

Caracterización agroclimática del cultivo de *Agave tequilana* Weber en la barranca del Río Santiago

Martín Pedro Tena-Meza^{1§}

Rafael M. Navarro-Cerrillo²

Raymundo Villavicencio-García³

Sergio Honorio Contreras-Rodríguez⁴

¹Instituto de Botánica-Universidad de Guadalajara. ²Departamento Ingeniería Forestal, Laboratorio de Selvicultura, Dendrocronología y Cambio Climático. DendrodatLab-ERSAF-Universidad de Córdoba, España. ³Departamento de Producción Forestal-Universidad de Guadalajara. ⁴Departamento de Ciencias Ambientales-Universidad de Guadalajara.

§Autor para correspondencia martin.tena@academicos.udg.mx.

Resumen

En sus inicios la producción de tequila utilizó diferentes especies de agaves, con el tiempo el *Agave tequilana* Weber se consolidó como especie única por presentar mejores características para su cultivo y producción de azúcares. La Barranca del Río Santiago es considerada como el lugar de origen de la planta de *Agave tequilana* y del proceso de elaboración de la bebida que hoy se conoce con el nombre tequila. A partir de lo declarado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura, el paisaje agavero y las antiguas instalaciones industriales de tequila como patrimonio cultural de la humanidad. La caracterización espacial y temporal de la información climatológica y edáfica disponible para una región en particular permite comprender el tipo de manejo que los agricultores practican sobre sus cultivos, evaluar sus restricciones y posibles efectos en la producción y en el medio ambiente. El objetivo de este trabajo fue conocer las condiciones ambientales bajo las cuales se distribuyen las plantaciones actuales y potenciales del cultivo de *A. tequilana* en el Cañón del Río Santiago y de manera específica la parte que incluye el paisaje agavero. Se detectó que en la barranca más de 50% de las plantaciones de agave se localizaron en terrenos escarpados sin prácticas de conservación de suelo lo que provoca su pérdida y contaminación con agroquímicos al ecosistema barranqueño, considerado como un atractivo natural a conservar dentro del paisaje agavero.

Palabras clave: *Agave tequilana* Weber, agroecología, barranca del Río Santiago, tequila.

Recibido: marzo de 2023

Aceptado: mayo de 2023

Introducción

La posibilidad de obtener alimento, bebida, protección, abrigo, herramientas, fibras y una amplia variedad de productos naturales de la planta de agave contribuyó al desarrollo de grandes civilizaciones en el centro y sur de México. El uso más extendido de la planta es la producción del *licor de agave*, el cual se elabora a partir de la fermentación y destilación del jugo que se extrae de los tallos o cabezas cocidas (Gentry, 1982), que corresponde al Tequila, que es la bebida mexicana por excelencia. Diferentes fuentes históricas refieren el uso de otros tipos de agaves para la producción del entonces llamado vino-mezcal, a partir de los cuales dio inicio el proceso de selección y domesticación del *A. tequilana*.

En las laderas de la Barranca del Río Santiago se inició su cultivo y se establecieron las primeras tabernas para la producción de tequila, gracias a la calidad y abundancia del agua que emanaba de sus barrancas, y por ser el sitio idóneo para encubrir la actividad que en la época de la colonia se consideraba ilícita (Pérez, 1887; Valenzuela, 1997, 2003; Gutiérrez 2007; Jiménez, 2008; Muriá, 2016). Es en esta zona (principalmente en los municipios de Amatitán y Tequila) donde se originó la diáspora del cultivo y de la destilación del tequila, el cultivo migró a tierras planas y dio origen a un singular paisaje que propició la declaración de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO) que reconoce a el paisaje agavero y las antiguas instalaciones industriales de tequila, como patrimonio cultural de la humanidad en la categoría de Paisaje Cultural (UNESCO, 2006).

El tequila es ampliamente aceptado en el comercio internacional, en el año 2020 se utilizaron un millón cuatrocientos siete mil toneladas de agave, para producir 374 millones de litros de tequila, de los cuales se exportó el 76.7% (CRT, 2021), el valor de las exportaciones alcanzó la cifra de 1 874 millones de dólares en 2019 (SIAP, 2020a). No obstante, el cultivo industrial de *A. tequilana* vinculado al mercado internacional ha ocasionado el deterioro de los agroecosistemas (Suárez 2014; Tena *et al.*, 2018) y la pauperización de la calidad de vida de los jornaleros y campesinos cultivadores de agave (Padilla 2017).

