

CUANTIFICACIÓN DE RESVERATROL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ARÁNDANOS Y UVAS DE MESA DE ALTURA: EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN UV-B Y FACTORES CLIMÁTICOS SECUNDARIOS

QUANTIFICATION OF RESVERATROL AND ANTIOXIDANT CAPACITY IN HIGH-ALTITUDE BLUEBERRIES AND TABLE GRAPES: EVALUATION OF UV-B RADIATION AND SECONDARY CLIMATIC FACTORS

Fecha de recepción: 02/05/2025 | Fecha de aceptación: 27/06/2025

Taquichiri Torrez Marco¹
Paco Joel Sarzuri², Arteaga María del Carmen³
Taquichiri Vargas Gabriel⁴, Echalar Flores Michael Willy⁵

¹Licenciado en Física, M.Sc.
Departamento de Física
Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

ORCID: 0009-0004-8833-7683

Correspondencia de los autores: m.taquichiri@uajms.edu.bo¹

Tarija - Bolivia

CUANTIFICACIÓN DE RESVERATROL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ARÁNDANOS Y UVAS DE MESA DE ALTURA: EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN UV-B Y FACTORES CLIMÁTICOS SECUNDARIOS

² **Paco Joel Sarzuri**

Ingeniero Civil, M.Sc.
Docente Departamento de Física,
Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)
Tarija, Bolivia

³ **Arteaga María del Carmen**

Licenciada en Ciencias Químicas
Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID)
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)
ORCID: 0009-0002-0330-2496
Tarija, Bolivia

⁴ **Taquichiri Vargas Gabriel**

Ingeniero Civil
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), São Paulo, SP, Brasil.
ORCID: 0009-0003-2590-8234
São Paulo, Brasil

⁵ **Echalar Flores Michael Willy**

Ingeniero Civil, M.Sc.
Docente Carrera de Ingeniería Civil,
Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)
Tarija, Bolivia

RESUMEN

Se presentan las mediciones de la capacidad antioxidante de dos frutos del Valle Central de Tarija (1879 m.s.n.m): *Vitis vinífera* L. (cv. Moscatel de Alejandría y Red globe) y uno del Valle del Medio (1258 m.s.n.m): *Vaccinium corymbosum* L. (cv. Flicker y cv. Snow Chaser). La capacidad antioxidante total (TAC) fue determinada mediante dos métodos contrastados (ABTS y DPPH) cuyos resultados se compararon con una curva patrón preparada con diferentes concentraciones de Trolox. El contenido de resveratrol fue evaluado mediante técnicas de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Los valores del contenido de resveratrol en el cv. Red Globe son ligeramente superiores a los del cv. Moscatel de Alejandría. No se presentan variaciones significativas en los contenidos de resveratrol entre los cultivares de arándanos Snow Chaser y Flicker. Asimismo, se presentan mediciones terrestres de radiación solar UV-B y concentraciones de ozono después de un sobrevuelo con un satélite de la ESA para la latitud y longitud de las plantaciones de uva, así como una aproximación de modelo climático en temperatura media y precipitación para el departamento de Tarija.

ABSTRACT

Measurements of the antioxidant capacity (TAC) of two fruits from the Central Valley of Tarija (1879 m.a.s.l.): *Vitis vinifera* L. (cv. Muscatel of Alexandria and Red globe) and one from the Middle Valley (1258 m.a.s.l.): *Vaccinium corymbosum* L. (cv. Flicker and cv. Snow Chaser) are presented. Total antioxidant capacity (TAC) was determined by two contrasting methods (ABTS and DPPH) whose results were compared with a standard curve prepared with different concentrations of Trolox. Resveratrol content was evaluated by high performance liquid chromatography (HPLC) techniques. The values of resveratrol content in cv. Red Globe are slightly higher than those of cv. Muscat of Alexandria. There are no significant variations in resveratrol contents between Snow Chaser and Flicker blueberry cultivars. Also, ground-based measurements of solar UV-B radiation and ozone concentrations after an ESA satellite overpass are presented for the latitude and longitude of the grape plantations, as well as a climate model approximation in mean temperature and precipitation for the department of Tarija.

Palabras Clave: Resveratrol, radiación UV-B, uvas de altura, arándanos, capacidad antioxidante.

Keywords: Resveratrol, UV-B radiation, high altitude grapes, blueberries, antioxidant capacity.

1. INTRODUCCIÓN

El sol emite radiación en una amplia gama del espectro, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. Aunque la radiación ultravioleta (RUV) representa sólo una pequeña parte de la intensidad total de la luz solar, desempeña un papel crucial en la interacción entre los organismos vivos y el medio ambiente. La radiación UV, en particular, es responsable de varios procesos biológicos como la fotosíntesis, vital para el crecimiento y la supervivencia de las plantas. La radiación ultravioleta se divide en tres zonas principales: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-C (280-100 nm), (Madronich et. al., 1988).

La radiación solar ultravioleta-B es absorbida en su mayor parte por el ozono estratosférico y los gases atmosféricos; sin embargo, una pequeña cantidad llega a la superficie terrestre. Esta pequeña porción (alrededor del 5% de la radiación solar total) es potencialmente dañina para los organismos vivos, ya que altos rango de intensidad de fotones UV-B pueden causar daño celular directo. No obstante, niveles moderados de radiación UV-B pueden estimular mecanismos de protección como respuesta a este nivel de agresión. (Brosché, 2003).

El interés científico por los efectos de la radiación UV-B en la calidad comercial y nutricional de las plantas se ha intensificado debido al agotamiento histórico de la capa de ozono en la década de los 80. Este agotamiento ha provocado un incremento de los niveles de UV-B en la atmósfera de las regiones de latitudes medias y altas (Krzscin, 2000). Aunque se prevé que los niveles de ozono se recuperen para 2050, los efectos combinados de la radiación UV-B y el cambio climático (por ejemplo, el aumento de las temperaturas y la alteración de los patrones de precipitaciones) siguen siendo factores de estudio y análisis ya que la respuesta de las plantas a la radiación UV-B es muy variable y está influida por una compleja interacción de factores bióticos tales

como plagas y patógenos, y abióticos como ser nutrientes del suelo, disponibilidad de agua, así como por la especie vegetal y el genotipo (Carrasco-Ríos, 2009).

