

Retos para la producción vitivinícola en la región norte de Baja California: Una Caracterización hidrológica del valle de Guadalupe.

Retos para la producción vitivinícola en la región norte de Baja California: Una Caracterización hidrológica del valle de Guadalupe.

José Luis Manzanares-Rivera

El Colegio de la Frontera Norte, Carretera Escénica Tijuana - Ensenada Km. 18.5 San Antonio del Mar, C.P. 22560 Tijuana, B.C. México. (664) 6316300 ext. 1317
USA - P.O. Box "L" ; Chula Vista - CA | 91912-1257. Email: jlmanzanares@colef.mx

RESUMEN.

Se analiza la intensidad de uso en los recursos hídricos subterráneos para el principal valle productor de vino en Baja California considerando un enfoque teórico de seguridad hídrica. La metodología empleada se basa en información oficial para estimar indicadores con la perspectiva de sustentabilidad como el índice del volumen concesionado de agua subterránea en conjunto con la representación de la densidad de concesiones para extracción por km². Así mismo, para aportar elementos en la gestión integral de los recursos hídricos en la zona de estudio, la investigación propone el uso de herramientas de percepción remota con imágenes multiespectrales del proyecto Sentinel2 para identificar condiciones de estrés hídrico mediante el cálculo del índice diferencial normalizado de recursos hídricos (NDWI) una alternativa al convencional NDVI en la zona productiva. Los resultados sugieren que los factores antropogénicos representan la principal amenaza para el avance de la producción sustentable hacia el largo plazo de esta emblemática actividad en el norte de Baja California.

ABSTRACT

We analyze underground water intensity use for the main wine producing region in Baja California integrating climate variability parameters considering time series with a daily frequency over a 42-year period. The theoretic approach relies on a water security framework. Using official data, a series of indicators are constructed from a sustainability perspective, such as the underground water volume concession index (IVCAS) which together with the representation of density for extraction permits by square kilometer provide insights into the anthropogenic pressure towards water resources in the area. The methods used by the investigation include multispectral satellite images acquired by remote sensing tools from Sentinel 2 mission. Using this approach, the study provides measurements that reflect water use patterns and identifies areas under stress. Results suggest that anthropogenic factors constitute the main treat towards sustainable production in the long run for this key activity in Northern Baja California.

Palabras clave/*Keywords*: Producción de vino, Uso de agua subterránea, vino mexicano, sostenibilidad, valle de Guadalupe, Baja California./ Wine productin, *underground water use, mexican wine, Climate Change, Guadalupe Valley, Baja California.*

INTRODUCCIÓN

Los valles vitivinícolas de Guadalupe, Ojos Negros, San Vicente y Santo Tomás, ubicados en una franja entre los 32° 08' 23'' y 31° 09' 53'' de latitud Norte, en el estado fronterizo de Baja California conforman la principal región vinícola de México con una superficie de 3,910 hectáreas dedicada al cultivo de la vid industrial equivalente al 51% de la superficie cosechada total del país durante el ciclo 2018. (SAGARPA, 2018).

La importancia de esta región se asocia con una vocación productiva histórica vinculada a las condiciones climáticas favorables que han atraído a pioneros desde la época de la colonia (Bernabéu Albert, 1994; Meraz Ruiz, 2013), sin embargo, después de más de 200 años de actividad productiva en la zona¹, la región enfrenta diversos retos, uno de los cuales es la disponibilidad de agua de calidad para el cultivo de la vid. Esta problemática es particularmente evidente en el Valle de Guadalupe zona que se ha convertido en el epicentro de actividad vinícola de la región² albergando el 70% de las casas productoras del país.

El presente trabajo busca aportar al entendimiento de la intensidad de uso de los recursos hídricos subterráneos en el valle de Guadalupe, lo que es importante para implementar estrategias focalizadas de adaptación ante las condiciones de competencia por este recurso clave en el proceso productivo.

La importancia de los recursos hídricos subterráneos para la región se debe entre otros elementos a que la ubicación de este valle productor se da en una zona de escasa precipitación, en un rango entre los 486 mm durante el mes de febrero (el mes de mayor humedad) y los 64.82 mm durante junio, Estación Meteorológica Automática (EMA) (Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 2019), lo que convierte a la extracción desde los acuíferos en la principal vía de aprovisionamiento del recurso para llevar a cabo el cultivo de vid.

Si bien la región comparte parámetros generales en un clima clasificado como semi desértico mediterráneo (Hallack-Alegria, Ramirez-Hernandez, & Watkins Jr., 2012), la evidencia de las series temporales que se registran en los diferentes valles del estado muestra que se presentan variaciones climáticas a escala subregional que influyen de

¹ Se considera que la misión de Santo Tomás que se funda en 1791 y localizada a unos 43 km al suroeste de la actual ciudad de Ensenada marca el origen de una actividad productiva que se ha extendido por más de dos siglos en esta región de Baja California.

² En la región se cultivan 3,910 hectáreas de vid y si bien la producción de vino en México es ínfima (únicamente 200 mil hectolitros anuales, (el 1.3% de la producción de los principales países productores de la región)) comparada con los volúmenes internacionales (Argentina por ejemplo produce 15 millones o Chile con 12 millones de hectolitros), es una actividad apreciada en el contexto estatal y vinculada a un potencial económico que impulsa industrias complementarias a su comercio como el turismo local.

forma distinta en los planes de largo plazo para la producción. Variables clave para el patrón de recarga de los acuíferos como los regímenes de precipitación, constituyen un área de investigación en desarrollo por lo que analizar las variables climáticas en el principal valle vitivinícola de la entidad en relación al uso de los recursos hídricos subterráneos y sus cambios puede aportar al entendimiento de los retos ambientales que enfrenta esta emblemática actividad en el estado de Baja California.

Estudios previos: La región del valle de Guadalupe ha sido objeto de extensa documentación dada la importancia que representa. Desde la perspectiva histórica una corriente prolífica de estudios ha documentado con detalle la construcción de la identidad del imperio del vino en México (Clavigero, 1970; Covarrubias & Thach, 2015; Jordán, 2001; Vargas & Ibarra, 2015). Por otro lado la perspectiva cultural que envuelve a la viticultura es un rasgo especialmente abordado por la literatura especializada (Villa-Sánchez, 2005) y fundamentalmente investigaciones desde la vertiente económica demuestran su importancia como una actividad para el desarrollo local (Sánchez, 2006; Badán et al., 2006)³.

No obstante, recientemente la atención se ha dirigido a los retos que enfrenta la región desde una perspectiva de sustentabilidad. En esta vertiente de corte empírico, el estudio de los recursos hídricos constituye una línea de creciente interés. Investigaciones pioneras como (del Toro-Guerrero, Kretschmar, & Hinojosa-Corona, 2014), dirigen la atención a la perspectiva ambiental y estudian los parámetros necesarios para determinar el balance hídrico en la subcuenca en la que se asienta el Valle de Guadalupe. Los hallazgos de esa investigación resultan un insumo de interés para comprender el ciclo hídrico en esta región, sin embargo, la perspectiva del impacto de la actividad antropogénica en la zona constituye un aspecto complementario abordado de manera escueta, si bien se reconoce que esta perspectiva puede aportar elementos necesarios para la planeación de largo plazo de esta actividad al conocer mejor los retos que enfrenta la zona.

Al respecto otros esfuerzo en esta línea como Daesslé, et al., (2006) documentan la presencia de elementos contaminantes en el agua subterránea derivados de la intensa actividad agrícola y asociados a los fertilizantes propios de esta actividad entre los cuales están el N-NO₃ (26 mg l⁻¹), (70 µg l⁻¹), Mo (18 µg l⁻¹) and Cu (4.3 µg l⁻¹). Considerando la evidencia de estos estudios y otros similares, los productores han expresado la necesidad de comprender mejor el impacto de los cambios inducidos por la actividad antropogénica en la zona y se han emprendido acciones como la creación en 2018 del Consorcio para el Desarrollo del Sector y las Regiones Vitivinícolas, (CONVID) organismo que agrupa diversas instituciones académicas con el objetivo de aportar al desarrollo sustentable de esta actividad, así como el diseño de instrumentos regulatorios como un reglamento de zonificación y usos de suelo.

