatro tanques (TM-301) que mantienen el vino a 4 °C tiene una puerta de acceso junto al área de despalillado y estrujado, tiene un área de 9,7 m². La segunda sección para la fermentación alcohólica se encuentra cerca de los tanques de maceración, en esta sección se encuentran siete tanques (TF-302) que se conectan con una puerta con el área de prensado ocupan un espacio de 16,7 m². En la tercera sección se ubican 15 tanques para la fermentación maloláctica (TF-303) y un tanque para la clarificación (TC-305) tiene un área de 39 m², tiene un acceso que conecta con el área de envasado y el área de estabilización tartárica.

Área de estabilización tartárica

Por frío: En esta área se ubicaron 15 tanques de acero inoxidable, esta área ocupa un espacio de 39 m², tiene una puerta que conecta con el área de fermentación y con el área de filtración y envasado.

Por electrodiálisis: Se ubicó el electrolizador seguido del filtro en el área de envasado, ocupa un espacio de 8,4 m².

Área de filtración y envasado En esta área se ubicaron de manera continua el filtro (FIL-601), la envasadora (EB-602) y la taponadora enjauladora (PE-603). El área tiene un espacio de 16,9 m².

Área de prensado Se encuentran la prensa y el tanque para orujos, ocupa un espacio de 7 m², tiene un acceso a los tanques de fermentación alcohólica y acceso a la puerta para la eliminación de desechos.

Área de almacenamiento En esta área es donde se almacena el producto terminado tiene capacidad de almacenamiento para 3 días de producción, ocupa un espacio de 28,2 m², se diseñó para el apilamiento de las cajas de vino tinto, la bodega tiene dos puertas de acceso, una que conecta con la planta de producción y la otra puerta para despachar el producto.

Área de lavado Esta área se ubicó junto al área de envasado, ocupa una extensión de 4 m², es el lugar donde se limpian las botellas con la enjuagadora (EJ-901) antes del envasado, consta de una puerta de acceso.

Área de insumos En esta bodega se ubicó al final de la línea de producción donde se almacenarán los insumos que se requieren para la producción de vino tinto. Esta bodega ocupa un área de 9,6 m².

El flujo del producto y movimiento de operarios se presenta en la Figura 3.21, en esta Figura se muestra el movimiento de los operarios y el flujo de la materia prima, los insumos, el mosto, los orujos, el raspón y el producto terminado. En esta Figura se puede observar que no existe cruzamiento entre las líneas del movimiento de los materiales, la distancia que recorren los materiales y el personal es mínima debido a que los procesos de producción se han distribuido de manera secuencial para evitar interrupciones y cruces.

Las elevaciones de los equipos se muestran en la Figura 3.22 donde consta los cortes A-B, C-C' que son los mismos para la planta con estabilización con frío y por electrodiálisis, en la Figura 3.23 se muestran los cortes A'-A y B-B' para la planta con estabilización por frío y con electrodiálisis, según los cortes realizados en los planos 3.20, los cortes se han dispuesto de manera que se pueda observar la posición de todos los equipos.



Figura 3.20. Distribución en planta, (A) planta productora de vino tinto con estabilización por frío, (B) planta productora de vino tinto con estabilización por electrodiálisis

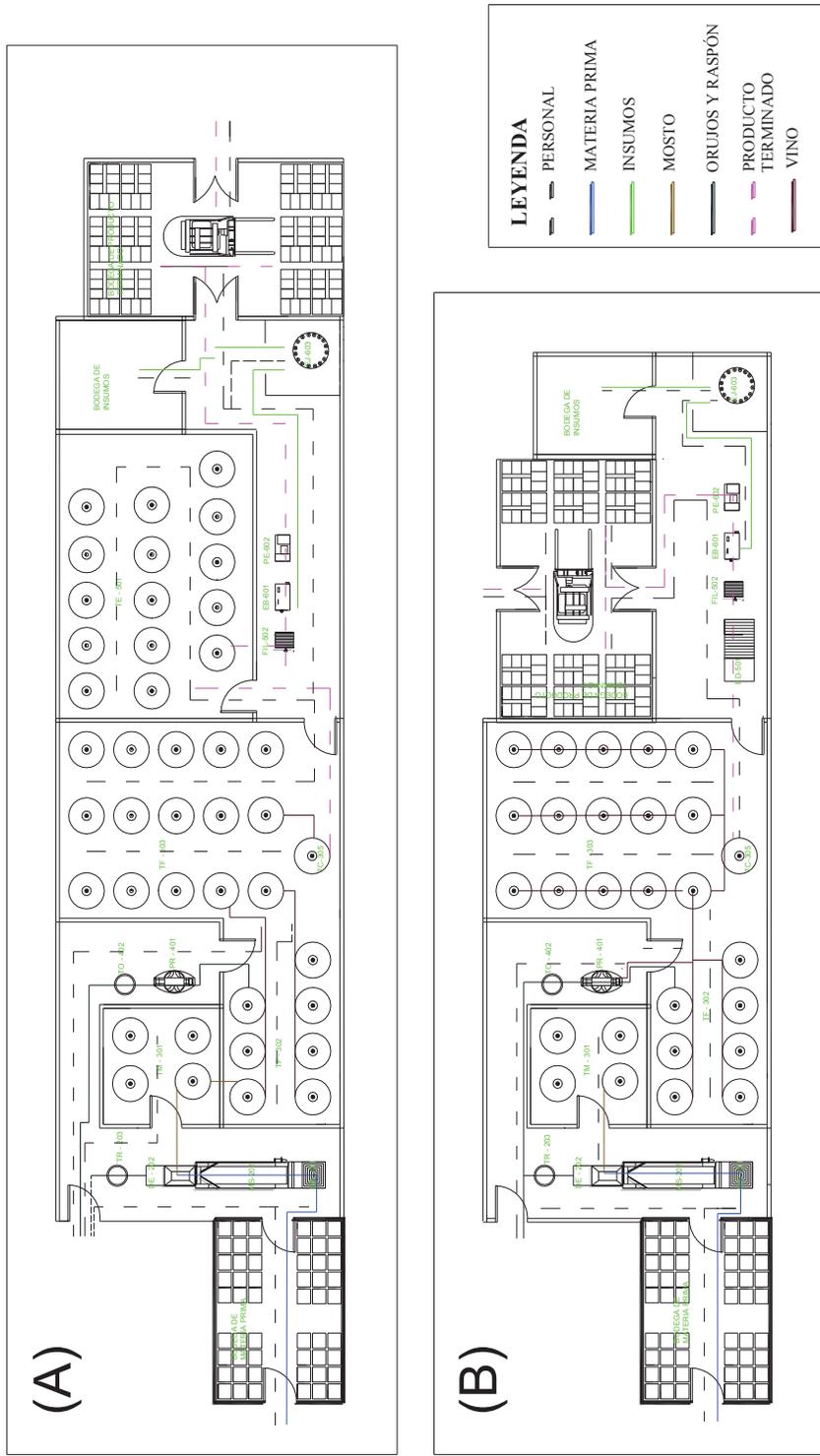


Figura 3.21. Flujo de producto y movimiento de operarios, donde (A) representa la planta productora de vinos con estabilización por frío, (B) planta productora de vinos con estabilización con electrodiálisis

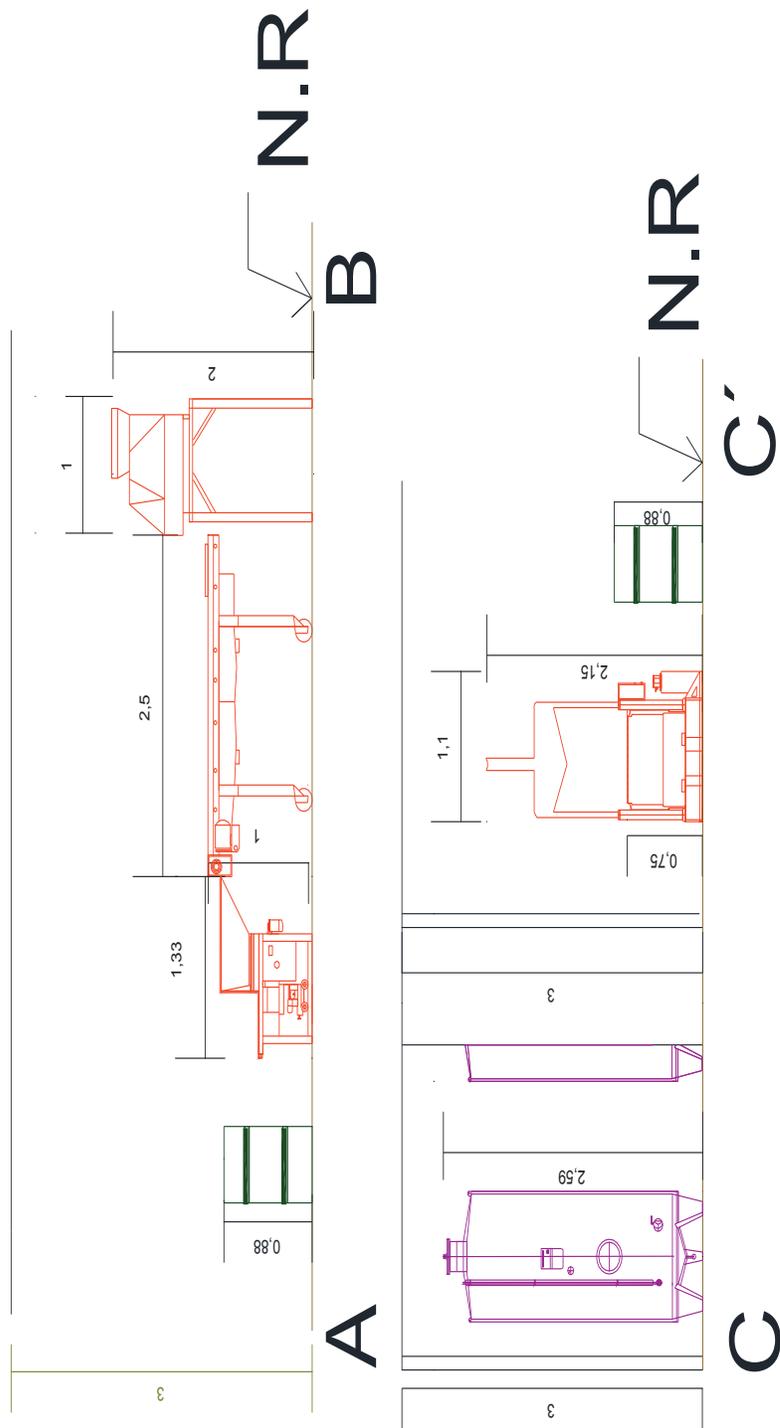


Figura 3.22. Elevaciones de los equipos de los cortes A-B y C-C'

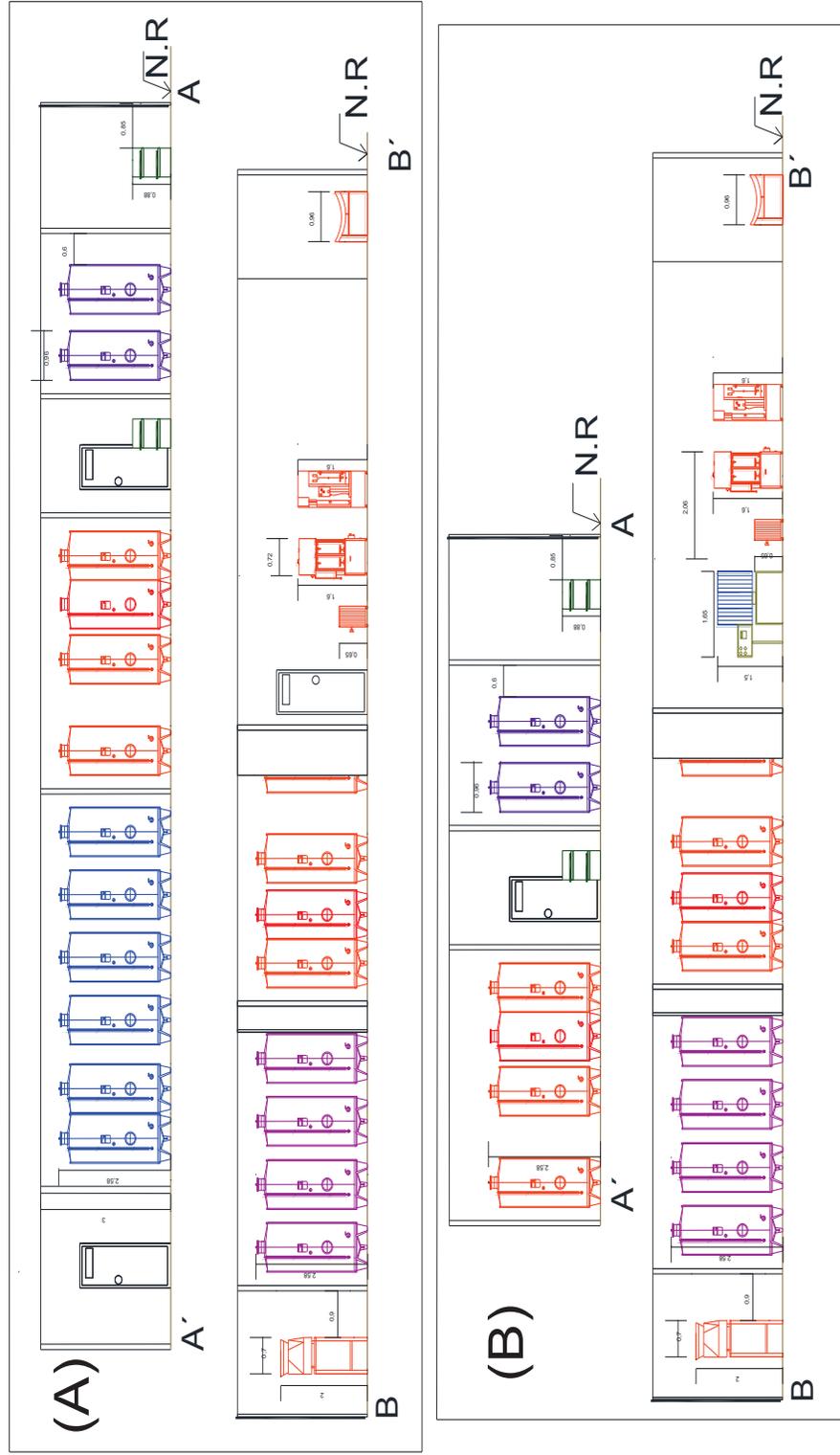


Figura 3.23. Elevaciones de los equipos de los cortes A'-A, B-B' donde (A) representa la planta con estabilización con frío y (B) la planta con estabilización con electroálisis