La exposición prolongada a altos niveles de UV-B puede reducir la producción de biomasa en las plantas, aunque, en algunos casos, también se observa un aumento en la concentración de polifenoles (Tevini y Teramura 1989; Cassi-Lit et. al. 1997). Esto sugiere una respuesta de defensa antioxidante o un mecanismo de protección de los tejidos vegetales frente a condiciones de estrés por UV-B, los cuales variarán de acuerdo con las condiciones climáticas y ambientales que cada vez se vuelven más influyentes en los ecosistemas agrícolas. Un efecto crucial de los polifenoles, y en particular del resveratrol, es su potente capacidad antioxidante, que les permite proteger las células vegetales y animales contra el daño causado por agentes oxidantes y la acción de los radicales libres (Osorio-Macías, 2018).

Tarija está situada en la parte meridional de Bolivia, América del Sur (21°S, 64°W, 1887 metros sobre el nivel del mar) y su principal fuente de ingresos son los cultivos de uva vinífera (*Vitis vinífera*). La importancia económica de estos cultivares es muy alta, ya que el 70% del total de las del total de plantaciones de uva del país se encuentra en Tarija (Turner et. al. 2016; Pszczólkowski et. al., 2010). Debido a su altitud y latitud, el valle de Tarija tiene muchos días con radiación solar UV más intensa que otros lugares con similares cultivares de uva (Taquichiri y Paco, 2008). La introducción de cultivos de frutos emergentes, como el Arándano (*Vaccinium Corymbosum*), en la región de Tarija, representa un interesante potencial debido a la alta irradiancia UV-B que puede influir en la biosíntesis de compuestos bioactivos del arándano. Este cultivo no solo podría enriquecer la biodiversidad agrícola y mejorar la sostenibilidad de la producción local, sino que también podría generar beneficios para la salud gracias a sus compuestos antioxidantes, además de contribuir al desarrollo

económico de la región (Tuberoso, 2011; .Yang, 2001; Ispiryan, 2021; Rimando, et.al.2004).

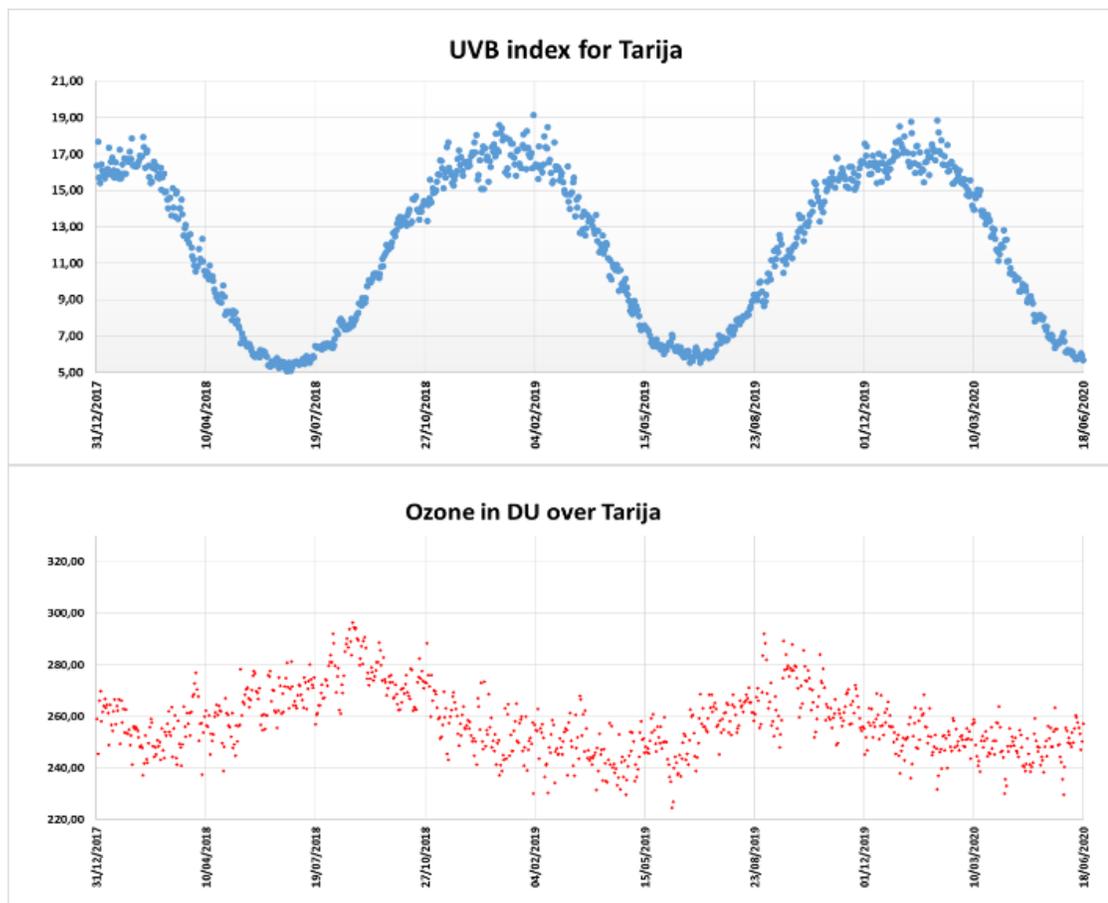
2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Datos sobre ozono estratosférico y mediciones de UV-B

El ozono es una molécula formada por tres átomos de oxígeno en la estratósfera y es responsable de absorber la totalidad de la radiación UV-C y parte de la radiación UV-B. La capa de ozono se encuentra en la estratósfera a unos 10 y 50 km por encima de la superficie de la Tierra y su variación estacional depende principalmente de la interacción de la luz solar en un mecanismo de creación-aniquilación en la alta atmósfera (Chipperfield et. al. 2024). El posible

incremento de la radiación UV debido al adelgazamiento de la capa de ozono podría dañar el proceso de fotosíntesis, esencial para el crecimiento de las plantas. Por otra parte, la radiación UV altera numerosos compuestos orgánicos esenciales para los organismos vivos, ya que se ha establecido que la radiación UV-B provoca alteraciones en el desarrollo y metabolismo de las plantas, tanto primarias como secundarias (Sánchez et al. 2023). Sin embargo, algunos autores concluyen que, aunque la UV-B puede tener un impacto negativo en el crecimiento de las plantas, los efectos son generalmente pequeños y no es probable que tengan un impacto significativo en el rendimiento de los cultivos (Damian et.al. 1998).

