



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE ENOLOGÍA Y GASTRONOMÍA

CAMPUS ENSENADA

Título del proyecto:

Determinación de índices bioclimáticos del municipio de Atlixco en el estado de Puebla, México, para evaluar su aptitud vitícola.

para obtener el diploma de:

Especialidad en Viticultura y Enología.

Presenta: Palacios Camacho Andree Cesar

Directora: Dra. Cristina Domínguez Castro

Votos Aprobatorios

Determinación de índices bioclimáticos del municipio de Atlixco en el estado de Puebla, México, para evaluar su aptitud vitícola.

Nombre de proyecto



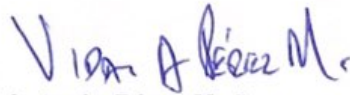
Dra. Cristina Domínguez Castro

Director de Trabajo Terminal



José Luis Rangel Salinas

Sinodal 1



Vidal Antonio Pérez Muñoz

Sinodal 2

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
MARCO TEÓRICO	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	15
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	16
HIPÓTESIS	17
JUSTIFICACIÓN	18
OBJETIVO GENERAL	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
METODOLOGÍA	20
RESULTADOS	24
DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.	28
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	38
Anexo A. Mapa y ubicación de Atlixco.	44

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi familia, por su apoyo constante e incondicional.

RESUMEN

El surgimiento de nuevas regiones vitivinícolas en México representa un área de oportunidad en cuanto a la capitalización de la industria en términos económicos y agrícolas. Este surgimiento se ve respaldado por el aumento en el consumo per cápita de vino a nivel nacional, y el aumento en la demanda de vino elaborado en México. Por lo cual, en este proyecto se propuso llevar a cabo la evaluación del potencial vitícola del Valle de Atlixco, en Puebla, a través de la determinación y el análisis de índices bioclimáticos. Para esta región, se determinó la Integral térmica eficaz promedio mensual, en los cuales se obtuvo valores superiores al 0 vegetativo de la vid en todos los meses del año. Además, se determinó la precipitación promedio mensual, en la cual se identificó una importante concentración durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre. De acuerdo con el índice Integral térmica eficaz, según la clasificación propuesta por Winkler (1974), el periodo del 1 de abril al 31 de octubre, se clasificó como una región IV, mientras que, para el periodo del 1 de noviembre al 31 de mayo, se identificó como una región III, lo que permite suponer una aptitud productiva durante todo el año. Sin embargo, la viabilidad productiva se ve condicionada por las prácticas agronómicas y por la selección de variedades con características fisiológicas adecuadas que faciliten la implantación del cultivo en la región. Los precedentes de cultivo en regiones frío tropicales y la adaptación del ciclo vegetativo a través de reguladores fisiológicos, permiten explorar alternativas para el cultivo en esta región, como la adaptación del ciclo vegetativo a un período con mejores condiciones climáticas, o el cultivo de variedades híbridas que permitan la producción de materia prima de buena calidad para la industria vinícola.

INTRODUCCIÓN

La industria vitivinícola en México, a pesar de tener sus orígenes en el siglo XVI, es un mercado de reciente crecimiento y posicionamiento. Aún hoy en día, las regiones vitivinícolas mexicanas se encuentran en busca de las cualidades que definirán su identidad en el mercado y permitirán la distinción de sus productos a nivel internacional. La evolución de esta industria, se ha concentrado en mayor proporción en el estado de Baja California, debido a que posee la única porción en México con clima mediterráneo (Mellink, 2002), razón por la cual se han desarrollado en esta región alrededor del 70% de los cultivos de viñas para la producción de uva para vino a nivel nacional.

En la actualidad, Baja California presenta una crisis hídrica que amenaza las necesidades de la población y de otras industrias, como la agricultura. Aunado a lo anterior, estudios recientes basados en simulaciones de modelos climáticos a partir de índices bioclimáticos, sugieren que para mediados del siglo XXI en la región de Baja California en un escenario de baja emisión de gases invernadero se alcancen incrementos de la temperatura de hasta 1.2°C promedio anual y por lo tanto la temporada de crecimiento de la uva (Abr - Oct) se adelante hasta medio mes (Bautista, 2021). Sin embargo, en un escenario de alta emisión de gases invernadero, a finales del siglo XXI, las unidades de calor al año podrían aumentar hasta 800°C y la temperatura mínima promedio podría aumentar hasta 4.5°C reduciendo hasta en un 46.5% el área de cultivo de vid en México (Bautista, 2021). Es por ello que la evaluación y caracterización de otras zonas, permitirá el desarrollo de nuevas regiones vitivinícolas, abriendo oportunidades de inversión y desarrollo para la industria vitivinícola nacional que

se ve fuertemente impulsada por un sólido aumento en el consumo per cápita de vino nacional. Debido a esto, se prospectó la región de Puebla dados sus antecedentes históricos. Fray Toribio de Benavente, misionero franciscano, registró en sus escritos “Historia de los Indios de la Nueva España” que para el año de 1536 había numerosos viñedos en la Ciudad de los Ángeles (Puebla) y el Val de Cristo, localizado cerca del hoy Valle de Atlixco (Motolinía, 2014) (Anexo 1, Mapa de Puebla).

En la viticultura, la evaluación y caracterización de nuevas zonas aptas se realiza, entre otras técnicas, mediante el análisis del clima, los suelos y las condiciones ambientales a través de índices edafoclimáticos. Estos índices fueron desarrollados y aplicados en la agricultura a partir de la necesidad de comprender el comportamiento de los cultivos y la influencia que tiene el clima en el crecimiento y producción de los mismos. Se pueden clasificar de acuerdo a la característica que evalúan, siendo estos de temperatura, precipitación, humedad, viento, radiación solar, combinados y además modelos complejos que integran varios índices para caracterizar una región y que permiten modelar escenarios a partir de tendencias históricas.

En este trabajo se determinó el índice de Winkler, también conocido como Integral térmica eficaz (Ite), grados días de desarrollo (GDD), o Integral térmica base 10 (ITB10), de naturaleza térmica, debido a que integra las temperaturas superiores a 10°C, dado que es el umbral térmico inferior a partir del cual se presenta un desarrollo vegetativo de las vides. Existen otros índices utilizados en la viticultura, como son el índice de Huglin (1978), el índice bioclimático de Hidalgo (1980), entre otros.

MARCO TEÓRICO

El origen de la producción de vino y cultivo de viñas en México se remonta a la llegada de los españoles y misioneros eclesiásticos a América. La cultura española estaba fuertemente ligada al consumo de vino, pan y aceite de oliva, por lo cual, al colonizar las nuevas regiones de Nueva España, intentaron mantener e implantar esta misma cultura en las regiones evangelizadas (Páez, 2002). Sin embargo, la inocuidad de estos alimentos durante el traslado dificultaba la conservación de los mismos, por lo que, por indicación de la corona española se ordenó la plantación de 1000 viñas anualmente por cada 100 esclavos que poseyeran los terratenientes en Nueva España, hecho que impulsó rápidamente el cultivo y producción de uva para vino en la región (Ramos-Santana, 1998).

Una de las primeras regiones vitícolas de las cuales se tienen precedentes escritos en México es la región de Puebla y cerca del valle de Atlixco, registrados en los escritos del misionero franciscano Fray Toribio de Benavente, el cual también relata el éxito con el cual se plantaron viñas y establecieron otros cultivos (Motolinía, 2014). También se menciona en las Relaciones Geográficas del siglo XVI que los primeros intentos de cultivo de viñas con éxito en América se realizaron en el estado de Puebla, y uno de los varietales que tuvieron mejor respuesta de adaptación al clima local fue la vid conocida como "Mónica".

En 1595, el Rey Felipe II de España prohibió la plantación de viñedos y la producción de vino en la Nueva España, presionado por los productores vinícolas españoles que veían la producción extranjera como una amenaza para

la industria vitivinícola nacional. Decretó por ello la destrucción de aquellos viñedos ya plantados en la Nueva España, excepto aquellos cultivados en misiones católicas. Éstos últimos mantuvieron el permiso de establecer viñedos y elaborar vino con fines eclesiásticos (Camacho, 1998). La única bodega vinícola comercial activa durante este periodo fue la de San Lorenzo García, que recibió una merced de tierras en Parras, Coahuila, para la cría de ganado y labor de cultivo (Páez., 2002). Esta bodega, lleva por nombre actualmente Casa Madero, se considera la vinícola activa más antigua de América.

