

Cambio climático en los Altos Norte de Jalisco

¿QUÉ ES EL CAMBIO CLIMÁTICO?

En términos generales, el cambio climático es el fenómeno que se refiere a las afectaciones en el clima en el nivel planetario, generadas por el calentamiento global. Los cambios en el clima afectan de manera muy distinta a diferentes regiones del planeta: en algunas zonas se muestran en forma de sequías, mientras que otras experimentan inundaciones (Pachauri, Allen, Barros, Broome, Cramer, Christ y Van Ypserle, 2014). El principal motor del calentamiento global es el aumento de gases con efecto de invernadero (GEI), que está asociado con diferentes actividades humanas.

A inicios de la tercera década del siglo XXI, el efecto invernadero tiene una connotación negativa debido a que está provocando el calentamiento terrestre; sin embargo, en la historia del planeta —aunque en condiciones de equilibrio termodinámico— este mecanismo es el que ha permitido que la Tierra tenga una temperatura aceptable para el desarrollo de la vida tal y como la conocemos. Si en nuestra atmósfera no hubiera existido este efecto, se calcula que la temperatura media del planeta sería de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente.

Durante los millones de años de existencia del planeta ha habido diferentes climas y cambios climáticos. La mayor parte del tiempo el clima ha sido más cálido que en el presente, aunque también han existido épocas más frías, como la era de las glaciaciones. Por ejemplo, la era de hielo del Pleistoceno duró desde hace dos millones de años hasta hace 14,000 años. La temperatura media en la tierra era de solo $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($9\text{ }^{\circ}\text{F}$), bastante más baja de lo que es hoy en día. Los diferentes procesos naturales exógenos que han incidido en el cambio climático de la Tierra a través del tiempo se han originado por diferencias en la órbita de traslación del planeta, cambios en el ángulo de su eje de rotación, variaciones en la composición de la atmósfera, manchas solares, movimiento de placas tectónicas, actividad

volcánica, impacto de asteroides en su superficie y movimientos terrestres (EIRD, 2001).

La diferencia sustancial con el cambio climático que el planeta está sufriendo en los últimos cien años es que los cambios se están dando de manera más vertiginosa que los anteriores —que se daban en miles de años—, y se estima que la causa principal son las actividades industrializadas vinculadas con una fórmula extractivista de desarrollo, con énfasis en los ámbitos de consumo de un porcentaje minoritario de la humanidad (Wiedmann, Lenzen, Keyßer y Steinberger, 2020). Particularmente, el cambio climático se atribuye al aumento exponencial de la concentración de los diversos GEI en la atmósfera, como el dióxido de carbono (CO_2), el ozono (O_3), el metano (CH_4), los óxidos nitrosos (NO_x), entre otros, resultantes de actividades humanas como:

- El consumo de combustibles fósiles, como el petróleo, carbón y gas, que son el motor energético del mundo, pero también los mayores generadores de CO_2 .
- La pérdida de enormes superficies de plantas y algas (bosques, corales, etc.), que son un almacén de carbono muy importante y regulan los climas.
- El desarrollo de la agricultura y ganadería intensiva sin control, que generan cambios en el uso del territorio e importantes cantidades de gas metano, un GEI muy potente capaz de capturar 28 veces más calor que el CO_2 .
- Gases fluorados emitidos por las industrias (se producen cantidades pequeñas, pero son 23,000 veces más potentes que el CO_2) (Stern & Kaufmann, 2014).

Los gases emitidos directamente por la dinámica urbana e industrial son diversos: el dióxido de carbono (CO_2) es el que más contribuye al cambio climático con un aproximado porcentaje de 60%. También los gases de metano (CH_4), óxido nitroso (NO_2), gases fluorados (CFC), el ozono (O_3) y el hexafluoruro de azufre (SF_6) que se producen en menores cantidades, pero que su efecto muchas veces puede ser mayor (Greenpeace, 2010). Estos gases son muy estables químicamente (a excepción del ozono), por lo que pueden permanecer en la atmósfera durante varias

décadas, incrementando el efecto invernadero en la atmósfera (Herdon, 2018).

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS TIERRAS SECAS: LAS REGIONES MÁS VULNERABLES EN JALISCO

Los escenarios de cambio climático tienen un impacto particularmente grande para los desiertos y semidesiertos: tanto la sequía como las tormentas excesivas causan graves afectaciones a los ecosistemas y la inmovilización de las actividades económico-productivas, sociales, culturales y políticas. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés):

[...] los incrementos de la temperatura afectan la evapotranspiración, lo cual sería más significativo en lugares donde el clima es cálido. Las predicciones sobre la cantidad y los patrones de distribución de lluvia en estas regiones resultan inciertas, pero el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático indicó que las regiones semiáridas están entre las de mayor probabilidad de experimentar un incremento en el estrés del clima (IPCC 1990). Además, el cambio climático puede tener consecuencias impredecibles y quizás extremas con respecto a la frecuencia e intensidad de la precipitación y la variabilidad de la temperatura de las regiones semiáridas (FAO, 2007: 10).

Para realizar proyecciones climáticas, se utilizan herramientas de última generación, como los modelos de circulación general de circulación acoplados (MCG). Los MCG representan procesos físicos en la atmósfera, el océano, la criósfera (la porción congelada de la superficie de la Tierra) y la superficie terrestre, para simular la respuesta del sistema climático global al aumento de las concentraciones de GEI. Para hacer predicciones en torno al cambio climático, las simulaciones del MCG generalmente son forzadas mediante la imposición de cambios en la composición atmosférica, la geometría Tierra-Sol, la distribución de la capa de hielo continental, el nivel del mar y la vegetación (Cubasch, Meehl, Boer, Stouffer, Dix, Noda y Yap, 2001; INECC, 2016).

Para efectos de nuestra investigación, se analizaron los escenarios climáticos del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) para los tres municipios en estudio que, como ya mencionamos, comprenden 90% de la superficie de la subcuenca del río Lagos. Específicamente, revisamos las proyecciones de precipitación anual y temperatura media anual desde cuatro MCG distintos: el del Centre National de Recherches Meteorologiques, CNRMCM5 (CN), desarrollado en Francia; el modelo del Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, GFDL_CM3 (GF), desarrollado en Estados Unidos; el del Met Office Hadley Center, HADGEM2-ES (HG), hecho en Reino Unido; y finalmente, el modelo alemán del Max Planck Institute for Meteorology, MPI_ESM_LR (MP). Para cada uno de estos modelos se examinaron dos forzamientos radioactivos o trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés): el modelo 4.5, que se refiere a escenarios donde no incrementan las emisiones de GEI con respecto a los límites actuales; y el modelo 8.5, en el que sí se consideran aumentos en las emisiones.