El agave tequilero al igual que otros cultivares con alto valor comercial requiere de condiciones favorables para expresar al máximo su potencial productivo. La caracterización espacial y temporal de la información climatológica y edáfica disponible para una región en particular permite comprender el tipo de manejo que los agricultores practican sobre sus cultivos, evaluar sus restricciones y posibles efectos en la producción (Alcaraz, 2011; Collazo *et al.*, 2011), el uso de estos datos es aún más relevante si se toma en cuenta que pocas veces es posible aprovechar más de 10% de la información contenida en la cartografía básica (Alcaraz, 2011).

El objetivo de este trabajo fue conocer las condiciones ambientales bajo las cuales se distribuyen las plantaciones actuales y potenciales del cultivo de *A. tequilana* en el Cañón del Río Santiago y de manera específica la parte que incluye el paisaje agavero, para lo cual se generó una base de datos ambientales y se utilizó un sistema de información geográfica, con lo cual se podrán determinar los sitios idóneos para el desarrollo de la planta de agave sin alterar el agroecosistema.

Selección y elaboración de capas de los requerimientos agroecológicos de *A. tequilana*

Al comparar a *A. tequilana* con otros cultivos cosmopolitas, son acotadas las en la literatura sobre los requisitos agroecológicos de *A. tequilana*; no obstante, se encuentra información sustantiva generada en las áreas de cultivo con mayor tradición (Ruiz-Corral *et al.*, 2002; 2013) y de experimentos llevados a cabo en condiciones controladas en laboratorio, invernadero o cámaras bioclimáticas (Nobel *et al.*, 1998, Pimienta-Barrios *et al.*, 2006).

En coincidencia con algunos de los criterios establecidos en trabajos similares (De León *et al.*, 1991; Ruiz-Corral, 2007; Tinoco *et al.*, 2010; Collazo *et al.*, 2011), se seleccionaron quince variables ambientales como predictores de las condiciones agroecológicas en que se desarrolla el cultivar al interior de la BRS, de las cuales once son climáticas, dos topográficas y dos edáficas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables consideradas para la caracterización agroecológica de la barranca del Río Santiago y el cultivo de *Agave tequilana* Weber.

Variable	Origen
Clima	García (1998)
Temperatura mínima media anual	Medina <i>et al.</i> (2016)
Temperatura media anual	Medina <i>et al.</i> (2016)
Temperatura máxima media anual	Medina <i>et al.</i> (2016)
Temperatura diurna media anual	Generada
Temperatura nocturna media anual	Generada
Oscilación térmica anual	Generada
Precipitación acumulada anual	Medina <i>et al.</i> (2016)
Humedad disponible - meses húmedos	Generada
Evapo-transpiración potencial acumulada anual	Medina <i>et al.</i> (2016)
Fotoperiodo	Medina <i>et al.</i> (2016)
Altitud	Generada
Pendiente	Generada
Tipo de suelo	INEGI (1982)
Textura del suelo	Sánchez <i>et al.</i> (2018)

Se utilizaron las capas de la cartografía climática existente para el territorio continental mexicano con período de referencia de 1961 a 2010, en formato raster y proyección en coordenadas geográficas WGS84, con una resolución de 30 segundos de arco (Medina-García *et al.*, 2016). Las capas de los doce meses del año de temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima, precipitación, evapotranspiración y fotoperiodo, que se transformaron de formato RST a TIFF con una resolución de 151 m. De manera independiente se generaron las capas de: temperaturas medias anuales y fotoperiodo (media aritmética de los valores de los doce meses del año), así como las capas de precipitación y evapotranspiración acumulada (suma de los doce meses del año).

La temperatura diurna media anual y la correspondiente nocturna, se calculó a partir de los valores de los doce meses del año de acuerdo con el procedimiento sugerido por Tinoco *et al.* (2010); Collazo *et al.* (2011). La oscilación térmica anual se calculó mediante la fórmula sugerida por WorldClim para la generación de la variable BIO₇ (Fick y Hijmans, 2017). La humedad disponible en el suelo (cuando la precipitación es mayor a la evapotranspiración potencial) se calculó para los doce meses del año y se generó una capa de la temporada más húmeda del año (junio-septiembre). Después se extrajo la porción correspondiente del AE-BRS de cada una de las variables, estas capas fueron re proyectadas al sistema de referencia de coordenadas UTM Z13N WGS84 a fin de calcular valores de superficie en unidades métricas.

Se utilizó la carta de climas en formato raster, a escala 1:1 000 000 generada por García (1998) disponible en el sistema nacional de información sobre biodiversidad (SNIB). Las variables topográficas fueron elaboradas a partir del modelo de elevación digital de INEGI (2022) con una resolución de 30 m de tamaño de píxel, del cual se extrajo la cobertura de la BRS para elaborar las capas de altitud y pendiente, las que posteriormente fueron vectorizadas. Los tipos de suelo se obtuvieron a partir de las cartas edafológicas en formato PDF a escala 1:50 000 (INEGI, 1982), de las cuales se digitalizó la superficie que corresponde a la AE-BRS. La capa de textura de suelo se extrajo de la información vectorial elaborada por Sánchez *et al.* (2018). Finalmente, se definieron categorías para cada variable en función de su rango de valores y se calcularon superficies tanto para el área de estudio como para cada uno de los predios cultivados con *A. tequilana*.