Figura 1: Mediciones de UV-B realizadas por el piranómetro YES (YesInc. USA) en Tarija, Bolivia, comparadas con observaciones de ozono del instrumento Schiarmachy en el satélite Envisat de la ESA.



Fuente: Elaboración propia

Se realizaron mediciones superficiales de la intensidad de la RUV-B sobre el valle de Tarija colectadas por el piranómetro YES (YesInc. USA) desde la gestión 2005 a la fecha. Debido a la ausencia de datos de ozono sobre el sitio de estudio, se realizó una cotejación de la concentración de ozono con datos medidos por el espectrómetro Sciamachy a bordo del satélite Envisat de la ESA. A partir de esos datos, medidos en tierra y verificados por datos satelitales se evidencia la anticorrelación de la radiación UV-B y la concentración de ozono a la latitud y elevación sobre el nivel del mar para el Valle Central de Tarija. Los datos de mediciones de irradiancia UV-B indican un índice UV-B (IUV) entre 5 en invierno y 19 en verano para el Valle de Tarija y entre 3 en invierno y 12 en verano para el Valle de Entre Ríos lo que corresponde a valores codificados como alto a extremo en la escala canadiense para el índice UVB.

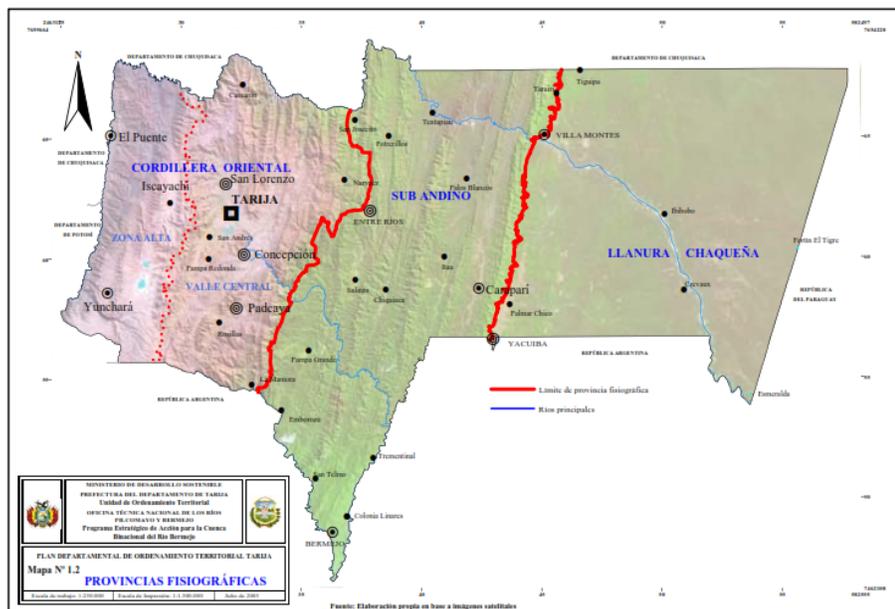
2.2. Datos de temperatura y precipitación del lugar de estudio

La climatología del departamento de Tarija, debido a su posición geográfica en las últimas estribaciones de la cordillera oriental es bastante heterogénea y

con influencia de forzantes climáticos de alta y baja atmósfera, en consecuencia, presenta al menos cuatro provincias fisiográficas para el punto de vista climatológico: Zona Alta, Valle Central de Tarija, Sub andino y Llanura chaqueña, ubicación particularmente importante porque es una condicionante para la variabilidad en los valores cuantitativos de la temperatura mensual y precipitación mensual, así como también en la recurrencia de eventos extremos. Estas cuatro provincias fisiográficas corresponden con los sistemas sinópticos que gobiernan la climatología regional y su variabilidad interanual, anual e interdecadal. En correspondencia se tienen una región donde la temperatura y precipitación cambia en lapsos pequeños no solo espacialmente referido a la microclimatología, sino también en la recurrencia de fenómenos extremos.