Otras regiones mexicanas, por el contrario, no pudieron conservar sus actividades vitivinícolas, como fue el caso del estado de Puebla. En esta región, la tradición de cultivo de uva y elaboración de vino se retomó recientemente en el año 2016, gracias a la iniciativa del Enólogo Miguel Hernández y el apoyo y asesoría de agricultores del estado. En conjunto con estos productores, se ha alcanzado el cultivo de más de 50 hectáreas en varias regiones del estado, en las cuales han establecido variedades como Pinot Noir, Syrah, Gamay y Chardonnay (López, 2021). Estos cultivos se distribuyen en los municipios de San Andrés Cholula, Huejotzingo, Tepeyahualco, Santa Rita Tlahuapan, San Salvador el verde, San Felipe Teotlalcingo, San Andrés Calpan, San Jerónimo Tecuanipan y Tecamachalco, Tochtepec e Izúcar de Matamoros y el Valle de Atlixco (López, 2021). El crecimiento de esta industria ha permitido que esta casa vitivinícola, en la actualidad, cuente con 7 etiquetas a la venta: Victoria 1862, Angelis 1531, Herencia 1987, Barroquísimo, Origen 1525, Gamay y Elementos.

La industria vitivinícola en México.

En la actualidad, las variedades de vid (*Vitis vinifera* L.) cultivadas en México ascienden a más de 50 registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de semillas (SADR, 2021). Se encuentran entre las principales cultivadas la Chenin blanc, Colombard, Sauvignon blanc, Chardonnay, Merlot, Tempranillo, Zinfandel, Syrah, Nebbiolo, Cabernet Franc, Grenache, Petit Syrah, Malbec y Cabernet Sauvignon.

La producción de vino mexicano, por otro lado, asciende a 4 millones de cajas al año, cifra que cubre el 30 % del vino consumido a nivel nacional (SADER, 2021). Esta demanda se encuentra en constante aumento, puesto que en el 2014 se contaba con un consumo per cápita de 550 ml. Al 2023, se ha alcanzado un consumo per cápita en México de 1200 ml, lo que representa un aumento del 118% en tan solo 9 años (CMV, 2023). Estos datos corroboran el potencial económico, industrial y agrícola que podría representar reactivar zonas agrícolas que han reducido sus actividades por el decremento de los precios en cultivos tradicionales.

Actualmente, las 36.861 hectáreas de viñas cultivadas en México se encuentran repartidas en 14 estados productores, divididos en modalidad de cultivos de temporal y de riego (SIAP, 2022). Se puede identificar a Sonora, Zacatecas y Baja California como los principales productores de uva, con 20.662, 7.992 y 4.702 ha plantadas respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1. Superficie de uva cultivada en México. Elaboración propia con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022).

Entidad	Sup. Cultivada (ha)	%*
Sonora	20,662.00	56.05%
Zacatecas	7,992.80	21.68%
Baja California	4,702.93	12.75%
Aguascalientes	1,055.04	2.86%
Coahuila	667.3	1.80%
Querétaro	529.25	1.43%
Guanajuato	510.5	1.38%
Chihuahua	399.56	1.08%
Jalisco	130	0.35%
San Luis Potosí	129	0.34%
Puebla	53	0.14%
Baja California Sur	17.5	0.05%
Nuevo León	9.6	0.03%
Durango	3	0.01%
Total	36,861.48	100%

* Participación en superficie cultivada.

Hablando específicamente de uva para vino, Baja California posee el 70 % de la superficie plantada a nivel nacional (SADER, 2021) y cuenta con alrededor de 184 empresas vitivinícolas, que, en su conjunto con el sector nacional, producen casi 36 millones de litros de vino al año y ocupan para ello alrededor de 75 mil toneladas de uva (SADER, 2021). En cuanto a volumen de producción de uva con fines industriales, se encuentra Zacatecas a la cabeza con un volumen de producción de 28,677 tons, seguido por Baja California con 24,748 tons y Aguascalientes con 8,573 tons (Tabla 2).

Tabla 2. Producción de uva en México con fines Industriales. (SIAP, 2022).

PRODUCCIÓN DE UVA CON FINES INDUSTRIALES	
Estado	Volumen (tons)
Zacatecas	28,677.00
Baja California	24,748.00
Aguascalientes	8,573.00
Coahuila	3,890.00
Guanajuato	3,206.00
Querétaro	2,851.00
Sonora	1,670.00
Chihuahua	954.00
San Luis Potosí	597.00
Nuevo León	29.00
Total	75,195.00

La producción nacional a pesar de ir en aumento, sólo alcanza a satisfacer el 30 % de la demanda, siendo esta insuficiente para cubrir el mercado interno de consumidores. Por lo anterior, se han presentado iniciativas como la Ley de Fomento a la Industria Vitivinícola, con la cual se busca aumentar la superficie cultivada entre 10,000 y 15,000 hectáreas adicionales en el territorio nacional e impulsar así la industria nacional (Ley de Fomento a la Industria Vitivinícola, 2018).

El impacto del cambio climático en la industria vitivinícola.

Modelos predictivos sugieren que, si la temperatura mundial aumenta 2 grados sobre la temperatura de niveles preindustriales, el mundo podría perder más de la mitad de las regiones productoras de vino del mundo (Lee et al., 2013).

Ante las inevitables consecuencias del cambio climático que amenazan las tradicionales zonas de cultivo y producción vitivinícola, la exploración e identificación de nuevas regiones con vocaciones vitícolas es una tarea indispensable para dar continuidad al crecimiento de la industria vitícola nacional. Según Tonnieto y Carbonneau (2004), la determinación de la aptitud vitícola es el análisis por medio de índices bioclimáticos de una determinada región, evaluando así las posibilidades generales que presenta una cierta zona para el desarrollo del cultivo de la vid. Esta evaluación por tanto debe estar acompañada de la adaptación e identificación de potenciales varietales aptas para su cultivo, así como el desarrollo y exploración de técnicas agrícolas para cada región. El primer paso para la evaluación de una nueva región vitivinícola debe ser la identificación de su aptitud vitícola; esta aptitud se encuentra determinada por condiciones climáticas que favorezcan su cultivo y permitan que los frutos completen su ciclo de maduración y por lo tanto se obtengan materia prima de calidad para la industria vinícola.

Este tipo de estudios ha permitido la caracterización de regiones vitivinícolas del nuevo mundo, como por ejemplo en Cuba (Aranguren-González et al., 2015), Argentina (Cavagnaro et al., 2014) e incluso en Baja California (Valenzuela et al., 2014) en el cual se utilizaron cuatro índices para evaluar el impacto del cambio climático, mediante un modelo informático de modelos de circulación general, el cual integró los índices de grados días de desarrollo (GDD), período libre de heladas (PLH), horas frío (HF) y temperaturas medias máximas (TMM). En México también se ha realizado la caracterización climática

de algunos valles vitícolas del estado de Baja california (Macías & Cabello, 2021), a través de la evaluación de la temperatura ambiental, la irradiancia, la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento y la determinación de los índices climáticos de Grados Días de Desarrollo y el índice de Huglin.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En México, el 70 % de la superficie plantada de uva para vino se encuentra en el estado de Baja California (SADER, 2021). Baja California, al igual que las principales regiones vitivinícolas del mundo, se localiza en una zona con clima tipo mediterráneo, el cual se caracteriza por veranos secos y templados e inviernos húmedos (Cavazos & Arriaga, 2012). Esta concentración geográfica de las zonas de cultivo vitícola representa un riesgo para el mercado vitivinícola nacional, ya que Baja California se encuentra en franjas de alta sensibilidad a las consecuencias del cambio climático que podrían tornar inviable el cultivo de viñas, según algunos modelos climáticos predictivos (Valenzuela et al., 2014). En este sentido, estudios recientes basados en simulaciones de modelos climáticos a partir de índices bioclimáticos, sugieren que, en un escenario de alta emisión de gases invernadero, a finales del siglo XXI, las unidades de calor podrían aumentar hasta 800°C anuales y la temperatura mínima promedio podría aumentar hasta 4.5°C reduciendo hasta en un 46.5% el área de cultivo de vid en México (Bautista, 2021). Por lo anterior, se ha identificado la necesidad de evaluar la aptitud vitícola de nuevas regiones para incrementar la superficie productora de uva para vino y así, asegurar la viabilidad productiva del sector y del mercado vitivinícola nacional.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿El Valle de Atlixco, en Puebla, cuenta con una aptitud vitícola basada en la evaluación de sus características climáticas a través de índices bioclimáticos?