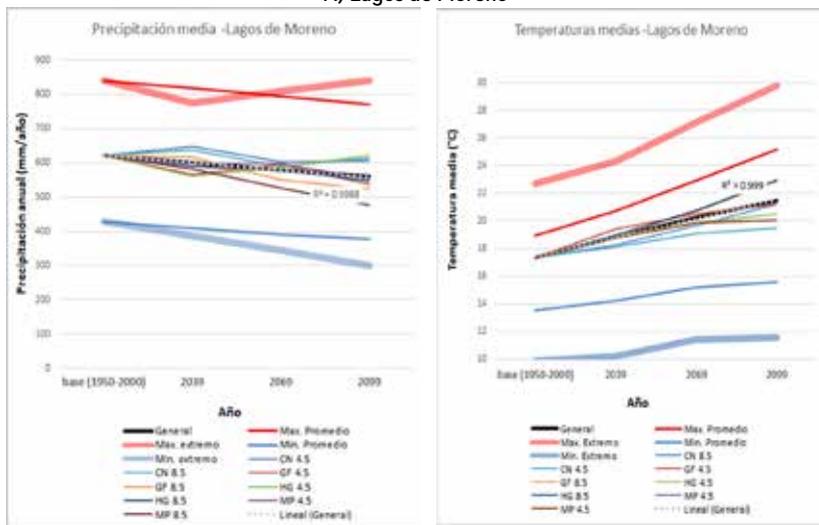
La serie temporal incluye la climatología base que representa los datos históricos de temperatura media y precipitación anual desde 1950 hasta 2000 y, partiendo de los datos obtenidos en este periodo, se proyectan los escenarios de tres periodos a futuro: el horizonte cercano que abarca de 2015 a 2039, el horizonte medio que va de 2045 a 2069 y el horizonte lejano de 2075 a 2099 (véase la figura 9.1).

En los escenarios climáticos analizados para cada uno de los tres municipios observamos, en promedio, una disminución en la precipitación anual. Esta tendencia decreciente fue más evidente para Lagos de Moreno y San Juan de los Lagos, con una diferencia de 100 mm/año con respecto a los datos base, que representa una disminución de 14% en total de 1950 a 2099, lo cual para regiones semiáridas implica un estrés hídrico considerablemente mayor (figura 9.1, A y B). En Unión de San Antonio, el espectro entre los valores mínimos y máximos disminuye de manera que, si bien la tendencia decreciente de precipitaciones máximas es consistente como en los otros dos municipios, la tendencia de precipitaciones mínimas disminuye considerablemente para 2039 (figura 9.1, C), lo cual hace que la tendencia de cambio no sea significativa a lo largo del tiempo.

Las temperaturas medias anuales de los tres municipios mostraron un aumento pronosticado de 4 °C en promedio para 2099, llegando en casos

FIGURA 9.1. PRECIPITACIÓN ANUAL Y TEMPERATURA MEDIA ANUAL PARA TRES MUNICIPIOS DE LA REGIÓN ALTOS NORTE DE JALISCO

A) Lagos de Moreno



B) San Juan de los Lagos

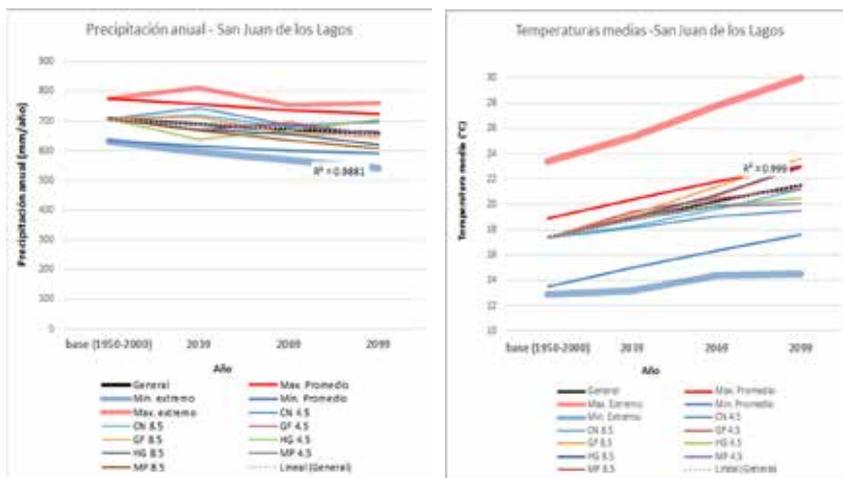
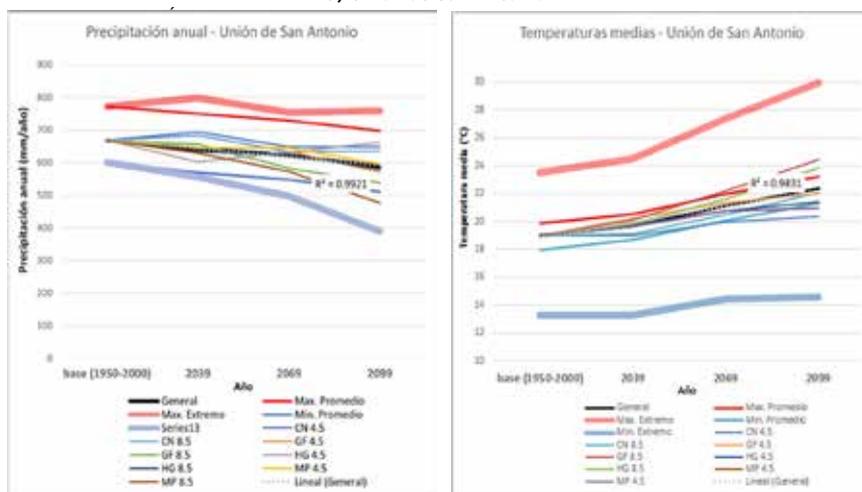


FIGURA 9.1 (CONTINUACIÓN)

C) Unión de San Antonio



Nota: cada línea de color representa un MGC (CN, GF, HG y MP) con uno de los dos RCP (4.5 y 8.5). La línea negra representa el promedio de los escenarios, y la línea punteada muestra la tendencia y su valor de R^2 (coeficiente de determinación). Las líneas delegadas en los extremos muestran los escenarios máximos y mínimos promedio, y las líneas gruesas en los extremos los valores máximos y mínimos extremos. Para el caso de la temperatura se refieren a los máximos del mes más cálido en el escenario más extremo.

En promedio, todos los escenarios de cambio climático en los tres municipios proyectan una disminución de la precipitación de alrededor de 50-100 mm/año. Para la región semiárida esta reducción en la precipitación es muy significativa.

La disminución en la precipitación proyectada es especialmente notoria en Lagos de Moreno y Unión de San Antonio, donde los escenarios extremos proyectan una disminución de hasta 50% de la precipitación histórica.

