

A landscape photograph of Valle de Perote, Mexico. In the background, a large, conical volcano (Cerro de Perote) rises against a blue sky with scattered white clouds. The middle ground shows a wide valley with a mix of green vegetation and brownish, possibly volcanic, terrain. The foreground is dominated by dense green pine trees.

Valle de Perote

Aspectos bioclimáticos y socioeconómicos

Carolina Andrea Ochoa Martínez
Coordinadora

La observación y el análisis de las relaciones concretas del ser humano con su entorno natural permiten entender la interrelación de los procesos sociales y económicos con los del medio ambiente, cuestión fundamental para el logro de un verdadero desarrollo humano sustentable.

Este tipo de estudios o investigaciones requiere y promueve la integración, organización y desenvolvimiento de grupos o cadenas de conocimiento interdisciplinario, así como la creación de redes estratégicas de colaboración y vinculación entre los diversos agentes sociales involucrados, en beneficio del fortalecimiento de las capacidades locales de manera ecológica y sustentable.

El libro *Valle de Perote. Aspectos bioclimáticos y socioeconómicos* es resultado de un trabajo colaborativo y sinérgico desarrollado por académicos universitarios de la UNAM y de la UV, y de la empresa Granjas Carroll de México, quienes desde el año 2010 han venido realizando esfuerzos conjuntos con la finalidad de contribuir a la generación y divulgación de información y conocimientos útiles para la sociedad y la economía de la región.

Los textos que se incluyen representan una primera aproximación a la observación, registro y análisis del comportamiento de ciertas variables ambientales y económicas del Valle de Perote. El enfoque es multidisciplinar, con la pretensión de avanzar gradualmente hacia la generación y aplicación de conocimientos desde perspectivas inter o transdisciplinarias. En ellos concurren de manera exitosa los puntos de vista desde diferentes disciplinas, tales la biología, ciencias atmosféricas, instrumentación electrónica, ingeniería y estadística, lo cual le da un toque novedoso.

Contiene dos secciones. La primera despliega información descriptiva que permite conocer la relevancia de la zona, mientras que la segunda está dedicada a la investigación, vinculación y desarrollo y presenta información técnico-conceptual, así como algunos resultados preliminares del monitoreo meteorológico realizado en el Valle de Perote.



VALLE DE PEROTE

ASPECTOS BIOCLIMÁTICOS Y SOCIOECONÓMICOS



Valle de Perote. Aspectos bioclimáticos y socioeconómicos

Primera edición 2017

© D.R. Granjas Carroll de México, S. de R.L de C.V.
Bosques de Alisos N° 45-A segundo piso
Colonia Bosques de las Lomas
Delegación Cuajimalpa, Ciudad de México
C.P. 05120

© IETEC-Arana Editores
Av. Adolfo Ruiz Cortines N° 511
Col. Francisco Ferrer Guardia
C.P. 91020, Xalapa, Veracruz, México
Tel. (228) 8 14 18 73
edimpa.arana@hotmail.com

Fotografía de la cubierta: Marco Aurelio Morales martínez

ISBN: 978-607-9091-50-7

Impreso y hecho en México

CONTENIDO

PRÓLOGO	7
PRESENTACIÓN	11
ASPECTOS FÍSICOS Y SOCIOECONÓMICOS	
DESCRIPCIÓN DEL VALLE DE PEROTE	
Gladis Yañez Garrido María Esther Nava-Bringas	19
CLIMATOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE PEROTE	
Antonio Luna Díaz Peón	33
ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS: SAN ANTONIO LIMÓN TOTALCO Y LA RECOMPENSA, DOS EJEMPLOS DE CONSERVACIÓN Y USO SUSTENTABLE EN EL VALLE DE PEROTE.	
Carlos Alberto Martínez Hernández; Gladis Yañez Garrido Sofía Enith Quiroz Allende	51
PERFIL REGIONAL DEL VALLE DE PEROTE, VERACRUZ	
Marco Aurelio Morales Martínez Carolina Andrea Ochoa Martínez Carlos Manuel Welsh Rodríguez Pablo Rivera Amaya	69
INVESTIGACIÓN, VINCULACIÓN Y DESARROLLO	
EQUIPO METEOROLÓGICO	
Manuel García Espinosa, Wilfrido Gutiérrez López Miguel Robles Roldán Cecilia Conde Álvarez	81
RED DE MONITOREO METEOROLÓGICO EN EL VALLE DE PEROTE	
Berenice Tapia Santos Carolina Andrea Ochoa Martínez	93
DETECCIÓN Y ESTIMACIÓN DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS	
Sergio Francisco Juárez Cerrillo	119
LA BIOCLIMATOLOGÍA PORCINA: CONSIDERANDO AL FACTOR AMBIENTAL EN LA PRODUCCIÓN PORCÍCOLA	
Juan Cervantes Pérez	141