HIPÓTESIS

El Valle de Atlixco cuenta con condiciones climáticas favorables para el cultivo de vid (*Vitis vinífera* L.), y debido a ello podría representar una nueva potencial región vitivinícola a desarrollar.

JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con el objetivo número 13 “Acción por el clima” y la meta 13.1 “Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países” de los Objetivos de Desarrollo Sostenible adoptados por las Naciones Unidas (ONU, 2022), se ha identificado que los efectos del cambio climático sobre el sector vitivinícola representan un riesgo de extinción para el 50 % de las principales regiones vitícolas a nivel mundial (Lee et al., 2013). En un escenario de alta emisión de gases invernadero, a finales del siglo XXI, las unidades de calor podrían aumentar hasta 800°C anuales y la temperatura mínima promedio podría aumentar hasta 4.5°C reduciendo hasta en un 46.5% el área de cultivo de vid en México (Bautista, 2021). Dado este inminente riesgo, es necesario evaluar alternativas y proponer técnicas de adaptación y/o mitigación del impacto del cambio climático sobre el sector vitícola. Una alternativa es la evaluación del potencial vitícola de nuevas regiones con condiciones climáticas distintas a las tradicionalmente cultivadas. El establecimiento de viñedos en nuevas regiones podría suponer una alternativa si se definen variedades con mayor susceptibilidad de adaptación, acompañadas de la implementación de técnicas agronómicas especializadas que mitiguen estas condiciones adversas. Por lo anterior, la determinación y análisis de los índices climáticos propuestos de la región del Valle de Atlixco en el estado de Puebla permitirán analizar la aptitud vitícola de la región y de acuerdo de acuerdo a los resultados, suponer una potencial región emergente con vocación vitivinícola.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las condiciones climáticas del valle de Atlixco en el estado de Puebla, México, e identificar su aptitud vitícola mediante el análisis de índices climáticos.

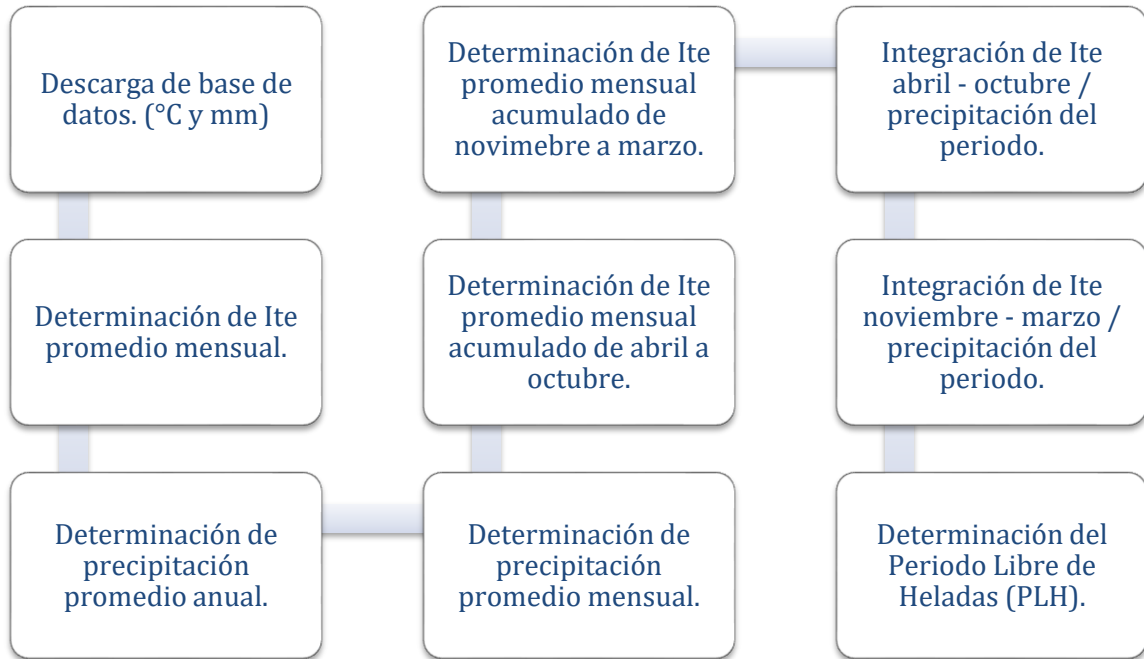
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la duración del periodo activo de la vid, dadas las condiciones climáticas del Valle de Atlixco mediante la determinación de la Integral Térmica Eficaz promedio mensual.
2. Clasificar los periodos vegetativamente activos de acuerdo a la Clasificación propuesta por Winkler y el índice Integral térmica eficaz (Ite).
3. Determinar el periodo libre de heladas.
4. Sugerir recomendaciones para el manejo del cultivo con base en las conclusiones de la investigación.

METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló sobre el municipio de Atlixco, localizado en la región centro oeste del estado de Puebla, en la región central de México, al oriente de la capital de la república mexicana (Anexo 1). Atlixco tiene una altitud promedio de 1840 m sobre el nivel del mar y una superficie de 293 kilómetros cuadrados. Cuenta con un clima templado, cálido, subhúmedo y con lluvias durante el verano (SECTUR, 2019). La temperatura media anual es de 17.9 °C, siendo la temperatura media mensual más alta correspondiente al mes de mayo, con 19.8 °C, y la más baja al mes de enero, con 15.2 °C. La precipitación media anual es de 974 mm. La temperatura media promedio comprendido entre abril y octubre es de 19.9 °C, mientras que la temperatura media promedio comprendido entre noviembre y marzo es de 17.8 °C. La base de datos climática empleada (Anexo 2) se obtuvo de la página oficial del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), de la estación con número de identificación 21012, la cual forma parte de la infraestructura de CONAGUA-DGE de la red de estaciones convencionales. Esta estación se encuentra localizada en latitud 18.922, longitud -98.454 y a una altitud de 1904 m.s.n.m., ubicada en Privada Las Palmas, 74360 Atlixco, PUE, México. El periodo analizado mediante normales climatológicas fue del año 2001 al 2018. Los valores obtenidos de la base de datos fueron la temperatura máxima diaria (°C), la temperatura mínima diaria (°C) y la precipitación pluvial diaria (mm). Cabe destacar que no se pudo obtener información suficiente de registros climatológicos durante el período comprendido entre los años 1986 y 2000, por lo que no se consideró ideal analizar datos previos a este periodo, siguiendo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2014).

Figura 1. Diagrama de flujo de metodología.



A partir de los datos climáticos obtenidos de la base de datos, se calculó la temperatura promedio diaria (°C), la precipitación anual promedio (mm) y la precipitación mensual promedio (mm). Esta información se utilizó para el cálculo de los índices bioclimáticos de Integral térmica eficaz base 10 (Ite). La Integral térmica eficaz base 10 (Ite) promedio mensual, también conocido como Índice de Winkler (Winkler et al., 1974), se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$Ite = \sum_n^1 Tmd - 10$$

Donde:

- Ite: Integral Térmica eficaz.
- $\sum Tmd - 10$: Integral de las temperaturas medias diarias menos 10 unidades obteniendo un promedio mensual de cada mes del año.

La Integral térmica eficaz base 10 (Ite) del periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de octubre se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$Ite = \sum_{31\ oct}^{1\ abr} Tmd - 10$$

Donde:

- Ite: Integral Térmica eficaz.
- $\sum Tmd-10$: Integral de las temperaturas medias diarias menos 10 unidades del 1 de abril al 31 de octubre.

La Integral térmica eficaz base 10 (Ite) del periodo comprendido entre el 1 de noviembre al 31 de marzo se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$Ite = \sum_{31\ mar}^{1\ nov} Tmd - 10$$

Donde:

- Ite: Integral Térmica eficaz.
- $\sum Tmd-10$: Integral de las temperaturas medias diarias menos 10 unidades del 1 de noviembre al 31 de marzo.

Periodo libre de heladas (**PLH**) (Pájaro and Ortiz, 1992). Para calcular el periodo libre de heladas, el cual determina el periodo disponible para el crecimiento de la vid sin riesgo de heladas. La temperatura mínima usada como valor crítico en los cálculos fue de 0°C, ya que a esta temperatura se presenta daño en los brotes de las viñas. Este índice se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$PLH = 1.7713 + 31.0214 (Tmin) - 0.6361(Tmin)^2$$

Dónde:

PLH1 = Periodo libre de heladas (días).