Desde la perspectiva teórica y considerando los elementos expuestos; en este trabajo se propone la adopción del marco teórico denominado *seguridad hídrica* ya que se fundamenta en una visión de desarrollo que reconoce la necesidad de implementar medidas de adaptación (Arroyo, Ballesteros, & Mejía, 2015) y provee una base de análisis

³ Acorde con el programa sectorial, la actividad genera un aporte de 42 millones de dólares en facturación anual en la región incluida una aportación de 11 millones de dólares por concepto de impuestos.

para generar respuestas a los retos que plantea el manejo de los recursos hídricos compartidos (Sadoff et al., 2015).

Otras consideraciones teóricas de importancia para esta investigación incluyen la vertiente sobre territorios hidro sociales, importante porque aporta elementos para comprender las relaciones de poder que están implícitas en los procesos de apropiación y acceso al recurso que tienen su expresión material en la concentración de concesiones para aprovechamiento de agua subterránea.

Acorde con Hoogesteger y Wester (2015b), mientras en un inicio el acceso al agua subterránea puede contribuir a desarrollar un escenario de bienestar, la sobre explotación en el largo plazo lleva a un contexto de deterioro social en el que un creciente número de personas primordialmente agricultores de menor escala, pierden acceso a los recursos hídricos subterráneos y las formas de vida implícitas (Hoogesteger & Wester, 2015b, p. 119).

Esta transición desde un estado de bienestar a uno de deterioro social ha sido caracterizado por estudios académicos pioneros que han identificado cuatro etapas en el proceso: 1) Incremento de perforaciones incentivado por esfuerzos en asociación público-privadas⁴, (Badiani, R. Jessoe, K. K. & Plant, S., 2017; Khair, Mushtaq, & Reardon-Smith, 2015). 2) Inequidad, con prácticas agrícolas intensivas monocultivo (Damonte-Valencia, 2015; Saldi, L. & Petz, I., 2015); 3) Polarización, con síntomas prematuros de sobre explotación de los acuíferos (Manzanares-Rivera, 2016) y 4) Declive de la estructura socio ecológica basada en extracción de agua subterránea que tiene efectos adversos para pequeños productores y grupos sociales de bajos ingresos (Mukherji & Shah, 2005; Zlotniski, 2011).

Esta es una propuesta que ha encontrado aceptación particularmente en los países de América Latina ante la similitud de los procesos de aprovechamiento de recursos hídricos que se observan en los diversos países de la región y es una propuesta a partir de la cual se propone construir la reflexión que esta investigación ofrece.

MATERIALES Y METODOS

El análisis se organiza en dos etapas, la primera se basa en el estudio de la intensidad en el uso de los recursos hídricos subterráneos para lo cual se consideran los 48 acuíferos de la entidad con énfasis en los acuíferos en los que se ubican los valles vitivinícolas.

En esta etapa se calcula el índice de volumen concesionado de agua subterránea (IVCAS), un indicador que ha sido empleado previamente por estudios especializados sobre utilización de recursos hídricos en el país (Manzanares-Rivera, 2016) que tiene el propósito de capturar el grado de presión desde una perspectiva de sustentabilidad ya que contrasta el volumen concesionado respecto a la capacidad de recarga del acuífero. Es un indicador que se basa en información oficial considerando los parámetros que se definen en el artículo 231 de la Ley Federal de derechos, mismos que están disponibles a través del registro público de derechos de Agua (REPDA).

⁴ Incentivos públicos mediante subsidios que adoptan formas concretas tales como tarifas preferenciales para la energía eléctrica han sido documentados comúnmente como efectos catalizadores.

Se define de la siguiente manera:

$$I_{vcas} = v_{cas}/(rt-dn_{com})$$

Donde:

v_{cas} = volumen concesionado de agua subterránea inscrito en el Registro Público de Derechos de agua (REPDA) expresado en metros cúbicos.

rt = recarga total media anual, expresada en metros cúbicos.

dn_{cm}: descarga natural comprometida, expresada en metros cúbicos.

De forma complementaria se consigna la densidad de pozos por kilómetro cuadrado observada a lo largo del todo el valle de Guadalupe, una vertiente que es relevante para caracterizar el grado de competencia al que se someten los recursos hídricos disponibles.

Adicionalmente en esta etapa se aplican herramientas de modelado hidrológico para construir la red de drenaje natural en la región, una estimación de interés para identificar las principales corrientes superficiales por las que fluye el recurso y los rasgos que definen los parámetros de recarga de los acuíferos, así como factores potenciales de contaminación por el arrastre de sustancias empleadas en la actividad agrícola intensiva como los fertilizantes.

Para este propósito se emplea como fuente primaria el modelo digital de elevación con resolución de 15 metros por pixel Continuo de Elevaciones Mexicano, (INEGI, 2019). Se emplea el software ILWIS (Integrated Land and Water Information System), con un análisis en tres fases a partir de imágenes en formato ráster. En la primera fase se determinan las pendientes del terreno y su respectiva clasificación en 5 categorías A: Terreno plano con un límite superior en la pendiente de 3 grados, B: terreno ligeramente plano 7°, C: terreno ligeramente inclinado 12°, D: terreno inclinado 25°, E: terreno muy inclinado con límite superior en la pendiente de 50 grados. La segunda fase captura la dirección de flujo y en la tercera se determinan las áreas de captación. En esta fase se obtiene como producto una cobertura en formato vectorial para la región en la que se ubica el valle.

En la segunda etapa de la investigación se aplican herramientas de percepción remota para el análisis de imágenes satelitales multiespectrales en formato ráster adquiridas mediante el proyecto Sentinel2, un proyecto a cargo de la comisión Europea Copérnico. La resolución que se tiene con este acervo es en el rango de 10 a 60 metros por pixel, lo que se considera adecuado dada la escala regional de este trabajo de investigación.

La elección de esta fuente de imágenes se debe a que se trata de un proyecto diseñado específicamente con propósitos de monitoreo ambiental en el marco del (Global Monitoring for Environment and Security) que es actualmente una referencia estándar en investigación aplicada, (Waldner, Chen, Lawes, & Hochman, 2019).

Sentinel 2 permite contar con 13 bandas multiespectrales, incluidas el infrarrojo cercano (NIR por sus siglas en inglés) y el infrarrojo de onda corta⁵ (SWIR) lo que hace factible la estimación de los indicadores necesarios para el monitoreo de condiciones de estrés hídrico implícitos en la problemática que aborda esta investigación, así como su representación mediante combinaciones multiespectrales para detectar atributos en el terreno como lo son las áreas de cultivo de vid.

En particular se estiman: el Índice Diferencial Normalizado de vegetación (NDVI) cuyo cálculo emplea las bandas infrarrojo cercano (NIR por sus siglas en inglés) y Rojo, (Augusto, Martínez-Rincón, & Morales-Zárate, 2017) con la siguiente especificación:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}. \quad (1)$$

Para explorar las condiciones de estrés hídrico se optó por estimar el índice diferencial normalizado de recursos hídricos (NDWI) introducido originalmente por (Gao, 1996) y utilizado de forma regular en estudios sobre gestión de recursos hídricos como (Mondejar & Tongco, 2019; Qiao et al., 2012). Este refleja el contenido de humedad en plantas y suelo y varía en el rango -1,1, donde los valores superiores (cerca de 1) indican presencia de humedad o áreas irrigadas, mientras las áreas en situación de sequía se ubican en los valores opuestos de la escala con el caso externo -1.

La especificación calculada es:

$$\text{NDWI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}}$$

El producto obtenido en esta etapa es la cartografía en formato ráster para el valle de Guadalupe con ambos indicadores, así como una representación vectorial mediante curvas de nivel para áreas de interés particular.