Resultados

Distribución del cultivo de *Agave tequilana*

El cultivo de *A. tequilana* dentro de la AE-BRS_ está determinado, en parte, por la accesibilidad a la parcela para realizar las diferentes labores que requiere el cultivo y para realizar el transporte de las cabezas de mezcal a las factorías. La topografía limita el desarrollo de actividades productivas en la mayor parte de la barranca. Dentro de la AE-BRS (72 338 ha) se determinó un total de 1 017.58 ha cultivadas con *A. tequilana*, localizadas principalmente al poniente, en los municipios de Tequila y Amatitán. Esta área forma parte de la zona de origen del cultivo, reconocida como el paisaje agavero y las antiguas instalaciones industriales de tequila. La ubicación de las parcelas cultivadas con *A. tequilana* en la AE-BRS se muestran en las figuras siguientes.

Caracterización agroclimática

El clima predominante (en el 72.39%) en la AE-BRS es el cálido subhúmedo Awo. Los climas del tipo semicálido subhúmedo (A)C(w₀) y (A)C(w₁) están presentes en el resto de la barranca con 14.96% y 12.51% de su superficie respectivamente, junto con una porción mínima de clima templado C(w₀) con 0.14% (Figura 2A). De las 1 017.58 ha que se siembran con agave en la zona de estudio el 97.95% se encuentra bajo el régimen de clima cálido (Awo).

La barranca es una zona libre de heladas, los valores de temperatura media mínima en la mayor parte de la barranca (89.2%) oscilan entre 12 y 16 °C, el rango más bajo (de 9 a 11 °C) ocurre en una parte pequeña de la superficie (10.8%) en el límite con las montañas (Figura 2B). El 78% de la superficie de agave cultivada se localizó en lugares donde la temperatura mínima se encuentra

entre los 14 y 16 °C. El 20% de la superficie cultivada se encuentra en el rango de 12 a 13 °C y solo 2% de esta superficie se tienen las temperaturas mínimas más bajas, que pueden alcanzar los 9 °C. Los valores de temperatura media anual varían al interior de la barranca entre los 17 y los 25 °C, en 86.5% esta temperatura se observó en el rango comprendido entre los 21 y los 25 °C, en el resto de la superficie (13.5%) se mantiene entre los 17 y los 20 °C (Figura 2C).

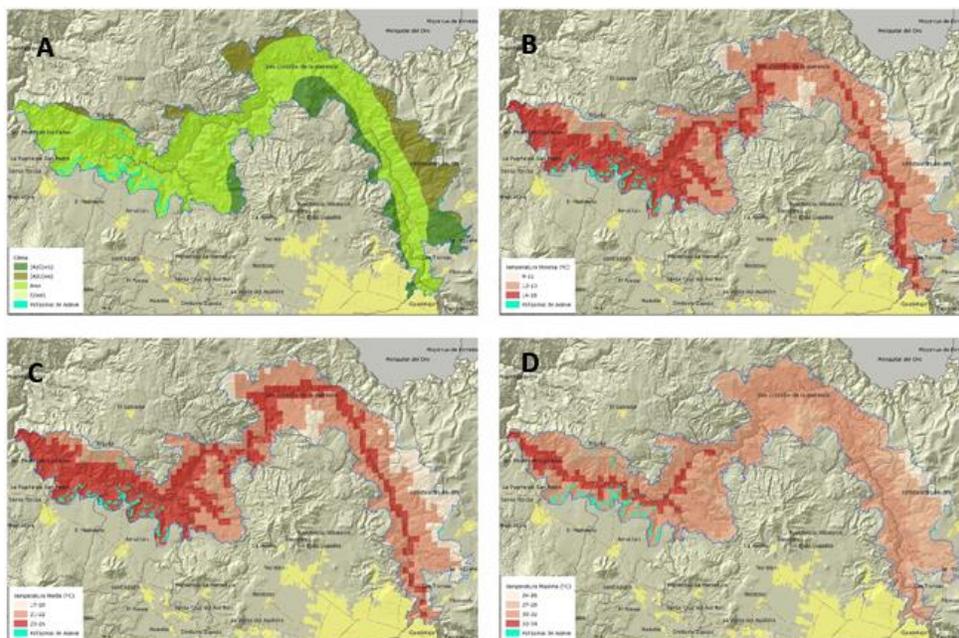


Figura 2. Distribución de variables en AE-BRS y parcelas cultivadas de *A. tequilana*: A) tipo de clima; B) temperatura mínima media anual; C) temperatura media anual; y D) temperatura máxima media anual.