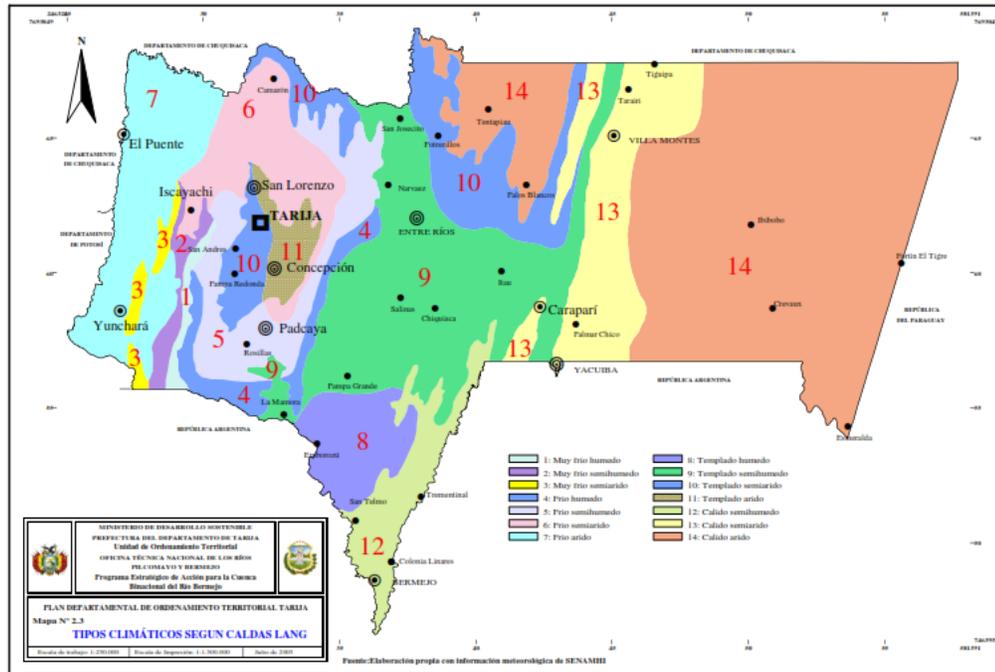
Se tienen datos climáticos de los lugares de para los frutos seleccionados referidos a temperatura y precipitación de la estación meteorológica ubicada en $21^{\circ} 32'48''$ y $64^{\circ}42'39''O$, 1850 msnm para realizar una observación del registro temporal de precipitación y temperaturas para una estación estratégica del valle de Tarija.

Figura 2: Provincias Fisiográficas del Departamento de Tarija.



Fuente: Programa Estratégico para la Cuenca Binacional de Río Bermejo, 2006

Figura 3: Mapa climatológico del Departamento de Tarija, de acuerdo a la clasificación de Caldas-Lang.

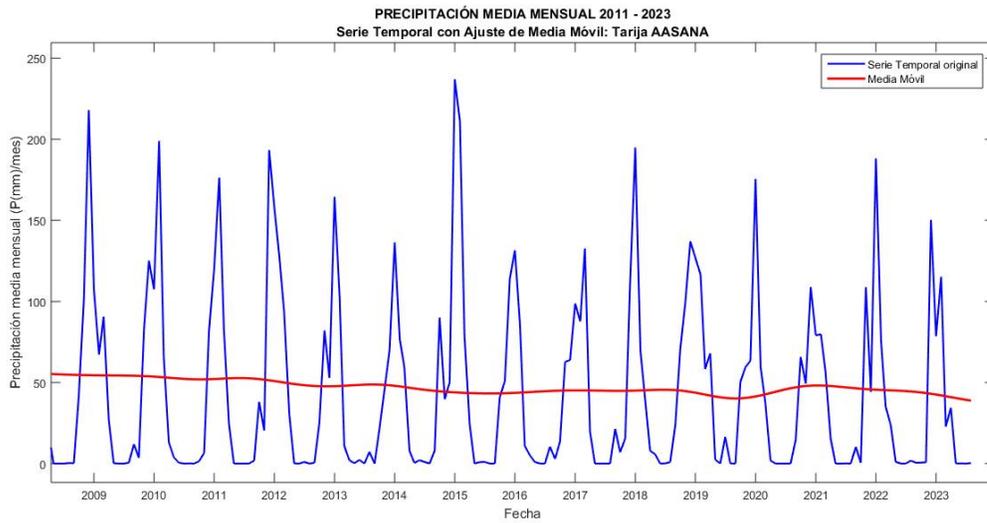


Fuente: Programa Estratégico para la Cuenca Binacional de Río Bermejo, 2006

En la última década, se han observado cambios en la recurrencia de los períodos de sequía y humedad en el Valle Central de Tarija. Si bien la ventana temporal de recurrencia se mantiene relativamente estable, se registra un aumento en los valores máximos y mínimos, así como un incremento de casi un grado en la temperatura mínima. Estos cambios sugieren un incremento en el estrés hídrico debido a una mayor demanda de agua en los cultivos.

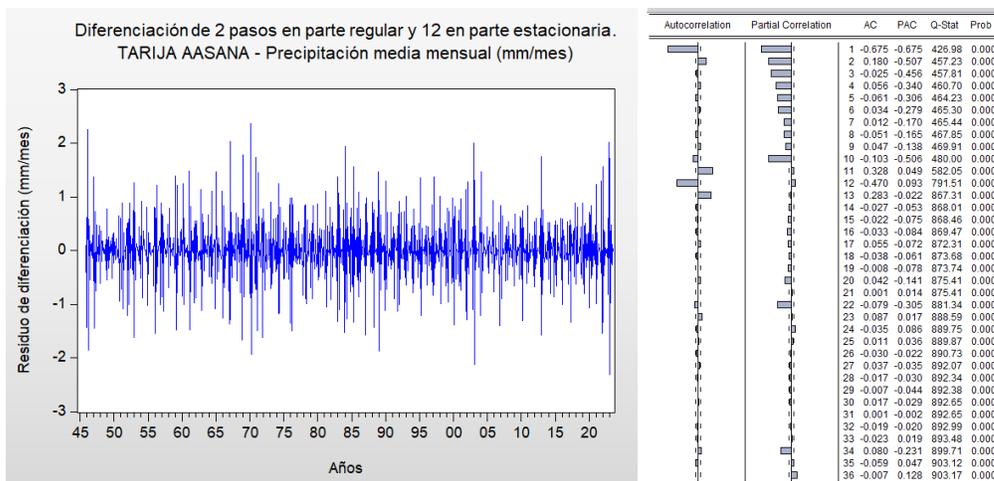
Se utilizó el modelo Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA), como una herramienta de control a corto plazo, utilizando los datos de los dos meses previos para estimar el tercero. Se presenta un resultado preliminar de esta metodología incluyendo el alto nivel de ruido generado por los factores sinópticos y su variabilidad interanual.