PRÓLOGO

La intención de Granjas Carroll de México, S. de R. L. de C. V. por promover y financiar la publicación de este libro es contribuir a la divulgación de información y conocimientos útiles para sociedad y la economía de la región de Valle de Perote, lugar donde se asientan y operan nuestras unidades de producción porcícola.

Esta iniciativa forma parte del interés de Granjas Carroll por vincularse con el quehacer científico desplegado por los centros de investigación universitarios, mediante esquemas de colaboración y de beneficio mutuo. Nos impulsa el afán de mejorar nuestras actividades productivas, así como el propósito de asumir los retos de un desarrollo sostenible como empresa socialmente responsable. Por esa razón, desde hace más de seis años, nuestra corporación participa y apoya los procesos de trabajo realizados por un equipo interdisciplinario de investigación integrado por académicos universitarios de la Universidad Veracruzana y la Universidad Nacional Autónoma de México.

La divulgación de esta obra representa también una manera —entre otras que ha practicado la empresa— de agradecer y retribuir a las comunidades que acogieron el proyecto de Granjas Carroll al asentarse en el Valle de Perote.

La historia de la instalación de Granjas Carrol de México (GCM) en esta región comenzó hace casi 25 años, cuando se inició la búsqueda de un lugar para el desarrollo de granjas porcícolas. Se requería que el sitio reuniera las condiciones y características siguientes: a) que no estuviera cercano a otros centros de producción de cerdos; b) que tuviera clima templado, preferentemente seco; c) que dispusiera de vías de comunicación en buen estado; y d) que tuviera ferrocarril con accesibilidad hacia los mercados de consumo. Los lugares de la República Mexicana originalmente considerados fueron la Península de Yucatán, los estados de Sonora, San Luis Potosí, Aguascalientes y Jalisco.

Cuando los encargados de realizar la búsqueda para localizar el naciente proyecto de GCM regresaban a sus respectivas bases operativas, tuvieron que viajar desde el Puerto de Veracruz hasta la Ciudad de México, cruzando casualmente por el Valle de Perote. La extensa llanura del valle los dejó impresionados porque reunía las características requeridas: no existía ninguna instalación porcícola previa y las condiciones ambientales y de comunicación eran ideales.

La empresa se fundó finalmente en el año 1993, y un año después se iniciaron los trabajos de construcción. El resto de la historia está por escribirse por quienes orgullosamente

colaboramos con GCM, actualmente liderados por su Director General, Víctor Manuel Ochoa Calderón.

Personalmente conocía el Valle de Perote porque soy veracruzano. Estudié la Licenciatura en Biología en el campus Xalapa de la Universidad Veracruzana. Junto con mis compañeros de clase, y por disposiciones curriculares del plan de estudios, realicé prácticas de campo para conocer la biodiversidad de la zona, entre otros aspectos bióticos y del medio físico. Ese fue mi primer contacto con esta región sin imaginar en aquel entonces, que éste sería mi lugar de trabajo durante muchos años.

Perote es un lugar maravilloso por sus características naturales y por la calidez de su gente. Dentro de la empresa, gran parte de mis actividades laborales y profesionales las realizo en contacto directo con el campo. Conozco bien los paisajes extraordinarios de la llanura del Valle de Perote. En los días de mayo el ambiente es más cálido y se pueden observar hermosos contrastes entre el azul del cielo y el sólido blanco de las nubes; son días muy soleados y luminosos. Y en invierno, generalmente en las mañanas de febrero, el valle se cubre de hielo y escarcha. Y qué decir de las extraordinarias puestas de sol en el otoño. Todos esos escenarios son fabulosos.