La mayor parte del agave cultivado (84%) se encuentra en el rango más alto de temperatura media anual (23-25 °C), el 14% se percibió en el rango de 21-22 °C y solo 2% se encuentra en la zona con el rango de 17-20 °C. Las temperaturas máximas anuales en la AE-BRS varían de los 24 a 34 °C, aunque 91% de su superficie (Figura 2D) se localizó en el rango intermedio entre los 27 y los 32 °C, en 9% de la superficie restante se presentan ya sea los valores extremos más bajos (24 °C) o los más altos (34 °C). El cultivo del agave en la BRS se encuentra 89% en el rango de temperatura máxima que va de 30 a 32 °C, 5% se situó en el rango de 27 a 29 °C y solo 6% en el rango de 33 a 34 °C.

La temperatura diurna media anual calculada para la AE-BRS (Figura 3A), se encuentra entre 27 y 30 °C, en 57% de su superficie, mientras que 40% de la misma se ubicó en el rango de 24-26 °C, cubriendo el rango más bajo (21 a 23 °C), 3% de la superficie de la barranca. Casi la totalidad (91%) de la superficie sembrada con agave en la AE-BRS se localizó en el rango de 27- 30 °C de temperatura diurna media anual, solo 9% se encuentra en el rango de 24-26 °C. Por otro lado, los valores de temperatura nocturna media anual al interior de la AE-BRS (Figura 3B) presentan poca variación, 70% de su superficie se encuentran entre los 16 y 18 °C y en 23% de la misma se presentan las temperaturas nocturnas más altas entre los 19 y 20 °C, las temperaturas más frescas se encuentran entre los 13 y 15 °C y solo ocurren 7% de la barranca.

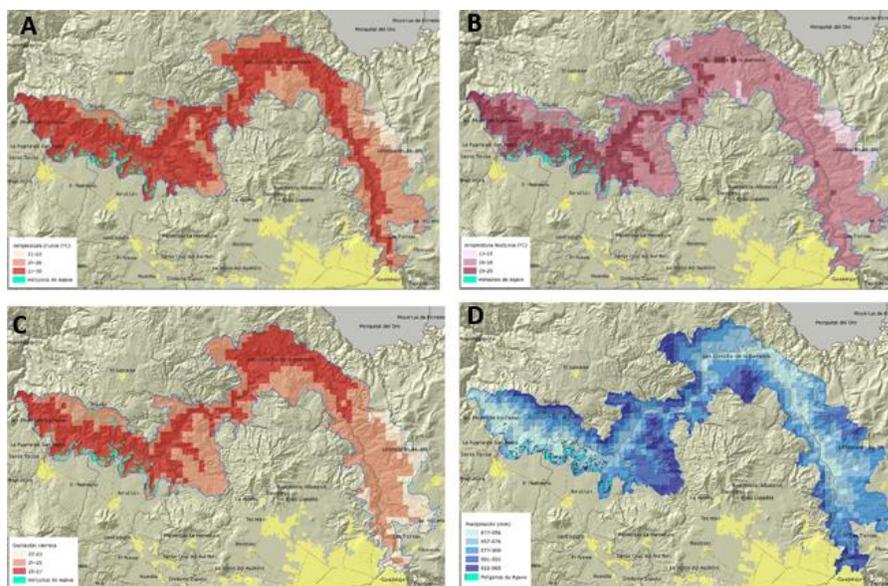


Figura 3. Distribución de variables en AE-BRS y parcelas cultivadas de *A. tequilana*: A) temperatura diurna media anual; B) temperatura nocturna media anual; C) oscilación térmica anual; y D) precipitación acumulada anual.

La mayor superficie cultivada con agave dentro de la barranca (58%) presenta temperatura nocturna más altas en la AE-BRS, entre los 19 y 20 °C, le sigue 41% de la superficie con registros entre los 16 y 18 grados. Los valores de oscilación térmica anual que se presentan en la BRS (Figura 3C) se encuentran comprendidos entre los 22 y 27 °C. En 51% de la superficie de la AE-BRS la temperatura anual oscila entre 24 y 25 °C, en cuanto a las superficies cultivadas con *A. tequilana* 68% de la misma se encuentra en el rango de 26-27 °C de oscilación térmica anual mientras que el 31% se encuentra en el rango de 24-25 °C.