Figura 4: Datos Precipitación mensual estación AASANA Tarija, datos desde 2009 al 2023 ajustado desde el año 2011 al 2023



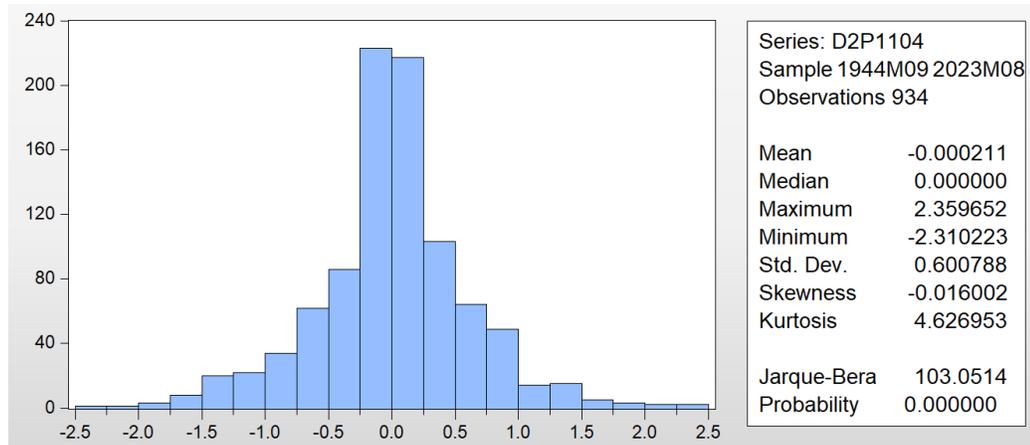
Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Serie temporal de precipitación media mensual diferenciada en 2 y 12 pasos, graficas FAP y FAC y distribución gaussiana de errores. Estación Tarija AASANA Precipitación mensual estación AASANA Tarija. Serie residual de datos desde el año 1949 al 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Modelo Arima (0,2,2)/Sarima (1,1,1) para la serie temporal de precipitación media mensual diferenciada en 2 y 12 pasos, graficas FAP y FAC y distribución gaussiana de errores. Estación Tarija AASANA Precipitación mensual estación AASANA Tarija



Fuente: Elaboración propia

El modelo Arima (0,2,2) fue utilizado debido a que los datos tomados los datos de temperatura y precipitación de la estación Tarija presentan una estructura temporal no aleatoria, mostrando una tendencia que pudo estabilizarse mediante 2 pasos de diferenciación, y con doble media móvil. De los datos analizados se pudo observar cambios en la recurrencia de los períodos de sequía y humedad en el Valle Central de Tarija. Aunque la ventana temporal de recurrencia se mantiene relativamente estable, se registra un aumento en los valores máximos y mínimos, así como un incremento de casi un grado en la temperatura mínima.

3. ANÁLISIS DE ANTIOXIDANTES TOTALES Y RESVERATROL

3.1. Muestras

Se tomaron muestras de uvas de mesa de las variedades Moscatel de Alejandría y Red Globe (*Vitis vinífera* L.), asimismo se analizaron dos variedades de arándano: Flicker y Snow Chaser (*Vaccinium Corymbosum*). Ambos tipos de muestra fueron colectadas en dos diferentes fechas. Se prepararon y seleccionaron los frutos en lotes pequeños de 50 unidades para ser almacenadas en recipientes aislados a -20

grados centígrados. Se realizó una molienda en morteros de ágata para su análisis de contenido de antioxidantes totales mediante dos métodos analíticos: ABTS (ácido 2,2'azinobis-(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfónico) y DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo). Ambos métodos de análisis se adecuaron en concordancia con el método descrito en Thaipong, K et. al. (2006) con ligeras modificaciones, para lo cual se tomó 19,2 mg de ABTS para disolverlo en 5 mL de agua destilada. Posteriormente se agregaron 88 mL de una solución de persulfato de Potasio (0,0378 mg/mL). La mezcla se homogenizó para luego ser usado después de almacenarse en la oscuridad a 25 °C por 15 h. Una vez formado el radical ABTS, fue diluido con etanol hasta obtener un valor de absorbancia alrededor de 0,7 a 734 nm. Se filtraron 0,1 mL de extracto, y se colocaron en una celda para medir la absorbancia para luego transformarlo en porcentaje de inhibición para calcular la actividad antioxidante en mg equivalente trolox (ET)/mL mediante una curva de calibración. El método DPPH se basa en la reducción de antioxidantes a través de un cambio de color en la solución, para lo cual se mezclaron 4,2 mL del radical DPPH (0,025 mg/mL metanol) con 0,1 mL de cada uno de los extractos etanólicos de cada muestra. Luego de 30 minutos se llevó a la lectura

de absorbancia en un espectrofotómetro a 515 nm los valores de absorbancia fueron expresados como la concentración de los extractos en el cual se inhibe el 50 % del radical DPPH.

3.2. Reactivos

El ácido 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS.p), el radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH.), Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid, 97%) y metanol de grado HPLC fueron obtenidos de Sigma Aldrich Co. (St. Louis, MO, USA). El patrón de resveratrol fue adquirido de ChromaDex (Irvine, CA, USA)

3.3. Cuantificación de Resveratrol

La cuantificación de resveratrol en extractos etanólicos de vid y arándano, correspondientes a las variedades analizadas, se realizó siguiendo el protocolo descrito en Taquichiri et. al. (2014) usando un Cromatógrafo de Alta Performance (HPLC) Agilent Infinity1600 en fase reversa con detector de arreglo de diodos (Palo Alto, CA, USA), bomba cuaternaria y desgasificador (G1354A). Columna 4.6x250 mm Zorbax . La tasa de flujo fue de 0,8 mL/min con un volumen de inyección de 20 µL. El gradiente de la fase