RESULTADOS

Intensidad de uso en recursos hídricos subterráneos: En primer lugar, se presenta el análisis de la distribución de las concesiones para extracción de agua subterránea en el Valle de Guadalupe. En este valle se encuentran 636 concesiones para extracción de agua subterránea en una superficie de 13 mil hectáreas, lo que representa una densidad de 4.89 pozos por Km² indicador que es el de mayor magnitud en todo el territorio de Baja California y duplica el observado en el resto de los valles vitivinícolas de la entidad que en promedio registran 2.27 concesiones por km².

La figura 1 muestra la localización del área de estudio y la distribución georreferenciada de las concesiones, donde el tamaño de cada punto en la cobertura vectorial indica el volumen concesionado expresado en m³

⁵ Bandas que capturan una longitud de onda en el espectro en los rangos: 0.841 - 0.876 nm y 1.628-1.652 nm respectivamente.

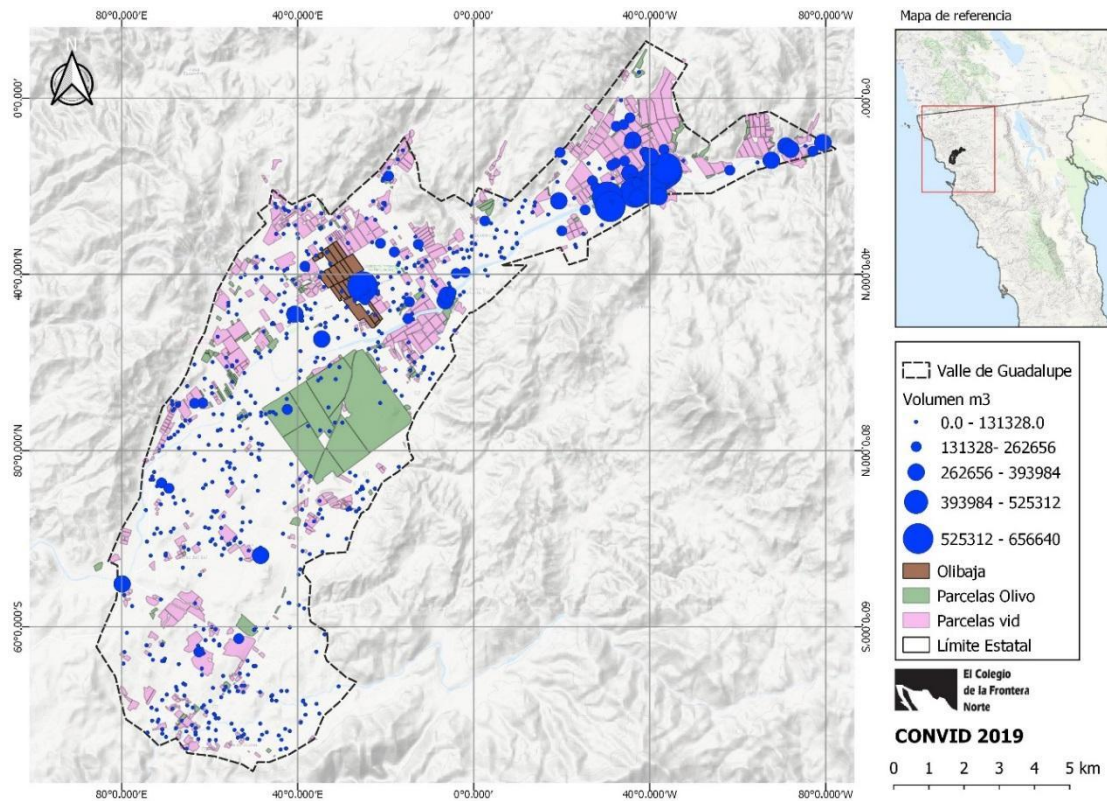


Figura. 1. Concesiones para extracción de agua subterránea Valle de Guadalupe. 2016. Fuente: Elaboración propia con datos del registro público de derechos de agua REPDA. CONAGUA.

La estimación permite determinar que el extremo noreste del valle constituye la principal área de concentración de pozos. Considerando la estimación del coeficiente de Gini (G) para determinar el grado de concentración del volumen concesionado entre los titulares del valle se observa un indicador $G=.84$. La correspondiente representación mediante la curva de Lorenz, que se muestra en la figura 2, confirma este patrón de elevada concentración, en donde el 12.8% de los titulares concentran el 80% del recurso disponible.

Entre los concesionarios públicos el principal es la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada, entidad que capta 5.6 millones de m³ anuales, no obstante, la información revela que el principal concesionario privado es la vinícola L.A Cetto, compañía que supera la asignación pública al contar con un volumen de 6,984,560 m³ anuales.

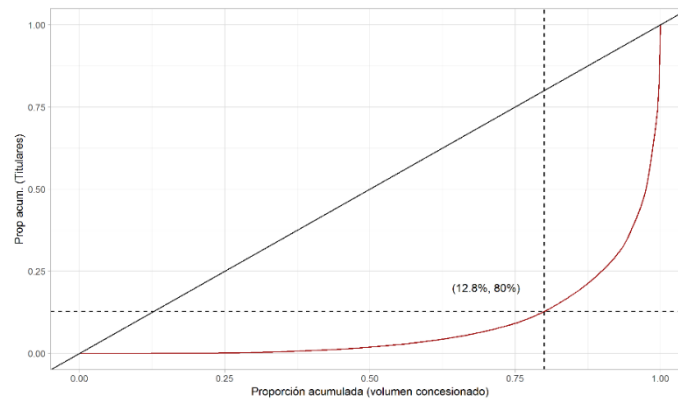


Figura 2. Curva de Lorenz para concentración del volumen concesionado entre los titulares. Valle de Guadalupe 2016. Elaboración propia con datos de registro público de derechos de agua REPDA. (CONAGUA, 2016)

En seguida se realiza el análisis de la intensidad de uso de los recursos hídricos subterráneos mediante el contraste entre el volumen concesionado y las variables que reflejan la capacidad de recarga en los 48 acuíferos de la entidad. La estimación permite identificar los acuíferos de mayor presión en el contexto de la localización de los valles vitivinícolas en la entidad. La figura 3 muestra el resultado.

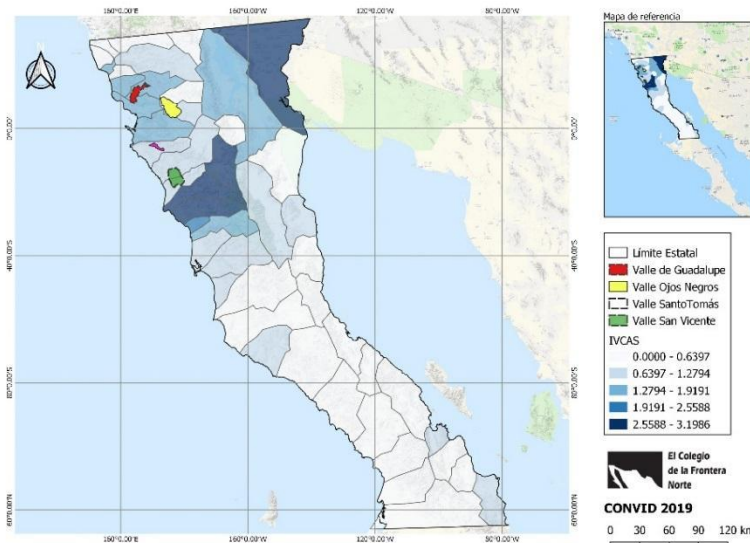


Figura 3. Índice de volumen concesionado de agua subterránea (IVCAS) para acuíferos en Baja California 2016. Fuente: Elaboración propia con datos de REPDA (CONAGUA, 2016).