Quienes hemos participado en el desarrollo de proyectos en esa zona percibimos y vivimos lo anterior: los productores que se han dedicado a la agricultura tecnificada; los que han desarrollado proyectos de energía geotérmica en la parte de *Los Humeros*, uno de los más importantes del país; y los que estamos trabajando en la porcicultura tecnificada, iniciada con éxito hace veintidós años, contando ahora con la sede de la empresa porcícola más importante del país, localizada en el Valle de Perote.

Granjas Carroll, como muchas otras empresas, requiere realizar una labor continua para optimizar sus procesos productivos y mantenerse competitiva en los mercados de consumo. Lo anterior no sólo implica la obtención de mejores beneficios económicos, sino también la adopción de políticas de mejora en las condiciones laborales, así como el desarrollo de programas que favorezcan el entorno social y la conservación o recuperación del medio ambiente, entre otros aspectos que definen nuestra responsabilidad social como empresa. El auspicio para la realización de este libro forma parte de lo anterior: nos involucramos con instituciones de educación superior en la tarea de generar información y conocimientos socialmente útiles.

Estamos convencidos de que nuestro país —sociedad, empresas y gobierno— necesita revalorar el papel fundamental de la ciencia y la tecnología en el desarrollo sostenible. Deseamos sinceramente que entre los lectores de este libro se encuentren jóvenes

estudiantes interesados en dedicarse al quehacer científico; que aspiren a involucrarse en actividades tales como las que aquí se tratan; que tengan la convicción de que el cultivo de la ciencia y de sus aplicaciones prácticas, es también una trayectoria válida para desarrollar su potencial humano, así como para obtener reconocimiento social y una vida digna.

También pensamos que es necesario despertar el espíritu científico en la juventud localizada en las comunidades regionales; sus habitantes son los que viven y conocen su entorno social y natural; pero es importante promover la observación rigurosa de esa realidad, desmitificándola y revalorándola a partir de análisis científico y del uso y aplicación de las nuevas tecnologías, sin olvidar la necesaria conjunción del conocimiento científico con el saber pragmático de las comunidades. Por lo tanto, con esta obra también aspiramos a contribuir a que los jóvenes del Valle de Perote conozcan y se interesen en los proyectos de beneficio económico, social y ambiental que se desarrollan en esta región.

La coordinación del proyecto general de colaboración entre la empresa y la universidad la he compartido desde sus inicios con Carolina Andrea Ochoa Martínez, profesional de las ciencias atmosféricas y académica universitaria; ella se ha desempeñado como gestora y enlace principal entre GCM y el grupo de investigadores de la UV y la UNAM que han participado en el proyecto. De nuestras conversaciones y sesiones de trabajo surgió la idea que dio origen a este libro.

En la elaboración sus diversos capítulos contribuyeron autores con diferentes trayectorias; son universitarios comprometidos con su profesión, con sus instituciones y con la sociedad. Conozco a todos ellos, algunos de manera personal y otros a través de la lectura de sus textos; es motivante y esperanzador relacionarse y contar con personas que demuestran su vocación académica y su compromiso y social.

Gracias a los esfuerzos realizados a partir de la instalación de estaciones de monitoreo atmosférico en el Valle de Perote, disponemos ahora de registros con información puntual y precisa de las variables atmosféricas en el área de localización de nuestra empresa. Hemos culminado una primera etapa de seis años de monitoreo; y la información acumulada desde 2011 a la fecha, es un insumo accesible y confiable para la toma de decisiones en la esfera productiva, así como para prevenir o evitar pérdidas en el patrimonio económico de las empresas —y también de las comunidades— de la región, a causa fenómenos o condiciones climáticas extremas. Estamos conscientes de que la predicción de escenarios climáticos requiere de períodos de registro y monitoreo de más largo plazo; no obstante, consideramos que hemos llegado a un punto del período de observación donde es posible avanzar algunas conclusiones preliminares acerca del comportamiento y las tendencias del clima en el Valle de Perote, las cuales se divulgan y comparten en esta obra.