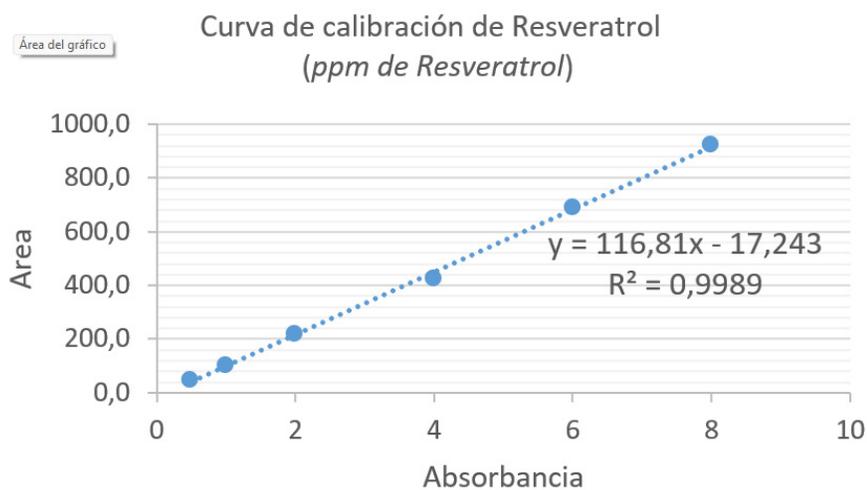
móvil fue un solvente constituido de dos eluyentes: 1% de ácido acético/agua (A) y metanol (B); el gradiente usado fue de 40% de B al inicio (t=0 min), 50% de B luego de 5 minutos, 80% de B luego de 20 minutos, 90% de B luego de 25 minutos y finalmente 40% de B luego de 28 minutos hasta los 30 minutos. La absorbancia UV del eluido fue registrada por un detector de arreglo de diodos (190-550 nm). Para garantizar la precisión del análisis, se estableció una curva de calibración con estándares de resveratrol en un rango de 0.5 a 8 ppm. Cada punto de la curva fue evaluado mediante un análisis en duplicado, asegurando la reproducibilidad y confiabilidad de los datos.

Tabla 2: Valores de concentración de resveratrol en duplicado

[ppm]	Area 1	Area 2	promedio
0,5	48,7	46,6	47,6
1	103,9	103,7	103,8
2	216,6	216,6	216,6
4	426,9	427,1	427,0
6	689,8	689,8	689,8
8	923,6	922,7	923,1

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Curva de calibración con estándar externo para el HPLC- 1600 DAD, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho



Fuente: Elaboración propia

4. RESULTADOS

4.1. Capacidad antioxidante total

Las muestras de uva fueron analizadas entre diferentes periodos debido a la fecha de colecta; después del envero, pinta y madurez de la uva y la fecha de cosecha de la fruta. Para el análisis de antioxidantes en arándano se realizaron dos colectas según fecha de cosecha del fruto. Los extractos etanólicos fueron analizados por un espectrofotómetro Thermo-Scientific Genesys 105 UV-Vis (Thermo-Fisher Inc, USA) las muestras fueron sometidas pre-

viamente a una homogenización usando un baño ultrasónico Branson (Branson Ultrasonic Co. Danbury, CT USA). Los resultados son mostrados en la tabla 1. El contenido de antioxidantes totales (TAC) mediante el método ABTS tiene rangos muy variables que van desde 0.86 hasta 8,51 μmol de equivalente Trolox de muestra seca. Los valores de Trolox equivalente usando el método DPPH varían desde 0,11 hasta 8,82. En general se puede observar valores notablemente disminuidos de contenido TAC para las muestras de arándano.

Tabla 1: Mediciones de la Capacidad Antioxidante en bayas frescas de uva de mesa y arándano.

Variedad	CODIGO	Fecha de colecta	TAC ABTS $\mu\text{mol TE/g}$	TAC DPPH $\mu\text{mol TE/g}$
Moscatel de Alejandría	MA10A	30-12-2022	5.21	4.52
Moscatel de Alejandría	MA10B	4-02-2023	3.71	8.82
Moscatel de Alejandría	MA30A	30-12-2022	5.22	5.81
Moscatel de Alejandría	MA30B	04-02-2023	8.51	0.11
Red Globe	RG20A	25-02-2022	0,96	1,02
Red Globe	RG20B	30-03-2023	1,11	3,07
Red Globe	RG40A	29-02-2022	2,07	2,02
Red Globe	RG40B	03-03-2023	2,76	3,06
Flicker	AR10A	25-11-2022	0,75	0,75
Flicker	AR10B	03-03-2023	0,85	0,85
Snow Chaser	AR20A	25-11-2022	0,93	0,93
Snow Chaser	AR20B	03-03-2023	0,13	0,13

Fuente: Elaboración propia

4.2. Resveratrol en bayas de uva y arándanos.

El contenido de trans resveratrol fue identificado y cuantificado usando un cromatógrafo en fase reversa de acuerdo al método descrito en Taquichiri et. al. (2014). Los resultados se muestran en la tabla 3. El contenido de resveratrol en la variedad de uva blan-

ca es considerablemente más bajo en comparación con la variedad tinta. En algunos casos, su concentración es tan baja que incluso está por debajo del límite de detección en los análisis. Esta diferencia es coherente con lo reportado en la literatura, donde se observa que las uvas blancas suelen presentar niveles notablemente reducidos de resveratrol de-

bido a la ausencia de pigmentos en la piel, que es donde este compuesto se encuentra en mayor proporción. Además, la variedad Red Globe, si bien es una uva tinta, también exhibe concentraciones medianamente bajas de resveratrol en comparación con otras variedades de uvas tintas destinadas a la vinificación, como se ha documentado con valores