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. Para estabilizar tartáricamente el vino tinto por frío que contiene 10 % v/v etanol, se requirió de 15 días de tratamiento a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Para la estabilización tartárica del vino tinto mediante el tratamiento de electrodiálisis se trabajó bajo las siguientes condiciones, una corriente límite de $0,14\text{ Acm}^{-2}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ con un flujo de $0,038\text{ m}^3/\text{h}$
3. El vino tinto se estabilizó mediante electrodiálisis cuando el vino alcanzó 7,5 % y 15 % de grado de desionización, mientras que, cuando alcanzo el 22 % de grado de desionización, el vino se volvió inestable.
4. La caracterización del vino tratado por frío y por electrodiálisis demostró que ambos tratamientos producen cambios en la composición físico- química del vino. El tratamiento por frío tiene mayor impacto en la variación de la composición fenólica y el grado alcohólico, mientras que el tratamiento por electrodiálisis en la acidez. Pero ninguno de los dos tratamientos tiene efecto sobre el pH.
5. El tiempo que se requirió para estabilizar el vino por frío fue de 15 días, mientras que para estabilizar el vino con electrodiálisis se necesitó de 38 minutos.
6. Se calculó que el rendimiento en la transformación de la materia prima en vino, según los balances de masa, sería de 84,7 %.
7. Para la producción de $1,12\text{ m}^3/\text{día}$ de vino, según los balances de masa y energía, con estabilización tartárica por frío, se requiere de $1\ 562,16\text{ kg}$ de agua glicolada para el sistema de enfriamiento, mientras que, con

estabilización tartárica por electrodiálisis, se requiere de 1 217,2 kg de agua; que representa un 22 % menor consumo de agua por electrodiálisis que por frío.

8. El consumo energético para la producción de vino tinto, en el diseño de la planta se determinó que, con estabilización por frío se requiere de 81,8 kwh, mientras que, con estabilización por electrodiálisis se necesitan 56,44 kwh para un día de producción. Es decir que, con electrodiálisis el consumo de energía disminuye en un 31 %.
9. El tiempo de elaboración del vino tinto, con estabilización tartárica por frío es de 44 días, con estabilización tartárica con electrodiálisis es de 29 días. El tratamiento por electrodiálisis resulta más efectivo que el tratamiento por frío en cuanto a tiempo de operación, para bodegas de gran producción.
10. Según los planos de distribución de la planta, el área de estabilización tartárica por frío ocupa un espacio de 39 m², mientras que si se realiza el proceso mediante electrodiálisis, para la estabilización tartárica por electrodiálisis se requiere solo de 8,4 m².

4.2 RECOMENDACIONES

1. Probar el método de estabilización tartárica con electrodiálisis con otras configuraciones y/o con membranas bipolares.
2. Comparar con otros métodos de estabilización tartárica como resinas de intercambio iónico, osmosis inversa.
3. Realizar mediciones en las concentraciones de los principales cationes presentes en el vino.

4. Para tratamientos de estabilización tartárica utilizar equipos herméticamente cerrados que eviten la pérdida de compuestos volátiles del vino.
5. Aplicar la tecnología de membranas por electrodiálisis en otro tipo de bebidas que requiera la extracción de componentes específicos y/o ajustes de pH.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aliquó, G., Catania, A. y Aguado, G. (2010). *La poda de la Vid*. INTA, Mendoza, Argentina. Recuperado de <http://www.agrisave.com/biblioteca/agric\ola/PODA%20DE%20LA%20VID.pdf> (Noviembre, 2013)
2. Amerine, M., y Joslyn, M. (1970). *Table wines. The technology of their production* (2da ed.). Los Angeles: University of California Press.
3. AMPEX (Asociación Macroregional de Productos para la Exportación) (2008). *Perfil de Producto Uva*. Perú. Recuperado de www.ampex.com.pe
4. A.O.A.C. (2005). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. (18ava. ed.) Arlington, USA: A.O.A.C International.
5. Ávila, R., Cárdenas, A., y Medina, A. (2000). Tratamiento del Lactosuero Utilizando la Técnica de Electrodiálisis. *Redalyc*, 25(2), 80–84.
6. Baeza, P., Lissarrague, J., Sanchez, P., Sotés, V y Ruiz, C. (n.d). *Morfología de la vid*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <http://ocw.upm.es/produccion-vegetal/viticultura/material-de-clase> (Noviembre, 2013)
7. BCE (Banco Central del Ecuador). (2014). *Información Estadística Comercio Exterior*. Recuperado de http://www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/ComercioExterior.jsp (Mayo 2014)
8. Belitz, H., Grosch, W., y Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry*. Berlin: Springer.
9. Blouin, J. y Peynaud, É. (2003). *Enología Práctica: Conocimiento y elaboración del vino*. (4ta. ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa.

10. B.O.E. Métodos Oficiales de Análisis de Aceites y Grasas, Cereales y Derivados, Productos Lácteos y Productos Derivados de la Uva. (1977). *B.O.E. 27-7-1977 Índice de Permanganato*. Recuperado de <http://www.usc.es/caa/MetAnálisisStgo1/uva.pdf>
11. Bordeu, E., y Cristi, X. (2001). DE INTERCAMBIO CATIONICO. *Cien. Inv. Agr*, 28(2), 67–72.
12. Bories, A., Sire, Y., Bouissou, D., Goulesque, S., Moutounet, M., Bonneaud, D., Rouge, D. (2011). Environmental Impacts of Tartaric Stabilisation Processes for Wines using Electrodialysis and Cold Treatment. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 32(2), 174–182.
13. Catania, C. y Avagnina, S. (2007a). *Malbec*. Mendoza, Argentina. INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado de inta.gob.ar/documentos/curso-de-degustacion.../20.%20Malbec.pdf (Noviembre, 2013)
14. Catania, C., y Avagnina, S. (2007b). *Implicancias organolépticas de los polifenoles del vino*. Curso de degustación de vinos (1ra ed., pp. 1–14). Mendoza, Argentina: INTA. Extraído de <http://inta.gob.ar/documentos/curso-de-degustacion-de-vinos>
15. Casassa, F., Sari, S., Avagnina, S., Díaz, M., y Jofre, V. (2006). Influencia de dos técnicas de maceración sobre la composición polifenólica , aromática y las características organolépticas de vinos cv . Merlot Introducción Protocolo experimental. *Revista Enología*, 1(12).
16. Cameira, P., Gonçalves, F., y Pinho, M. (2002). Optimisation of the method for determination of the temperature of saturation in wines. *Analytica Chimica Acta* 458(1), 257–261.
17. Cameira dos Santos, P., Pereira, O., Gonçalves, F., Simoes, T., y Pinho, M. N. (2000). Ensaio de estabilização tartárica em vinhos portugueses: estudo comparativo da electrodiálise e de um método tradicional. *Ciencia Tec. Vitiv.*, 15(2), 95–108.

18. Cepeda, C. (2011). *Plan de negocios de una empresa de producción y comercialización de vinos* (Disertación de grado previa la obtención del título de ingeniería comercial). Recuperado del Repositorio digital PUCE
19. Cheynier, V. (2012). Phenolic compounds: from plants to foods. *Phytochemistry*, 11(2-3), 153–177. doi:10.1007/s11101-012-9242-8
20. Christensen, L. (2003). Cabernet Sauvignon. En, Dokoozlian, N., Walker, M., y Wolpert, J. (Ed). *Wine Grape Varieties in California*. (pp. 88-89). Oakland, USA: ANR.
21. Cooke, G. (2004). *Making Table Wine at Home*. Oakland, California: Universidad de California ANR (Agriculture and Natural Resources).
22. Díaz, M. (2009). Historia de la vid y del vino en Extremadura. *La Agricultura Y La Ganadería En Extremadura*, 1(1), 263–268. Recuperado de <http://portal.cajabadajoz.es/RevistasAgricultura/Agricultura09/pdf/017.pdf> (Noviembre, 2013)
23. Eliseeva, T. V., Krisilova, E. V., Vasilevsky, V. P., y Novitsky, E. G. (2012). Electrolysis of solutions of tartaric acid and its salts. *Petroleum Chemistry*, 52(3), 609–613. doi:10.1134/S0965544112080075
24. Erbslöh. (2009). *Innovativ*. Recuperado de http://www.lalittorale.com/es/ACTUALIDAD/Feb09/internet_EasyKristaTest_E.pdf (Diciembre, 2013)
25. Estreicher, E., (2004). *WINE the past 7,400 years*. Recuperado de http://www1.mpi-halle.mpg.de/~md_simul/data/special-data/wine-history.pdf (Noviembre, 2013)
26. FAO, (2009). *Agribusiness handbook: Grape Wine* (1ra ed., pp. 1–37). Roma, Italia: FAO.
27. Farrell, S., Hesketh, R., y Slater, S. (2003). *Exploring the potential of electrolysis* (pp. 52–59). New Jersey, USA. Extraído de <http://www.membranes.org/farrell.pdf>

28. Fernández, M., Guerrero, R., Puertas, B., García, M., y Cantos, E. (2013). *Functional Grapes*. In K. G. Ramawat & J.-M. Mérillon (Eds.), *Natural Products* (pp. 2581–2615). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-22144-6
29. Flanzy, C. (2003). *Enología: fundamentos científicos y tecnológicos*. (2da. ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa.
30. Forsyth, K. (2010). *Comparison between electro dialysis and cold treatment as a method to produce potassium tartrate stable wine*. (pp. 1–16). Glen Osmond, Australia.
31. Fugelsang, K., y Edwards, C. (2007). *Wine Microbiology: Practical Applications and Procedures* (2da ed.). New York, USA: Springer.
32. Galitsky, C., Radspieler, A., Worrell, E., Healy, P., y Zechiel, S. (2005). *Benchmarking and Self-Assessment in the Wine Industry*. Lawrence Berkeley National Laboratory. Recuperado de <http://escholarship.org/uc/item/69f2v0js>
33. García, G., Quinteros, R., y López, M. (2004). *Bioteología Alimentaria*. (1ra. ed.). México D.F., México: Limusa
34. Garrido, J., y Borges, F. (2013). Wine and grape polyphenols A chemical perspective. *FRIN*, 54(2), 1844–1858. doi:10.1016/j.foodres.2013.08.002
35. Gawroński, J., y Gawrońska, K. (1999). *Tartaric and Malic Acids in Synthesis* (1ra ed.). Canada: Jonh Wiley y Sons, Inc.
36. Girard, B., y Fukumoto, L. (2000). Membrane Processing of Fruit Juices and Beverages: A Review Membrane Processing of Fruit Juices and Beverages: A Review. *Food Science and Nutrition*, 40(2), 91–157.
37. Guillet, V., Gabas, N., Comtat, M., y Favarel, J. (2002). Effect of an electric field on the heterogeneous nucleation and crystal growth of potassium hydrogen tartrate in wines. *Applied Electrochemistry*, 32(13), 1313–1319.

38. Gonçalves, F., Fernandes, C., Cameira dos Santos, P., y de Pinho, M. N. (2003). Wine tartaric stabilization by electro dialysis and its assessment by the saturation temperature. *Journal of Food Engineering*, 59(2-3), 229–235. doi:10.1016/S0260-8774(02)00462-4
39. Goldman, L. (Ed.). (2013). *The Columbia Electronic Encyclopedia* (6th ed.). New York, USA: Columbia University Press.
40. Grainger, K. y Tattersall, H. (2005). *Wine Production: Vine to bottle* (1ra ed.). Pondicherry, India: Blackwell Publishing.
41. Heredia, F., Escudero, M., Hernanz, D., Gordillo, B., Meléndez, J., Vicario, I. y González, M. (2010). Influence of the refrigeration technique on the colour and phenolic composition of syrah red wines obtained by pre-fermentative cold maceration. *Food Chemistry*, 118(2), 377–383. doi:10.1016/j.foodchem.2009.04.132
42. Hernández, A., Alfaro, I., y Arrieta, R. (2003). *Microbiología Industrial*. Costa Rica: EUNED.
43. Hidalgo, J. (2010). *Tratado de enología: tomo I*. (2da. ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa.
44. Hidalgo, J. (2011). *Tratado de enología: tomo II* (2a. ed.). Madrid, España: Mundi- Prensa.
45. Hong, J. G., y Chen, Y. (2014). Nanocomposite reverse electro dialysis (RED) ion-exchange membranes for salinity gradient power generation. *Journal of Membrane Science*, 460(1), 139–147. doi:10.1016/j.memsci.2014.02.027
46. Huang, C., Xu, T., Zhang, Y., Xue, Y., y Chen, G. (2007). Application of electro dialysis to the production of organic acids: State-of-the-art and recent developments. *Membrane Science*, 288(1-2), 1–12. doi:10.1016/j.memsci.2006.11.026
47. INEC. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2012). *Ficha Técnica de Alimentos Vino tinto*. Recuperado de

<http://www.inec.gob.ec/estadisticas/>

[SIN/co_alimentos.php?id=24212.01.01](http://www.inec.gob.ec/estadisticas/SIN/co_alimentos.php?id=24212.01.01) (Agosto, 2014)