Es necesario mantener el esfuerzo durante los siguientes años. Continuaremos apoyando el monitoreo y el registro de los datos atmosféricos de la zona, para disponer de una base de datos más extensa y confiable que permita la identificación más definida de los patrones o tendencias climáticas de la región. Asimismo, hará falta realizar más estudios para comprender la asociación de este tipo de fenómenos con otras variables regionales de orden biológico, económico, ambiental, social o cultural. Es el caso, por ejemplo, del estudio de las colindancias de las unidades productivas con las áreas naturales protegidas o con zonas boscosas; esta cercanía modifica la clínica animal y las condiciones de producción y, por lo tanto, influye en la productividad y en el gasto energético. Otro ejemplo es el análisis de la correlación del comportamiento de las variables atmosféricas regionales sobre la eficiencia de los sistemas de riego, sobre otros aspectos agrícolas o sobre la conservación del medio ambiente.

En Granjas Carroll de México, comenzando por su Director General, estamos convencidos de que este tipo de esfuerzos y colaboraciones deben ser mantenidos y ampliados. Por ello, continuaremos contribuyendo a mantener y aumentar el número de equipos de monitoreo, colocándolos en áreas donde todavía no se cuenta con información.

Por último, manifestamos nuestro agradecimiento a todos los participantes en este proyecto, por mantener en alto su ánimo de trabajo a pesar de las limitaciones inherentes al desarrollo de este tipo de esfuerzos, incluyendo las financieras. Nos sentimos orgullosos del esfuerzo realizado y de los resultados hasta ahora logrados.

Rafael Patiño Pérez
Director de Medio Ambiente y Energía
Granjas Carroll de México, S. de R. L. de C.V.
Empresa Socialmente Responsable

Xalapa, Ver.
Junio de 2017

PRESENTACIÓN

El estado de Veracruz se caracteriza por su gran diversidad geográfica, biológica y sociocultural. En su territorio coexisten regiones montañosas, valles y planicies costeras. En función de las características regionales y de los recursos naturales existentes en cada una de ellas, la economía veracruzana ha desarrollado una multiplicidad de actividades productivas que determinan formas concretas de interacción e interrelación entre los procesos sociales y los naturales. Las formas en que se expresa espacialmente el binomio sociedad-naturaleza constituyen objetos de estudio y de transformación.

La observación y el análisis de las relaciones concretas del ser humano con su entorno natural permiten entender la interrelación de los procesos sociales y económicos con los del medio ambiente, cuestión fundamental para el logro de un verdadero desarrollo humano sustentable. Este tipo de estudios o investigaciones requiere y promueve la integración, organización y desenvolvimiento de grupos o cadenas de conocimiento interdisciplinario, así como la creación de redes estratégicas de colaboración y vinculación entre los diversos agentes sociales involucrados, en beneficio del fortalecimiento de las capacidades locales de manera ecológica y sustentable.

Los textos contenidos en este libro representan una primera aproximación a la observación, registro y análisis del comportamiento de ciertas variables ambientales y económicas del Valle de Perote. El enfoque es multidisciplinar, con la pretensión de avanzar gradualmente hacia la generación y aplicación de conocimientos desde perspectivas inter o transdisciplinarias.

La iniciativa por llevar a cabo este tipo de estudios encuentra sus antecedentes en el mes de abril del 2010, cuando un grupo multidisciplinario de investigadores del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (CCA-UNAM) y del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana (CCT-UV) decidieron unir esfuerzos, capacidades y experiencias.