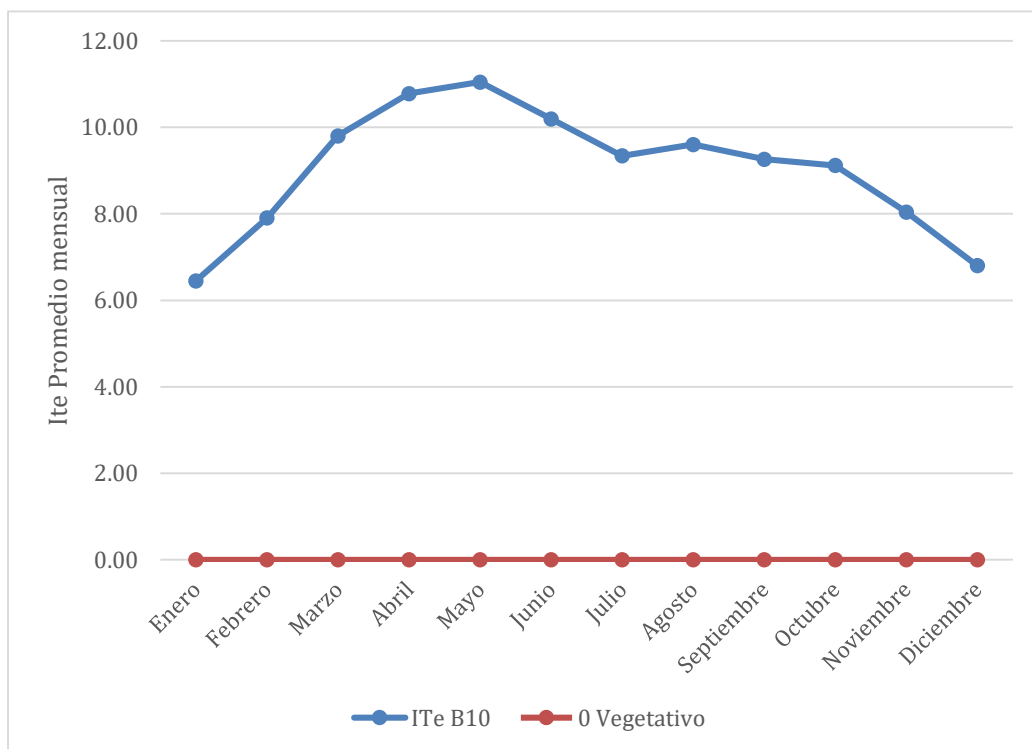
Tmin = temperatura mínima media anual en °C.

Para el análisis y cálculo de los índices bioclimáticos, se empleó el software de hojas de cálculo Microsoft Excel (Versión 2304, 2019, Microsoft®, EEUU).

RESULTADOS

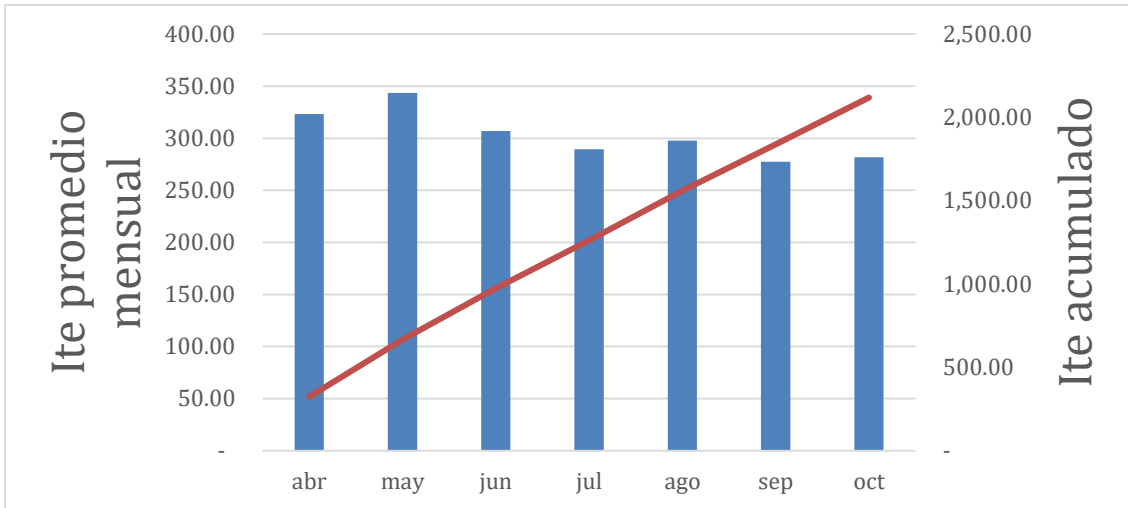
Al calcular la integral térmica eficaz base 10 (Ite) promedio mensual del periodo analizado (2001 – 2018) se obtuvieron valores superiores al 0 vegetativo de la vid en todos los meses del año (Fig. 2). El valor de la integral térmica eficaz promedio mensual más bajo fue el de enero con un valor de 6.45, mientras que el valor más alto fue mayo con 11.05 (Fig. 2).

Figura 2. Integral térmica eficaz promedio mensual del Valle de Atlixco, Puebla (México). Elaboración propia.



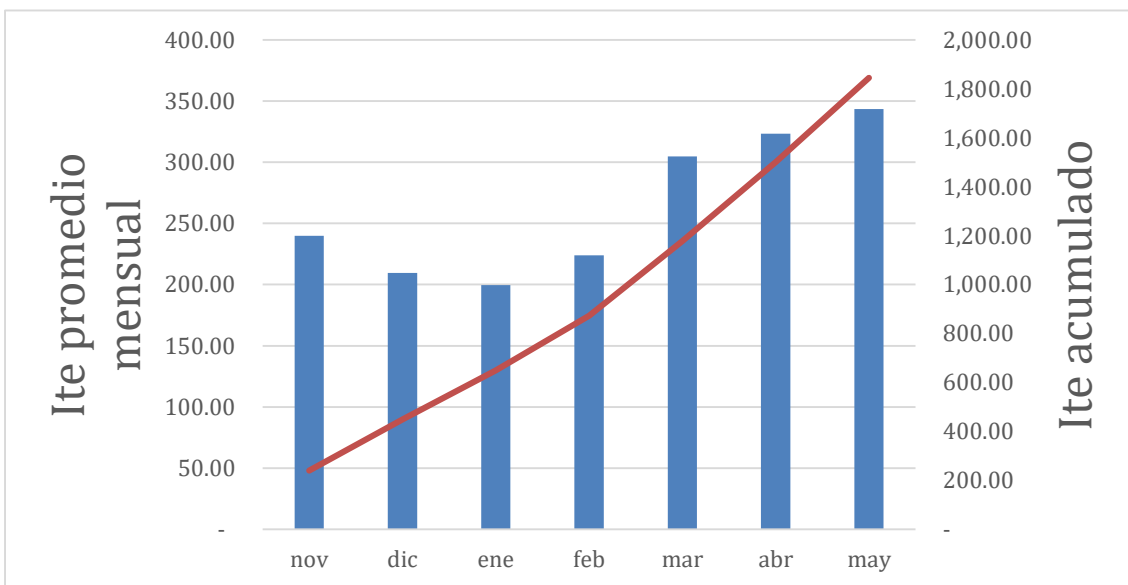
Respecto del índice Integral térmica eficaz (Ite10) promedio mensual del 1 de abril al 31 de octubre se obtuvo un valor acumulado de 2,120 °C (Fig. 3). Durante los meses de septiembre y octubre se produce la menor acumulación térmica, con un 13.08 y 13.9 % respectivamente, mientras que durante el mes de mayo se produce la mayor acumulación térmica con 16.2 %.

Figura 3. Integral térmica eficaz promedio mensual del 1 abril al 31 de octubre. Valle de Atlixco, Puebla (México). Elaboración propia.