La precipitación acumulada al interior de la AE-BRS (Figura 3D) muestra menor precipitación en las partes profundas de la barranca (71% de su superficie) con valores entre 822 y 900 mm anuales; mientras que en la periferia de esta en zonas de mayor altitud se obtienen los valores más altos, sin rebasar los 965 mm de precipitación anual. El 70% de los predios cultivados con agave se encuentra en el rango de precipitación de 857 a 900 mm, por debajo de este rango (822 a 856 mm) se encuentra 12% de la superficie, mientras que por arriba del mismo (901 a 965 mm) se encontró 18% de la superficie de agave en la AE-BRS.

La humedad disponible (Figura 4A) se presenta durante la mayor parte de la época de lluvias (junio a septiembre, 122 días), cuando los valores de precipitación son mayores que los de evapotranspiración. El rango de humedad disponible 92% de la superficie BRS se observó entre 160 y 327 mm, en este mismo rango se encontró 98% de los predios cultivados con agave en la AE-BRS. La AE-BRS presenta valores de evapotranspiración potencial acumulada (ET_o) entre los 1 350 y 1 849 mm (Figura 4B), muy por arriba de los valores de la precipitación (entre 822 y 965 mm). En términos generales se observa que los valores más altos entre 1 678 y 1 849 mm ocurren en el último tercio aguas abajo del cauce del río, los cuales representaron 13.4% de la AE-BRS. La mayor parte de la superficie cultivada con agave (70%) se encuentra entre los 1 445 y 1 600 mm de ET_o, el 12% de la misma se encuentra en el rango más bajo de 1 350 a 1 444 mm,

mientras que en los valores más altos de ETo que van de 1 601 a 1 849 mm se encontró 18% de la superficie cultivada. En la AE-BRS el promedio anual de fotoperiodo es de 12 h, con fluctuaciones menores a dos horas lo largo del año.

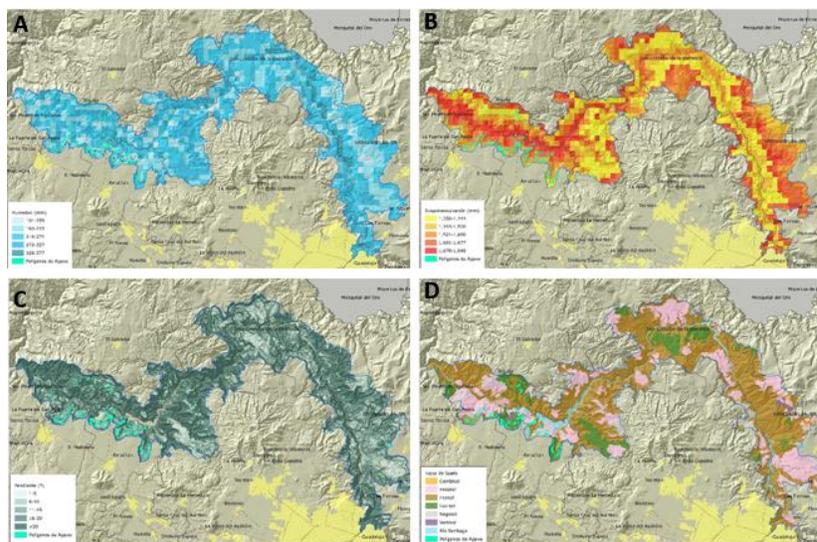


Figura 4. Distribución de variables en AE-BRS y parcelas cultivadas de *A. tequilana*: A) Humedad disponible; B) evapotranspiración potencial acumulada anual; C) pendiente; y D) tipo de suelo.

Variables edáficas y fisiográficas

La altitud de la zona de estudio varía entre los 637 y los 2 146 m. El 47% de las plantaciones de agave se distribuyen entre los 637-933 m, el 35% entre los 934-1 136 msnm y 10% entre los 1 137-1 350 m; el 8% restante se distribuye entre los 1 351-2 146 m. Dada la configuración topográfica de la AE-BRS, su superficie presenta pendientes que van de 1 a 10° a 21% de su superficie (Figura 4C), misma que alberga 48% de los predios cultivados con *A. tequilana*. El 26% de la AE-BRS presenta pendientes de 11 a 20° en los que se encuentra 33% de la superficie cultivada con agave. Las pendientes de más de 20° están presentes en 53% donde se encuentra plantado 19% del agave.

En la AE-BRS predominan tres tipos de suelo, que en su conjunto cubrió 97.3% del AE-BRS (Figura 4D) el más abundante es el Litosol (57.5%), el cual cubre las pendientes pronunciadas en los márgenes del río, son suelos delgados con menos de 10 cm de profundidad, le siguen los suelos Feozem (28.5%) que presentan una capa superficial oscura rica en materia orgánica y nutrientes y los suelos tipo Luvisol (11.3%) que son suelos con acumulación de arcilla y alta susceptibilidad a la erosión, de color rojo o amarillento, los suelos menos representados son Cambisol, Regosol y Vertisol, que en conjunto suman solo 2.7% de la superficie de la AE-BRS. El cultivo del agave en la BRS se encuentra establecido en proporción similar, 42% en los suelos Feozem y Luvisol y en 16% en el suelo tipo Litosol.