Para la temperatura promedio anual, todos los escenarios de cambio climático proyectan un promedio de incremento de 3.5 °C, sin embargo, los escenarios más pesimistas nos hablan de un aumento de hasta 7 °C con la posibilidad de llegar a extremos de hasta 30 °C en promedio anual cuando los extremos históricos son de 24 °C.

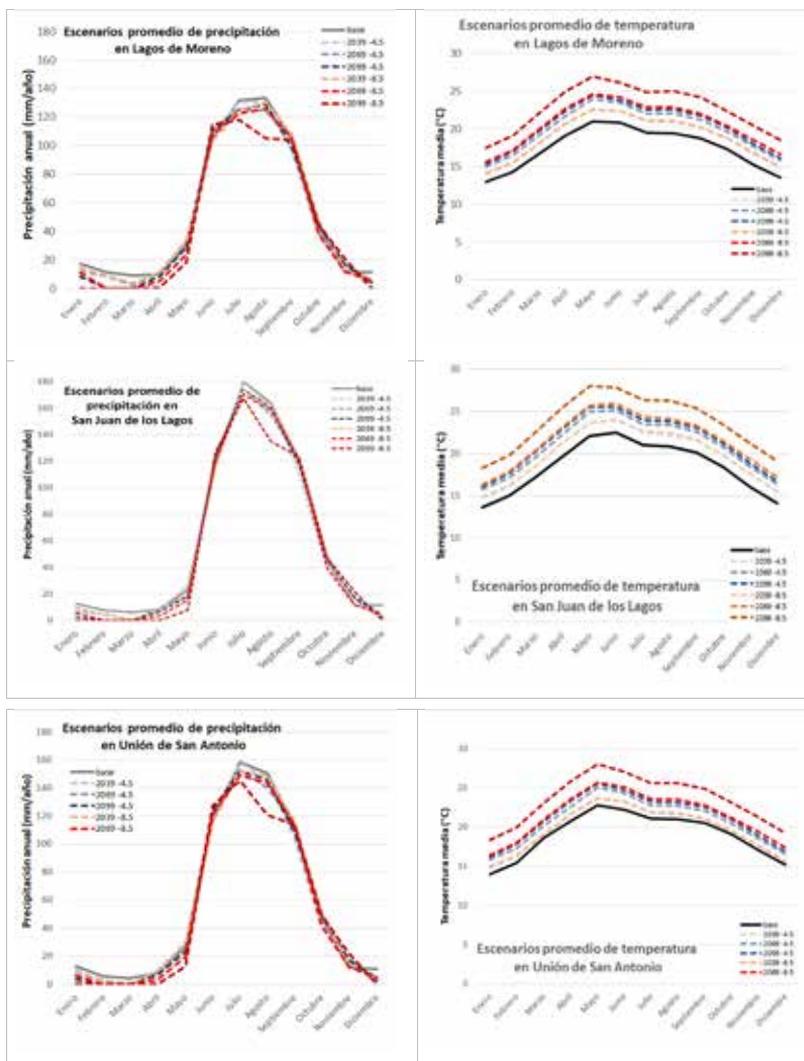
Lagos de Moreno y San Juan de los Lagos son los municipios donde este aumento de temperatura podrá ser más pronunciado.

Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos del INECC.

extremos hasta los 30 °C, cuando los datos de base mostraban temperaturas máximas de 23-24 °C para los tres municipios durante los meses más cálidos (figura 9.1, A-C). Sin embargo, los aumentos en temperatura que se prevén para los tres municipios en todos los escenarios climáticos analizados podrían tener una retroalimentación negativa en la disponibilidad de agua, puesto que el aumento de los requerimientos hídricos del sistema hace que se tenga menos agua disponible. Este rango de incrementos en la temperatura implica un impacto muy alto del cambio climático para la cuenca de nuestro estudio.

Basados en los datos mencionados, también se realizó un análisis de la variación estacional durante el año que pudieran implicar estos es-

FIGURA 9.2 ESTACIONALIDAD EN LA PRECIPITACIÓN ANUAL Y TEMPERATURA MEDIA ANUAL PARA TRES MUNICIPIOS DE LA REGIÓN ALTOS NORTE DE JALISCO



Nota: las líneas en tonos azules representan los escenarios RCP 4.5 y las líneas en tonos rojos los escenarios RCP 8.5. En tonos claros se muestran los horizontes cercanos, después el horizonte medio y finalmente, en tonos más fuertes, el lejano. En promedio, el temporal de lluvias no proyecta cambios en cuanto a los meses donde ocurren las mayores precipitaciones, sin embargo, en los escenarios lejanos (2099) sí se ve una disminución pronunciada del temporal de lluvias en los tres municipios en el mes de agosto. En los meses de estiaje, si bien históricamente la precipitación ha sido baja, en los escenarios de cambio climático se vuelve nula. La temperatura proyectada aumenta de manera considerable en los escenarios de cambio climático, pero de manera consistente a lo largo del año en los tres municipios. Tanto las gráficas de temperatura como las de precipitación nos muestran que climáticamente la estacionalidad no cambia, solo se vuelve mucho más extrema.

Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos del INECC.

cenarios. En este apartado solo presentamos los escenarios en que se detectaron cambios en la estacionalidad promedio (véase la figura 9.2), aunque en el apéndice 1 se muestran los gráficos restantes para cada uno de los escenarios climáticos. En cuanto a la temperatura, observamos que el aumento respecto a los datos climáticos base es proporcional a lo largo del año. Es decir, la estacionalidad no cambia para los escenarios cercano, medio y lejano, sin embargo, la precipitación sí presenta cambios estacionales respecto a los datos base en todos los escenarios.