Se encuentra que los acuíferos en donde se asientan los principales valles vitivinícolas de la entidad presentan niveles importantes de explotación que de hecho superan su capacidad de recarga, siendo la región del valle de Guadalupe la de mayor intensidad con un IVCAS equivalente a 1.44. seguido por San Vicente IVCAS=1.24. Ojos

Negros IVCAS=1 y el de menor intensidad que es Valle de Santo Tomás IVCAS= .97, superando incluso el nivel promedio en el estado que es IVCAS = .86

En segundo lugar, la distribución del indicador aporta evidencia del impacto que la producción agrícola tiene en la zona, con los acuíferos de La Trinidad, (ivcas = 3.19), San Rafael (2.94) y San Telmo (3.09) en las inmediaciones del valle de San Vicente como los sitios de mayor intensidad, seguidos del Valle de Mexicali (2.79) en la región norte del estado así como el acuífero Camalú (2.07) en la zona productora de hortalizas conocida como Valle de San Quintín.

Los niveles alcanzados por el IVCAS en los acuíferos mencionados sugieren la presencia de actividades productivas sujetas a un ritmo no sustentable en el largo plazo, en el caso del acuífero La Trinidad, ubicado a 50 kilómetros al noreste del valle de san Vicente, en el poblado de Lázaro Cárdenas, se observa por ejemplo que la extracción realizada triplica la capacidad de recarga del acuífero en cuestión.

De forma complementaria se analizan a continuación registros sobre precipitación y temperatura para determinar la variación climática en los últimos 42 años a partir de series temporales con periodicidad diaria, parámetros climáticos que contribuyen a caracterizar las condiciones de recarga de los acuíferos en la zona. Las figuras 4 y 5 muestran los rangos de temperatura y precipitación en la Estación Meteorológica automática (EMA) Agua caliente clave 2001, ubicada en las inmediaciones de Valle de Guadalupe.

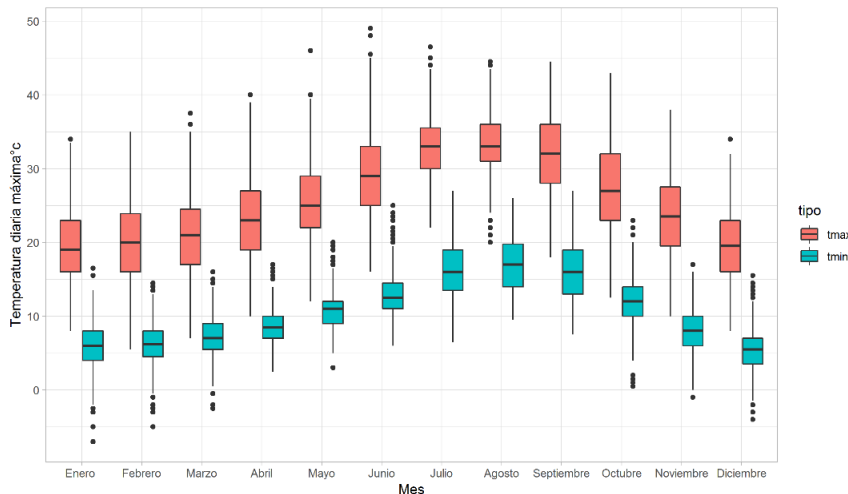


Figura 4. Fluctuaciones de temperatura en la estación climatológica de la zona. 1969-2012. Fuente: Elaboración propia con datos de (Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 2019).

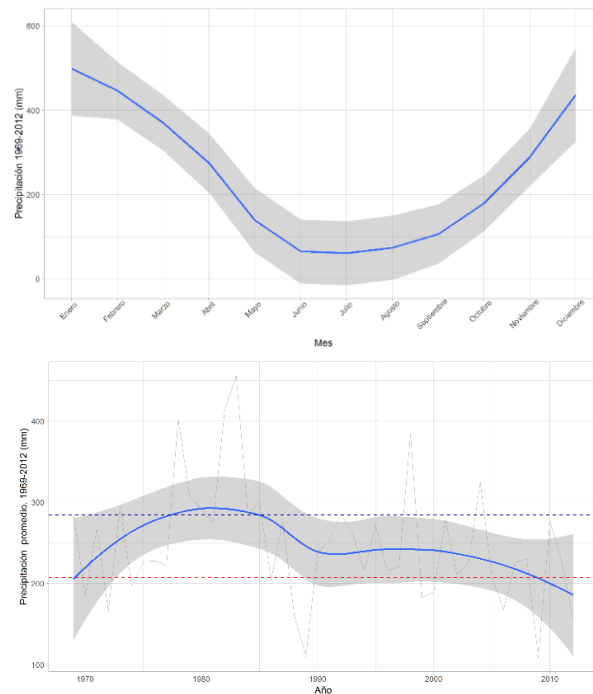


Figura 5. Precipitación mensual y su evolución en el periodo 1969 a 2012. Fuente: Elaboración propia con base en datos del Servicio Meteorológico Nacional. SMN. (2019)

La evidencia muestra que en el periodo de 42 años entre 1969 y 2012 la precipitación mensual promedio tiene una tendencia decreciente marginal de los 205.5 mm a 185.8 mm hacia el final del periodo. Es posible identificar 10 periodos de sequía⁶, distribuidos a lo largo del ciclo de precipitación con 40% de estos, que tienen lugar durante la última década. Así mismo la estimación aporta evidencia sobre la estacionalidad de los patrones de precipitación con el periodo entre los meses de diciembre a marzo como los de mayor importancia para la recarga de los acuíferos con niveles en el rango 439 a 478 mm con un máximo en el mes de febrero alcanzando los 486 mm.

El resultado muestra un patrón de marcada reducción en la precipitación durante los meses de junio, julio y agosto con niveles que descienden a 64, 73 y 85mm respectivamente, por lo que se configura una relación inversa respecto a la variación de la temperatura ya que como se muestra por la figura 4 estos meses son los de mayor temperatura. Rasgo de particular importancia para la gestión integral de los recursos hídricos subterráneos en la zona.

Modelado hidrológico en la región del Valle de Guadalupe: La dinámica hidrológica es un componente de interés para la planeación sustentable de la actividad vitivinícola

⁶ Para efectos de la presente investigación se entiende por periodo de sequía como un año que experimentó un volumen de precipitación inferior al primer cuartil de la distribución en la totalidad del periodo estudiado. En este caso $Q_{25} = 207.2$ mm.

en particular su relación con actividades contaminantes potenciales como los sitios de descarga de agua residual. Para contribuir al entendimiento de esta relación se hace el modelado de la red de drenaje fluvial en zona del valle de Guadalupe. Inicialmente se consideran los datos de hipsometría, para la clasificación de pendientes que permite determinar la direccionalidad de flujo. La figura 6 muestra el modelo digital de elevación empleado, así como los rasgos de clasificación de la pendiente y de elevación del terreno.

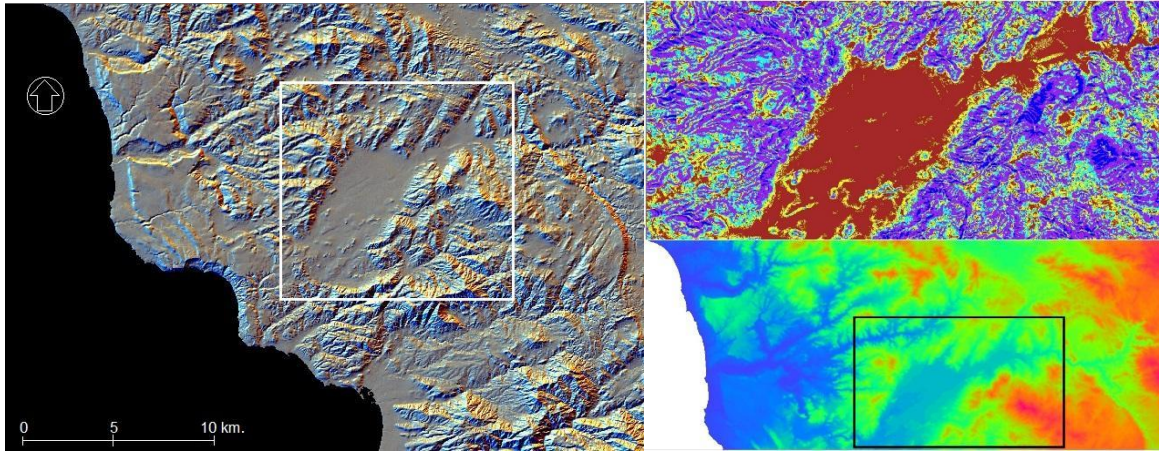


Figura 6. Área Valle de Guadalupe. Componentes del Modelo Digital de Elevación. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2019) continuo de elevaciones Mexicano (CEM). Clave del grid: ih11d82. Resolución: 15 metros por pixel.