48. INEN. (1978). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 360 Bebidas alcohólicas determinación del grado alcohólico en vinos*. Quito, Ecuador.
49. INEN. (1978). *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 341 Bebidas alcohólicas determinación de la acidez*. Quito, Ecuador.
50. INEN. (1978). *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 348 Bebidas alcohólicas determinación de cenizas*. Quito, Ecuador.
51. Ingraham, J. y Ingraham, C. (1998). *Introducción a la Microbiología*. (1ra. ed.). Barcelona, España: Reverte.
52. INV. Instituto Nacional de Viticultura. (2013). *Informe Variedad Malbec: Variedad emblemática de Argentina*. Mendoza, Argentina. Recuperado de <http://www.inv.gov.ar/PDF/Estadisticas/Informes/Malbec.pdf> (Noviembre, 2013)
53. INV Instituto Nacional de Viticultura (2006). *Informe de Comercio Exterior (Ecuador)*. (pp. 1–16). Mendoza, Argentina. Recuperado de <http://www.inv.gov.ar/PDF/ComercioExterior/InformeEstadiEcuador.pdf> (Mayo, 2014)
54. Jackson, R. (2008). *Wine Science: Principles and Applications* (3ra ed.). Canada: Elsevier Inc.
55. Jacobson, J. L. (2006). *Introduction to Wine Laboratory Practices and Procedures*. New York, USA: Springer.
56. Jiří, K., y Zdeněk, P. (2012). Electrodialysis of Tartaric Acid : Batch Process Modelling Electrodialysis of Tartaric Acid : Batch Process Modelling. *Separation Science and Technogy*, 47(16), 2262–2272. doi:10.1080/01496395.2012.673042

57. Kaya, C., Şahbaz, A., Arar, Ö., Yüksel, Ü., y Yüksel, M. (2014). Removal of tartaric acid by gel and macroporous ion-exchange resins. En *Desalination and Water Treatment* (pp. 1–8). Taylor & Francis. doi:10.1080/19443994.2014.919239
58. Kolb, E., y Schurig, U. (2002). La producción profesional e industrial de vino. In E. Kolb (Ed.), *Vinos de frutas: elaboración artesanal e industrial Ciencia y tecnología de los alimentos* (pp. 57–160). Acribia, Editorial, S.A.
59. Lambri, M., Colangelo, D., Dornoni, R., y Marco De Faveri, D. (2014). The effects of different protein: tannin ratios on the tartrate-holding capacity of wine model solution. *Food Research International*, 62, 441–447. doi:doi:10.1016/j.foodres.2014.03.044
60. Lasanta, C., y Gómez, J. (2012). Tartrate stabilization of wines. *Trends in Food Science & Technology*, 28(1), 52–59. doi:10.1016/j.tifs.2012.06.005
61. Lasanta, C., Caro, I., y Pérez, L. (2013). The influence of cation exchange treatment on the final characteristics of red wines. *Food Chemistry*, 138(2-3), 1072–1078. doi:10.1016/j.foodchem.2012.10.095
62. López, A. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas*. Roma, Italia: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/006/y4893s/y4893s06.htm#TopOfPage> (Junio, 2014)
63. Low, L. L., O'Neill, B., Ford, C., Godden, J., Gishen, M., y Colby, C. (2008). Economic evaluation of alternative technologies for tartrate stabilisation of wines. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(7), 1202–1216. doi:10.1111/j.1365-2621.2007.01591.x
64. Maga, J., y Tu, A. (Eds.). (1995). *Food Additive Toxicology* (1ra ed.). New York, USA: Marcel Dekker.

65. MAGSRL. (2006). Registro protocolo de propileglicol. Recuperado de <http://www.magsrl.com.ar/imagenes/mag/quimica/propilenglicol.pdf> (Noviembre, 2014)
66. Molina, R. (2000). *Teoría de la clarificación de los mostos y vinos y sus aplicaciones prácticas* (1a. ed.). Madrid, España: Mundi- Prensa.
67. Mondor, M., Ippersiel, D., y Lamarche, F. (2011). Electrodialysis in food processing. In G. Barbosa (Ed.), *Green Technologies in Food Production and Processing* (pp. 295–326). Washington: Springer.
68. Montes, A., y Álvarez, L. (2009). Construcción y Utilización de un Electrodiálizador en Serie para Laboratorio. *Quim. Nova*, 32(2), 493–497.
69. Moreno, A., Vila, R., Fernández, J., Martínez, A., y Gil, R. (2013). Influence of cold pre-fermentation treatments on the major volatile compounds of three wine varieties. *Food Chemistry*, 139(1-4), 770–776. doi:10.1016/j.foodchem.2013.01.052
70. Moreno, M., y Polo, M. (2009). *Wine Chemistry and Biochemistry*. (M. V. Moreno-Arribas y M. C. Polo, Eds.). New York, NY: Springer New York. doi:10.1007/978-0-387-74118-5
71. Myerson, A. (2001). *Manual de Cristalización Industrial* (2da ed.). Burlington, EE.UU: Butterworth- Heinemann. Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/epn/Doc?id=10206621&ppg=156>
72. Muñoz, A, García, J, Segura, J. L. G., y Pérez, V. (1999). *Planta piloto de electrodiálisis Aplicación a la desalación de un agua salobre* (pp. 390–394). Valencia. Recuperado de <http://www.inese.es/html/files/pdf/amb/iq/361/04articulo.pdf>
73. Muñoz, M. (2003). *Estudio analítico y valoración de la calidad sistema de estabilización tartárica en continuo*. España.
74. Nunes, M. (2011). *A Electrodiálise na Estabilidade Tartárica dos Vinhos - Comparação com o Método Clássico*. (Disertación para la Obtención

de Master en Vinicultura y Enología no publicado). Universidad Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

75. Odageriu, G., Zamfir, C., y Cotea, V. (2009). The Influence of Fining Treatments in Red and White Wines on Their Tartaric Stability. *Bulletin UASVM Horticulture*, 66(1), 1–8.
76. Oliveira, M., y Sousa, T. (2009). Organic Acids and Sugars in Musts of Irrigated Grape vines in Northeast Portugal. *Journal of Wine Research*, 20(1), 1–13. doi:10.1080/09571 260902978485
77. OIV (Vin Organisation Internationale de la Vigne et Du). (2000). *INTERNATIONAL OENOLOGICAL CODEX: Electrodialysis Membranes (COEI-1-MEMELE: 2000)* (pp. 1–19). Paris, Francia: OIV.
78. OIV (Organización Internacional de la Viña y el Vino). (2001). *2a Edición de la lista de descriptores OIV para variedades de Vid y especies de Vitis*. (2da ed.). Paris, Francia: OIV.
79. OIV (Organización Internacional de la Viña y el Vino). (2011). *Resolución OIV-OENO 419A- 2011*. Recuperado de www.oiv.int/oiv/files/3%20.../ES/ 2011/OIV-OENO%20419A-2011.pdf (Enero, 2014)
80. OIV (Organización Internacional de la Viña y el Vino). (2012). *International Code of Oenological Practices*. Recuperado de http://www.gie.uchile.cl/pdf/GIE_legislacion/Codigo_practicasenologicas_2012.pdf (Mayo, 2014)
81. OIV (Organización Internacional de la Viña y el Vino). (2013). *INTERNATIONAL CODE OF OENOLOGICAL PRACTICES*. Paris, Francia: OIV.
82. OIV (Organización Internacional de la Viña y el vino). (2014a). *Aspectos de la coyuntura mundial. OIV*. Recuperado de [http://www.eumedia.es/portales/files/documentos/OIV_NoteConjma rs 2014_ ES_New data\[1\].pdf](http://www.eumedia.es/portales/files/documentos/OIV_NoteConjma rs 2014_ ES_New data[1].pdf) (Mayo, 2014).

83. OIV. (Organización Internacional de la Viña y el Vino). (2014b). *El mercado del vino: evolución y tendencias*. Recuperado de <http://static.pulso.cl/20140513/1941602.pdf> (Mayo, 2014).
84. Palacios, C., Udaquiola, S., y Rodríguez, R. (2009). Modelo matemático para la predicción de las necesidades de frío durante la producción de vino. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 38(1), 205–226.
85. Parenti, A., Spugnoli, P., Calamai, L., Ferrari, S., y Gori, C. (2004). Effects of cold maceration on red wine quality from Tuscan Sangiovese grape. *European Food Research and Technology*, 218(4), 360–366. doi:10.1007/s00217-003-0866-1
86. Perry, H., y Green, D. (1992). Procesos Modernos de Separación. In J. Henry y W. Corder (Eds.), *Manual del ingeniero químico* (6a. ed., p. 328). México: McGraw-Hill Interamericana
87. Pîrvutoiu, I., y Pospescu, A. (2009). Study concerning the E.U. position in the world wine production. *LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE*, XV(1), 242–247.
88. Pourcelly, G. (2002). Electrodialysis with Bipolar Membranes : Principles , Optimization , and Applications*. *Russian Journal of Electrochemistry*, 38(8), 919–926.
89. ProChile. (2011). *Estudio de Mercado de Vinos en Ecuador*. Recuperado de http://www.prochile.gob.cl/wp-content/blogs.dir/1/files_mf/documento_06_21_11131314.pdf (Mayo, 2014)
90. Rajković, M., Novaković, I., y Petrović, A. (2007). Determination of titratable acidity in white wine. *Agricultural Science*, 52(2), 169–184.
91. Ren, J. (2010). Lactic Acid. *En Biodegradable Poly (Lactic Acid): Synthesis, Modification, Processing and Applications* (pp. 4–14). Shanghai, China: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-17596-1_2
92. Ribereau, P., Glories, Y, Maujean, A y Dubourdieu, D. (2006). *Handbook of Enology* (2 nd.). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.

93. Rodríguez, M. (1999). *Tratado de Nutrición*. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A.
94. Romanov, A., y Zelentsov, V. (2007). Use of electrodialysis for the Production of Grape-Based Soft and Alcoholic Drinks. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 43(4), 279–286. doi:10.3103/S1068375507040096
95. Sartini, E., Parpinello, G. P., Galassi, S., y Versari, A. (2011). Characterization of Uva Longanesi Red Wine by Selected Parameters Related to Astringency. *International Journal of Food Properties*, 14(5), 1081–1089. doi:10.1080/10942910903580934
96. Smith, V. (2012). *Assessment of Cold Stabilization for Tartaric Acid in Wine*. Recuperado de <http://extension.psu.edu/food/enology/analytical-services/assessment-of-cold-stabilization>
97. Soares, P., Geraldés, V., Fernandes, C., Cameira, P., y Pinho, M. (2009). Wine Tartaric Stabilization by Electrodialysis : Prediction of Required Deionization Degree. *Enol. Vitic.*, 2(60), 183–188.
98. Suárez, J. (2008). *Microbiología enológica: Fundamentos de vinificación*. (3a. ed., p. 717). Madrid, España: Mundi- Prensa.
99. UNNE Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. (n.d.). *Guía de consultas de Diversidad Vegetal: EUDICOTILEDONEAS ESCENCIALES*. Recuperado de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/diversidadv/documentos/ANGIOSPERMAS/Rosideas /Familia%20con%20nueva%20ubicaci%F3n/1-Vitaceae.pdf> (Noviembre, 2013)
100. Valero, F., Barceló, A., y Arbós, R. (2011). Electrodialysis Technology. Theory and Applications. *En Desalination, Trends and Technologies* (pp. 3–22). InTech.
101. Vargas, G., Bautista, D. y Patrick Rabion, P. (1994). Evaluación de Variedades de Vid para Vino en Condiciones Tropicales. *Agronomía Tropical*. 44(3). 455-474. Recuperado de <http://sian.inia.gob.ve/>

repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at4403/Arti/ vargas_g.htm (Noviembre, 2013)

102. Vázquez, M. (2011). *Estabilização tartárica de vinhos produzidos na Serra Gaúcha através da Electrodialisê*. (Tesis para la obtención del título de doctora en Ingeniería no publicado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
103. Vázquez-Garzón, M. L., Bonotto, G., Marder, L., Zoppas Ferreira, J., y Bernardes, A. M. (2010). Transport properties of tartrate ions through an anion-exchange membrane. *Desalination*, 263(1-3), 118–121. doi:10.1016/j.desal.2010.06.047
104. Vera, E., Sandeaux, J., Persin, F., Pourcelly, G., Dornier, M., y Ruales, J. (2009). Deacidification of passion fruit juice by electrodialysis with bipolar membrane after different pretreatments. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 67–73. doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.06.003
105. Viníssimo. (2012). *Historia y evolución del vino en Ecuador*, (15), 32–34. Recuperado de <http://www.revistavinissimo.com> (Noviembre 2013)
106. Wolpert, J. (2003). Cabernet Sauvignon. En Christensen, L., Dokoozlian, N., Walker, M., y Wolpert, J. (Ed). *Wine Grape Varieties in California*. (pp. 36-39). Oakland, USA: ANR.
107. Xu, T., y Huang, C. (2008). Electrodialysis-Based Separation Technologies : A Critical Review. *AIChE*, 54(12), 3147–3159. doi:10.1002/aic
108. Zamora, F. (2003). *Elaboración y crianza del vino tinto: Aspectos científicos y prácticos* (1a. ed.). Madrid, España: Mundi- Prensa.
109. Zoecklein, B. (1988). *Estabilización de bitartrato de potasio en los vinos*. Charlottesville, EE.UU. Recuperado de <http://www.apps.fst.vt.edu/extension/enology/downloads/PotBitar.pdf>
110. Zumbado, F. (2008). *Análisis químico de los alimentos: métodos clásicos*. Cuba: Editorial Universitaria

ANEXOS

ANEXO I

ESTABILIDAD DEL VINO TINTO SIN ADICIÓN DE BITARTRATO DE POTASIO

Se determinó la temperatura de saturación del vino tinto para analizar la estabilidad tartárica antes de someter a un proceso de estabilización como se muestra en la Figura Al.1.