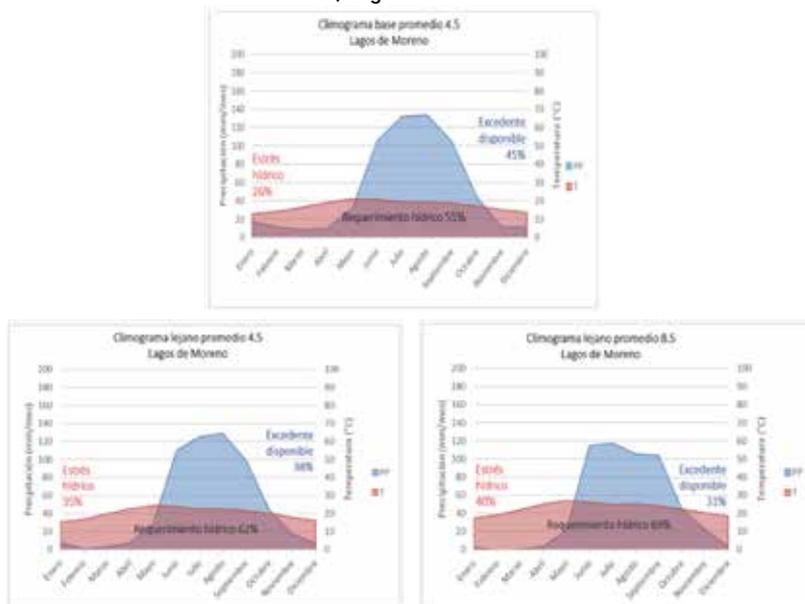
En todos los escenarios, en promedio, la diferencia de los horizontes lejanos indica que podría haber una disminución de lluvia en el temporal desde 61 mm hasta 243 mm/año, casi la mitad de la precipitación respecto al escenario base (véase la figura 9.2). Por ejemplo, en Lagos de Moreno, bajo el escenario proyectado MP 8.5 (véase el apéndice 1), se espera una disminución de la precipitación durante los meses de lluvias, además de nula durante la temporada de enero a mayo, donde históricamente el registro muestra una precipitación de hasta 25 mm para el mes de mayo. En San Juan de los Lagos, la proyección de la temporada de lluvias en un escenario extremo (HG 8.5) parece terminar cada vez más abruptamente, a la vez que se genera un pequeño aumento en el mes de noviembre, cuando anteriormente ya no se esperaban lluvias. Finalmente, en Unión de San Antonio, el escenario HG 8.5 (véase el apéndice 1) prevé una división en el temporal de lluvias en el escenario lejano, con un pico en julio y otro en septiembre.

CLIMOGRAMAS DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Si contrastamos la información anterior de precipitación y temperatura, se pueden realizar climogramas de los escenarios climáticos proyectados referentes a los tres municipios de interés (véase la figura 9.3). Para esto, es relevante mencionar que se seleccionaron aquellos escenarios y modelos RCP que pudieran mostrar cambios significativos en las proyecciones, por lo cual se escogieron los escenarios base y lejano (se omite el escenario intermedio porque tiene un comportamiento similar al base). También se presenta el escenario con RCP 8.5, que representa un nivel de emisiones de GEI máximas, es decir, el escenario que tendremos si la tendencia de generación de GEI continúa como en la actualidad. Según el IPCC, el de

FIGURA 9.3 CLIMOGRAMAS PARA LOS MUNICIPIOS EN ESTUDIO CON ESCENARIOS CLIMÁTICOS BASE RCP 4.5, LEJANO RCP 4.5 Y LEJANO RCP 8.5 PROMEDIO

A) Lagos de Moreno



B) San Juan de los Lagos

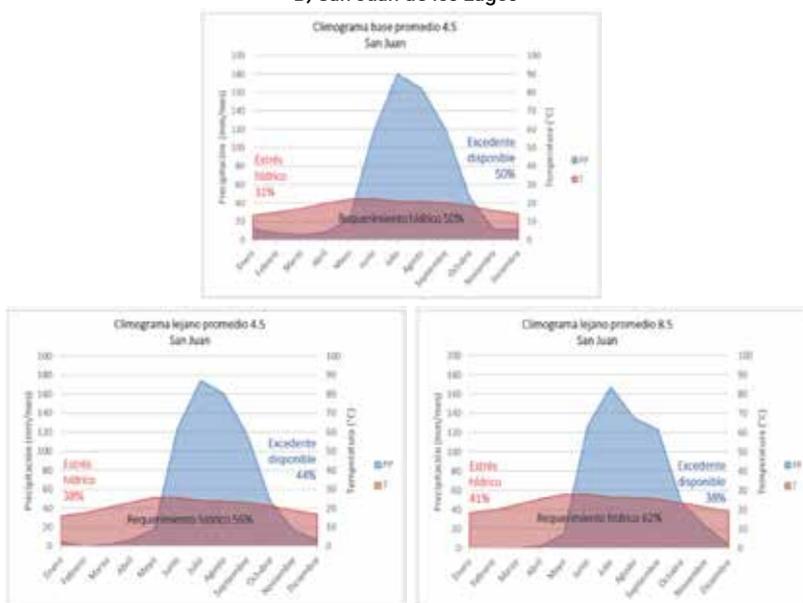
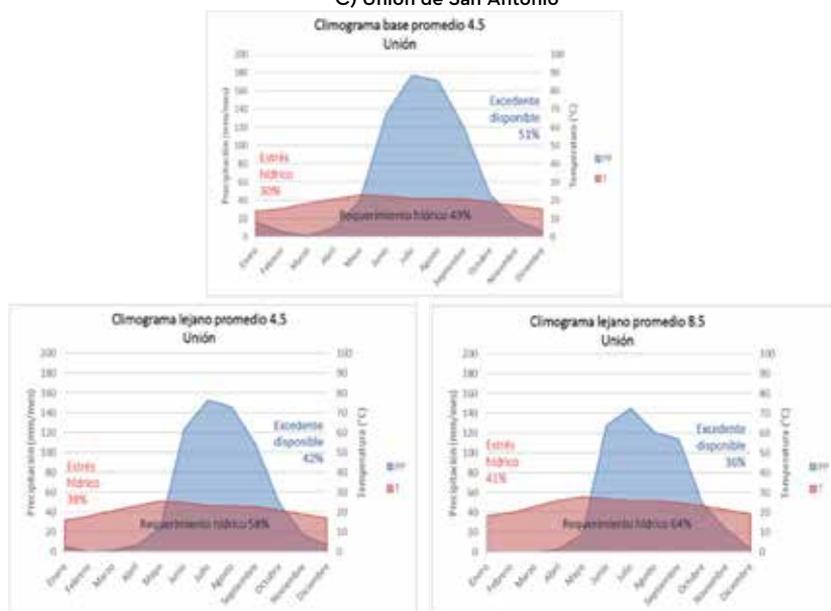


FIGURA 9.3 (CONTINUACIÓN)

C) Unión de San Antonio



Claves de lectura: el área azul representa la distribución de precipitación en el año, mientras que el área roja representa las temperaturas a lo largo del año. Cada vez que la temperatura está por encima de la precipitación (sobresale el área roja), el sistema presenta estrés hídrico o falta de agua. Cuando, por el contrario, el área azul sobresale, el sistema tiene un excedente de agua que estará disponible en los ríos o para la recarga de acuíferos. Para cada municipio se presenta el escenario base y los escenarios lejanos con rcp de 4.5 y de 8.5.

Los climogramas anteriores nos muestran la relación entre la temperatura y la precipitación. Siempre que la temperatura sea mayor que la precipitación el sistema se encuentra bajo estrés hídrico, pero cuando la precipitación es superior a la temperatura entonces tenemos un excedente disponible. El excedente disponible es el agua que corre por los ríos o se permea hacia las corrientes subterráneas. Los climogramas anteriores nos hablan de la relación entre temperatura y precipitación histórica, y después bajo escenarios de cambio climático optimista (4.5 izquierda) y pesimista (8.5 derecha).