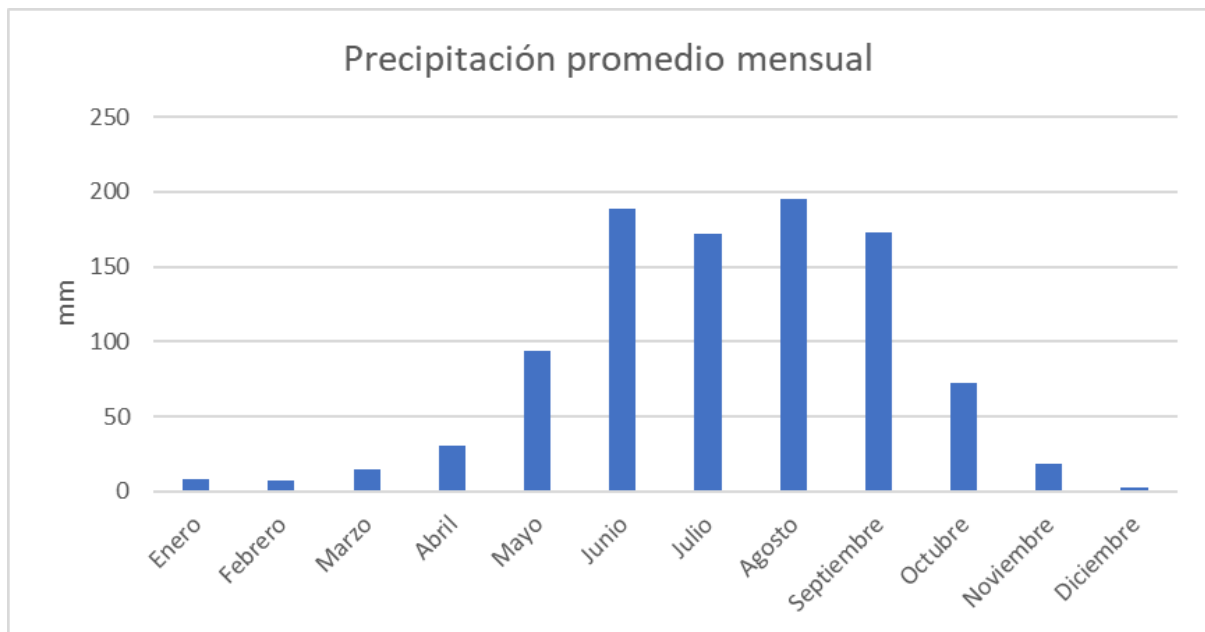
Para la Integral térmica eficaz promedio mensual del 1 de noviembre al 31 de mayo se obtuvo un valor acumulado de 1844 °C (Fig. 4). Durante el mes de diciembre y enero se produce la menor acumulación térmica, con un 11.36 y 10.83 % respectivamente. Mientras que durante los meses de abril y mayo se determinó una mayor acumulación de 17.5 y 18.6% respectivamente.

Figura 4. Integral térmica eficaz promedio mensual del 1 de noviembre al 31 de mayo. Valle de Atlixco, Puebla (México). Elaboración propia.



Por otro lado, la precipitación promedio anual obtenida fue de 974.5 mm y se presentó una importante concentración durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre, que en su conjunto acumulan el 74 % de la precipitación promedio anual (Fig. 5). Mientras que, para el periodo del 1 de noviembre al 31 de mayo, únicamente se acumula un 18 %.

Figura 5. Precipitación promedio mensual. Valle de Atlixco, Puebla (México). Elaboración propia.



Al determinar el periodo libre de heladas (PLH), se obtuvo un resultado de 269 días libres de heladas. Sin embargo, la metodología (Pájaro and Ortiz, 1992) propone determinar estos días a partir de la última helada registrada. Para lo cuál en el promedio de los años evaluados no se obtuvo ningún mes con una temperatura mínima promedio de 0°C o inferior como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 3. Temperatura mínima promedio de cada mes del periodo analizado.

Mes	Mín. de T MIN Promedio
ene	2.0000
feb	4.0000
mar	2.0000
abr	7.0000
may	3.0000
jun	8.0000
jul	8.0000
ago	8.0000
sep	7.0000
oct	5.0000
nov	2.0000
dic	2.0000

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.

La Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda que el periodo ideal para el cálculo de las normales climatológicas se realicen, como mínimo, sobre los datos de 30 años consecutivos (OMM, 2014). El presente estudio no cumple este requisito puesto que solo se obtuvieron datos de 18 años consecutivos debido a que el estado de Puebla no cuenta con la suficiente infraestructura de control y registro meteorológico (Zambrano, 2022). Este hecho afecta directamente al valle de Atlixco, es por ello que, a pesar de no cumplir con los requisitos recomendados, se determinaron los índices con la información climática disponible.

Tabla 4. Integral térmica eficaz promedio mensual.

Integral térmica eficaz promedio mensual		
Mes	Ite promedio diario B10	Ite promedio mensual
Enero	6.45	199.71
Febrero	7.90	224.03
Marzo	9.80	304.78
Abril	10.78	323.39
Mayo	11.05	343.56
Junio	10.19	306.86
Julio	9.34	289.51
Agosto	9.60	297.69
Septiembre	9.26	277.39
Octubre	9.12	281.75
Noviembre	8.04	239.81
Diciembre	6.80	209.48

Respecto a los resultados obtenidos, en primer lugar, se analizó la integral térmica eficaz (Ite) base 10 promedio mensual (tabla 4). Al graficar estos valores, se identificó que todos los meses tienen una Integral térmica eficaz promedio superior a la temperatura fisiológica base (figura 2), considerada como la temperatura a partir de la cual se produce crecimiento y desarrollo vegetativo. Según Antonacci (2001), este valor corresponde a 10 °C de la temperatura promedio diaria, pudiendo variar dependiendo de la variedad y del estado fenológico de la misma. Este hecho permite suponer que las vides en esta región no entren en un completo estado de dormancia durante el periodo invernal (Cara, 2009), y, por lo tanto, pudieran mantenerse en un estado constante de actividad vegetativa, tal como sucede en regiones vitivinícolas de clima tropical (Almanza, 2011). En regiones con estas características los viticultores han desarrollado prácticas como la aplicación de productos compensadores de frío, tal como la cianamida hidrogenada y extractos de ajo que fungen como inductores de rompimiento del estado de dormancia (Almanza, 2011), con lo cual logran compensar las horas frío necesarias para su brotación y de ésta forma calendarizan la producción de acuerdo a las mejores condiciones climáticas de la región. Con estas técnicas, obtienen hasta 3 cosechas al año de baja calidad en regiones de clima tropical y alrededor de 1.8 cosechas al año de mejor calidad en regiones de clima frío tropical, como es el caso de proyectos vitivinícolas de altura en Colombia (Almanza, 2011).

Otros estudios del comportamiento de las vides en regiones vitivinícolas tropicales han identificado que las altas temperaturas constantes pueden afectar la intensidad y complejidad de los aromas en las uvas, disminuir la acidez y aumentar la concentración de azúcares, provocando por ende un incremento en

el nivel potencial de alcohol en el vino (Mira de Orduña, 2010). Este conjunto de factores puede provocar, además, una condición de estrés en la levadura e influir en el incremento de la producción de compuestos secundarios no deseados como el ácido acético (Mira de Orduña, 2010), es por ello que en regiones con estas características resulta imprescindible calendarizar el ciclo productivo de la vid.

En la región de Atlixco, se presenta una precipitación promedio de 974.5 mm anuales concentrados en los meses de junio, julio, agosto y septiembre; durante los cuales, de acuerdo al desarrollo vegetativo de la vid, coinciden con el periodo de envero, maduración y cosecha de las uvas. Sólo en este periodo, se concentran el 74 % de las precipitaciones, lo equivalente a 720 mm de lluvia. Este hecho puede suponer un reto importante, puesto que esta concentración puede generar un alto nivel de humedad, y elevar con ello la susceptibilidad al desarrollo de enfermedades fúngicas de la madera, plagas y hongos en los frutos como el mildiu, el oídio, y la Botrytis (Armengol, 2017). Frente a este tipo de condiciones, se han desarrollado proyectos vitivinícolas alrededor del mundo con éxito en regiones tropicales, como lo son aquellos ubicados en países como Brasil, India, Tailandia y Colombia (Kok, 2014). Estos proyectos han recibido premios internacionales, como la bodega Gran monte, ubicada en Tailandia, la cual recibió dos medallas de plata en sus vinos Heritage Syrah y Asoke Cabernet Sauvignon en la edición Decanter World Wine Awards 2011 (Decanter, 2011).

A raíz de los resultados previamente analizados, se determinó el índice de integral térmica eficaz en dos periodos, con el fin de identificar sus

características y evaluar su aptitud vitícola de cada periodo de acuerdo al comportamiento de las mismas. El primer periodo analizado fue del 1 de abril al 31 de octubre, tal como el ciclo productivo tradicional apegado al comportamiento climático estacional, y posteriormente se analizó del 1 de noviembre al 31 de mayo, considerando la posibilidad de la programación de un segundo periodo productivo complementario.