La representación muestra el perfil topográfico de la zona, en particular, el área que forma el valle con una altitud en su porción central de 329.5 m.s.n.m. en color azul claro (panel inferior izq.)⁷ y pendientes con un límite superior de 3 grados que dominan el área del valle en color marrón (panel superior derecho) que implican un suelo plano que permite un sitio idóneo para la realización de actividades agrícolas.

Considerando esta información se construye la red de drenaje hídrico del valle que se muestra en la figura 7 en conjunto con la localización de las concesiones para descarga de agua residual.

⁷ La clasificación de pendientes muestra 5 categorías. A: terreno plano (Marrón) 3°, B: Amarillo 7°, C: azul claro 12°, D: morado 25°, E: terreno muy inclinado (azul oscuro con un límite superior de 50 grados). En cuanto a la representación de altitud, la clasificación muestra en tono rojo naranja la mayor altitud (1002-1339m.) y verde en el rango 330-666m. y tonalidades azules con la menor altitud en el rango 329- a -7m.

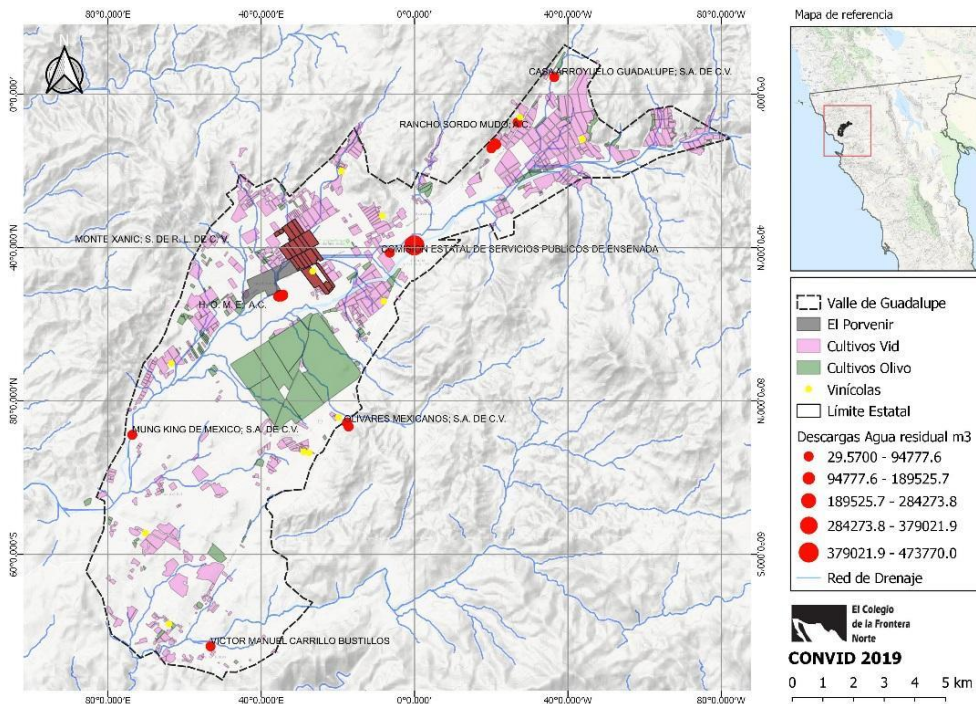


Figura 7 Red hídrica de drenaje natural y concesiones de descarga para agua residual. Valle de Guadalupe. Fuente: Elaboración propia con datos del continuo de elevaciones mexicano (CEM) INEGI y Registro público de derechos de agua. REPDA.

La cobertura vectorial resultante permite distinguir el flujo de los recursos hídricos superficiales. Se encuentra que la zona del valle de Guadalupe alberga 25 concesiones registradas para descarga de agua residual con 9 titulares que concentran estas concesiones con un volumen total concesionado de $473,770\text{m}^3$ anuales, de los que el 13.9% corresponde a productores mientras el volumen mayoritario (86%) lo concentra la operación de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada que atiende las descargas residuales de la población de Valle de Guadalupe que se vierten a la corriente intermitente del arroyo Guadalupe que atraviesa la región hasta su desembocadura en el océano pacífico.

La siguiente etapa presenta indicadores de estrés hídrico a partir de imágenes multiespectrales de percepción remota del proyecto sentinel 2. De inicio se presenta el área de estudio utilizando una combinación de color natural utilizando las bandas: 4-3-2 rojo, verde y azul (RGB) para identificar los atributos del terreno tal y como se perciben por el ojo humano. La figura 8 muestra la imagen resultante.

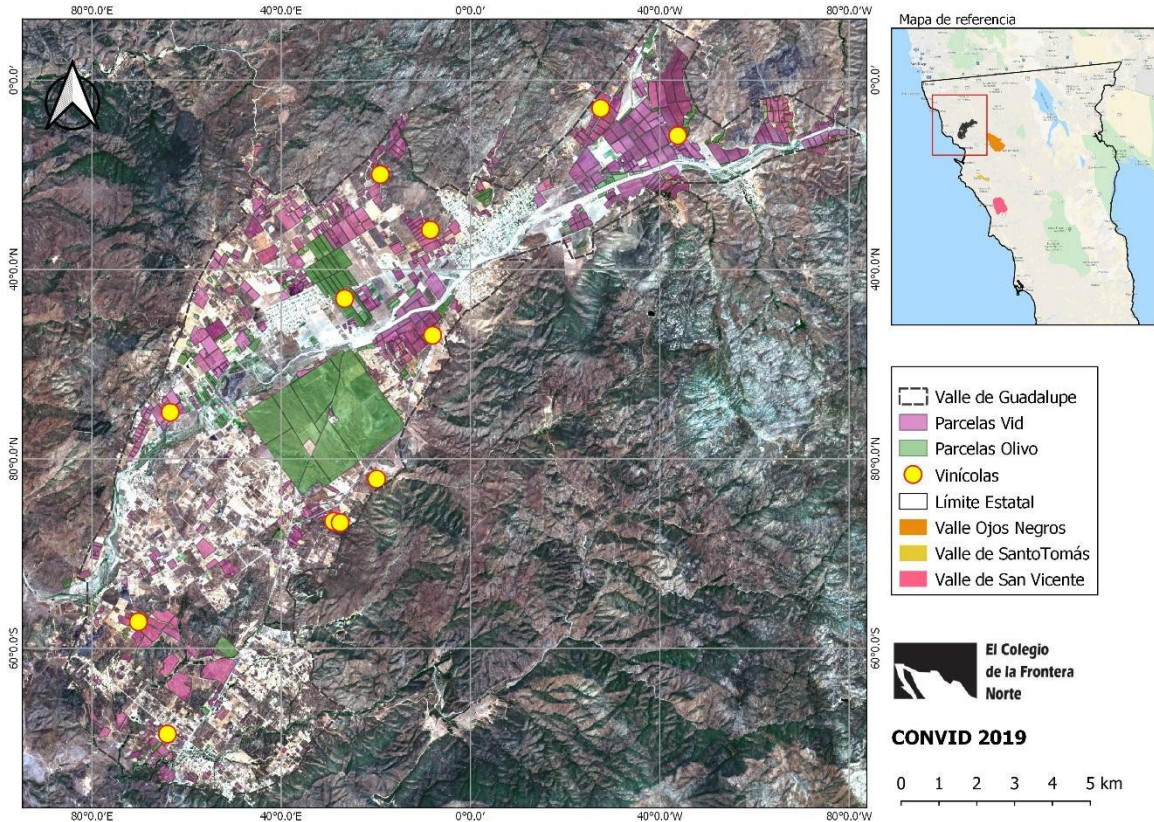


Figura. 8. Valle de Guadalupe Composición de color multiespectral natural Fecha: 24-Agosto 2019. Fuente: Elaboración propia con imágenes multiespectrales (EOS, 2019) Sentinel-2 L2A. bandas RGB 4-3-2

La imagen permite distinguir los atributos del terreno: áreas de cultivo, las áreas poblacionales principales del El Porvenir y Francisco Zarco así como la ubicación de las principales vinícolas en la zona.

