**1.1.- Introducción**

La viticultura en Tarija ha sido una de las principales tendencias que han existido en la región debido a su importancia social y cultural, según cuenta Aguilera Fierro (2023) esta práctica nace con fines religiosos a través de los padres Agustinos y los Jesuitas, quienes requerían de esta planta para producir el vino, el cual era usado en sus oficios religiosos y también como licor festivo y de consumo cotidiano. Es en el año 1962 cuando algunos empresarios de la época deciden hacer grandes plantaciones para la época, formando los primeros cimientos de industrialización, es así como diversas comunidades campesinas se dedicaron a cultivar su propia vid. Para la década del 90, Tarija contaría con el 40% de la superficie de plantación de uva del país.

El crecimiento de esta actividad en ningún momento se detuvo en la región, es así como un análisis realizado por la Asociación Nacional de Productores Vitivinícolas (Anavit) en el año 2023 señala que Tarija representa el 85% de la capacidad productiva del país (Suarez, 2023). Este dato frente al 40% que se presentaba en la década de los 90 refleja claramente la importancia de esta actividad en la región, desplazando por completo al resto de departamentos a un plano secundario en lo que a viticultura se refiere.

Con el crecimiento de esta actividad, los métodos de producción de vino también tuvieron que ser reemplazados, mejorados y optimizados para no quedar obsoletos y obtener mejores resultados en lo que a industria se refiere. En los últimos 20 años la producción industrial se sobrepuso a la producción artesanal, dando como resultado un estimado de 52 bodegas en el país, de las cuales 10 pertenecen a la ciudad de Tarija y representan el 80% de la producción total (Carpio San Miguel, 2024), demostrando nuevamente que la región es la más importante del país en lo que industria vitivinícola se refiere.

El fortalecimiento de la producción industrial en las bodegas requiere la implementación de sistemas industriales que permitan cumplir con los estándares y necesidades de producción; uno de esos sistemas debe estar dedicado al control de temperatura. Es por eso que con el presente trabajo de grado se plantea diseñar dos propuestas de mejoramiento para el sistema de control de temperatura para la fermentación de mosto de uva en la producción de vino.

**1.2.- Descripción del problema**

La producción de vino cuenta con distintas etapas para su elaboración, iniciando por la recolección de la uva o también llamada vendimia, siguiendo con el despalillado y estrujado de la fruta, después se procede a la maceración y fermentación, etapa en la cual la temperatura debe ser controlada, posterior a eso se realiza el prensado y una nueva fermentación, conocida como fermentación maloláctica y finalmente se procede con el embotellado para entregar el producto al público consumidor (*¿Cómo es el proceso de elaboración del vino?*, s. f.).

Un sistema de control de temperatura durante la producción de vino es completamente necesario, ya que, en las etapas de maceración y fermentación, la temperatura juega un papel importante, ya que el calor generado por la fermentación puede deteriorar la calidad del vino o provocar una diferencia de temperatura entre el mosto que se encuentra en la superficie respecto al que se encuentra en el fondo del tanque (*La temperatura de fermentación del vino*, s. f.). En el caso de la maceración, lo que se busca con la temperatura es retrasar la fermentación natural de la uva para que el vino adquiera aromas o color, por ejemplo, y una vez que se inicia el proceso de fermentación, se debe buscar una homogeneidad térmica y debe realizarse temperaturas controladas para garantizar un vino de calidad. En ambas etapas, el control de temperatura debe ser riguroso y preciso según lo que dicte la receta del vino a preparar, una alteración en este proceso podría significar la pérdida de la producción.

En la bodega Campos de Solana de la ciudad de Tarija actualmente está implementado un sistema de control de temperatura que funciona en base a una enfriadora de agua o también conocido como chiller, que es un equipo que permite enfriar grandes cantidades de agua para su uso en sistemas de climatización, enfriamiento de maquinaria y equipos, procesos industriales, entre otros. El funcionamiento de este tipo de equipos consiste tener un circuito cerrado de circulación de agua a la cual se le extrae el calor con el uso de un refrigerante y un compresor, reduciendo la temperatura del agua y permitiendo su uso para enfriar procesos con ayuda del circuito de circulación (Atlas Copco, s. f.).