Para el periodo del 1 de abril al 31 de octubre, se obtuvo un valor acumulado promedio de la Integral térmica eficaz de 2120 °C (tabla 5), que de acuerdo con la clasificación propuesta por Winkler (1974), se encuadraría como una región IV, mientras que, para el periodo del 1 de noviembre al 31 de mayo, se obtuvo un valor acumulado promedio anual de la ITB13 de 1844 °C (tabla 5). De acuerdo a la clasificación anteriormente citada, el Valle de Atlixco se ubicaría como una región III en este segundo periodo.

Tabla 5. Integral térmica eficaz promedio acumulada.

ITE Acumulada		
Periodo	Acumulado	Clasificación Winkler
Abril - octubre	2,120	Región IV
Noviembre - mayo	1,844	Región III

Sin embargo, a pesar de que ambos periodos acumulan los suficientes grados eficaces para el cultivo de la vid (Winkler, 1974), el primer periodo (abr-oct) coincide con la etapa de mayor concentración pluviométrica en la cual se acumulan alrededor del 75% de las precipitaciones anuales, equivalentes a casi 730 mm de lluvia. Este comportamiento pluviométrico, en cuanto a densidad y concentración temporal, se asemeja a regiones de viticultura extrema, como lo

es Finger Lakes en Nueva York, USA, donde se presenta una precipitación anual promedio de 600 mm, con una mayor concentración durante el verano y en la cual se tiene una integral térmica eficaz promedio anual de 1370 °C (Whitesell, 2015) o también el estado de Querétaro, en México, en la cual se cultivan diversas variedades de ciclo corto y largo, como es la Tempranillo, Malbec, Merlot, Syrah, Chardonnay, Cabernet (Vázquez et al., 2022). En esta región, debido a la concentración de la precipitación durante el verano, se tiene un control exhaustivo de las plagas y enfermedades, las cuales se combinan con el uso de agroquímicos y prácticas culturales como las podas en verde, deshojes, raleos de racimos, raleos de bayas, e incluso técnicas de viticultura de precisión, como la integración de sistemas de información geográficas, mapeos de variabilidad de suelo, monitorización del clima en tiempo real, drones agrícolas, entre otros que les permiten un mejor control sanitario de sus cultivos. Esto les permite realizar una cosecha con mayor control sanitario que posteriormente se vinifica en micro lotes (Vázquez et al., 2022). El terroir y el clima que se presenta esta región, le brinda una tipicidad única a los vinos producidos, lo cual los ha impulsado a ser reconocidos con múltiples galardones en concursos internacionales (Concours Mondial de Bruxelles, 2023).

Por otro lado, para el periodo del 1 de noviembre al 31 de mayo, se obtuvo un valor acumulado promedio anual de la Ite de 1844 °C. De acuerdo a la clasificación propuesta por Winkler (1974), se ubica como una región tipo III. Considerando la altitud en la que se encuentra Atlixco (1890 msnm), y la influencia que ejerce el eje neo volcánico, se analizó este segundo periodo tal como en regiones vitícolas de altura cercanas al ecuador, consideradas de clima frío tropical (Almanza, 2011). Estas regiones se caracterizan por ser cálidas

durante todo el año y estar ubicadas entre los 2000 y 2600 m.s.n.m. Al encontrarse a una elevada altitud, estas regiones se ven beneficiadas por la disminución de las temperaturas nocturnas, que favorecen maduraciones lentas con un mayor equilibrio fenológico y una obtención de mostos con un mayor nivel de acidez (Almanza, 2011). En Punta Larga, Boyacá, Colombia, una región de clima frío tropical, ubicada a 2600 msnm, Rico (2009) evaluó el cultivo de variedades Pinot Noir, Riesling, y Riesling x Silvaner, concluyendo que se alcanzan grados de maduración y acidez con valores equivalentes a regiones tradicionales renombradas. Concluyó también que uno de los principales factores que influye en su maduración, es la radiación solar, que, al ser mayor, permite que las uvas maduren completamente, pero a un ritmo más lento, lo que preserva la acidez y permite la maduración fenólica de las bayas (Rico, 2009). Almanza (2011), por otro lado, caracterizó fisicoquímicamente también en la región de Boyacá, Colombia, la variedad Pinot Noir, concluyendo que los periodos del ciclo fenológico de la vid en esta región, tenían las siguientes duraciones: estado herbáceo 63 días, el envero de 14 días, la maduración 42 días y la sobre maduración 21 días. Por lo que desde la brotación hasta la sobre maduración, transcurrían 140 días con una lte de 800.6 °C. En este contexto se puede considerar, que, en el segundo periodo analizado de la región de Atlixco, se podría inducir la brotación de las yemas entre el periodo de noviembre, diciembre o enero, con lo cual alcanzarían los 800°C acumulados a mediados de febrero, marzo, o principios de abril respectivamente (figura 4), dando oportunidad de explorar el cultivo de variedades de ciclo corto o medio, tal como las recomendadas por Tonnieto y Carbonneau (2004) para las regiones I, II y III, como son las citadas en la siguiente tabla:

Tabla 6. Variedades recomendadas según región de Winkler (Tonnieto y Carbonneau, 2004).

Variedades de uva recomendadas según la Clasificación del índice de Winkler.

Regiones	Ite	Variedades
Región I	850 - 1389	Pinot noir, Riesling, Chardonnay, Gewurztraminer, Pinot Grigio, y Sauvignon blanc.
Región II	1389 - 1667	Cabernet - Sauvignon, Chardonnay, Merlot, Semillon y Syrah.
Región III	1671 - 1950	Grenach, Barbera, Tempranillo y Syrah.
Región IV	1951 - 2220	Carignan, Cinsault, Mourvedre y Tempranillo.
Región V	> 2221	Primitivo, Nero d'avola, Palomino y Fiano.

Existen otras variedades resistentes a altos niveles de humedad y a plagas provocadas por estas condiciones candidatas a ser evaluado su cultivo en esta región, como las variedades híbridas, por ejemplo, la Vidal blanc, que es una hibridación de la variedad Ugni blanc o la Rayon d'Or, creada por Jean Louis (Charente, Francia), la cual está adaptada a climas fríos, y es resistente a altos niveles de humedad y enfermedades fúngicas. Ésta, es capaz de madurar completamente a pesar de que se presente una baja acumulación térmica. Es comúnmente utilizada para la producción de vinos tipo Ice wine, así como secos y dulces.

Otra opción es la variedad híbrida Baco Noir (*V. riparia* x *V. vinifera*), la cual fue creada en 1902 por François Baco en Francia. Se puede cultivar en suelos arcillosos moderadamente pesados y es resistente a suelos con un alto nivel de humedad, siempre y cuando no estén anegados por un largo periodo. Esta variedad es recomendada para ser cosechada cuando alcanza un completo nivel de madurez, con el fin de reducir su alto nivel de acidez aportado por su alto contenido de ácido málico y tartárico. Esta variedad es capaz de

producir vinos con características organolépticas similares a Pinot de la Borgoña y Gamay Noir, con colores profundos, una firme presencia de bayas, cerezas negras y ciruelas, con altos niveles de acidez y finales limpios, lo que le dan una gran capacidad de madurez y lo hacen perfecto para ser usado en blends.

En cuanto al periodo libre de heladas, se determinó que todos los meses se encuentran libres de riesgo de heladas, sin embargo, el periodo comprendido entre noviembre a enero, se han llegado a presentar temperaturas mínimas cercanas a los 2°C, lo cual es un factor a considerar en los riesgos de la región. Snyder et, al. (2005), determinaron que los mayores riesgos de helada se presentan al fondo de los valles, ya que el aire frío corre cuesta abajo por la densidad del mismo y se acumula en el fondo de estos. Para evitar los riesgos que presentan éstos fenómenos climáticos, estos autores proponen establecer las plantaciones en superficies con suficiente inclinación y elevación que desplace el aire frío a regiones más profundas. En otras regiones con alto riesgo de heladas, se ha implementado también la aplicación de agua con aspersores, ya que el riesgo se presenta cuando la temperatura del aire se presenta bajo 0°C. Básicamente, a medida que la temperatura del aire que rodea las plantas cae por debajo de los niveles de congelación, el agua comienza a congelarse y cristalizarse, provocando que el hielo encierre la planta y la aísle parcialmente de las duras temperaturas exteriores. Los aspersores proporcionan una diferencia de temperatura de 2 a 5 grados, que es suficiente para proteger las plantas siempre y cuando el agua moje constantemente la planta (Snyder et al. 2005).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Considerando el análisis de los resultados obtenidos en el presente estudio, el valle de Atlixco podría ser considerado una región con potencial vitivinícola. Sin embargo, esta aptitud se ve altamente influenciada por la precipitación, debido a que la distribución de la misma se encuentra focalizada en la temporada de envero, maduración y cosecha de la vid, lo que incrementa la potencial incidencia de plagas y enfermedades, y podrían elevar por ende los costos de producción y afectar de manera importante la calidad de la uva a cosechar.