En seguida se aplica la combinación de contraste infra rojo que utiliza las bandas: infrarrojo cercano, rojo y verde (8-4-3) lo que permite destacar la actividad agrícola en la zona y en especial distinguir la presencia de vegetación que aparece en grados intensos de color rojo, dependiendo del contenido de humedad. El resultado se muestra por la figura 9.

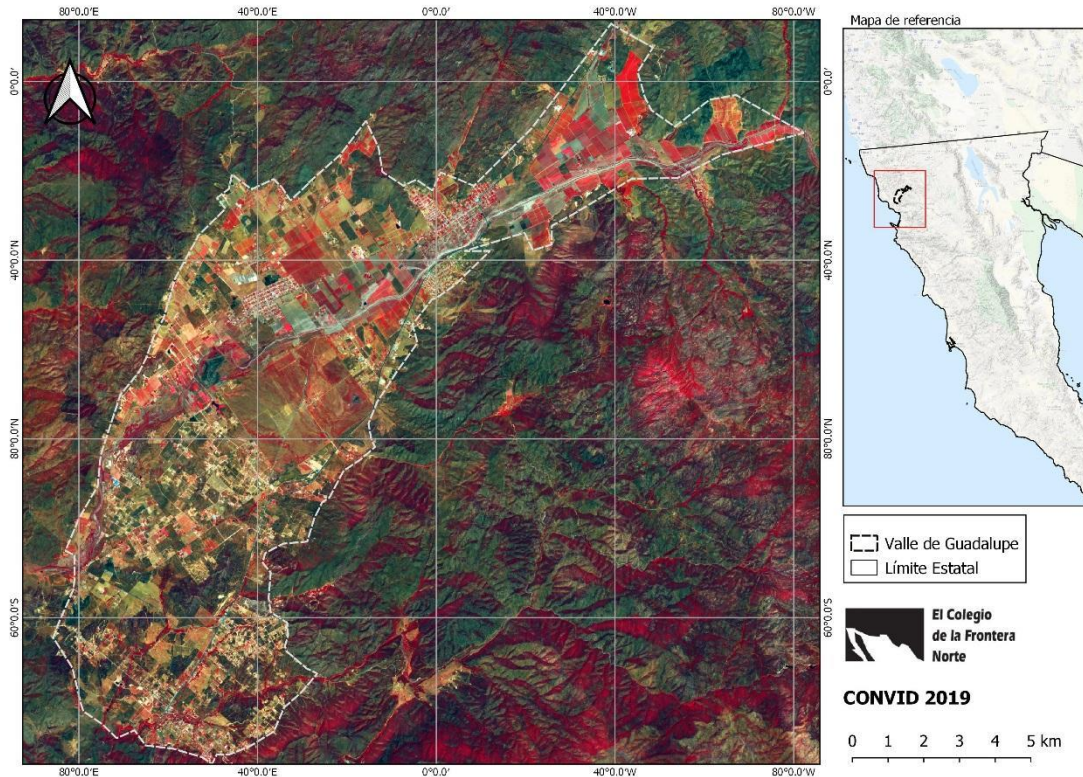


Figura 9. Valle de Guadalupe. Composición de color Infrarrojo para detectar vegetación. Fecha: 24 ago. 2019. Fuente: Elaboración propia con imágenes multispectrales (EOS, 2019) Sentinel-2 L2A. bandas 843 (b8 NIR, b4 Red, b3 Green) Nubosidad 13% grid code: 11SNR resolución 10 metros por pixel

La imagen refleja la intensa actividad por cultivos en la porción noroeste del valle y revela evidencia empírica que permite confirmar la información aportada por los registros de concesiones para extracción de agua subterránea.

En seguida se presenta la estimación de dos índices complementarios sobre el escenario de estrés hídrico en el valle, primero el NDVI, indicador base empleado para detectar las variaciones en la intensidad del proceso fotosintético asociado con la presencia de vegetación, que a su vez depende de las condiciones de hidratación de los cultivos. La atención se dirige hacia la zona identificada previamente en el noroeste del valle. En esta representación, áreas irrigadas aparecen en color verde con mayor intensidad a medida que se detecta mayor humedad.

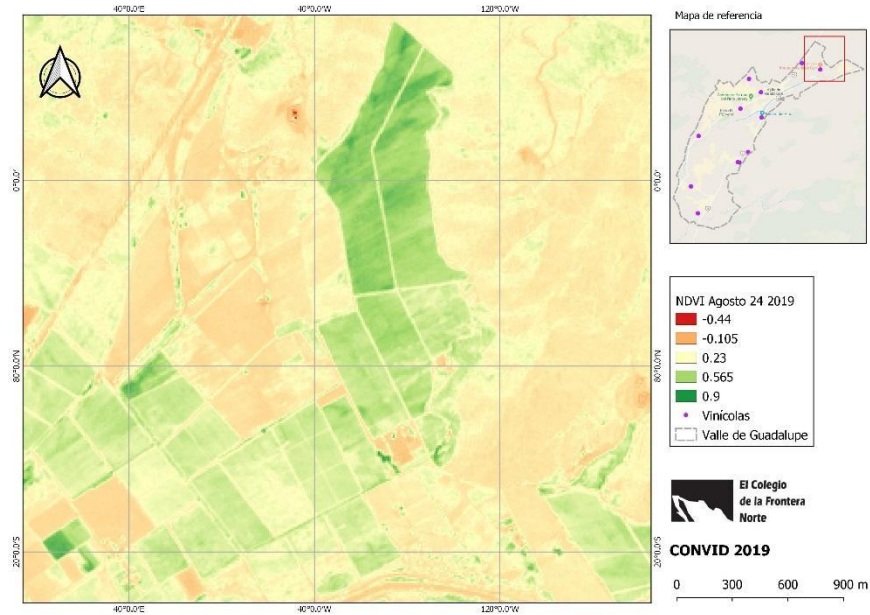


Figura 10 Índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI) inmediaciones de vinícola L.A. Cetto, Valle de Guadalupe. Fuente: Elaboración propia con imágenes multiespectrales (EOS, 2019) Sentinel2. Fecha: 24-Agosto2019

Se encuentra evidencia de intensa actividad fotosintética con NDVI en un rango entre .62 a .9 en el área correspondiente a las parcelas en el extremo noreste del Valle incluida el área de cultivo de la casa productora L.A Cetto donde se tienen los mayores niveles en este indicador en todo el valle.

El siguiente indicador denominado indicador diferencial normalizado de recursos hídricos (NDWI) hace uso de las bandas Infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta para representar la distribución potencial de áreas en condiciones de estrés hídrico. El resultado se muestra en las figuras 11 y 12.