En los tres municipios observamos que bajo los escenarios de cambio climático veremos un aumento en el estrés hídrico hasta de 1.4%, por ende, una reducción del agua disponible hasta de 15%.

RCP 4.5 se puede categorizar como de estabilización o un escenario intermedio en el que los GEI empezarán a disminuir a partir de 2045 debido al efecto de acciones climáticas efectivas (IPCC, 2014).

En los tres municipios se observa un aumento en los requerimientos hídricos del sistema de 13.6% con respecto al escenario base. Lo anterior hace que el estrés hídrico promedio incremente de 29.3% en el escenario base hasta 40.6% en los escenarios lejanos con RCP de 8.5. Por lo tanto, la disponibilidad de agua excedente, que normalmente llenaría los ríos y recargaría los acuíferos, en promedio se reduciría 13.6% respecto al es-

cenario base para 2100. Esto es consistente con las tendencias de cambio climático que se analizan en la sección anterior y nos conducen a pensar que en la región se generaría una mayor dependencia del agua subterránea, de la cual se conoce que se encuentra en un grado de sobreexplotación considerable y la gestión de esta es compleja.

En resumen, las condiciones climáticas de la región hacen que se encuentre en un constante estrés hídrico. La sustentabilidad de la región depende de un delicado balance entre la precipitación y el uso del agua, que puede ser fácilmente afectado por un uso insostenible de este recurso o por condiciones de cambio climático. Todo lo anterior nos habla de la urgente necesidad de hacer un cambio drástico en la manera en que se llevan a cabo las actividades agropecuarias y un control muy preciso del agua que se utiliza, tanto a nivel superficial como subterráneo.

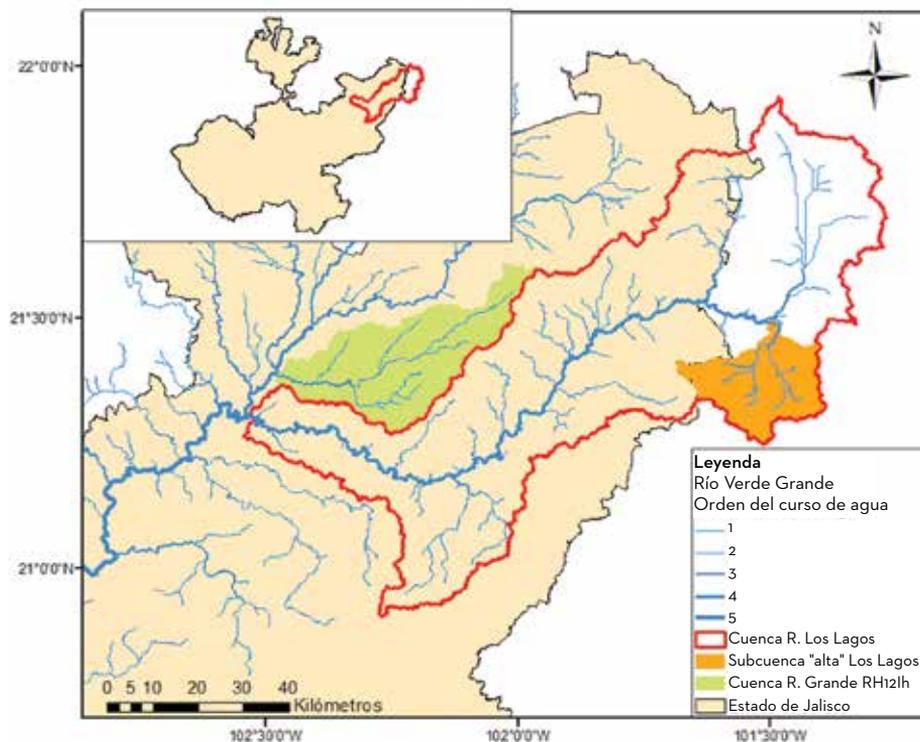
ANÁLISIS GEOESPACIAL Y MULTITEMPORAL DE LA REGIÓN ALTOS NORTE DE JALISCO

Con este análisis geoespacial y multitemporal es posible observar los cambios que se han dado en un periodo de 34 años, tanto en tierras de fácil acceso con alto desarrollo en actividades agropecuarias y vegetación secundaria como en tierras más remotas, con difícil acceso, montañosas y boscosas con vegetación primaria.

Para identificar las áreas de interés donde se realizó el análisis geoespacial y multitemporal de diferentes coberturas de suelo, se eligieron dos áreas con características singulares y que, a su vez, son representativas de la región Altos Norte de Jalisco, como se puede ver en el mapa de la figura 9.4. La primera zona es la cuenca del río Grande, ubicada al norte de la ciudad de San Juan de los Lagos, y presenta coberturas de suelo modificadas en gran medida por las actividades humanas. La segunda zona es parte de la cuenca del río Verde (por ello se nombra subcuenca “alta”) (véase la figura 9.4), y está ubicada al este de la ciudad de Lagos de Moreno; se caracteriza por ser un bosque nativo, con pequeñas áreas de pastoreo y zonas agrícolas.

Para realizar este análisis se empleó una clasificación supervisada, la cual permite identificar patrones similares que señalan cierta tenden-

FIGURA 9.4 ZONAS REPRESENTATIVAS DE INTERÉS. ANÁLISIS GEOESPACIAL Y MULTITEMPORAL



En el mapa se indican las dos subcuencas en las que se realizó un análisis de cambio de uso de suelo. La subcuenca del río Grande se eligió por ser una zona con alta actividad agropecuaria (verde), y para contrastar esta zona se eligió la subcuenca alta de los Lagos (naranja), la cual es una de las áreas con menor actividad agropecuaria.

Fuente: elaboración propia con base en el procesamiento de imágenes Landsat 5 y Landsat 8, diferentes periodos entre 1986 y 2020.

cia (por ejemplo, cuerpos de agua, vegetación húmeda o vegetación seca, suelos desnudos, etc.) para ambas zonas, y se utilizaron imágenes Landsat 5 y Landsat 8 de los años 1986, 1993, 2001, 2009 y 2020 (United States Geological Survey, 2020). Todas las imágenes fueron tomadas antes de la temporada húmeda para que las comparaciones se hicieran en condiciones similares (véase la tabla 9.1).