La viabilidad productiva de la región se ve, por tanto, condicionada por el manejo agronómico y por la selección de variedades con características fisiológicas adecuadas que faciliten la implantación del cultivo en la región y permitan aportar características organolépticas atractivas para el mercado vinícola. Los precedentes del cultivo en regiones tropicales y la adaptación del ciclo vegetativo a través de reguladores fisiológicos, abren la posibilidad de explorar alternativas para el cultivo en esta región, mediante la adaptación del ciclo vegetativo a un período con mejores condiciones climáticas, adelantando la brotación de la vid a periodos con mayor susceptibilidad de maduración sin riesgos de altas precipitaciones.

De acuerdo a los datos analizados, no existe un riesgo de heladas que determine la inviabilidad de la región. Sin embargo, si llegaran a presentarse, es recomendable para los productores contar con el equipó indispensable para proteger los cultivos de daños irremediables.

Se recomienda la recolección e investigación de bases de datos climáticas alternativas, además de completar las bases de datos de los periodos ausentes de datos con información de estaciones meteorológicas cercanas, y/o modelos climáticos y estadísticas descriptivas con el fin de determinar distintos índices bioclimáticos que permitan caracterizar la región desde puntos de vista técnicos distintos a los ya abordados. En este sentido, también se recomienda determinar el índice de Heliothermal, para definir una mejor aproximación del período activo de la vid; o el índice de frescura nocturna, para medir la amplitud térmica diaria y evaluar el potencial de retención de acidez de las bayas. Estos índices aportarían mayor información de cara a la clasificación de esta región emergente. Debido a que este trabajo no es concluyente, se recalca la importancia de continuar con la integración de información climática para una caracterización de mayor confiabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Adam Lechmere. (2011). Asia triumphs as Decanter World Wine Awards 2011 results published. Obtenido de <https://www.decanter.com/decanter-world-wine-awards/latest-coverage/asia-wins-in-decanter-world-wine-awards-39224/>
- Almanza, P. (2011). Determinación del crecimiento y desarrollo del fruto de vid (*Vitis vinifera* L.) bajo condiciones de clima frío tropical. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia Facultad Agronomía, Escuela de Posgrados, Colombia.
- Antonacci, D. J. (2001). Influenza della disponibilità termica sulle manifestazioni fenologiche della vite in diverse aree di produzione dei due emisferi. *Frutticoltura e di ortofloricoltura* 63(12), 65- 72.
- Aranguren, M., Pérez, J., & Pérez, Y. (2015). Determinación de los índices bioclimáticos y tipo de clima para la vid en las condiciones de Jagüey Grande, Matanzas, Cuba. *Centro Agrícola*, 42(4), 75-83.
- Armengol, J. (2017). Enfermedades fúngicas de madera de la vid. Una visión general del problema. *Enovicultura*, (46), 6-15.
- Bautista, B. N. (2021). Impacto del cambio climático en regiones vitivinícolas. Tesis de maestría. CICESE, Ensenada, México.
- Camacho, F. P. (1998). Movilidad vitivinícola entre Andalucía y América a partir del siglo XVIII. Universidad de Cádiz, Cádiz, España.

Cara, (2009). Características agroclimáticas de la vid. Agencia Estatal Meteorológica. Obtenido de <https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/2383>

Casscles, J. S. (2019). Selected Red French-American Grape Varieties for the Northeast. *Fruit Notes*, 84(Summer), 20-24.

Cavagnaro, M. (2014). Conferencia “Evolución de tres índices bioclimáticos para la vid en San Martín y Luján de Cuyo (Mendoza, Argentina)”. 37th World Congress of Vine and Wine and 12th General Assembly of the OIV, Mendoza, Argentina.

Cavazos, T., & Arriaga, S. (2012). Escenarios reducidos de cambio climático para Baja California y el monzón norteamericano durante el siglo XXI. Conferencia de 35 Aniversario CICESE.

Concours Mondial de Bruxelles. (2023). Results Concours Mondial de Bruxelles 2022. Concours Mondial de Bruxelles. Obtenido mayo 23, 2023, de <https://results.mexicoselection.com/es/resultados>

Consejo Mexicano Vitivinícola. (2023, mayo 23). Industria de la viña y vino, motor de crecimiento y empleo para 15 entidades del país: Agricultura. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/industria-de-la-vina-y-vino-motor-de-crecimiento-y-empleo-para-15-entidades-del-pais-agricultura?idiom=es>

Hidalgo, L. (1980). Caracterización microfísica del ecosistema medio-planta en

- los viñedos españoles. Comunicaciones INIA. Serie producción vegetal, N° 29. (Ed). Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid. 255 p.
- Huglin, P. (1978). Nuevo modo de evaluación de las posibilidades heliotérmicas de un medio vitivinícola. C.R. Acad. Agric. Francia. 64: 1117-1126.
- Kok, Demir. (2014). A Review on Grape Growing in Tropical Regions. Turk. J. Agric. Nat. Sci.1.
- Lee, H., Roehrdanz, P., Ikegami, M., Shepard, A., Shaw, R., & Tabor, G. (2013, febrero 19). Climate change, wine, and conservation. University of Texas at Austin. Artículo científico.
- Ley de fomento a la Industria Vitivinícola, [LDIV], Diario Oficial de la Federación (D.O.F), 23/05/2018, México.
- López, V. (2021, junio 2019). Puebla recupera la larga tradición vitivinícola de hace 500 años. Milenio. Recuperado Noviembre 13, 2022, de <https://www.pressreader.com/mexico/milenio-puebla/20210619/281492164274734>
- Macías, V., & Cabello, A. (2021, Junio). Climatología y evapotranspiración en valles vitivinícolas de Baja California. Revista mexicana de ciencias agrícolas, Vol. 12(5).
- Mellink, E. (2002). El límite sur de la región mediterránea de Baja California, con base en sus tetrápodos endémicos. Acta Zoológica Mexicana, (85), 11-23. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57508502>

Mira de Orduña, R. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. Retrieved May 22, 2023, from https://www.uni-giessen.de/de/fbz/zentren/zeu/pics/News-pics/summerschool/downloads/Koundouras_Climate%20change%20associated%20effects%20on%20grape%20and%20wine%20quality%20and%20production_Orduna.pdf

Motolinía, F. T. (2014). Historia de los indios de la Nueva España. Real Academia Española, Madrid, España.

Organización de las Naciones Unidas. (2022). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Desarrollo Sostenible. Recuperado e 17 Octubre del 2022, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Organización Meteorológica Mundial (2014), Comunicado de prensa #997, Heidelberg (Alemania). Obtenido 23/05/2023 de <https://public.wmo.int/es/media/press-release/no-997-%E2%80%93-los-cient%C3%ADficos-istan-que-se-actualicen-con-m%C3%A1s-frecuencia-los>

Páez., S. A. (2002). La vitivinicultura en el pueblo de Santa María de las Parras. Tesis de posgrado, Universidad Iberoamericana, CDMX, México.

Ramos-Santana, A. (1998). El comercio de vinos y aguardientes andaluces con América, libro, Universidad de Cádiz, Cádiz.

Rico, M. Q. (2009). Viticultura tropical a gran altitud Condiciones y expresiones del terroir. *Cultura Científica*, (7), 61-68.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021, Julio 14). Vino mexicano igual a excelencia | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gov.mx. Gobierno de México. Recuperado September 16, 2022, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/vino-mexicano-igual-a-excelencia?idiom=es>

Secretaría de Turismo. (20 de 10 de 2019). Atlixco, Puebla. Blog de la Secretaría de turismo. Obtenido de <https://www.gob.mx/sectur/articulos/atlixco-puebla#:~:text=Ubicado%20a%201%2C830%20m%20de,y%20lluvioso%20durante%20el%20verano.>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022, Julio 31). Producción de uva durante el ciclo 2022 en modalidad de riego y temporal al 31 de Julio del 2022 en México. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Retrieved Septiembre 5, 2022, from https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

Snyder, R. L., Melo-Abreu, J. D., & Matulich, S. (2005). Frost protection: fundamentals, practice and economics. Volume 2. Frost protection: fundamentals, practice and economics, 2, 1-72.