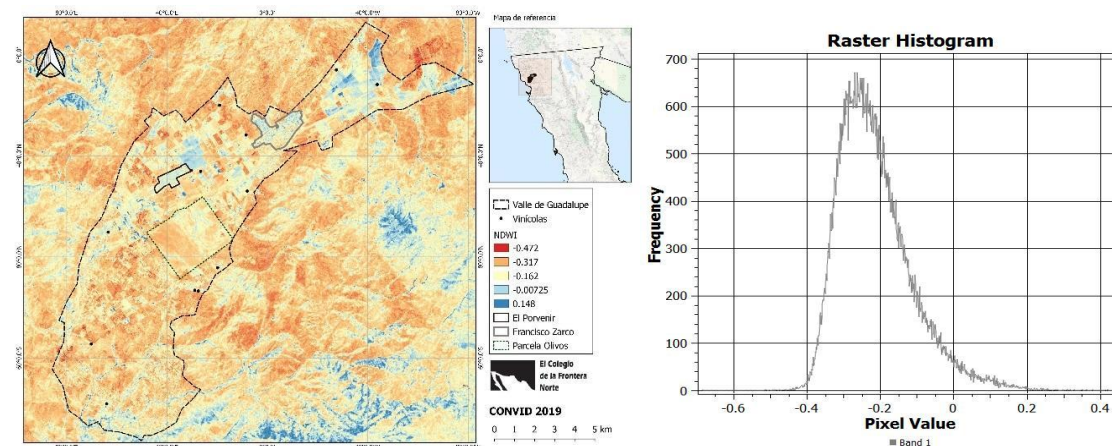


Figura 11 Índice diferencial normalizado de recursos hídricos (NDWI). Valle de Guadalupe. Source: Elaboración propia con imágenes (EOS, 2019) Sentinel-2 L2A Fecha: 24 ago. 2019 Nubosidad 13% grid code: 11SNR. Bandas: NIR-SWIR/NIR+SWIR. (8-11/8+11)

La imagen indica el contraste entre las condiciones de irrigación en el valle, con un rango NDWI estimado de $[-0.68, 0.45]$, con evidencia sobre la presencia de áreas irrigadas hacia la sección noroeste y condiciones de menor humedad en la parte central del valle, justo en los linderos de extensas áreas productivas al sur del poblado El Porvenir, en las inmediaciones del rancho El Mogor. Se muestra en la figura 12 con mayor detalle el área detectada.

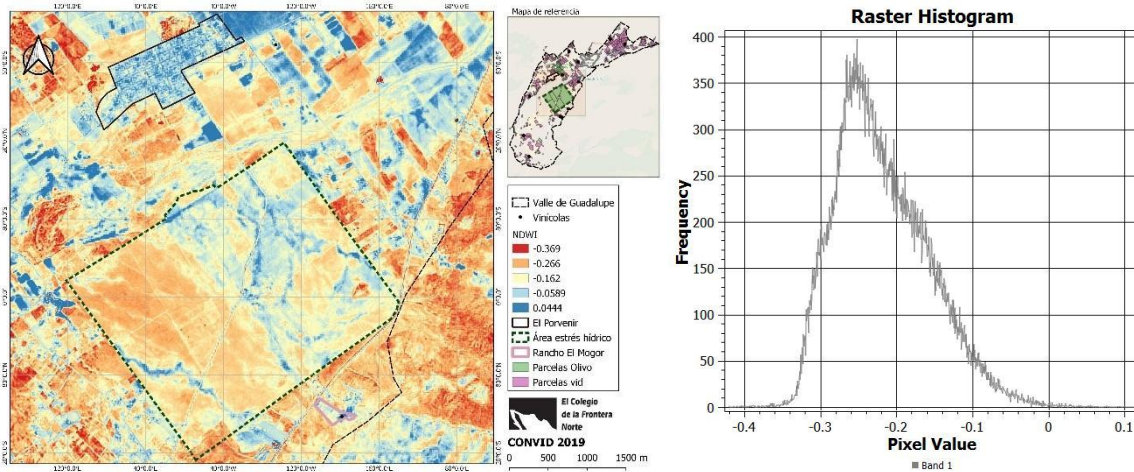


Figura 12 Área de stress hídrico con producción de Olivo. Linderos rancho El Mogor) Fuente: Elaboración propia con imágenes (EOS, 2019) Sentinel-2 L2A Fecha: 24 Agosto. 2019 13% grid code: 11SNR. Bandas: NIR-SWIR/NIR+SWIR. (8-11/8+11)

El histograma muestra las diferencias en la distribución de los valores del NDWI en los linderos del Rancho El Mogor, sitio que contrasta con áreas de mayor contenido hídrico al norte del valle. Se detecta que se trata de una zona productiva con mayor estrés hídrico con un rango en el NDWI de $(-0.42, 0.11)$ en una superficie de 901 hectáreas correspondiente a la producción monocultivo de Olivo.

DISCUSION

Los resultados del trabajo documentados mediante un enfoque que incorpora factores antropogénicos como la densidad de las concesiones para extracción de agua subterránea en el valle, en contraste con los parámetros climáticos de la zona sugieren que el valle de Guadalupe está transitando hacia una etapa de sobreexplotación en los recursos hídricos subterráneos cuyas consecuencias ponen en riesgo la continuidad de esta actividad en el largo plazo.

Los niveles documentados por el índice de volumen concesionado de agua subterránea, aportan evidencia de que el patrón de uso de los recursos hídricos subterráneos ya excede la capacidad de recarga de los acuíferos en donde se asientan, con el acuífero clave 207 en el que se ubica el valle de Guadalupe siendo el que presenta la mayor presión en la región vitivinícola de la entidad, esta evidencia confirma un ritmo intensivo de aprovechamiento, consecuencia de la actividad antropogénica y alerta sobre el papel que la competencia entre los productores tendrá en el futuro cercano.

Si bien la teoría sobre acceso a recursos compartidos expuesta por autores como Hoogesteger y Wester, (2017) prevé una tendencia hacia la concentración de las concesiones por parte de los productores con mayor capacidad de gestión dados los mecanismos institucionales de acceso y un deterioro de las condiciones de los productores de menor escala, la capacidad de los productores para organizarse y priorizar las actividades productivas será un elemento que defina el rumbo en el largo plazo de la actividad vitivinícola.

Al respecto uno de los retos prioritarios expresados mediante instrumentos de gestión como el Programa Sectorial de Desarrollo Urbano- Turístico de los Valles Vitivinícolas de la Zona Norte del Municipio de Ensenada (Región del Vino) es la creciente extracción de recursos hídricos para abastecer a la ciudad de Ensenada (Badán et al., 2006), hecho que a primera instancia encuentra una aparente justificación dada la evidencia encontrada en este trabajo, considerando que el principal concesionario para extracción de agua subterránea en el valle es la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada, entidad que capta 5.6 millones de m³.

No obstante, el análisis detallado de la asignación de concesiones demostró que existe una concentración consistente con un modelo oligopólico con un coeficiente de Gini=.84 en donde la principal empresa con acceso al recurso es L.A. Cetto agrupación que en 10 concesiones tiene acceso a 6,984,560 m³.

Esta evidencia aporta elementos para la reflexión sobre el papel que un pequeño grupo de productores de gran escala ejercen sobre el recurso y genera argumentos con base científica para la adecuación de medidas de política pública como el recién aprobado reglamento de zonificación y usos de suelo.

Rasgos como la diversificación de cultivos detectada en esa investigación con la incursión de productores monocultivo de Olivo a gran escala da cuenta de transformaciones físicas que tienen lugar en el valle de Guadalupe y que ponen en evidencia la mayor competencia por el agua como insumo básico para la producción.

En cuanto al análisis realizado respecto a los parámetros climáticos, los resultados sugieren un cambio marginal en las temperaturas en los últimos 42 años, con menores niveles de precipitación que inciden en periodos de sequía de mayor severidad, si bien la relación inversa entre los regímenes de precipitación y las temperaturas observadas particularmente en los meses de verano, indican factores adicionales de presión para los niveles de extracción de agua proveniente de los acuíferos, escenario que es consistente con los resultados reportados por estudios previos como del Toro-Guerrero et al., (2014, p. 8) que indican una dependencia del agua subterránea por parte de los productores con 8 horas diarias de bombeo durante ocho meses al año.