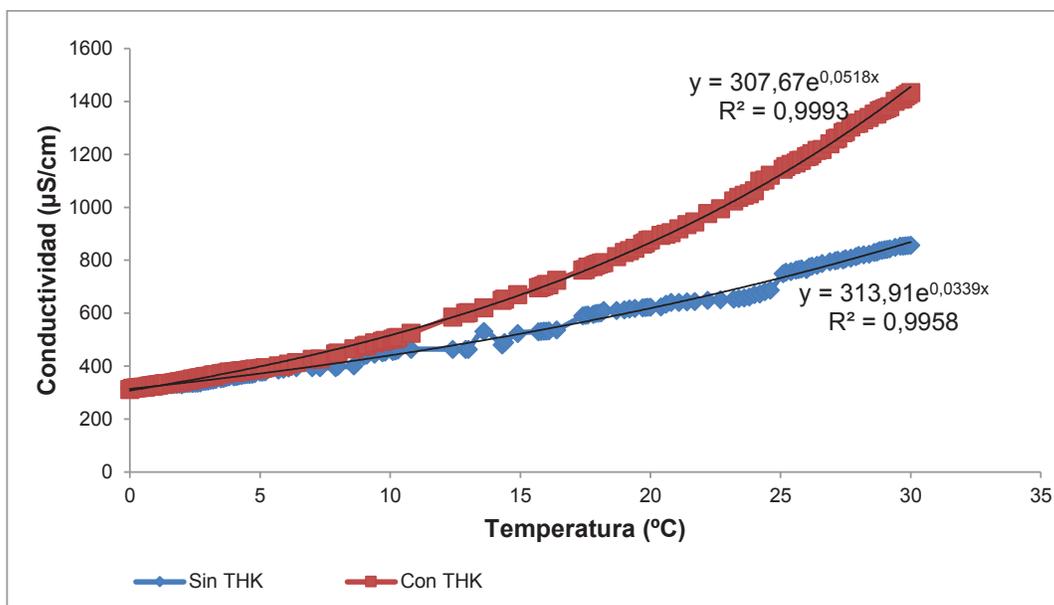


Figura Al.1. Temperatura de saturación del vino tinto sin adición de bitartrato de potasio

De acuerdo a la Figura Al.1 el vino tinto tiene una temperatura de saturación de 0,7 °C, además, se determinó que la conductividad fue de 750 µS/cm a 25 °C, un pH de 3,5. Estos parámetros me indican que el vino era tartáricamente estable.

Es decir, no existe riesgo de precipitación pero el objetivo de este trabajo fue determinar el mejor tratamiento de estabilización para lo cual se añadió al vino sales tartáricas hasta que se vuelva inestable.

ANEXO II

ÍNDICE TOTAL DE POLIFENOLES ITP (B.O.E. 27-7-1977)

Preparación de las soluciones

- ❖ Solución de Permanganato de Potasio 0,01 N: Diluir 316 mg de KMnO_4 en 500 mL de agua destilada y aforar a 1000 mL.
- ❖ Solución de Carmín Índigo: Diluir 150 mg de carmín índigo en 500 mL y aforar a 1000 mL con agua destilada.
- ❖ Preparar una solución de ácido sulfúrico al 30 %
- ❖ Solución de ácido tartárico neutralizada a la mitad: Diluir 2,5 g de ácido tartárico en agua destilada, agregar 33,3 mL de NaOH 1N y aforar a 1000 mL.

Procedimiento

- ❖ Tomar 50 mL de la solución índigo y agregar 2 mL de vino. Para los vinos tintos jóvenes solo se utiliza 1 mL de vino.
- ❖ Se titula con la solución de permanganato de potasio 0,01 N gota a gota hasta la desaparición del color azul y la aparición de un color amarillo franco.
- ❖ Se efectúa luego una titulación similar a la indicada, reemplazando los 2 mL de vino por la solución de ácido tartárico neutralizada.

Cálculos

$(M - N) 500 = \text{cc} / \text{lt de Permanganato de Potasio } N / 100.$

$(M - N) 5 = \text{Miliequivalentes} / \text{Litro de Permanganato de Potasio}$

$(M - N) 5 = \text{Índice de Permanganato}$

Donde:

M: Son los mL gastados en la titulación con el vino.

N: Son los mL gastados en la titulación con la solución de ácido tartárico neutralizada.



Figura AII.1. Fotografías de la titulación para la determinación del índice de polifenoles
(Fuente propia, 2014)

ANEXO III

DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO FARÁDICO

Para determinar el rendimiento farádico se construyó una curva del cambio de la conductividad en función de la concentración de ácido tartárico, para simular la variación de la conductividad durante el proceso de electrodiálisis en el compartimento concentrado.

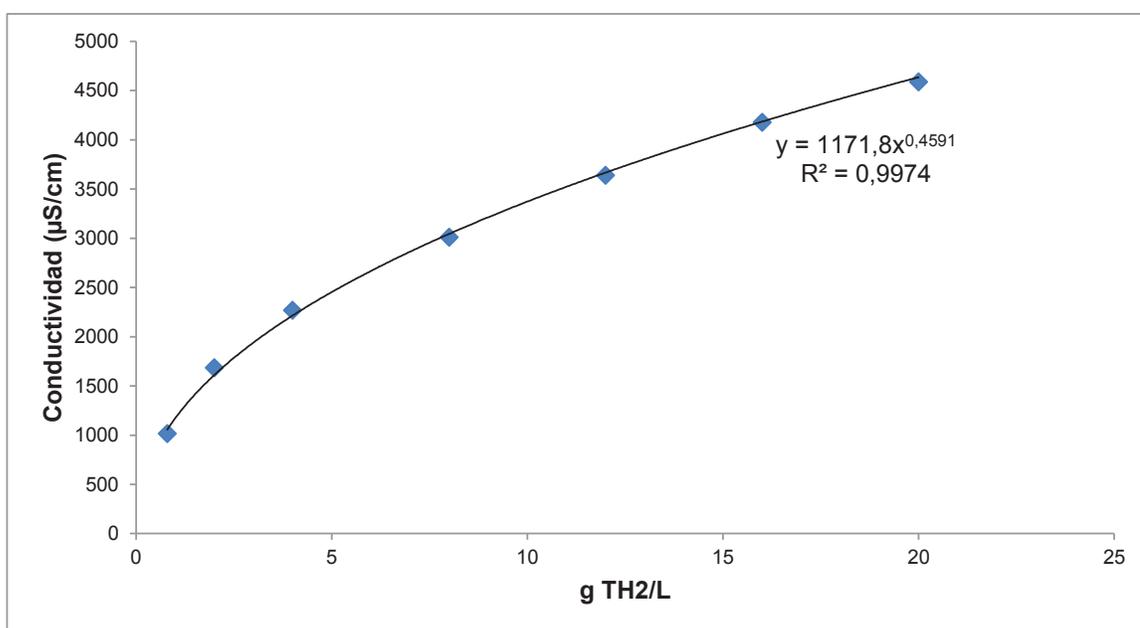
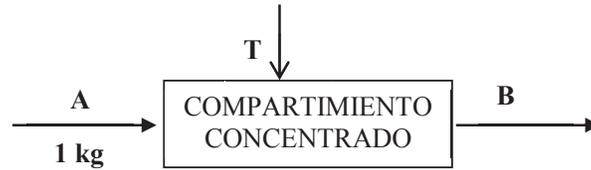


Figura AIII.1. Conductividad de la solución acuosa en función de la concentración de ácido tartárico a 25 °C

Se midió la conductividad antes de iniciar el tratamiento y al finalizar el proceso de electrodiálisis, por balance de masa se determinó la cantidad de ácido tartárico transferido al compartimento concentrado.

Con este valor determinado se calculó los equivalentes teóricos y equivalentes reales.

Balance de masa del compartimiento concentrado



Donde:

A: La masa inicial de la solución de ácido tartárico en el compartimiento concentrado (kg)

B: La masa final de la solución de ácido tartárico en el compartimiento concentrado (kg)

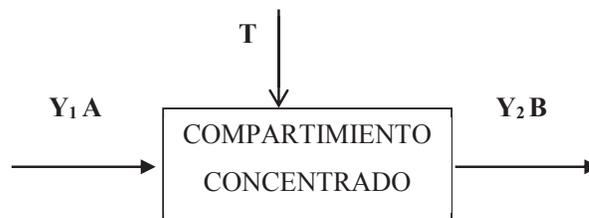
T: La cantidad de ácido tartárico transferido desde el compartimiento diluido (kg)

Balance general

$$A + T = B$$

$$T = B - 1 \text{ kg}$$

Balance parcial para el ácido tartárico



$$Y_1 A + T = Y_2 B$$

Donde:

Y_1, Y_2 : La fracción de ácido tartárico presente en la solución A y B respectivamente

Ejemplo de cálculo

A continuación se muestra un ejemplo de la determinación del rendimiento farádico para lo cual se toma como referencia los datos del tratamiento de 7,5 % de grado de desionización.

La concentración de inicial de ácido tartárico para la solución **A** fue de $\frac{3,75 \text{ g TH}_2}{\text{L solución}}$

$$Y_1 = 3,75 \frac{\text{g TH}_2}{\text{L solución}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1\,000 \text{ kg}} \times \frac{1\,000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg TH}_2}{1\,000 \text{ g TH}_2}$$

$$Y_1 = 3,75 \times 10^{-3}$$

Y_2 se determinó según la gráfica de la Figura AIII.3, en la que se determina la concentración de ácido tartárico en función de la conductividad (kf).

$$kf = 2\,290 \mu\text{S}/\text{cm}$$

$$Y_2 = 4,3 \frac{\text{g TH}_2}{\text{L solución}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1\,000 \text{ kg}} \times \frac{1\,000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg TH}_2}{1\,000 \text{ g TH}_2}$$

$$Y_2 = 4,3 \times 10^{-3}$$

Balance general

$$\begin{aligned} A + T &= B \\ T &= B - 1 \text{ kg} \\ T &= 5,52375 \times 10^{-4} \text{ kg} \end{aligned}$$

Balance parcial

$$\begin{aligned} Y_1 A + T &= Y_2 B \\ (3,75 \times 10^{-3})(1 \text{ kg}) + B - 1 &= 4,3 \times 10^{-3} B \\ B &= 1,000552375 \text{ kg} \end{aligned}$$

Con el valor de T se calcula el rendimiento farádico

$$\eta = \frac{\text{Equivalentes Reales}}{\text{Equivalentes Teóricos}} \times 100 \quad [2.4]$$

$$\text{Equivalente teóricos} = \frac{I_m \times N \times t \times z}{F} \quad [2.6]$$

$$\text{Equivalente teóricos} = \frac{(0,14 \text{ A}) \times 2 \times (2640 \text{ s}) \times (1)}{96\,500 \text{ (c/eq)}}$$

$$\text{Equivalente teóricos} = 0,007660104$$

$$\text{Equivalentes reales} = \frac{m_{TH_2}}{PM} \quad [2.5]$$

$$\text{Equivalentes reales} = \frac{0,552375 \text{ (g)}}{150,087 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)} = 0,00368037$$

$$\eta = \frac{0,00368037}{0,007660104} \times 100 = 48,05 \%$$

ANEXO IV

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Análisis estadísticos realizados con el programa Statgraphics Centurion XV.II, con un nivel de confianza del 95%.

TRATAMIENTO POR FRÍO

Tabla IV.1. Análisis de varianza (ANOVA) para el test de mini-contacto

| Fuente | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Razón-F | Valor -P |
|--------------|-------------------|----------------|---------|----------|
| Entre grupos | 25,6978 | 12,8489 | 8,1000 | 0,0097 |
| Intra grupos | 14,2815 | 1,5868 | | |

Tabla IV.2. Prueba de Rango Múltiples (LSD) para el test de mini-contacto obtenida por cada tratamiento

| Tratamiento | Repeticiones | Media | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|-------|-------------------|
| 22 | 4 | 3,21 | b |
| 15 | 4 | 3,68 | b |
| 8 | 4 | 6,52 | a |

TRATAMIENTO CON ELECTRODIÁLISIS

❖ Rendimiento farádico

Tabla IV.3. Análisis de varianza para el rendimiento farádico

| Fuente | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|--------------|-------------------|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 1247,710 | 415,902 | 5,570 | 0,012 |
| Intra grupos | 895,672 | 74,639 | | |

Tabla IV.4. Prueba de Rangos Múltiples para el rendimiento farácico obtenida por cada tratamiento

| Tratamiento | Repeticiones | Media | Grupos homogéneos |
|-------------|--------------|-------|-------------------|
| 7,5 | 4 | 53,13 | a |
| 15,0 | 4 | 54,07 | a b |
| 30,0 | 4 | 67,02 | bc |
| 22,5 | 4 | 74,05 | c |

❖ **Mini contacto**

Tabla IV.5. Análisis de varianza para el test de mini-contacto

| Fuente | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|--------------|-------------------|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 364,223 | 121,408 | 28,120 | 0,0000 |
| Intra grupos | 51,811 | 4,317 | | |

Tabla IV.6. Prueba de Rango Múltiples para el test de mini-contacto obtenida por cada tratamiento

| Tratamiento | Casos | Media | Grupos homogéneos |
|-------------|-------|-------|-------------------|
| 7,5 | 4 | 0,415 | a |
| 15,0 | 4 | 0,67 | a |
| 22,5 | 4 | 0,85 | b |
| 30,0 | 4 | 1,62 | b |

PARÁMETROS DE CONTROL

❖ **Grado alcohólico**

Tabla IV.7. Análisis de varianza para el grado alcohólico

| Fuente | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|--------------|-------------------|----------------|------------|---------|
| Entre grupos | 3,98003 | 1,99002 | 7023,59000 | 0,00000 |
| Intra grupos | 0,00085 | 0,00028 | | |