Al ser un circuito cerrado, el chiller debe contar con dos tuberías de distribución, una para el suministro de agua fría, el cual se encargará de enfriar los procesos que así lo requieran y una segunda tubería de retorno, la cual recoge el agua que ha sido usada para devolverla al chiller y que sea enfriada nuevamente. Adicionalmente, a este circuito se pueden añadir componentes hidráulicos como ser bombas de agua para impulsar el agua o válvulas para el control del fluido en los procesos de enfriamiento.

Debido a las necesidades de la bodega y la intención de realizar distintas recetas de vino de forma simultánea y automatizada, era necesaria la inclusión de válvulas de control para controlar la temperatura de cada tanque de enfriamiento de forma individual, ya que el ciclo de frío es diferente para cada tanque según la receta a la que esté destinado el mosto almacenado en su interior. De esta manera, al implementar las válvulas y en la intención de abaratar costos, se decidió implementar un tipo de válvula que no era el más adecuado para el tipo de circuito del chiller (A. Tolaba, comunicación personal, 6 de marzo de 2025).

Para que el agua pueda recircular en el circuito hidráulico cerrado, es necesario considerar que la presión de la tubería de suministro del chiller debe ser mayor a la presión en la tubería de retorno, ya que es esa diferencia de presión la que impulsa al movimiento del fluido en el sistema, en el caso de no cumplir esa condición, el sistema podría quedar estancado, haciendo que este funcione mal o directamente no funcione. Esto sucedió en el sistema implementado en la bodega Campos de Solana por usar válvulas que no eran las adecuadas para el circuito, por lo que decidieron implementar adicionalmente una bomba para incrementar la presión de la tubería de suministro y corregir las fallas (A. Tolaba, comunicación personal, 6 de marzo de 2025).

Con la inclusión de la bomba el circuito comenzó a fluir nuevamente, por lo que parecía que el sistema esta vez sí funcionaría de forma correcta, sin embargo, al momento de activar o desactivar ciertas válvulas para controlar de forma independiente los tanques, se percataron que el sistema volvía a presentar fallos desorganizados, por ejemplo, si se permitía el flujo en el tanque A, el sistema funcionaba bien, pero al activar la válvula del tanque B que se encontraba en un punto más próximo al chiller, el agua ya no llegaba a circular por el tanque A hasta que se cierre el tanque B. Otro problema surgía en las bifurcaciones de las tuberías, ya que en algunas de ellas se frenaba el flujo de agua, haciendo que algunos tanques sean inaccesibles para el circuito, impidiendo su control de temperatura.

**1.3.- Formulación del problema**

¿Cómo se puede mejorar el sistema de control de temperatura implementado en Campos de Solana para optimizarlo y que esté preparado para cumplir las rutinas y estándares requeridos para la producción de vino en la bodega?

**1.4.- Objetivos de investigación**

**1.4.1.- Objetivo General**

Diseñar dos propuestas de mejoramiento para el sistema de control de temperatura para la fermentación de mosto de uva en la producción de vino.

**1.4.2.- Objetivos Específicos**

* Diagnosticar el sistema de control de temperatura implementado actualmente.
* Proponer un nuevo diseño de un sistema de control de temperatura y un rediseño del sistema actual para mejorar el proceso.
* Comparar los diseños realizados entre sí para identificar ventajas y desventajas de un diseño respecto al otro.
* Diseñar un sistema SCADA para el monitoreo constante y remoto de la planta.

**1.5.- Delimitación de investigación**

* Límites: El trabajo de grado tendrá como límite el diseño de dos sistemas de control de temperatura para la fermentación de mosto de uva en la bodega Campos de Solana, los cuales serán probados mediante simulaciones y no incluirá una implementación física por limitaciones económicas.
* Alcances: El trabajo de grado contemplará el rediseño del sistema actual y el diseño de un sistema nuevo para el control de temperatura de la fermentación de mosto de uva en Campos de Solana para cumplir los requerimientos y necesidades de la bodega para la producción de vino.