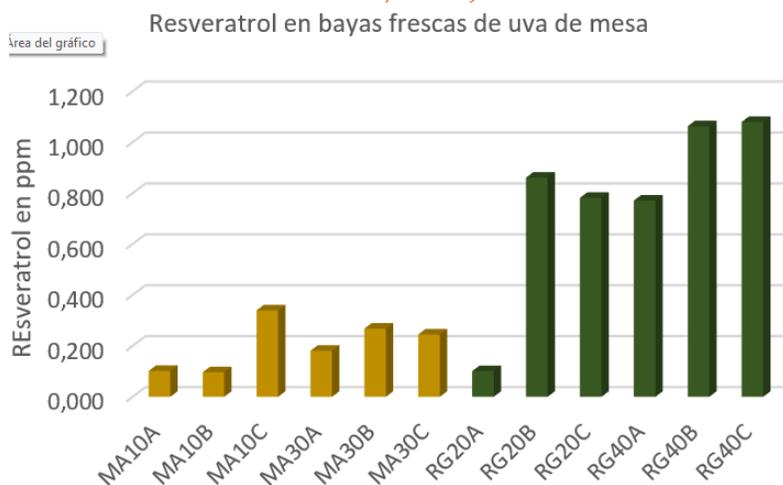
cercanos a 0.77 ppm en la piel de esta uva. Esto contrasta con los contenidos de resveratrol en las uvas tintas usadas en vinos, que tienden a tener un contenido más alto de resveratrol debido a su mayor exposición a factores como la luz solar, que induce la síntesis de este compuesto fenólico.

Tabla 3: Contenido de resveratrol en bayas de uva de mesa.

Variedad	Código	Procedencia	Resveratrol (ppm)		
			1	2	promedio
Moscatel de Alejandría	MA10A	Cevita	ND	0,102	0,102
	MA10B		0,095	0,098	0,097
	MA10C		0,289	0,39	0,340
	MA30A	Kuhllman	0,181	ND	0,181
	MA30B		0,054	0,482	0,268
	MA30C		0,458	0,032	0,245
Red Globe	RG20A	Cevita	ND	0,101	0,101
	RG20B		0,971	0,751	0,861
	RG20C		0,682	0,881	0,782
	RG40A	Kuhllman	ND	0,771	0,771
	RG40B		1,019	1,107	1,063
	RG40C		1,181	0,978	1,080

Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Contenido de resveratrol en bayas de uva de mesa, variedades Moscatel de Alejandría y Red Globe



Fuente: Elaboración propia

Para la determinación de la concentración de resveratrol en Arándano, se empleó la misma curva de calibración descrita previamente, aplicando un nuevo ensayo basado en cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC). Este método permitió alcanzar límites de detección más bajos en comparación con técnicas anteriores, con un umbral de detección de

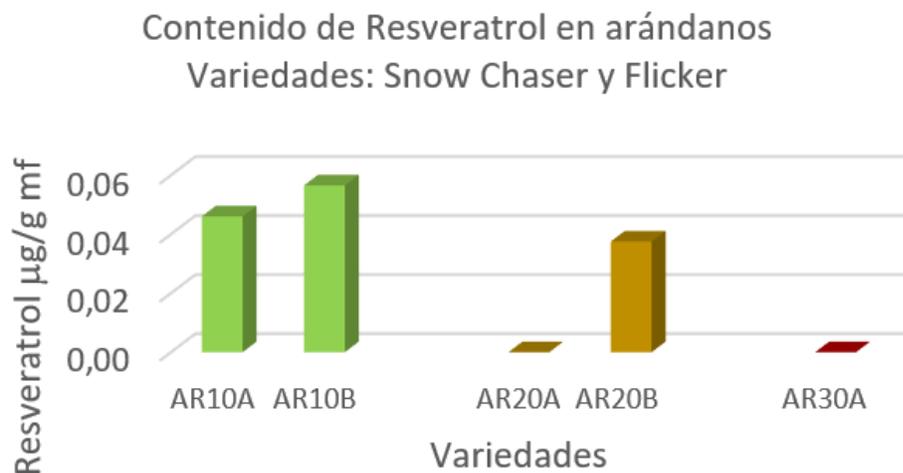
90 pmol de trans-resveratrol inyectado en columna y una curva estándar lineal que abarcó más de tres órdenes de magnitud. Se estima que el almacenamiento prolongado en alacena pudo haber reducido significativamente los niveles de resveratrol, hasta valores cercanos al límite de detección. Los valores se encuentran descritos en la tabla 4

Tabla 4: Contenido de resveratrol en Arándano.

Código muestra	Variedad	valor 1 (µmg/g mf)	valor 2 (µmg/g mf)	promedio Resveratrol (µmg/g mf)
AR10A	Snow Chaser	0,054	0,038	0,05
AR10B	Snow Chaser	0,055	0,058	0,06
AR20A	Flicker	nd	nd	0,00
AR20B	Flicker	0,034	0,041	0,04
AR30A	Liofilizado	nd	nd	0,00

Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Contenido de resveratrol en arándanos, variedades Snow Chaser y Flicker



Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

Los resultados de la capacidad antioxidante total, evaluados mediante los ensayos ABTS y DPPH, muestran ligeras diferencias, lo que concuerda con las particularidades de las reacciones químicas involucradas en cada método. Aunque se observa una correlación aceptable entre ambos ensayos, las discrepancias sugieren que distintos compuestos fenólicos y flavonoides interactúan de manera diferenciada en cada sistema. Esto indica que la contribución de cada tipo de compuesto bioactivo a la capacidad antioxidante global de los extractos analizados es específica y dependiente de su mecanismo de acción. Las concentraciones de resveratrol detectadas en las muestras analizadas son consistentes con estudios previos que relacionan su síntesis con la activación de genes en respuesta a factores de estrés biótico y abiótico, como infecciones fúngicas y exposición a radiación UV-B. Si bien estos factores explican en parte la variabilidad en los niveles de resveratrol, es probable que también intervengan mecanismos fisiológicos más complejos relacionados con el metabolismo secundario de la vid. Factores como el clima, el manejo del viñedo y el proceso de maduración de las uvas podrían influir significativamente en su acumulación y merecen un análisis más detallado en futuras investigaciones.