Tabla IV.8. Prueba de Rango Múltiples para el grado alcohólico obtenida por cada tratamiento

| Tratamiento | Repeticiones | Media | Grupos homogéneos |
|-----------------|--------------|--------|-------------------|
| Por frío | 2 | 8,015 | c |
| Por ED | 2 | 9,010 | b |
| Sin tratamiento | 2 | 10,010 | a |

❖ pH

Tabla IV.9 Análisis de varianza para el pH

| Fuente | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|--------------|-------------------|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 0,01090 | 0,00545 | 0,47000 | 0,66210 |
| Intra grupos | 0,03445 | 0,01148 | | |

Tabla IV.10. Prueba de Rango Múltiples para el pH obtenida por cada tratamiento

| Tratamiento | Repeticiones | Media | Grupos homogéneos |
|---------------------|--------------|-------|-------------------|
| Sin tratamiento | 2 | 2,20 | X |
| Por electrodiálisis | 2 | 2,12 | X |
| Por frío | 2 | 2,21 | X |

❖ Acidez total

Tabla IV.11. Análisis de varianza para la acidez total

| Fuente | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|--------------|-------------------|----------------|-----------|---------|
| Entre grupos | 2,62523 | 1,31262 | 650,88000 | 0,00010 |
| Intra grupos | 0,00605 | 0,00201 | | |

Tabla IV.12. Prueba de Rango Múltiples para acidez total obtenida por cada tratamiento

| Tratamiento | Repeticiones | Media | Grupos homogéneos |
|---------------------|--------------|--------|-------------------|
| Por electrodiálisis | 2 | 8,555 | a |
| Por frío | 2 | 9,810 | b |
| Sin tratamiento | 2 | 10,070 | c |

❖ **Acidez volátil****Tabla IV.13.** Análisis de varianza para la acidez volátil

| Fuente | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|--------------|-------------------|----------------|-----------|---------|
| Entre grupos | 0,88829 | 0,44414 | 274,73000 | 0,00040 |
| Intra grupos | 0,00485 | 0,00161 | | |

Tabla IV.14. Pruebas de Rangos Múltiple para acidez volátil por tratamiento

| Tratamiento | Repeticiones | Media | Grupos homogéneos |
|---------------------|--------------|-------|-------------------|
| Por electrodiálisis | 2 | 2,280 | a |
| Por frío | 2 | 3,085 | b |
| Sin tratamiento | 2 | 3,107 | b |

❖ **Polifenoles****Tabla IV.15.** Análisis de varianza para los polifenoles

| Fuente | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|--------------|-------------------|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 20,5833 | 10,2917 | 35,4900 | 0,0082 |
| Intra grupos | 0,8700 | 0,2900 | | |

Tabla IV.16. Pruebas de Múltiple Rangos para acidez volátil por tratamiento

| Tratamiento | Repeticiones | Media | Grupos homogéneos |
|---------------------|---------------------|--------------|--------------------------|
| Por frío | 2 | 8,25 | b |
| Por electrodiálisis | 2 | 11,75 | a |
| Sin tratamiento | 2 | 12,50 | a |

❖ **Cenizas****Tabla IV.17.** Análisis de varianza para las cenizas

| Fuente | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|--------------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Entre grupos | 0,145433 | 0,072716 | 150,45 | 0,0010 |
| Intra grupos | 0,00145 | 0,000483 | | |

Tabla IV.18. Pruebas de Múltiple Rangos para las cenizas por tratamiento

| Tratamiento | Repeticiones | Media | Grupos homogéneos |
|---------------------|---------------------|--------------|--------------------------|
| Por electrodiálisis | 2 | 0,73 | a |
| Por frío | 2 | 0,83 | b |
| Sin tratamiento | 2 | 1,10 | c |

ANEXO V

CONDUCTIVIDAD DE LOS COMPARTIMIENTOS DE LOS ELECTRODOS

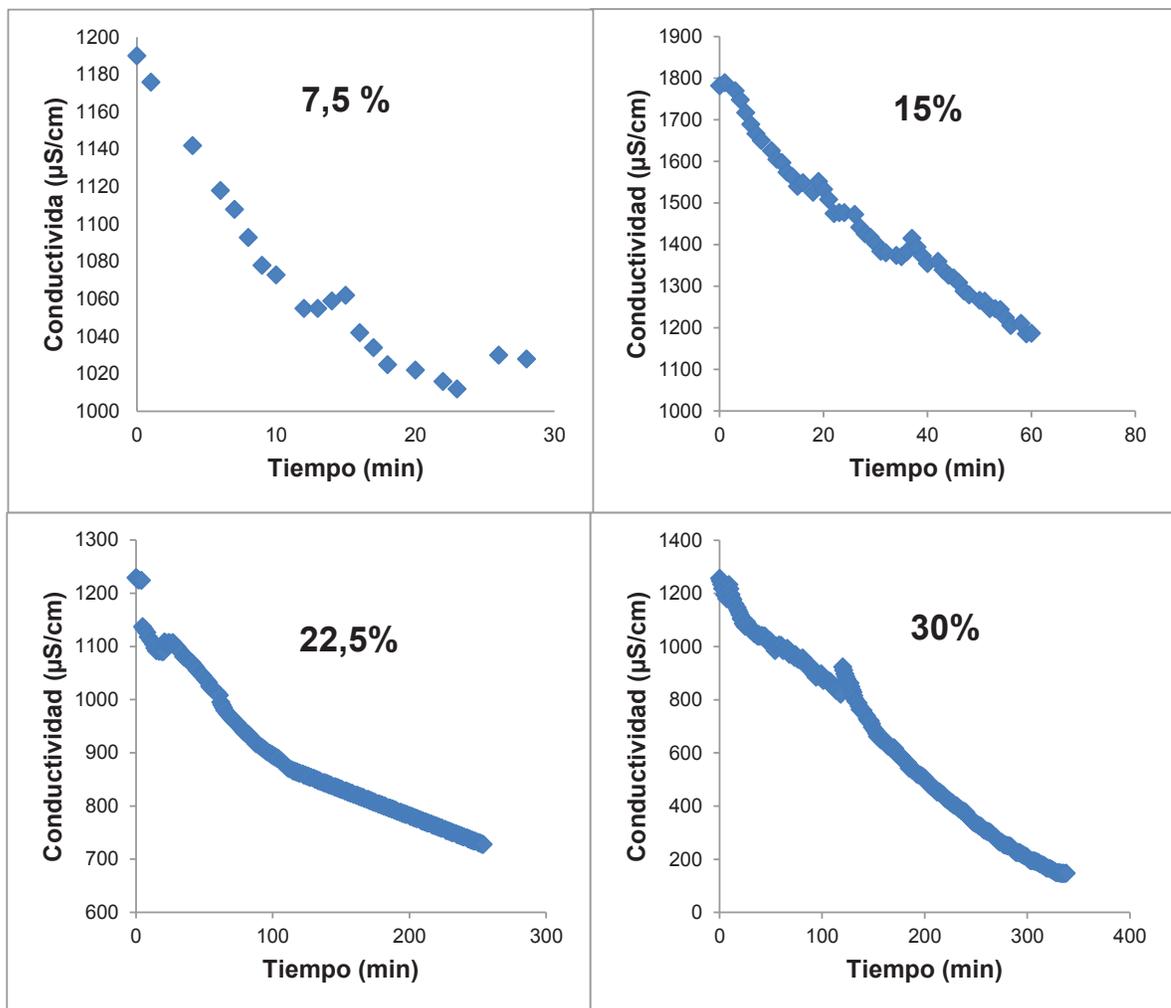


Figura V.1. Conductividad en función del tiempo de los compartimentos de los electrodos para cada grado de desionización

ANEXO VI

MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA

❖ Balance de masa

Datos:

$$\rho_{\text{vino 10 \% alcohol}} = 983,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{mosto}} = 1\,074,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{Jacobson, 2006, p. 129})$$

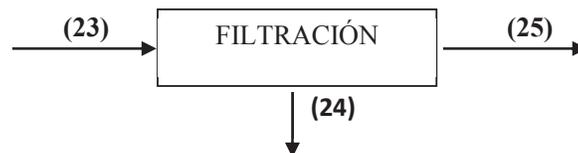
Base: 1 día (8 horas)



$$(27) = (26) = 1101,63 \text{ vino tinto joven}$$



$$(26) = (25) = 1101,63 \text{ kg vino tinto joven}$$



$$\text{Retenido [1 \% \times (23)]} \quad (\text{Hidalgo, 2011, p. 1738})$$

$$(23) = (24) + (25)$$

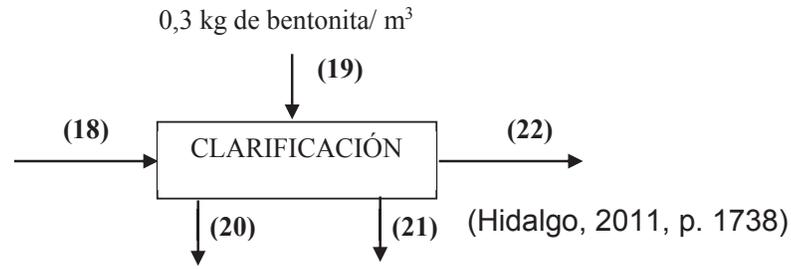
$$(23) = [0,01(23)] + 1101,63 \text{ kg vino tinto joven}$$

$$(23) = 1112,757 \text{ kg vino tinto joven}$$

$$(24) = 11,128 \text{ kg de filtrado}$$

(A) Por frío

$$(22) = (23) = 1\,112,757 \text{ kg vino tinto joven}$$



$$0,3 \text{ kg de bentonita/ m}^3 \quad \text{Sedimentos [1 \% \times (18)]}$$

$$(19) = (20)$$

$$(18) + (19) = (20) + (21) + (22)$$

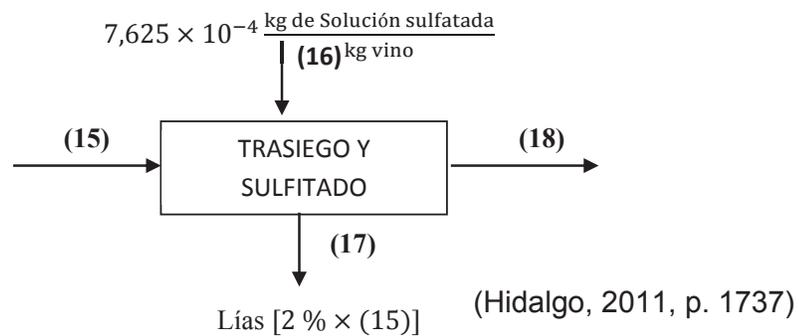
$$(18) = 1\,112,757 + [0,01 \times (18)]$$

$$(18) = 1\,123,99 \text{ kg vino tinto joven}$$

$$(21) = 11,24 \text{ kg sedimentos}$$

$$(19) = \frac{0,3 \text{ kg bentonita}}{\text{m}^3} \times 1\,123,99 \text{ kg} \times \frac{\text{m}^3}{983,6 \text{ kg}} = 0,342 \text{ kg bentonita}$$

$$(20) = 0,342 \text{ kg bentonita}$$



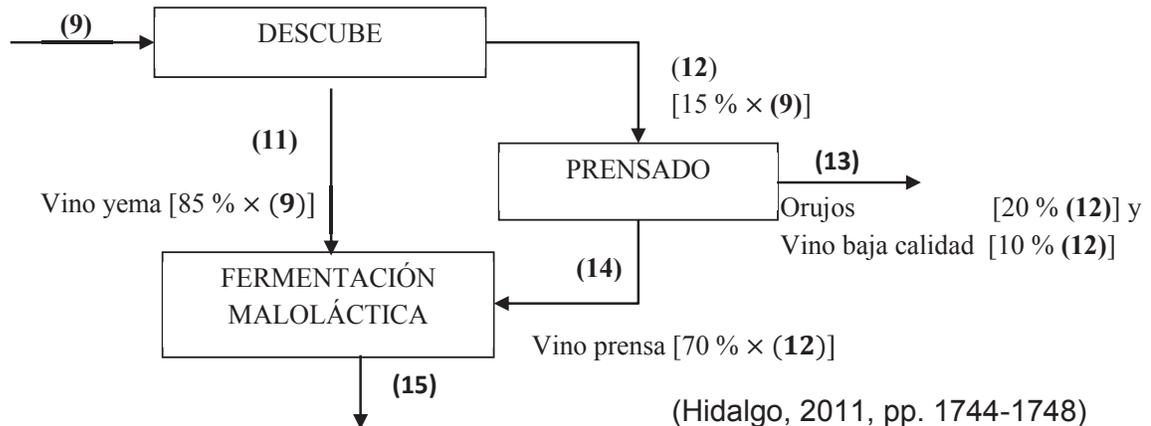
$$(15) + (16) = (17) + (18)$$

$$(15) + \left[7,625 \times 10^{-4} \frac{\text{kg de Solución sulfatada}}{\text{kg vino}} \times (15) \right] = [0,02 \times (15)] + 1123,99$$

(15) = 1 146,037 kg vino tinto joven

(16) = 0,8738 kg solución sulfatada

(17) = 22,92 kg Lías



$$(11) = [0,85 \times (9)] \rightarrow (9) = \frac{(11)}{0,85}$$

$$(12) = [0,15 \times (9)] \rightarrow (9) = \frac{(12)}{0,15}$$

$$\frac{(11)}{0,85} = \frac{(12)}{0,15} \rightarrow (11) = (12) \frac{0,85}{0,15} \{A\}$$

Balance fermentación maloláctica

$$(11) + (14) = (15)$$

$$\frac{0,85}{0,15}(12) + 0,7(12) = 1\,146,037$$

(12) = 180,001 kg de descubado

(11) = 1020 kg vino yema

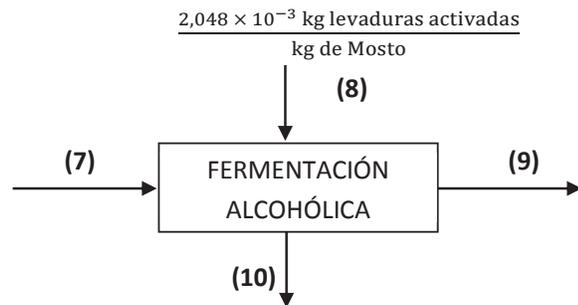
(9) = 1200 kg de vino yema

(14) = 126,037 kg vino prensa

Balance en el prensado

$$(12) = (13) + (14)$$

(13) = 53,964 kg de Orujos y vino de baja calidad



Pérdidas[3% × (7)] (Hidalgo, 2011, p. 1737)