El 90% del suelo de la BRS tiene una textura media, con algunas zonas (8.4%) de textura fina, localizados principalmente al este de la zona de estudio y una mínima porción (1.6%) de suelo con textura gruesa, el 97% de la superficie cultivada con agave se encuentra en suelos con textura media, el resto se encuentra en suelos de textura fina en los límites de la barranca con el valle.

Discusiones

Distribución del cultivo

La plantación de *A. tequilana* se ha expandido mucho dentro y fuera del área de la denominación de origen del tequila. El estado de Jalisco aportó en 2019 el 74% de las más de un millón 513 mil toneladas cosechadas (SIAP 2020a) y la región Valles que incluye la AE-BRS produce entre 18 y 25% de la producción estatal (SIAP 2020b), las 1 018 ha que se reportan en el presente trabajo corresponden al primer registro de superficie cultivada con agave en la AE-BRS, de las cuales 96% se encuentran dentro del territorio del paisaje agavero.

Variables climáticas

La planta de *A. tequilana* se adapta a climas subtropicales semiáridos y subhúmedas con régimen térmico templado, semicálido o cálido (Ruiz-Corral, 2007). Se consideran como climas idóneos aquellos que tienen un régimen térmico de templado a semicálido (Ruiz-Corral *et al.*, 2002; Valenzuela, 2003; Ruiz *et al.*, 2013). El clima predominante en la AE-BRS es cálido subhúmedo, donde las temperaturas cálidas a lo largo del año incrementan la respiración de la planta y el consumo de los carbohidratos producidos durante el proceso fotosintético (Ruiz-Corral *et al.*, 2002; Pimienta-Barrios *et al.*, 2006), razón por lo que se considera a la AE-BRS como un área marginal para 97.95% del cultivo de *A. tequilana*.

La temperatura al interior de la AE-BRS depende en parte de: 1) la profundidad de la barranca (500 m en lo general); 2) la zona de influencia del cauce del río y de la Presa de Santa Rosa; y 3) el declive del cauce del río, 1 000 msnm al inicio y 570 msnm en la parte final. La temperatura mínima en la mayor parte (89%) de la AE-BRS es mayor a los 12 °C por lo que no ocurren heladas que podrían ser una limitante para el establecimiento de cultivos (Pimienta-Barrios *et al.*, 2006). La temperatura media ronda entre 23 y 25 °C y es favorable para 84% de la superficie plantada con agave, ya que para las zonas agaveras del estado de Jalisco se considera como temperatura promedio óptima 30 °C (Valenzuela, 2003).

Las temperaturas máximas en las regiones cultivadas con agave oscilan entre 30-34 °C (Valenzuela, 2003), los ambientes cálidos en extremo reducen la fotosíntesis debido al incremento de la respiración (Pimienta *et al.*, 2006), este rango se presentó en 95% de los predios con agave en la AE-BRS. Los valores de temperatura nocturna que presentó 60% de la superficie cultivada con agave en el AE-BRS son de 19-20 °C, pondrían ser una desventaja en comparación con 40% restante que registran temperaturas nocturnas un poco más frescas (16-18°C), lo cual facilitaría en el verano la asimilación del CO₂, de acuerdo con la temperatura nocturna óptima estimada entre los 11 y 21 °C por Ruíz-Corral (2007).

La oscilación térmica a lo largo del año en el interior de la AE-BRS puede variar de 22 a 27 °C, lo cual no representa un inconveniente para el cultivo del agave, dado que la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas ocurre dentro del margen térmico del clima cálido dominante en la zona. La planta de *A. tequilana* se adaptada a condiciones de aridez extrema (Pimienta *et al.*, 2006); sin embargo, una precipitación menor a 500 mm produce cosechas de mala calidad y precipitaciones mayores a 1 000 mm requieren de suelos bien drenados (Valenzuela, 2003).

En la AE-BRS la precipitación varía entre los 822 y 965 mm, se encuentra dentro del promedio (600 a 1 200 mm al año) que ocurre en las zonas productoras (Valenzuela, 2003; Ruíz-Corral *et al.* 2013), por lo que se tiene una precipitación adecuada para el desarrollo del cultivo. Los valores de humedad disponible determinados (de 160 a los 327 mm) le permiten a la planta almacenar agua en sus tejidos para utilizarla en la época seca. Los valores de evapotranspiración obtenidos para la AE-BRS se representan en el mapa en porciones pequeñas de unos cuantos kilómetros cuadrados, situación ocasionada por el ambiente de la presa y del río, pero también por la heterogeneidad orográfica y el nivel de intervención humana en la misma barranca.