**1.5.- Justificación**

Implementar automatización industrial en un proceso se hace con el fin de optimizarlo, mejorando la calidad y consistencia de los productos al trabajar con precisión y repetibilidad, brindando flexibilidad a los procesos y optimizando su control, entre otros procesos, sin embargo, el sistema de control de temperatura de Campos de Solana no cumple esa labor, ya que en lugar de trabajar según las necesidades de la bodega, somete a que esta tenga que trabajar en función de su funcionamiento inconsistente, por lo que es indispensable que este sea mejorado para que pueda ayudar a la bodega en su objetivo de producir vino y no sea una limitante o condicionante para la bodega.

A un nivel más regional, no debemos olvidar que la viticultura es una actividad de gran relevancia en la región, y el mejoramiento de sistemas industriales lograría potenciar todos los efectos positivos que aporta esta actividad, entre los cuales podemos destacar los siguientes:

* Factor económico: Al año se generan 19 000 puestos de empleo entre directos e indirectos según Anavit y el 40% de la producción de la uva en el departamento es destinada a producir vino y singani, produciendo según la Asociación Nacional de Industriales Vitivinícolas (ANIV) 16 millones de litros de vino y 5 millones de litros de singani (Suarez, 2023) de forma anual y generando una facturación global superior a 150 millones de dólares al año (Carpio San Miguel, 2024) según datos también de ANIV.
* Turismo: El turismo en la región está fuertemente vinculado a la actividad vitivinícola, siendo usado como principal argumento para captar visitantes, quienes son atraídos por la belleza de los paisajes y la calidad de los productos. Al año, se reciben entre 280 000 a 300 000 turistas en la región, de los cuales el 95% realiza la famosa Ruta del Vino (Parisaca, 2024), donde visitan distintas bodegas buscando conocer sus viñedos, plantas industriales y la degustación de los productos.
* Factor industrial: Al ser la industria referente en la región, la correcta innovación tecnológica podría servir como ejemplo para el resto de industrias emergentes y al mismo tiempo puede impulsar la implementación de estas tecnologías en dichas industrias, consiguiendo ventajas competitivas tanto para las nuevas industrias como para la región.

**Bibliografía**

Aguilera Fierro, R. (2023, mayo 1). *La vid en Tarija, la cronología del producto emblema del valle central*. El País Tarija. https://elpais.bo/reportajes/20230501\_la-vid-en-tarija-la-cronologia-del-producto-emblema-del-valle-central.html

Atlas Copco. (s. f.). *¿Qué son los Chillers y por qué son importantes? - Atlas Copco Perú*. Recuperado 12 de abril de 2025, de https://www.atlascopco.com/es-pe/compressors/air-compressor-blog/que-son-los-chillers

Carpio San Miguel, E. (2024, agosto 19). La dinámica vitivinícola en Tarija mueve $us 150 MM al año. *Activos Bolivia*. https://activosbolivia.com/la-dinamica-vitivinicola-en-tarija-mueve-us-150-mm-al-ano/

*¿Cómo es el proceso de elaboración del vino?* (s. f.). Recuperado 20 de mayo de 2025, de https://www.campusdelvino.com/blog/item/79-proceso-elaboracion-vino

*La temperatura de fermentación del vino*. (s. f.). Recuperado 20 de mayo de 2025, de https://www.hannainst.es/blog/128/la-temperatura-de-fermentacion

Parisaca, M. (2024, abril 15). *La ruta del vino y el singani, el principal atractivo de Tarija*. Ahora El Pueblo. https://ahoraelpueblo.bo/index.php/nacional/sociedad/la-ruta-del-vino-y-el-singani-el-principal-atractivo-de-tarija

Suarez, L. (2023, marzo 27). *Tarija produce el 85% de la uva del país con 59,2 millones de kilos al año*. El País Tarija. https://elpais.bo/tarija/20230327\_tarija-produce-el-85-de-la-uva-del-pais-con-59-2-millones-de-kilos-al-ano.html