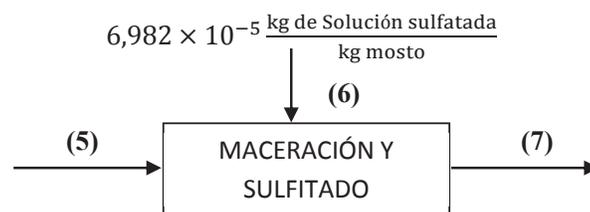
$$(7) + (8) = (9) + (10)$$

$$(7) + \frac{2,048 \times 10^{-3} \text{ kg levaduras activadas}}{\text{kg de Mosto}} (7) = [0,03 \times (7)] + 1200 \text{ kg}$$

$$(7) = 1\,234,506 \text{ kg mosto}$$

$$(10) = 37,035 \text{ kg en pérdidas}$$

$$(8) = 2,529 \text{ kg en levaduras activadas}$$



$$(5) + (6) = (7)$$

$$(5) + \left[6,982 \times 10^{-5} \frac{\text{kg de Solución sulfatada}}{\text{kg mosto}} \times (5) \right] = 1\,234,506$$

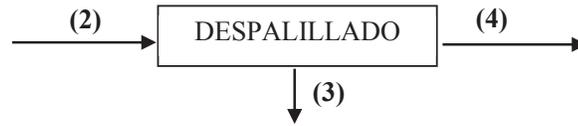
$$(5) = 1\,234,419 \text{ kg de mosto}$$

$$(6) = 0,0861 \text{ kg de solución sulfatada}$$



$$(4) = (5)$$

$$(4) = 1\,234,419 \text{ kg de mosto}$$



Raspón [5 % × (2)] (Hidalgo, 2011, p. 1735)

$$(2) = (3) + (4)$$

$$(2) = [5 \% \times (2)] + 1\,234,419 \text{ kg}$$

$$(2) = 1\,299,388 \text{ kg Vendimia}$$

$$(3) = 64,969 \text{ kg Raspón}$$

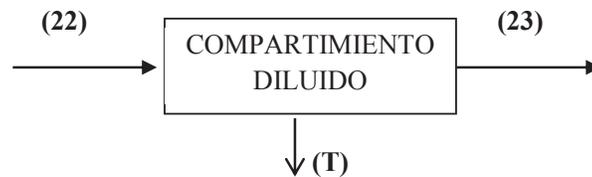


$$(1) = (2) = 1\,299,388 \text{ kg de uva}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{1\,101,63 \text{ kg vino tinto joven}}{1\,299,388 \text{ kg}} * 100 = 84,78 \%$$

(B) Por electrodiálisis

Para el balance de masa en el proceso de electrodiálisis se considero datos experimentales obtenidos en este trabajo y especificaciones del equipo



$$(22) = (23) + (a)$$

La corriente (T) representa la cantidad de ácido tartárico extraído del vino experimentalmente, se determinó que se extrae $\frac{0,545 \text{ g TH}_2}{250 \text{ mL}}$ para un 7,5 % de grado de desionización.

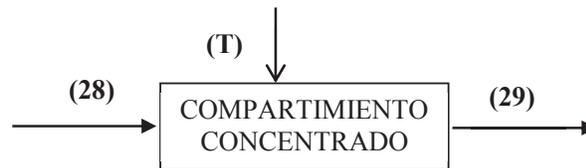
$$\frac{0,545 \text{ g TH}_2}{250 \text{ mL vino}} \times \frac{1000 \text{ mL vino}}{1 \text{ L vino}} \times \frac{1 \text{ kg TH}_2}{1000 \text{ g TH}_2} \times \frac{\text{m}^3 \text{ vino}}{983,6 \text{ Kg vino}} \times \frac{1000 \text{ L vino}}{1 \text{ m}^3 \text{ vino}} = \frac{2,216 \times 10^{-3} \text{ kg TH}_2}{\text{kg vino}}$$

$$(T) = \frac{2,216 \times 10^{-3} \text{ kg TH}_2}{\text{kg vino}} \times 1112,75 \text{ kg vino} = 2,446 \text{ kg TH}_2$$

$$(22) = (23) + (T)$$

$$1112,75 \text{ kg vino} = (23) + 2,446 \text{ kg TH}_2$$

$$(23) = 1110,28 \text{ kg de vino}$$



$$(28) + (T) + (29)$$

Para determinar la cantidad de solución de ácido tartárico en el compartimento concentrado se consideró las especificaciones técnicas del equipo de electrodiálisis.

Para un proceso batch de 25 minutos se requiere $\frac{180 \text{ L H}_2\text{O}}{55 \text{ L de vino}}$, se considera 3 recirculaciones.

Tiempo promedio para que el vino alcance 7,5 % de grado de desionización es de 38 minutos (Dato experimental).

$$(28) = \frac{180 \text{ L H}_2\text{O}}{55 \text{ L vino}} \times \frac{\text{m}^3 \text{ vino}}{983,6 \text{ kg vino}} \times \frac{1000 \text{ L vino}}{\text{m}^3 \text{ vino}} \times \frac{1000 \text{ kg H}_2\text{O}}{\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}} \times \frac{\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}}{1000 \text{ L H}_2\text{O}}$$

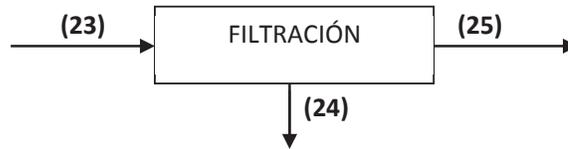
$$(28) = 3,327 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg vino}} \times \frac{38 \text{ min}}{25 \text{ min} \times 3 \text{ recirculaciones}} \times 1112,75 \text{ kg vino}$$

$$(28) = 1875,74 \text{ kg H}_2\text{O}$$

$$(28) + (T) + (29)$$

$$(29) = 1878,2 \text{ kg}$$

Para el proceso de filtración también se realizó el balance de masa después del proceso de estabilización tartárica por electrodiálisis.



$$(23) = (24) + (25)$$

$$1\ 110,28\ \text{kg de vino} = (24) + 1\ 101,63\ \text{kg de vino}$$

$$(24) = 8,65\ \text{kg}$$

❖ Balance de energía

Los modelos matemáticos se tomaron del artículo: Modelo matemático para la predicción de las necesidades de frío durante la producción de vino (Palacios, Udaquiola, y Rodriguez, 2009, pp. 214 -216).

1. Pre – enfriamiento del mosto

$$E_{\text{pre-Enfriamiento}} = \rho_{\text{mosto}} V C_{p_{\text{mosto}}} (T_o - T_f) + E_{\text{pared}}$$

$$E_{\text{pared}} = 0,1 E_{\text{pre-enfriamiento}}$$

$$C_p = 0,1 [S_o - 2,17 E] + 866$$

Donde:

ρ : Densidad del mosto $\left(\frac{\text{g}}{\text{L}}\right)$

V: Volumen de mosto tratado (m^3)

C_p : Calor específico $\left(\frac{\text{Cal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$

E_{pared} : Energía intercambiada por la pared del fermentador

T_o : Temperatura de inicial ($^\circ\text{C}$)

T_f : Temperatura final ($^\circ\text{C}$)

S_o : Concentración de Azúcar $\left(\frac{\text{g}}{\text{L}}\right)$

E: Concentración de etanol presente en el mosto $\left(\frac{g}{L}\right)$

2. Fermentación alcohólica

$$E_{acum} = E_{fer} + E_{pared} + E_{evap} + Q_c$$

Donde:

E_{acum} : Energía Acumulada

E_{fer} : Energía de fermentación

E_{pared} : Energía de pared

E_{evap} : Energía de evaporación

Q_c : Potencia requerida para enfriar el tanque

$$E_{pared} = 0,1 E_{fer}$$

$$E_{evap} = 0,04 E_{fer}$$

$$E_{acum} = 10^{-3} \rho_{mosto} V C_p \frac{dT}{dt}$$

$$E_{fer} = \frac{(500)(2,17)}{180} V \frac{dE}{dt}$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta X_A$$

$$\beta = \frac{B_{max} S}{k_s + S}$$

Donde:

$\frac{dT}{dt}$: Velocidad de cambio de la temperatura del mosto con el tiempo

$\frac{dE}{dt}$: Cantidad de etanol presente en el mosto con el tiempo

β : Velocidad específica de utilización de azúcar

B_{max} : La velocidad específica máxima de utilización de azúcar

K_s : Constante de Michaelis- Menten

| | |
|-----------------|--------------|
| Log Bmax= 0,613 | Bmax = 4,102 |
| Log ks = 2,30 | ks = 199,52 |

3. Estabilización tartárica

(A) Por frío

$$E_{\text{estabilización}} = \rho_{\text{vino}} V C_{p_{\text{vino}}} (T_e - T_f) + E_{\text{pared}}$$

$$E_{\text{pared}} = 0,1 E_{\text{estabilización}}$$

(B) Por electrodiálisis

$$W = \frac{\sum U^{\Delta t} \times i \times \Delta t}{V_{\text{vino}}} \quad \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \text{vino}} \right] \quad (\text{Vera et al, 2009, p. 72})$$

Donde:

$\sum U^{\Delta t}$: Voltaje promedio durante Δt cuando i se aplica a la celda

i : intensidad de corriente

Δt : tiempo de operación

$$W = \frac{17,55 \text{ V} \times 0,14 \text{ A} \times 38,75 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}}{2,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$W = 2,2 \times 10^7 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ kWh}}{3,6 \times 10^6 \text{ J}}$$

$$W = 6,34 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \times 1,12 \text{ m}^3$$

$$W = 7,1 \text{ kWh}$$

Circuito de refrigeración

Por frío El circuito está diseñado para enfriar con agua glicolada, el agua glicolada contiene el 15 % de propilenglicol un anticongelante, con esta concentración el agua alcanza hasta los - 5,05 °C (MAGSRL, 2006).

$$C_{P \text{ Mezcla}} = X_{H_2O} C_{P_{H_2O}} + X_{\text{Propilenglicol}} C_{P_{\text{propilenglicol}}}$$

$$C_{P \text{ Mezcla}} = (0,70) \left(4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right) + (0,30) \left(2,51 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right)$$

$$C_{P \text{ Mezcla}} = 3,67 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Para determinar la cantidad de agua glicolada necesaria por el sistema se aplicó la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{proceso}} = Q_{\text{agua glicolada}}$$

$$Q_{\text{proceso}} = m_{\text{agua glicolada}} \times C_{P_{\text{agua glicolada}}} \times \Delta T$$

Donde:

Q: Calor (kJ)

m: masa (kg)

Cp: calor específico (kJ/kg K)

ΔT : variación de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Por electrodiálisis Este sistema se diseñó para enfriar los tanques con agua, el cálculo se realizó de la misma manera que para el circuito por frío, el Cp del agua es de 4,18 kJ/kg K.

4. Almacenamiento de materia prima

Se diseñó una cámara frigorífica con capacidad de almacenamiento de 6 500 kg de uva o cinco días de producción.

Datos

$$m = 6\,500 \text{ kg}$$

$$C_{P_{\text{uva}}} = 3,976 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^{\circ}\text{C}}$$

Balance de energía

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{PP}} + Q_{\text{PA}} + Q_{\text{I}} + Q_{\text{P}} + Q_{\text{M}} + Q_{\text{R}} + Q_{\text{E}}$$

Donde:

- a) Q_{PP} = Calor perdido por las paredes
- b) Q_{A} = Calor perdido por ventilación
- c) Q_{I} = Calor de iluminación
- d) Q_{P} = Calor por personas
- e) Q_{M} = Calor por motores
- f) Q_{R} = Calor del producto
- g) Q_{E} = Calor del embalaje

a) Pérdida por paredes

$$S = 2 [(a \times b) + (b \times c) + (c \times a)]$$

Donde:

S = superficie de la cámara exterior (m^2)

a = ancho exterior (m)

b = largo exterior (m)

c = alto exterior (m)

$$Q_{\text{PP}} = S \times K \times (T_{\text{e}} - T_{\text{i}}) \times (t)$$

Donde:

K: Coeficiente de transmisión del aislante $\left(\frac{\text{W}}{\text{hm}^2\text{°C}}\right)$

T_{e} : Temperatura externa ($^{\circ}\text{C}$)

T_{i} : Temperatura interna ($^{\circ}\text{C}$)

t: tiempo (24 h)

b) Renovación de aire

$$Q_A = V \times (\Delta h) \times n$$

Donde:

Q_A : Potencia calorífica del aire

V : Volumen de la cámara (m^3)

Δh : Calor del aire $\left(\frac{kcal}{m^3}\right)$

n : número de renovaciones de aire por día

c) Iluminación

$$Q_I = P \times t$$

Donde:

P : Potencia de las lámparas

t : tiempo de funcionamiento

d) Calor por personas

$$Q_P = q \times n \times t$$

Donde:

q : Calor por persona (W)

n : Número de personas en la cámara

t : tiempo (h)

e) Calor por motores

$$Q_M = f \times \sum P \times t$$

Donde

f: factor de conversión de energía eléctrica en calorica

P: Potencia de los motores

t: tiempo de funcionamiento del motor en una hora

f) Calor del producto

$$Q_R = Q_c + Q_r$$

Donde:

Q_c : Calor de la carga

Q_r : Calor de respiración

$$Q_c = m \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_r = C \times m$$

Donde:

m: Masa del producto (kg)

C_p : Calor específico del producto $\left(\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}\right)$

ΔT : Varición de temperatuta ($^\circ C$)

C: Calor de respiración del producto $\left(\frac{W}{kg}\right)$

g) Calor del embalaje

$$Q_E = C_E \times m_E \times \Delta T$$

Donde:

C_E : Calor especifico del embalaje

m_E : Masa del embalaje

ΔT : Variacion de temperatura

Tabla VI.1. Especificaciones de la cámara de refrigeración

| | Cantidad | Unidades |
|--|------------------------------------|-----------------|
| Capacidad | 6 500 | kg |
| Temperatura | 4 | °C |
| Dimensiones internas de la cámara | | |
| Largo | 5,96 | m |
| Alto | 2,5 | m |
| Ancho | 4,88 | m |
| Aislante | Poliestireno | |
| Espesor | 50 | mm |
| Dimensiones externas de la cámara | | |
| Largo | 6,01 | m |
| Alto | 2,55 | m |
| Ancho | 4,94 | m |
| Forma de almacenamiento | Apilamiento de gavetas de plástico | |
| Capacidad | 20 | kg |
| Número de gavetas | 433 | |

5. Dimensionamiento de cámara de almacenamiento de producto terminado

Se diseñó la cámara con capacidad de almacenamiento de 3 días de producción. El vino se empaqueta en cajas de cartón de 12 botellas cada una, la cámara tiene la capacidad de almacenamiento de 465 cajas. Las cajas se apilan en palets de 45 cajas.