Al ser una planta que prefiere los días soleados, la duración del fotoperiodo en las zonas de cultivo del agave se encuentra entre las 10.5 y 13.6 h. La AE-BRS se extiende longitudinalmente por lo que su fotoperiodo es de 12 ± 2 h. De acuerdo con el trabajo de campo realizado, es evidente que en la mayor parte de los predios se evita la presencia de cualquier otro estrato o tipo de vegetación que sombre el cultivo.

Variables fisiográficas y edáficas

Aunque el *A. tequilana* se adapta a un amplio rango altitudinal le favorece el intervalo que va de 1 000 a 2 200-2 400 m (Ruiz-Corral *et al.*, 2013), razón por la cual, la mayor parte del agave cultivado en BRS puede no estar almacenando altas cantidades de azúcar por estar ubicado por debajo de los 1 000 msnm (Pimienta *et al.*, 2006). La pendiente del terreno determina el potencial para establecer plantaciones de *A. tequilana*. Las pendientes óptimas para el cultivo van de 2 al 8% (5° aproximadamente), lo que facilita las labores de cultivo y evita los encharcamientos, por el contrario, pendientes superiores al 45% (24° , 23°) se consideran marginales para el establecimiento del cultivo (Ruíz-Corral, 2007), algunos agricultores prefieren cultivar las laderas de los cerros (por arriba de los 20°) debido a que se drena mejor los excesos de humedad.

A. tequilana se desarrolla en suelos delgados o profundos con textura media (suelos francos, franco-arenosos o franco-arcillosos), también se desarrollan de manera adecuada en suelos delgados o profundos (Ruíz-Corral, 2007; Ruíz-Corral *et al.*, 2013), en el estado de Jalisco se cultiva el agave en suelos Luvisoles, Cambisoles y Litosoles, los cuales presentan un color de ocre a rojizo (INEGI, 2014). En la AE-BRS cerca de 82% de la superficie con agave se encuentra en los suelos tipo Feozem y Luvisol. Aunque en zonas con baja precipitación, los agaves prefieren suelos de textura pesada (arcillosos o limo-arcillosos) que presentan mayor retención de humedad (Ruiz-Corral, 2007). Los suelos de la AE-BRS, en general, presentan textura media, por lo que casi la totalidad de los predios cultivados (97%) presenta esta condición.

Conclusiones

En coincidencia con las pesquisas realizadas por diferentes autores que han determinado que la temperatura es el factor determinante para el desarrollo del cultivo del *A. tequilana* y de acuerdo con esta investigación las barrancas donde se originó el cultivar y su industria, se consideran regiones marginales para su cultivo, debido a las temperaturas cálidas que prevalecen a lo largo del año, las cuales reducen la fotosíntesis neta debido al incremento en la respiración.

En la práctica, los agricultores sustentan la condición natural que el AE-BRS presenta, la consideran una zona apta para la producción de agave, ya que esta carece de tierras templadas, lo que permite al agave tener un rápido crecimiento y a pesar de tener el inconveniente de almacenar menos azúcares reductores, este no merma de manera significativa su porcentaje por kilo de agave. Finalmente, y siguiendo las leyes del mercado no es malo producir agave en el AE-BRS. El principal problema no solo para el cultivo de *A. tequilana* sino para el desarrollo de cualquier actividad productiva es su orografía por el predominio de terrenos accidentados y pendientes pronunciadas.

No obstante que el plan de manejo del paisaje agavero y las Antiguas Instalaciones industriales de Tequila como Patrimonio Cultural de la Humanidad, incluye acciones para la preservación del entorno natural de la barranca del Río Santiago, tales como ‘conservar y proteger las características del medio físico natural y el patrimonio rural con una visión sostenible’ el cultivo del *A. tequilana* representa una de las principales causas de degradación ambiental en la AE-BRS. Los resultados del presente trabajo pueden codyuvar a reorientar el actual sistema de cultivo industrial de *A. tequilana* a un sistema de plantación regenerativo y sustentable, así como al cumplimiento de los objetivos del plan de manejo del paisaje agavero.

Agradecimientos

A los campesinos de la barranca que nos dieron las facilidades para el desarrollo del trabajo de campo.

Literatura citada

- Alcaraz, A. F. J. 2011. Geobotánica, manual de prácticas. Universidad de Murcia, España. <http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema01.pdf>.
- Collazo, J. A.; Báez, M.; González, J.; Ramos, M. y Torres, J. R. 2011 Caracterización Agroclimática del Estado de Aguascalientes. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. México.
- CRT. 2021. Consejo Regulador del Tequila. Estadísticas 2020. <https://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/>.
- De León, L. L. A.; Arriba, B. A. y Plaza, M. C. 1991. Caracterización agroclimática de la provincia de Cáceres. España: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/fondo/pdf/2871_all.pdf.
- Fick, S. E. and Hijmans, R. J. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Inter. J. Climatol.* 37(12):4302-4315.
- García, E. 1998. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Clasificación climática de Köppen, modificado por García. Escala 1:1000000. DF, México.
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of continental North America. University of Arizona Press. Tucson Arizona.