Tonietto, J., & Carbonneau, A. (2004). Un Sistema de Clasificación Climática Multicriterio para las Regiones Vitivinícolas del Mundo. *Agricultural and Forest Meteorology*. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>.

Valenzuela Solano, César, Ruiz Corral, José Ariel, Ramírez Ojeda, Gabriela, Hernández Martínez, Rufina. (2014). Efectos del cambio climático sobre el potencial vitícola de Baja California, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(spe 10), 2047-2059. Recuperado en 24 de mayo de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014001402047&lng=es&tlng=es

Vázquez, A., Sánchez, E., Herrera, A., & Borrego, N. (2022). *La industria vitivinícola mexicana en el siglo XXI: retos económicos, sociales y ambientales (primera edición ed.)*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., Jalisco, México.

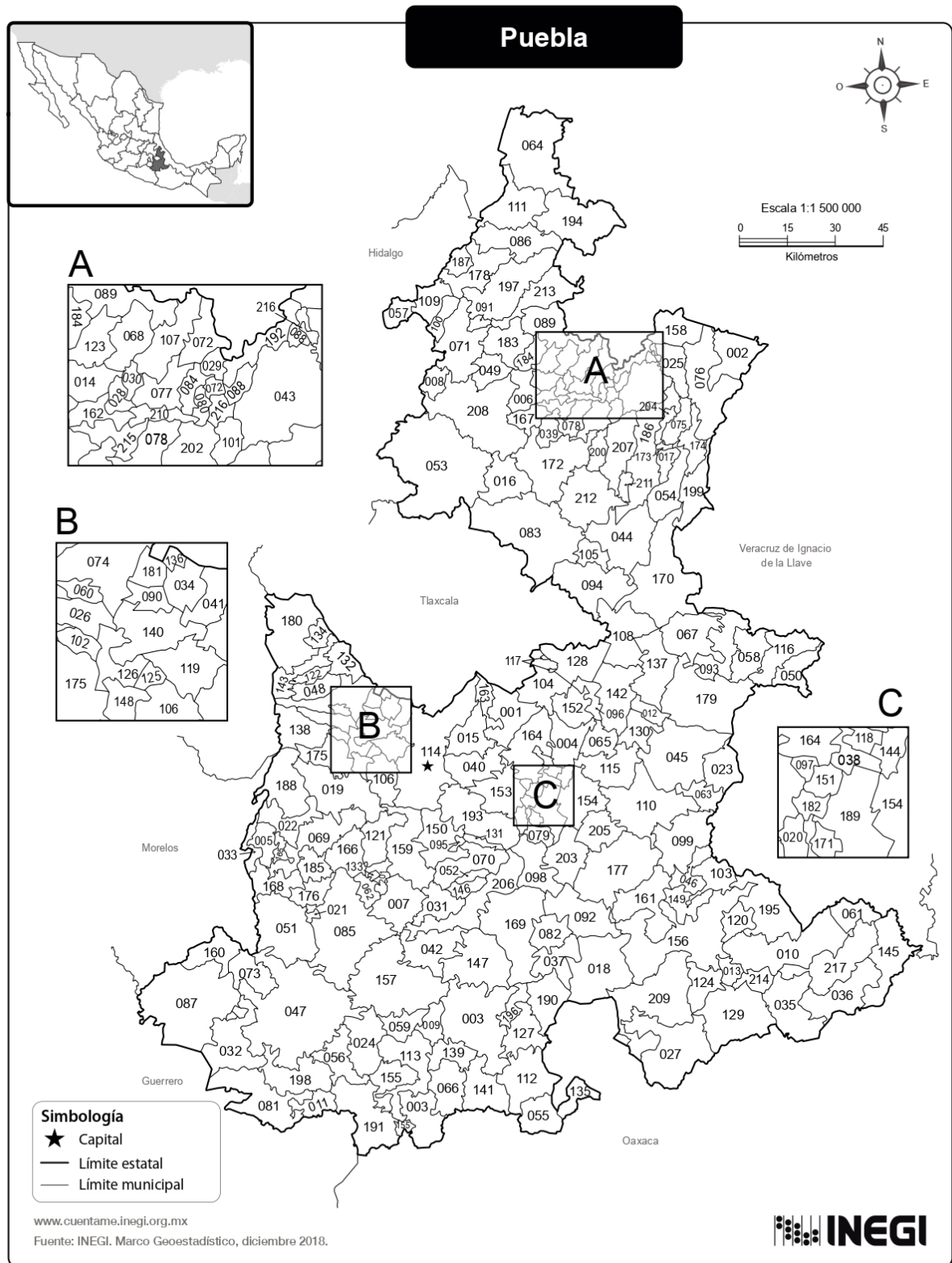
Verema. (2019). Ganadores de los premios Verema 2018. Obtenido el día 23/05/2023 de <https://www.verema.com/blog/verema/1479007-ganadores-premios-verema-2018>

Whitesell, K. (2015). The lake effect on the surrounding climate of the finger lakes in New York. Obtenido de <https://keckgeology.org/files/pdf/symvol/18th/fingerlakes/whitesell.pdf>

Winkler, A. J. (1974). *General Viticulture: Second Revised Edition*. University of California Press, California, USA.

Zambrano, J. (2022, January 31). Puebla registra déficit de estaciones meteorológicas - Grupo Milenio. Milenio. Recuperado Octubre 17, 2022, de <https://www.milenio.com/estados/puebla-registra-deficit-de-estaciones-meteorologicas>

Anexo A. Mapa y ubicación de Atlixco.



Puebla

Municipios:

001	Acajete	056	Chila de la Sal
002	Acateno	057	Honey
003	Acatlán	058	Chilchotla
004	Acatingo	059	Chinantla
005	Acteopan	060	Domingo Arenas
006	Ahuacatlán	061	Eloxochitlán
007	Ahuatlán	062	Epatlán
008	Ahuazotepec	063	Esperanza
009	Ahuehuetitla	064	Francisco Z. Mena
010	Ajalpan	065	General Felipe Ángeles
011	Albino Zertuche	066	Guadalupe
012	Aljojuca	067	Guadalupe Victoria
013	Altepeixi	068	Hermenegildo Galeana
014	Amixtlán	069	Huaquechula
015	Amozoc	070	Huatlatlauca
016	Aquixtla	071	Huachinango
017	Atempan	072	Huehuetla
018	Atexcal	073	Huehuetlán el Chico
019	Atlixco	074	Huejotzingo
020	Atoyatempan	075	Hueyapan
021	Atzala	076	Hueytamalco
022	Atzitzihuacán	077	Hueytlalpan
023	Atzitzintla	078	Huitzilán de Serdán
024	Axutla	079	Huitziltepec
025	Ayotoxco de Guerrero	080	Atlequizayan
026	Calpan	081	Ixcamilpa de Guerrero
027	Caltepec	082	Ixcaquixtla
028	Camocuautla	083	Ixtacamaxtitlán
029	Caxhuacan	084	Ixtepec
030	Coatepec	085	Izúcar de Matamoros
031	Coatzingo	086	Jalpan
032	Cohetzala	087	Jolalpan
033	Cohuecan	088	Jonotla
034	Coronango	089	Jopala
035	Coxcatlán	090	Juan C. Bonilla
036	Coyomeapan	091	Juan Galindo
037	Coyotepec	092	Juan N. Méndez
038	Cuapiaxtla de Madero	093	Lafragua
039	Cuautempan	094	Libres
040	Cuautinchán	095	La Magdalena Tlatlauquitepec
041	Cuautlancingo	096	Mazapiltepec de Juárez
042	Cuayuca de Andrade	097	Mixtla
043	Cuetzalan del Progreso	098	Molcaxac
044	Cuyoaco	099	Cañada Morelos
045	Chalchicomula de Sesma	100	Naupan
046	Chapulco	101	Nauzontla
047	Chiautla	102	Nealtican
048	Chiautzingo	103	Nicolás Bravo
049	Chiconcuautla	104	Nopalucan
050	Chichiquila	105	Ocotepc
051	Chietla	106	Ocoyucan
052	Chigmecatitlán	107	Olintla
053	Chignahuapan	108	Oriental
054	Chignautla	109	Pahuatlán
055	Chila	110	Palmar de Bravo