Para el análisis de la cuenca del río Grande se cruzaron tres clasificaciones de suelo (suelo irrigado, cuerpos de agua y suelo agrícola) con

TABLA 9.1 ORIGEN DE LAS IMÁGENES SATELITALES

Satélite	Fecha de captura
Landsat 5	6 de abril de 1986
	11 de mayo de 1993
	30 de marzo de 2001
	23 de mayo de 2009
Landsat 8	3 de abril de 2020

Fuente: United States Geological Survey (2020).

el fin de observar si existió un aumento en la producción agropecuaria. Para la subcuenca que se encuentra dentro de la cuenca del río Lagos se estudiaron cuatro clasificaciones diferentes, debido a que tiene otras características particulares, las cuales fueron bosque, pastoreo, suelo agrícola y cuerpos de agua.

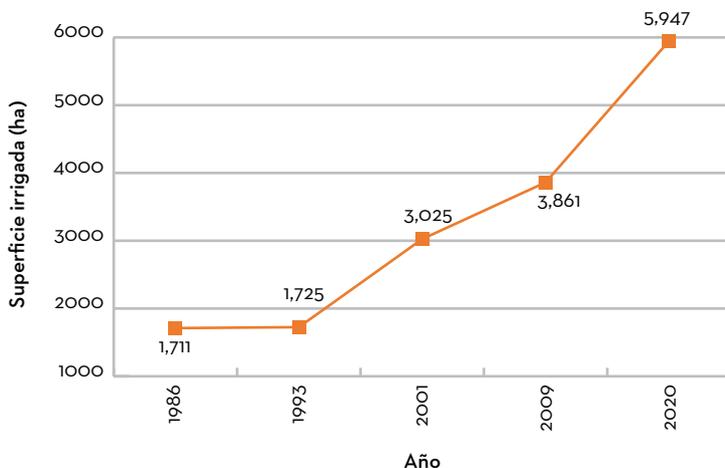
RESULTADOS

Los resultados dan cuenta de que en este periodo hubo un incremento muy importante en el uso humano de las tierras para actividades agropecuarias, en territorios que previamente eran bosques y praderas naturales.

En la cuenca del río Grande, la superficie de riego se triplicó al pasar de casi 1,700 ha en 1986 a alrededor de 6,000 ha en 2020. Particularmente, se puede ver un crecimiento acentuado en las tierras de riego de esta cuenca, donde a partir de 1993 aumentó más de 100 ha anuales para el riego, siendo los periodos entre 1993–2001 (162 ha/año) y 2009–2020 donde más hectáreas se sumaron (189 ha/año) (véanse las figuras 9.5 y 9.6).

A partir de los datos obtenidos, se generaron dos imágenes en las que es posible observar la transformación que ha tenido la cuenca del río Grande desde el año 1986 (izquierda) hasta 2020 (derecha) (véase la figura 9.6) y el incremento desmesurado de suelos irrigados, así como la pérdida de cuerpos de agua superficiales que ha sufrido el territorio en este periodo de tiempo.

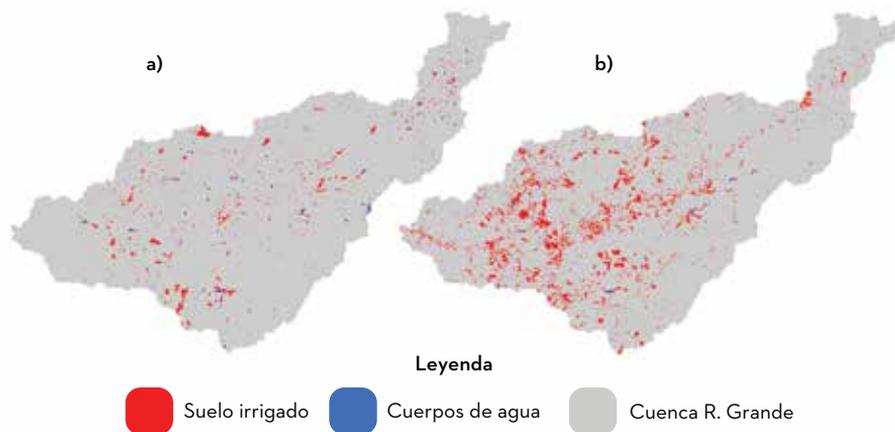
FIGURA 9.5 EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE DE RIEGO EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE 1986-2020



A lo largo del tiempo vemos que en la subcuenca del río Grande ha aumentado la superficie con riego, es decir, ha aumentado el área con cultivos.

Fuente: elaboración propia con datos de la United States Geological Survey (2020).

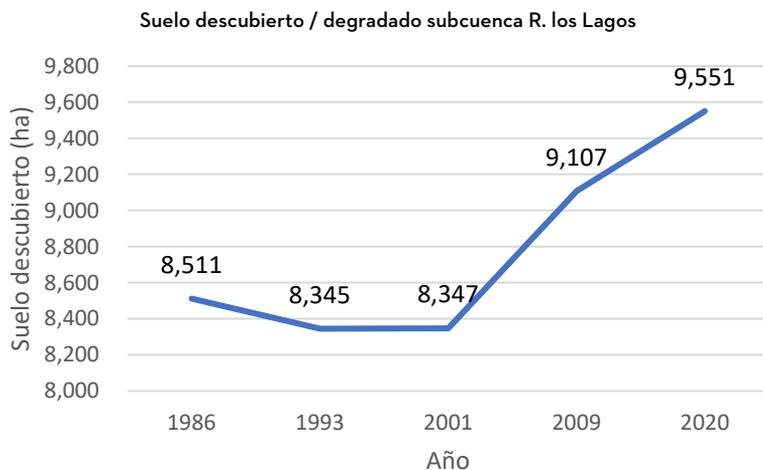
FIGURA 9.6 IMÁGENES CON CLASIFICACIÓN SUPERVISADA PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO GRANDE, 1986 Y 2020



A la vez que ha aumentado el área de suelo con riego (rojo) en la subcuenca del río Grande, los cuerpos de agua (azul) han disminuido o desaparecido en su totalidad en un periodo de 34 años.

Fuente: elaboración propia con base en el procesamiento de imágenes Landsat 5 y Landsat 8, diferentes periodos entre 1986 y 2020.