- Gutiérrez, L. M. P. 2007. Fuentes documentales para el estudio del vino mezcal en los archivos de Jalisco. Siglos XVIII y XIX. *In*: Sánchez, S. E. (Coord.). Cruda realidad-producción, consumo y fiscalidad de las bebidas alcohólicas en México y América Latina. Instituto de Investigaciones. México, DF. 43-69 pp.
- INEGI. 1982. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Cartas Edafológicas digitalizadas: F13D45, F13D54, F13D55, F13D56, escala 1:50000.
- INEGI. 2014. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Guía para la interpretación de cartografía edafología escala 1:250000 Serie III. México. 60 p.
- INEGI. 2022. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Continúo de elevaciones mexicano 3.0 para el Estado de Jalisco. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>.
- Jiménez, V. M. C. 2008. El origen y desarrollo de la agroindustria del vino mezcal tequila. Benemérita Sociedad de Geografía y Estadística del estado de Jalisco. 35 p.
- Medina-García, G.; Ruiz-Corral, J. A.; Rodríguez-Moreno, V. M.; Soria-Ruiz, J.; Díaz-Padilla, G. y Zarazúa, V. P. 2016. Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 13:2465-2474.
- Muriá, J. M. 2016. El famoso tequila. Ed. Porrúa. DF, México. 160 p.
- Nobel, P. M.; Castañeda, G.; North, E. y Ruíz, C. J. 1998. Temperature influences on leaf CO₂ exchange, cell viability and cultivation range for *Agave tequilana*. *J. Arid Environ.* 39:1-9.
- Padilla, L. 2017. Calidad de vida de los jornaleros del agave en el municipio de Tequila, Jalisco. Tesis de Maestría en Estudios Socioterritoriales, Universidad de Guadalajara.
- Pérez, L. 1887. Estudio sobre el maguey llamado mezcal en el estado de Jalisco. *Boletín de la Sociedad Agrícola Mexicana*. Imprenta Ancira. DF, México. 22 p.
- Pimienta-Barrios, E.; Zañudo-Hernández, J.; García, J. y Nobel, P. 2006. Ecofisiología del agave azul. Universidad de Guadalajara.
- Ruíz-Corral, J. 2007. Requerimientos agroecológicos y potencial productivo del agave *Agave tequilana* Weber en México. Ed. Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. 11-36 pp.
- Ruíz-Corral, J.; Medina, G.; González, I.; Flores, H.; Ramírez, G.; Ortiz, C.; Byerly, K.; y Martínez, R. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. 2^{da}. Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México, DF.
- Ruíz-Corral, J.; Pimienta-Barrios, E. y Zañudo-Hernández, J. 2002. Regiones térmicas óptimas y marginales para el cultivo de *Agave tequilana* en el estado de Jalisco. *Agrociencia*. 36:41-53.
- Sánchez, J.; Ruíz, C. J.; Medina, G.; Ramírez, G.; De la Cruz, L.; Brendan, J.; Miranda, R. y García, G. 2018. Ecogeography of teosinte. *PLoS One*. 13(2):e0192676. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192676>.
- SIAP. 2020a. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Panorama Agroalimentario. México. 196 p.
- SIAP. 2020b. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Estadística de cierre agrícola a nivel municipal. <https://www.gob.mx/siap>.
- Suárez, A. 2014. Percepciones y discursos culturales en torno al paisaje agavero. Universidad de Guadalajara.

- Tena, M.; Ávila, R. and Navarro, C. R. 2018. Tequila, heritage and tourism: is the Agave landscape sustainable? *In*: Medina, X. y Tresserras. Ed. Food, gastronomy and tourism. social and cultural perspectives. Colección estudios del hombre.
- Tinoco, C.; Báez, A.; Ruiz, C. J. A. y Medina, G. 2010. Caracterización climática y edáfica del área de abastecimiento del Ingenio El Modelo, Veracruz. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). DF, México.
- UNESCO. 2006. World heritage list. Agave landscape and ancient industrial facilities of tequila world heritage convention. <http://whc.unesco.org/en/list/1209>.
- Valenzuela, Z. A. G. 1997. El agave tequilero, su cultivo e industria. Ed. Ágata. Guadalajara, México, DF. 119 p.
- Valenzuela, Z. A. G. 2003. El agave tequilero, cultivo e industria de México. Mundi Prensa. DF, México. 215 p.