Tabla VI.2. Especificaciones de la cámara de refrigeración

| | | |
|--------------------------|------|---|
| Número de palets | 10 | |
| Dimensiones del palet | | |
| Largo (L) | 1,2 | m |
| Ancho (A) | 0,8 | m |
| Alto (H) | 1.55 | m |
| Dimensiones de la cámara | | |
| Largo (L) | 6,9 | m |
| Ancho (A) | 4,1 | m |
| Alto (H) | 3,5 | m |

ANEXO VII

**FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE
PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN**

PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN

Proceso: Recepción de materia prima

Marca: Gamusa

Equipo: Tolva-basculante

Modelo: COMPUT-V3



Especificaciones técnicas

Dimensiones (m)

Largo: 1

Ancho: 0,7

Altura: 2

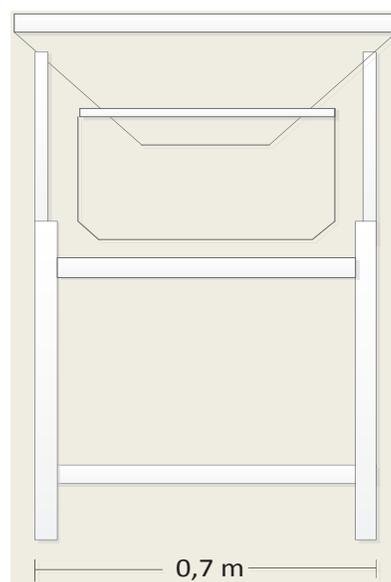
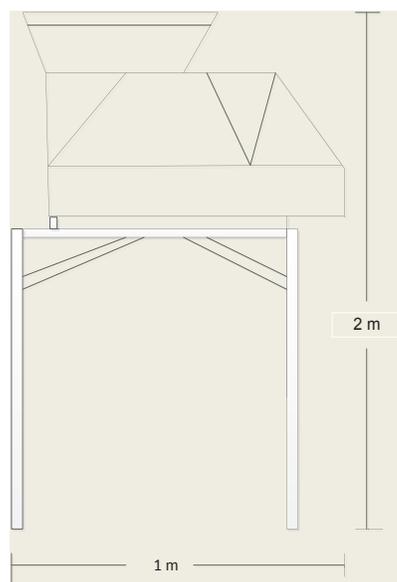
Condiciones de operación:

Capacidad: 3 m³

Potencia: 2 x 1.5 kW

Material: Acero inoxidable

Diagrama del Equipo



Recuperado de: www.interempresas.net

PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN

Proceso: Recepción de materia prima

Marca: Gamusa

Equipo: Mesa de selección

Modelo: MGV- 2.5



Especificaciones técnicas

Dimensiones (m)

Largo: 2,5

Ancho: 0,8

Altura: 0,9 -1

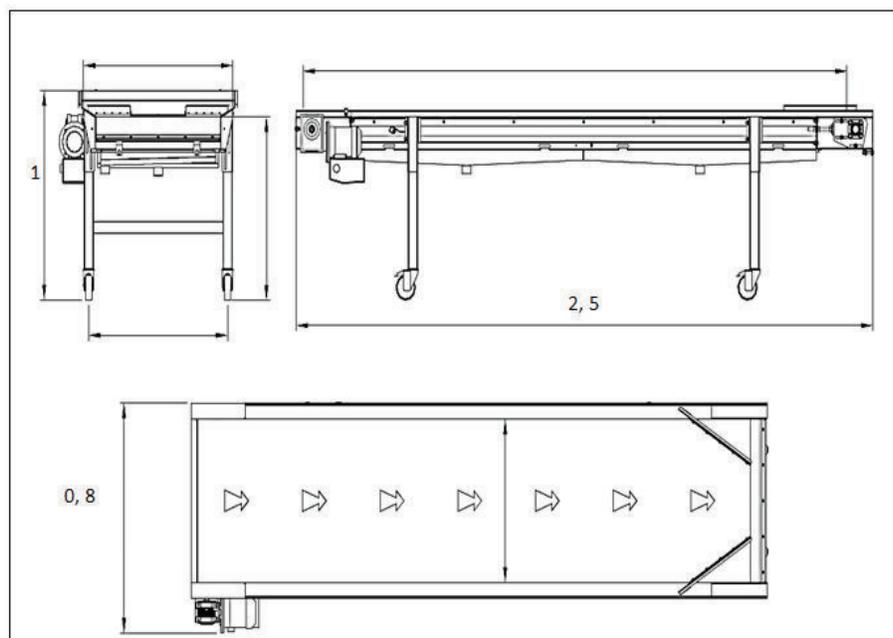
Condiciones de operación:

Potencia: 2x0,3 kW

Protección térmica y variador de velocidad electrónico

Material: Acero inoxidable AISI 304, banda lisa de PVC alimentario

Diagrama del Equipo



Recuperado de: www.interempresas.net

PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN

Proceso: Despalillado-estrujado

Marca: Enotecnica Pillan

Equipo: Despalilladora-estrujadora

Modelo: Molinaria



Especificaciones técnicas

Dimensiones (m)

Largo: 1,33

Ancho: 0,53

Altura: 0,63

Condiciones de operación:

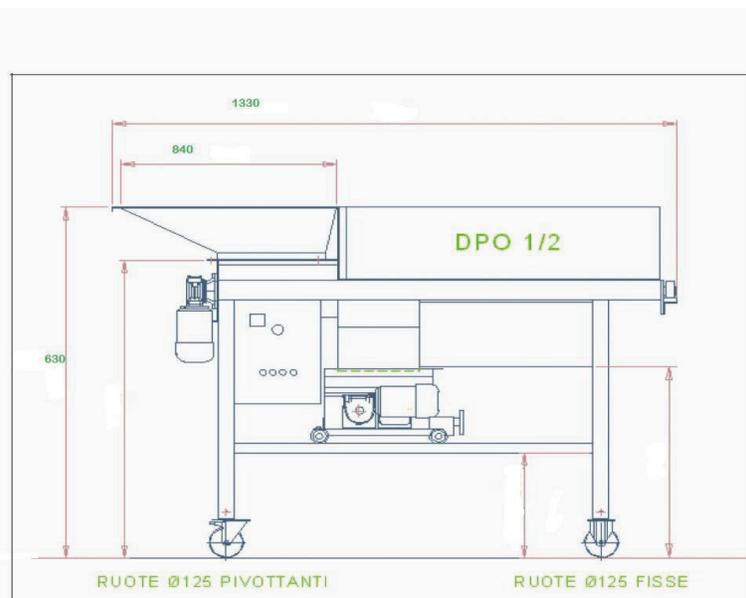
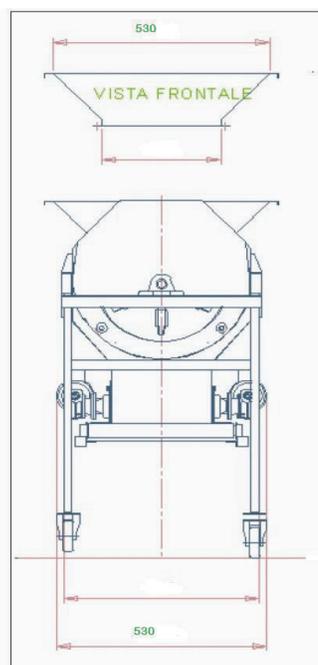
Capacidad: 1,8 Ton /h

Peso: 38-48 kg

Potencia: 1 HP

Material: Acero Inoxidables

Diagrama del Equipo



Recuperado de: www.enotecnicapillan.it

PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN

Proceso: Maceración, fermentación, clarificación

Marca: Letina

Equipo: Tanque

Modelo: Z 1450 A10



Especificaciones técnicas

Dimensiones (m)

Diámetro (ϕ): 0,956

Altura (H): 2,58

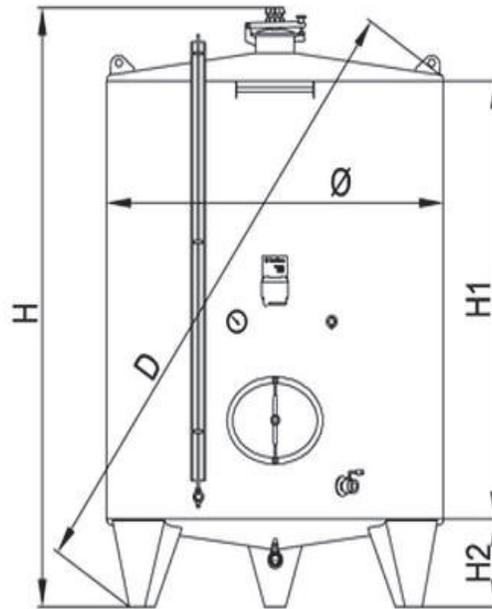
Condiciones de operación:

Capacidad: 1,450 m³

Área/Volumen chaqueta de refrigeración: 0,5 m²/ 1 000 L

Material: Acero inoxidable AISI 304

Diagrama del Equipo



Recuperado de: www.letina.com

PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN

Proceso: Prensado

Marca: Enotecnica Pillan

Equipo: Prensa

Modelo: TICO 60



Especificaciones técnicas

Dimensiones (m)

Largo: 1,1

Ancho: 0,6

Altura: 2,15

Diámetro del pistón: 90 mm

Condiciones de operación:

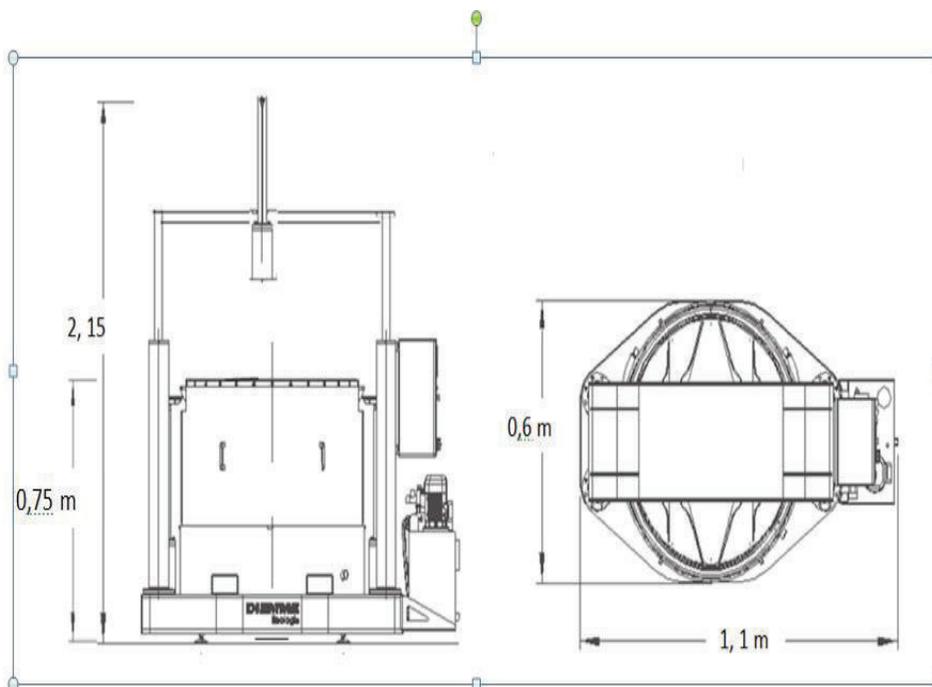
Capacidad: 212 L

Peso: 280 kg

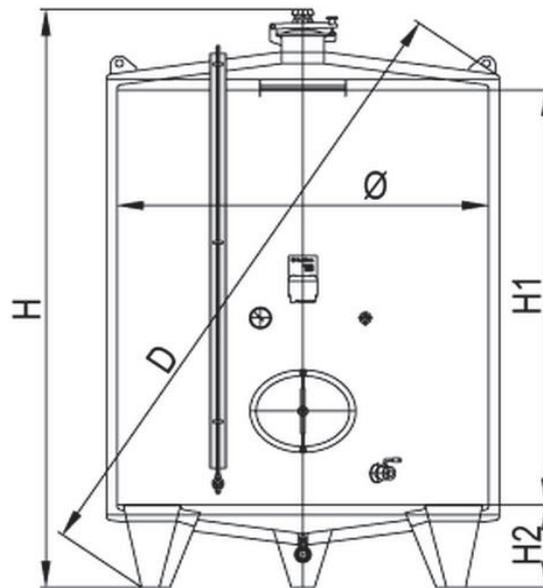
Presión: 350 Bar

Material: Acero moldeado y duelas de madera

Diagrama del Equipo



Recuperado de: www.enotecnicapillan.it

PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN**Proceso:** Estabilización tartárica**Marca:** Letina**Equipo:** Tanque de estabilización**Modelo:** IZO 1450 A11**Especificaciones técnicas****Dimensiones (m)****Diámetro (ϕ):** 0,956**Altura (H):** 2,45**Espesor aislamiento:** 50 mm**Condiciones de operación:****Capacidad:** 1,450 m³**Área/Volumen chaqueta de refrigeración:** 1m²/ 1 000 L**Material:** Acero inoxidable AISI 304 y capa de poliuretano**Diagrama del Equipo**Recuperado de: www.letina.com