FIGURA 9.7 EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE DE SUELO DESCUBIERTO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO LAGOS, 1986-2020



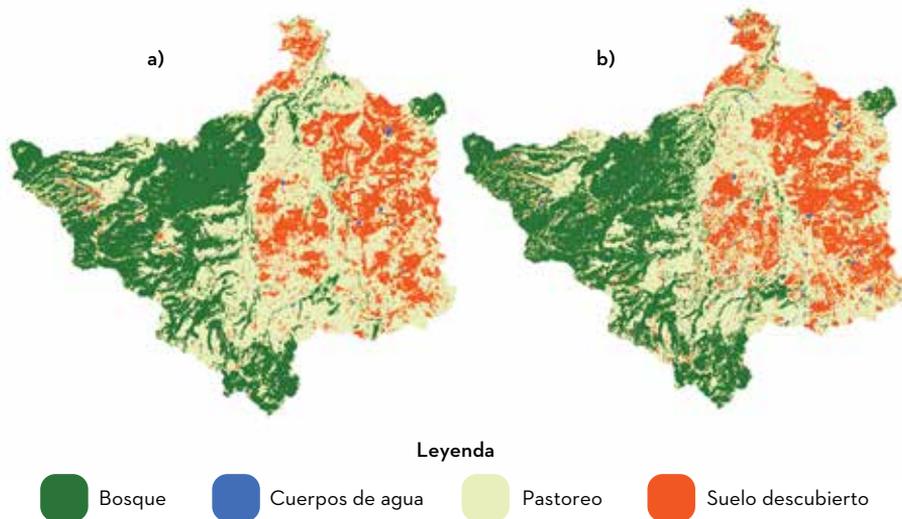
En la subcuenca del río Lagos, la superficie con cobertura vegetal natural ha disminuido en los últimos 34 años, debido a la deforestación asociada a las actividades agropecuarias, entre otras. Esto da lugar a que cada vez sea mayor la superficie de suelo descubierto, en el cual la humedad se pierde a una velocidad mayor haciéndolo más vulnerable a procesos de desertificación.

Fuente: elaboración propia con base en el procesamiento de imágenes Landsat 5 y Landsat 8, diferentes periodos entre 1986 y 2020.

Por otra parte, en los últimos años —especialmente a partir de 2001— en la subcuenca alta, una zona naturalmente boscosa ubicada en el municipio de Lagos de Moreno, se ha visto una reducción considerable de áreas de bosque y, a la par, se han incrementado los suelos descubiertos debido a las actividades humanas. Estos suelos carecen de vegetación y han sido degradados por actividades humanas, agropecuarias y tala de árboles. En 2001 había 8,346 ha de suelos descubiertos, mientras que en 2020 se incrementaron y llegaron a 9,550 ha. Cabe destacar que mientras en el periodo 1986–1993 hubo una ganancia de superficie boscosa de 23 ha/año, el incremento de áreas descubiertas a partir de 2001 fue de más de 55 ha anuales, con un periodo acelerado de incremento entre 2001–2009 (95 ha/año) (véase la figura 9.7).

A partir de los datos de cambio de uso de suelo, se generó la siguiente imagen donde se compara la situación de la subcuenca alta del río Lagos en 1986 (izquierda) y 2020 (derecha) (véase la figura 9.8). En esta imagen se da cuenta del incremento de suelos descubiertos y degradados en la

FIGURA 9.8 IMÁGENES CON CLASIFICACIÓN SUPERVISADA PARA LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO LAGOS, 1986-2020



El mapa A nos indica los usos de suelo y sus superficies en 1986, y en el B vemos los cambios de uso de suelo 34 años después en la subcuenca alta del río Lagos.

Las zonas verdes de bosque disminuyen, a la vez que las áreas de suelo descubierto (rojo) y las de pastoreo (amarillo) van aumentando. Este aumento del área de uso agropecuario está también asociado con la reducción de cuerpos de agua (azul).

En la subcuenca del río Lagos, la superficie con cobertura vegetal natural ha disminuido en los últimos 34 años, debido a la deforestación asociada a las actividades agropecuarias, entre otras.

Esto da lugar a que cada vez sea mayor la superficie de suelo descubierto. En suelo descubierto se pierde la humedad a una velocidad mayor haciéndolo más vulnerable a procesos de desertificación

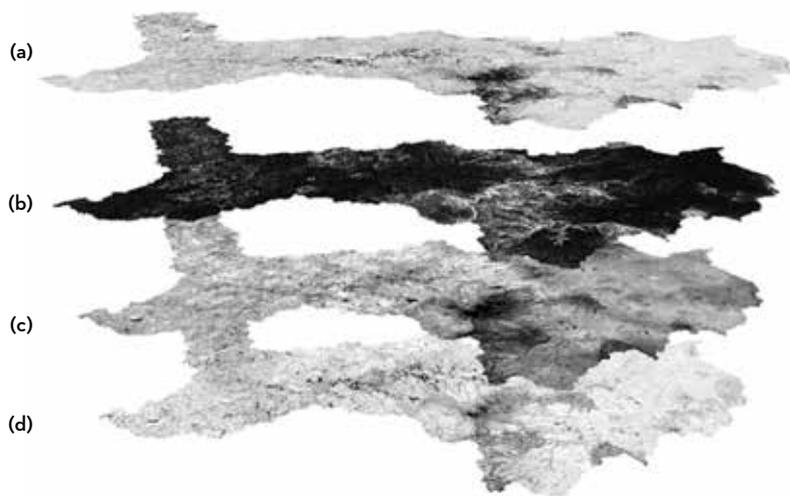
Fuente: elaboración propia con base en el procesamiento de imágenes Landsat 5 y Landsat 8, diferentes periodos entre 1986 y 2020.

subcuenca, y también se observa una pérdida de suelo forestal a causa de las actividades humanas. La superficie de cuerpos de agua en esta subcuenca se mantuvo en ambos periodos.

ANÁLISIS DEL RIESGO DE DESERTIFICACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO LAGOS

Con el fin de detectar las zonas más vulnerables a fenómenos globales como consecuencia del cambio climático y tener en cuenta las diferentes características del territorio, se realizó un análisis del riesgo de desertificación que sufre la cuenca del río Lagos con base en la metodología propuesta por Del Río (2019). En la región de los Altos de Jalisco es de suma importancia evaluar la desertificación por ser la zona más

FIGURA 9.9 IMÁGENES DE LA APLICACIÓN DE LAS CAPAS EN EL MODELO DE RIESGO A LA DESERTIFICACIÓN



Para calcular el riesgo a la desertificación en el área de estudio, se desarrolló un modelo que diferentes componentes y variables que nos permiten hacer predicciones sobre el grado de vulnerabilidad a la desertificación.