Al analizar la composición de compuestos antioxidantes y fenólicos, se destacan diferencias entre las uvas de mesa y las uvas de vinificación. Las primeras, cultivadas para consumo directo, presentan niveles más bajos de resveratrol, ya que no están expuestas al mismo grado de estrés ambiental que las uvas destinadas a la producción de vino. En contraste, las uvas de vinificación responden a condiciones adversas, como infecciones fúngicas y alta radiación solar, activando la expresión de genes que inducen la síntesis de resveratrol. Por otro lado, los bajos niveles de resveratrol en arándanos podrían deberse a su degradación postcosecha, favorecida

por la exposición a la luz y el oxígeno. Métodos como el prensado en frío o la liofilización han demostrado ser más eficaces para preservar este compuesto en comparación con otros sistemas de almacenamiento. Es fundamental considerar que el resveratrol es altamente inestable y susceptible a la degradación, lo que provoca una reducción progresiva de sus niveles si las frutas no se almacenan en condiciones óptimas.

La observación de datos climáticos y su correlación con la síntesis de productos bioactivos como el resveratrol, es una opción para obtener una perspectiva de las oscilaciones en los valores registrados de resveratrol. Los cambios en la recurrencia de los períodos de sequía y humedad en el Valle Central de Tarija pueden llevar a crear incertidumbre en el rendimiento agrícola, particularmente en la síntesis de productos bioactivos. La humedad elevada asociada a las precipitaciones durante el período de maduración, pueden favorecer la síntesis de resveratrol en arándanos, al igual que en otras bayas como las uvas. Las fluctuaciones climáticas, evidenciadas por una variación de casi un grado en la temperatura mínima y la alteración en la frecuencia de los períodos de sequía y humedad, plantean la necesidad de un mayor número de experimentos y estudios sobre los mecanismos moleculares subyacentes.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por el impuesto directo a los hidrocarburos (IDH) a través de un fondo concursable de la Dirección de Investigación Científica y Tecnológica (DICYT) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS). Las muestras de uva fresca fueron provistas por las Bodegas Kuhlman, Bodegas y Viñedos Kohlberg y el Centro Vitivinícola de Tarija (CEVITA) Tarija, Bolivia. Las muestras de arándano fresco y liofilizado fueron provistos por la empresa Agro Náyade, Santa Cruz, Bolivia.

6. BIBLIOGRAFÍA

- 🔖 Brosché, M. and Å. Strid. Molecular events following perception of ultraviolet-B radiation by plants, *Physiol. Plant.* vol 117, pp. 1-10, (2003)
- 🔖 Carrasco-Ríos, L.. Efecto de la Radiación Ultravioleta-B en plantas. *Idesia (Arica)*, 27(3). doi:10.4067/s0718-34292009000300009, (2009)
- 🔖 Cassi-Lit, Mcassi-Lit, M; Whitecross, M.I. Nayudu M, Tanner GJ. (1997) UV-B irradiation induces differential leaf damage, ultrastructural changes and accumulation of species phenolic compounds in rice cultivars. *Aust J Plant Physiol* 24 (3): 261-274.
- 🔖 Damian J. Allen¹, Salvador Nogue²s and Neil R. Baker, ¿Ozone depletion and increased UV-B radiation: is there a real threat to photosynthesis? Department of Biological Sciences, University of Essex, Colchester, Essex CO4 3SQ, UK (1998)
- 🔖 Ispiryan, A., Viškelis, J., & Viškelis, P. (2021). Red Raspberry (*Rubus idaeus* L.) Seed Oil: A Review. *Plants*, 10(5), 944. doi:10.3390/plants10050944
- 🔖 Krzscin, J. W. Impact of the ozone profile on the surface UV radiation: analyses of the Umkehr and UV measurements at Belsk (52°N,21°E), Poland, *J. Geophys. Res.*, vol 105 pp. 5009-2015, (2000)
- 🔖 Madronich, S., R. L. McKenzie, L. O. Björn and M. M. Caldwell. Changes Biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface, *J. Photochem. Photobiol., B. Biology*, vol. 46, pp. 5-19, (1988.)
- 🔖 Osorio-Macías D, Vásquez P, Carrasco C, Bergentahl B, and Peñarrieta M. Resveratrol, phenolic antioxidants, and saccharides in South American red wines. *Int J Wine Res* 10:1-11 (2018).
- 🔖 Tuberoso, C. Berries: properties, consumption and nutrition, *Nova Sciences Pub.* (2011)
- 🔖 Pszczółkowski, P., Villena, W. & Carbonneau, A. La Viticulture de la Bolivie, Centrée sur la Vallée Centrale de Tarija. *Progr. Agric. Vitic.* 127(1), 6-22. (2010)
- 🔖 Rimando, A. M., Kalt, W., Magee, J. B., Dewey, J., & Ballington, J. R.. Resveratrol, Pterostilbene, and Piceatannol in *Vaccinium* Berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(15), 4713-4719. doi:10.1021/jf040095e (2004)
- 🔖 Sanchez, M. et. al. Ultraviolet Radiation and Its Effects on Plants. Online, Available from: <https://www.researchgate.net/publication/367320690> (2023)
- 🔖 Taquichiri, M. and J. Paco, Determinación del índice de la Radiación Ultravioleta en la ciudad de Tarija. *Innovación*, vol. 1, pp. 28-29, (2008)
- 🔖 Taquichiri M, Ayarde R, Gutierrez P. High levels of resveratrol in grapes cultivated at high altitude valleys in Bolivia. *Int J Fruit Sci.*14(3):311-326, (2014)
- 🔖 Tevini, M; Teramura, A.H. UV-B effects on terrestrial plants. *Photochem Photobiol* 50 (4): 479-487. 28, (1989)
- 🔖 Thaipong, K. et. al.. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and analysis* 19: 669-675 (2006)
- 🔖 Turner, K.L. and Davidson-Hunt, I.J. Tensions and synergies in the Central Valley of Tarija, Bolivia. Commercial viticulture and agrobiodiversity in smallholder farming systems. *Agroecol. Sustain. Food* 40(6), Syst. 518- 552. (2016)
- 🔖 Yang, C., Landau, J. Huang, M., and H. Newmark, Inhibition of carcinogenesis by dietary polyphenolic compounds, *Annu. Rev. Nutr.* vol. 21, pp. 381 - 406, (2001)