Por su parte la inclusión de herramientas metodológicas a partir de imágenes de percepción remota se perciben una alternativa costo efectiva para contribuir al análisis de la gestión integral de los recursos hídricos en zonas sujetas a presión ante actividades productivas como la agricultura, en particular los resultados en esta fase del análisis permitieron confirmar los hallazgos del análisis exploratorio, detectando áreas de intenso uso de recursos hídricos subterráneos así como parcelas consideradas en situación de estrés hídrico.

A la par de los indicadores ambientales cuya dinámica tiene implicaciones propias desde la perspectiva de sustentabilidad y que son el enfoque central de este trabajo, es importante apuntar también que la estructura social presenta rasgos característicos de un proceso de transformación del modelo productivo tradicional, en este sentido la presente investigación concuerda con trabajos previos realizados desde la perspectiva de territorios hidro sociales para casos en la región de América Latina como Damonte-Valencia, (2015) quienes documentan cómo la competencia por el recurso tiene implicaciones en los actores locales desde la esfera política e institucional y no solo en el paisaje físico y productivo.

Si bien, la exploración de estos procesos requiere estudios subsecuentes para su validación empírica formal, se considera, de acuerdo a la experiencia de estudios similares en el contexto de América Latina, que forman parte de un abordaje integral que se deberá tener en cuenta en los procesos de planeación estratégica de la vitivinicultura como vocación productiva de la región.

REFERENCIAS.

- Arroyo, V., Ballesteros, M., & Mejía, A. (2015). *Inseguridad Económica del Agua en Latinoamérica: De la abundancia a la inseguridad*.
- Augusto, S.-Z. C., Martínez-Rincón, R. O., & Morales-Zárate, M. V. (2017). Tendencia en el siglo XXI del Índice de Diferencias Normalizadas de Vegetación (NDVI) en la parte sur de la península de Baja California. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, 2017(94)*, 82-90. <https://doi.org/10.14350/rig.57214>
- Badán, A., Kretschmar, T., Espejel, I., Cavazos, T., D'Acosta, H., Vargas, P., ... Daesslé, W. (2006). Hacia un plan de manejo del agua en Valle de Guadalupe, Baja California. *Memorias del II Seminario Internacional de Vitivinicultura: Ensenada, Baja California, México, INIFAP*, 45-64.
- Badiani, R. Jessoe, K. K., & Plant, S. (2017). Development and the Environment. *The Journal of Environment & Development, 21*, 244-262.
- Bernabéu Albert, S. (1994). *La religión ofendida: Resistencia y rebeliones indígenas en la baja California colonial*.
- Clavigero, F. S. (1970). *Historia de la antigua o Baja California: Vida de Fr. Junípero Serra, y misiones de la California Septentrional*. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=0W0LAAAAYAAJ>
- CONAGUA. (2016). *Registro público de derechos de Agua (REPDA)*. Recuperado de Comisión Nacional del Agua website: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/registro-publico-de-derechos-de-agua-repda-55190>
- Covarrubias, J., & Thach, L. (2015). Wines of Baja Mexico: A qualitative study examining viticulture, enology, and marketing practices. *Wine Economics and Policy, 4(2)*, 110-115. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2015.11.001>
- Daesslé, L. W., Mendoza-Espinosa, L. G., Camacho-Ibar, V. F., Rozier, W., Morton, O., Van Dorst, L., ... Rodríguez-Pinal, A. (2006). The hydrogeochemistry of a heavily used aquifer in the Mexican wine-producing Guadalupe Valley, Baja California. *Environmental Geology, 51(1)*, 151-159.

- Damonte-Valencia, G. H. (2015). Redefiniendo territorios hidrosociales: Control hídrico en el valle de Ica, Perú (1993-2013). *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 12(76), 109-133.
- del Toro-Guerrero, F. J., Kretzschmar, T., & Hinojosa-Corona, A. (2014). Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 5, 69-81.
- EOS. (2019). *Sentinel 2*. En *Imágenes en formato ráster*. Recuperado de <https://eos.com/sentinel-2/>
- Gao, B. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Hallack-Alegria, M., Ramirez-Hernandez, J., & Watkins Jr., D. W. (2012). ENSO-conditioned rainfall drought frequency analysis in northwest Baja California, Mexico. *International Journal of Climatology*, 32(6), 831-842. <https://doi.org/10.1002/joc.2310>
- Hoogesteger, J., & Wester, P. (2015b). Intensive groundwater use and (in)equity: Processes and governance challenges. *Environmental Science & Policy*, 51, 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.04.004>
- Hoogesteger, J., & Wester, P. (2017). Regulating groundwater use: The challenges of policy implementation in Guanajuato, Central Mexico. *Environmental Science & Policy*, 77, 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.08.002>
- INEGI. (2019). *Continuo de Elevaciones Mexicano*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- Jordán, Fernando. (2001). *Baja California, tierra incógnita*. Mexicali, California, (Mexico): Universidad Autónoma de Baja California.
- Khair, S. M., Mushtaq, S., & Reardon-Smith, K. (2015). Groundwater Governance in a Water-Starved Country: Public Policy, Farmers' Perceptions, and Drivers of Tubewell Adoption in Balochistan, Pakistan. *Groundwater*, 53(4), 626-637.
- Manzanares-Rivera, J. L. (2016). Hacer florecer al desierto: Análisis sobre la intensidad de uso de los recursos hídricos subterráneos y superficiales en Chihuahua, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 13(77), 35-61.
- Meraz Ruiz, L. (2013). La trascendencia histórica de la zona vitivinícola de Baja California. *Multidisciplina*, (16).
- Mondejar, J. P., & Tongco, A. F. (2019). Near infrared band of Landsat 8 as water index: A case study around Cordova and Lapu-Lapu City, Cebu, Philippines. *Sustainable Environment Research*, 29(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0016-5>
- Mukherji, A., & Shah, T. (2005). Groundwater socio-ecology and governance: A review of institutions and policies in selected countries. *Hydrogeology Journal*, 13(1), 328-345.
- Qiao, C., Luo, J., Sheng, Y., Shen, Z., Zhu, Z., & Ming, D. (2012). An Adaptive Water Extraction Method from Remote Sensing Image Based on NDWI. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 40(3), 421-433. <https://doi.org/10.1007/s12524-011-0162-7>
- Sadoff, C. W. ,., Hall, J. W., W., Grey, D, Aerts, J. C., . J. H., Ait-Kadi, M., Brown, C, ... Wiberg, D. (2015). *Securing water, sustaining growth: Report of the gwp/oecd* [Report]. Recuperado de GWP/OECD website:

- <https://www.water.ox.ac.uk/?publication=securing-water-sustaining-growth-report-of-the-gwpoecd-task-force-on-water-security-and-sustainable-growth>
- SAGARPA. (2018). *Reporte cultivo Uva industrial*. Recuperado de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural website: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Saldi, L., & Petz, I. (2015). Aguas ajenas, tierras extrañas. Desigualdad hídrica al sur de la cordillera de los Andes en Mendoza Argentina a principios del siglo XXI. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, (12, 75), 123-144.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2019). *Climatología. Estación Meteorológica Automática clave 2001*. Recuperado de CONAGUA website: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Vargas, H. M., & Ibarra, K. B. (2015). La Baja California inventada: Visiones sobre un territorio mexicano a mediados del siglo XX. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2015(86), 98-115. <https://doi.org/10.14350/rig.42898>
- Villa-Sánchez, S. (2005). *El culto a Baco: La Senda histórica y organización de la producción vinícola del Valle de Guadalupe* (1ra ed.). CDMX: Plaza y Valdés.
- Waldner, F., Chen, Y., Lawes, R., & Hochman, Z. (2019). Needle in a haystack: Mapping rare and infrequent crops using satellite imagery and data balancing methods. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111375. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111375>
- Zlolniski, C. (2011). Water flowing north of the border: Export agriculture and water politics in a rural Community in Baja California. *Cultural Anthropology*, 26(4), 565-588.

Recibido: 12 de Diciembre de 2019; Aceptado: 08 de Junio de 2020; Publicado: 01 de Julio de 2020.