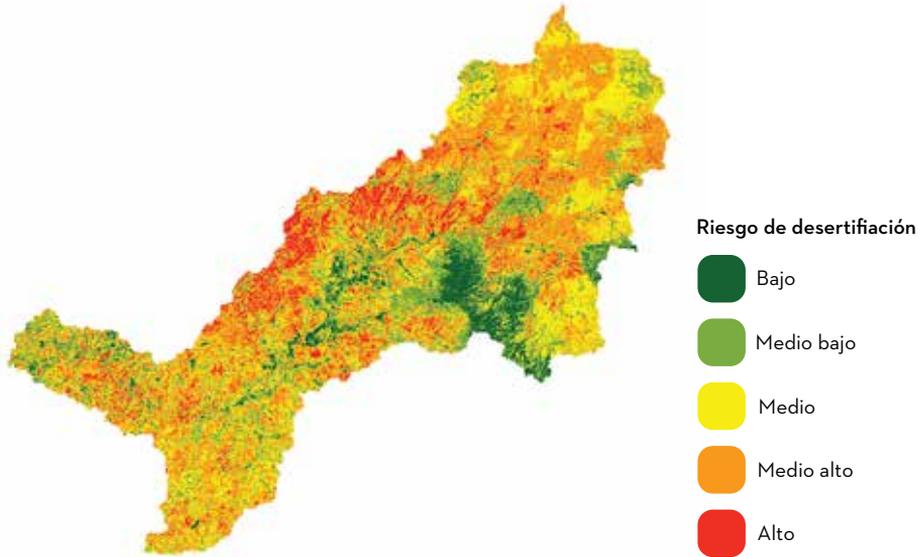
Fuente: elaboración propia con información de Del Río (2019).

vulnerable al cambio climático y porque es una potencia nacional en la producción de alimentos; por lo tanto, es altamente dependiente de un clima estable. Al conocer este riesgo es posible desarrollar estrategias adecuadas que permitan la adaptación de los habitantes ante los cambios globales en el clima. En el siguiente apartado se describe la metodología utilizada para este estudio.

METODOLOGÍA

Para el análisis de riesgo de desertificación, se siguió la metodología desarrollada por Del Río (2019), cuyos factores o entradas de información son: a) el análisis de componentes principales, utilizando dos índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), uno de un año con precipitación media y el otro en un año con sequía (para conseguir datos representativos); b) la capa (ráster) de temperatura de superficie de suelo; c) el índice

FIGURA 9.10 RIESGO DE DESERTIFICACIÓN PARA LA CUENCA DEL RÍO LAGOS



Como se muestra en el mapa, la mayor parte del territorio presenta un riesgo de desertificación de alto a medio, y solo hay zonas pequeñas en las que este riesgo es bajo. Conocer las vulnerabilidades a la desertificación es de gran utilidad para diseñar estrategias de adaptación ante estas. El diseño de un plan de manejo integral de la cuenca que garantice su salud hídrica y ecológica, así como el bienestar de la población, será crucial para el futuro de la región.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la United States Geological Survey (2020).

de suelo descubierto; y d) la capa (ráster) de las pendientes del territorio. Una vez obtenidas las capas de información, se aplicó el modelo de riesgo de desertificación en la cuenca del río Lagos. En la figura 9.9 se visualiza cómo se combinaron las diferentes capas de información utilizadas en el método. Primero se usó la capa del análisis del componente principal (a), luego el de las pendientes (b), después el de las temperaturas de superficie del suelo (c) y, por último, la capa del índice de suelo descubierto (d).

RESULTADOS

Con la combinación de estas capas de información utilizando el método de Del Río, es posible apreciar las zonas con mayor riesgo a sufrir un proceso de desertificación (naranja oscuro) y las menos vulnerables (verde oscuro) (véase la figura 9.10). En general, las áreas con mayor riesgo

son los suelos descubiertos utilizados para la agricultura y ganadería que tienen poca o nula vegetación. Las zonas boscosas con una vegetación bien desarrollada, localizadas en la parte más alta de la cuenca, están más protegidas. En relación con los municipios dentro de la cuenca, San Juan de los Lagos, que se encuentra aguas abajo, tiene un territorio con mayor riesgo específicamente en la zona norte, que también incluye a Lagos de Moreno; sin embargo, este último cuenta con las ventajas de ser más grande y tener territorio con poca intervención humana.

A partir de este análisis, se destaca la necesidad de llevar a cabo diversas acciones: por una parte, para proteger las pocas zonas boscosas que permanecen en la región y que presentan un bajo riesgo a la desertificación; y por otra, para generar formas de producción agropecuaria más sustentables con el fin de evitar su deterioro ante los posibles escenarios de cambio climático. La desertificación de la zona traería consecuencias negativas en todo el territorio y con pocas posibilidades de restauración, en caso de que no se cambien las formas actuales que promueven este riesgo.

A MODO DE CONCLUSIÓN

Una vez analizados los datos existentes y las proyecciones llevadas a cabo por el grupo de trabajo de esta investigación, y al considerar que las tendencias en el cambio de uso del suelo en el área estudio y las del cambio climático seguirán y probablemente incrementarán su efecto a través del tiempo, se prevé que el área de estudio sufrirá modificaciones importantes en los años venideros como consecuencia del cambio climático.

El cambio previsto más importante es el aumento de las temperaturas que se proyectan en la zona, que en promedio pueden llegar hasta 4 °C más para el año 2100. En la mayoría de las diferentes proyecciones generadas se aprecia un aumento de temperaturas en el futuro, aunque el grado de aumento es diferente según las variantes aplicadas por cada tipo de proyección.

También se prevén cambios en los patrones de lluvia. Estas tienden a disminuir, cambiar de intensidad y de temporal, aunque estos cambios pueden ser en una magnitud menor que la temperatura. Debido al alto riesgo de la región a sufrir el proceso de desertificación y al considerar las

tendencias en el tiempo, se puede anticipar que algunas zonas del territorio van a sufrir este proceso, con la consecuente pérdida de vegetación y fertilidad de la tierra.

Todos estos procesos pueden ser desastrosos en el futuro tanto para los municipios de Lagos de Moreno y San Juan de los Lagos, en los que nos hemos enfocado en este capítulo, como para la región de los Altos de Jalisco en su conjunto. Con el fin de enfrentar esta situación, es imprescindible implementar una gestión del agua con características integrales, así como la aplicación de políticas adecuadas, con el propósito de comenzar a planear la adaptación necesaria de este territorio semiárido ante los cambios venideros.

Gran parte de este proceso adaptativo del territorio debe ser planteado considerando el cuestionamiento del modelo económico actual de la región. Un modelo económico basado en la explotación intensiva ganadera, avícola y agrícola (actividades que de por sí requieren grandes cantidades de agua) no favorece el desarrollo sustentable de las regiones áridas y semiáridas. Las reflexiones que aquí exponemos no tienen la intención de desestimular las actividades productivas que se realizan en el área de estudio sino, por el contrario, pretenden ser un llamado a la toma de conciencia tanto de las autoridades como de la población para buscar mecanismos que contribuyan a que los medios de vida mencionados se realicen de forma sustentable, y que cuiden la integridad de la región.

De continuar este proceso de deterioro en la región de los Altos de Jalisco, habrá repercusiones negativas en diferentes escalas, debido a la gran importancia que tiene el territorio en cuanto a la producción de alimentos. Por último, las vulnerabilidades físicas sociales y de las diferentes características del territorio deben ser la base para desarrollar planes adecuados para la adaptación del territorio ante el cambio climático.