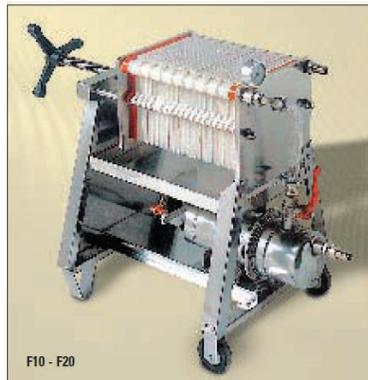
PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN

Proceso: Filtración

Marca: Enotecnica Pillan

Equipo: Filtro

Modelo: F10



Especificaciones técnicas

Dimensiones (m)

Largo: 0,45

Ancho: 0,4

Altura: 0,65

Condiciones de operación:

Capacidad: 120-240 L/h

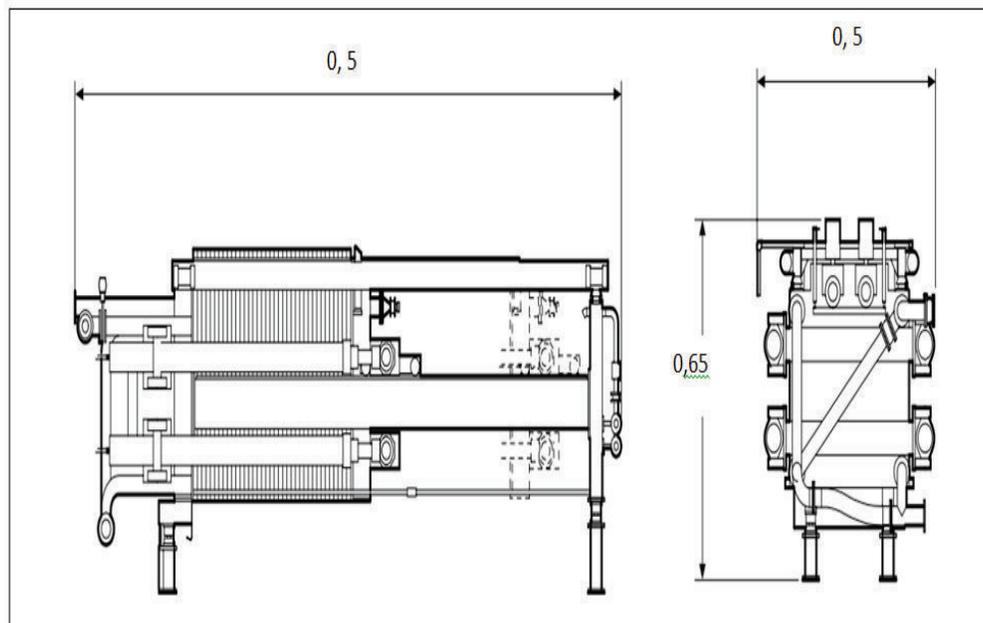
Peso: 29 kg

Potencia: 0,5 HP

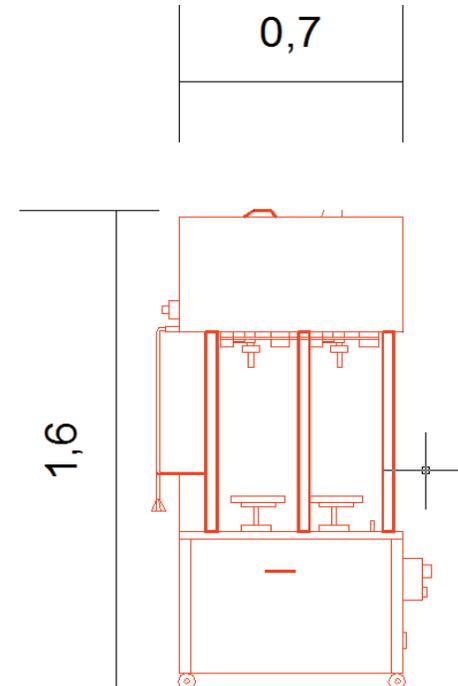
Superficie filtrante : 0,4 m²

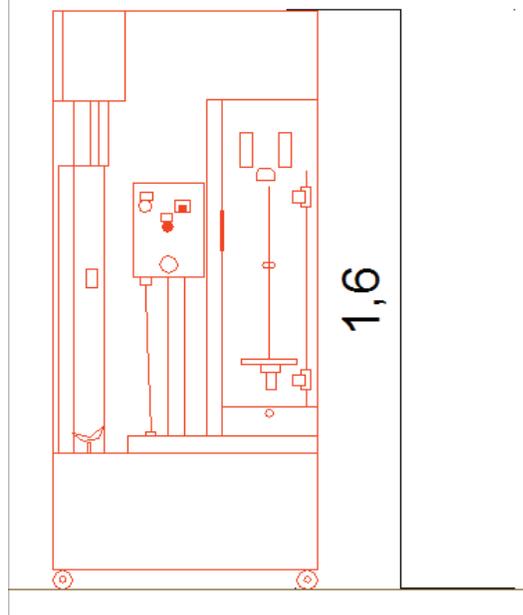
Material: Acero inoxidable AISI 304, placas de MOPLEN atoxico

Diagrama del Equipo



Recuperado de: www.enotecnicapillan.it

PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN**Proceso:** Envasado**Marca:** Agrovin**Equipo:** Embotelladora**Modelo:** PG97/B2**Especificaciones técnicas****Dimensiones (m)****Largo:** 0,7**Ancho:** 0,4**Altura:** 1,6**Condiciones de operación:****Capacidad:** 400 botellas/h**Material:** Acero inoxidable**Diagrama del Equipo**Recuperado de: www.agrovin.com

PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN**Proceso:** Envasado**Marca:** Gamusa**Equipo:** Taponadora –enjauladora**Modelo:** M - 941**Especificaciones técnicas****Dimensiones (m)****Largo:** 0,7**Ancho:** 0,4**Altura:** 1,6**Condiciones de operación:****Capacidad:** 500 botellas/hora**Peso:** 180 kg**Potencia:** 1,5 CV**Material:** Acero inoxidable AISI 304**Diagrama del Equipo**Recuperado de: www.interempresas.net

PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN

Proceso: Almacenamiento de producto terminado **Marca:** TCM

Equipo: Monta cargas

Modelo: FG18-S1



Especificaciones técnicas

Dimensiones (m)

Largo: 3,33

Ancho: 1,065

Altura: 2,115

Condiciones de operación:

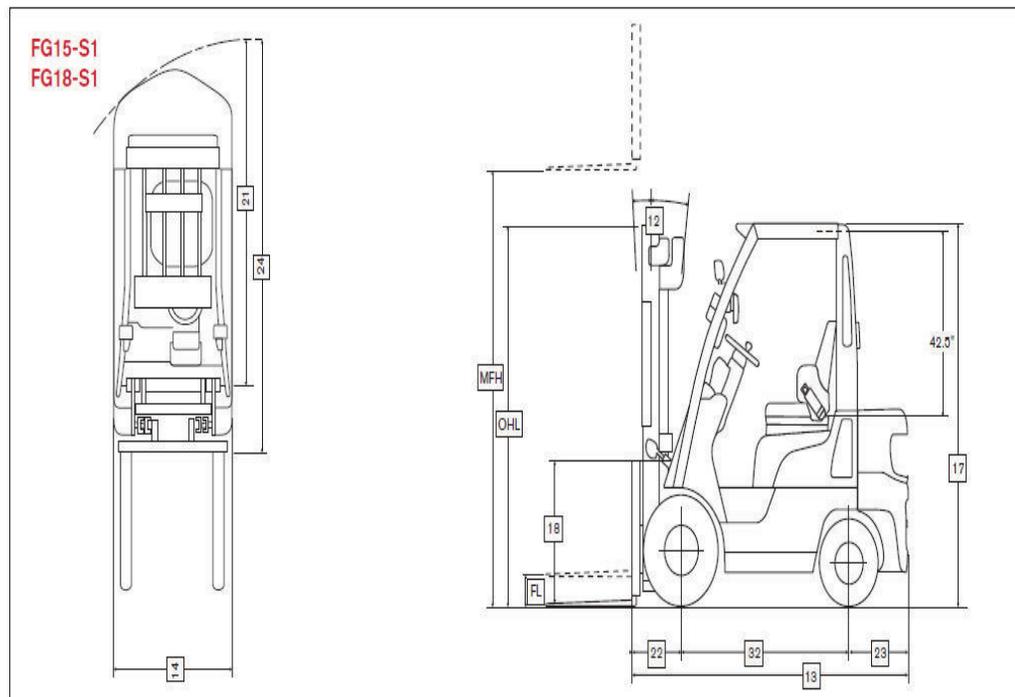
Capacidad: 1,5 TON

Peso: 2635 kg

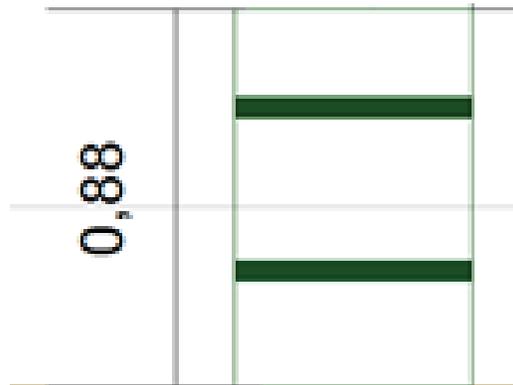
Potencia: 34 kW

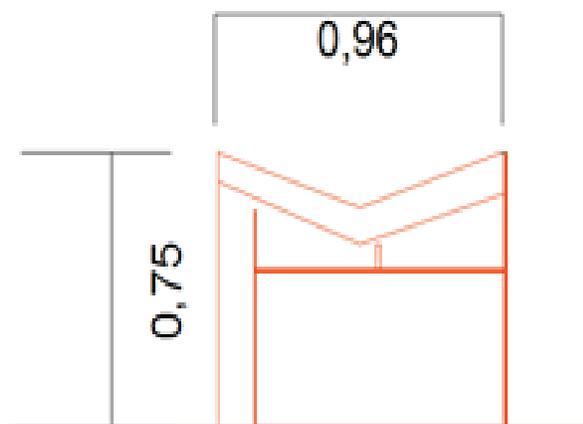
Combustible: GLP

Diagrama del Equipo



Recuperado de: www.unicarriers.co

PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN**Proceso:** Despalillado y prensado**Marca:** Plastigama**Equipo:** Tanque para orujos y raspón**Especificaciones técnicas****Dimensiones (m)****Diámetro:** 0,56m**Alto:** 0,88 m**Capacidad:** 210 L**Material:** Polietileno**Diagrama del Equipo**Recuperado de: sitio.plastigama.com

PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN**Proceso:** Envasado**Marca:** Durfo**Equipo:** Enjuagadora de botellas**Modelo:** SC 1 500**Especificaciones técnicas****Dimensiones (m)****Diámetro:** 0,96 m**Alto:** 0,75 m**Condiciones de operación:****Capacidad:** 1 000 b/h**Tensión de alimentación:** 220 Volt**Potencia:** 0,37 kW**Temperatura máxima:** Agua a 60 °C**Inyección máxima:** 5,5 s**Escurrimiento:** 30 s**Consumo de agua:** 30-50 L/h**Diagrama del Equipo**Recuperado de: www.durfo.es

PRODUCCIÓN DE VINO TINTO JOVEN

Proceso: Estabilización tartárica

Marca: PCA-Polymerchemie Altmeier

Equipo: Electrodiálizador

Modelo: PCCell ED - P10



Especificaciones técnicas

Dimensiones (m)

Alto: 1,5 m

Ancho: 1,65 m

Profundidad: 0,8 m

Área de la membrana: 10 m²

Condiciones de operación:

Tipo de operación: Batch

Tensión de alimentación: 400 V 50 Hz

Temperatura: 5 - 40 °C

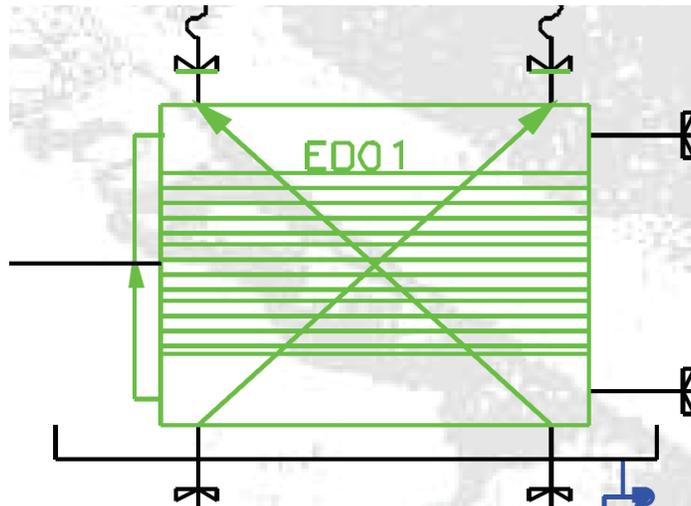
Presión máxima: 1,1 bar

Rango de pH: 1 - 9

Cantidad diluido / Batch: 45 – 55 L

Tiempo batch: 25 min

Diagrama del Equipo



Recuperado de: www.electrodialysis.de