El punto de partida fue la instalación de una red de monitoreo meteorológico en el Valle de Perote; el propósito es generar y disponer —a corto, mediano y largo plazo— de información continua, precisa y confiable, acerca de las variables atmosféricas de la región. En esa ocasión se colocó un total de cinco estaciones meteorológicas, solicitando a la Empresa Granjas Carroll de México, S. de R. L. de C.V. (GCM) su autorización para instalar y resguardar dos equipos de monitoreo atmosférico dentro de sus terrenos. Con ese apoyo

se inició un registro sistemático de datos en beneficio de todos los participantes. Esta primera fase concluyó en abril del 2011.

Posteriormente, mediante la firma de un convenio interinstitucional se formalizó, en enero de 2012, la relación de colaboración entre CCA-UNAM, CCT-UV y la empresa Granjas Carroll, no sólo con la finalidad de mantener el funcionamiento de la red, sino de compartir, aprovechar y potencializar el uso de la información y la generación de conocimiento a ese respecto. En esa ocasión se contó con el decidido apoyo de la Dra. Cecilia Conde Álvarez, investigadora del CCA-UNAM, quien de manera entusiasta aportó sus conocimientos, experiencia y equipo científico a partir de un proyecto de investigación financiado por el PAPIIT.¹ De igual manera, los directivos de Granjas Carroll manifestaron un gran interés por colaborar y financiar estas actividades, con el propósito de planear y fortalecer los procesos productivos de la empresa a partir de un mejor conocimiento del comportamiento de las variables atmosféricas de la región. Dicho convenio finalizó en enero de 2015.

De junio de 2015 a la fecha, se ha dado continuidad a las acciones y los procesos de trabajo e investigación a través de la celebración de convenios anuales o bianuales de colaboración entre el CCT-UV y GCM. En esta etapa, GCM se hizo cargo de la adquisición de nuevos equipos de medición para substituir el equipo retirado por la UNAM. Por su parte, el personal académico del CCT-UV responsable del proyecto, se ha ocupado de la instalación, mantenimiento y monitoreo de las estaciones meteorológicas, así como de la captación, procesamiento, análisis de la información y elaboración de los reportes correspondientes.

Por un lado, la medición y el registro puntual, día a día, de variables tales como temperatura, precipitación, evapotranspiración, radiación solar, entre otras, arrojan información valiosa para la planificación, toma de decisiones y operación de las actividades productivas de la empresa. Por otro, el análisis y el conocimiento del comportamiento de las variables atmosféricas es un insumo útil para el desarrollo de las actividades productivas, sociales y culturales de la región. Asimismo, dichos resultados representan información valiosa para la prevención de riesgos y la salvaguarda del bienestar y la salud de las comunidades regionales.

La alianza universidad-empresa, como una doble hélice, encuentra así una forma de expresión concreta de trabajo colaborativo que trasciende la misión estrictamente académica o empresarial propia a cada una de esas entidades, proyectándose como instituciones socialmente responsables.

¹ Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El libro que aquí se presenta aporta un primer resultado divulgable de las actividades realizadas a partir de la alianza y el trabajo colaborativo descrito líneas arriba.

La obra se estructura en dos grandes secciones. En la primera figuran cuatro capítulos que, de manera informativa y descriptiva, dan cuenta de algunos aspectos de la realidad ambiental y socioeconómica del Valle de Perote. Esta parte ayuda a comprender de manera sucinta por qué el Valle de Perote, a partir de sus características *sui géneris*, es el asiento de procesos productivos relacionados con la agricultura o la porcicultura tecnificada.

El primer capítulo, a cargo de Gladis Yáñez y María Esther Nava, describe la región en sus aspectos físico-geográficos, incluyendo algunos datos demográficos.

En el segundo capítulo, Antonio Luna escribe sobre la *Climatología de Perote*. El autor inicia ofreciendo una parte conceptual, analizando después el comportamiento de las temperaturas y la precipitación. Para ello utiliza la única información oficial existente en la zona, la cual es generada por las estaciones climatológicas de Perote y Zalayeta, pertenecientes a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). La información disponible correspondió al período 1965-2007. Cabe mencionar que la falta de registro e información meteorológica para el resto del Valle de Perote fue una de las causas originarias del proyecto y del trabajo colaborativo emprendido con Granjas Carroll.

En el capítulo tercero, Martínez *et al.*, dan cuenta de las áreas naturales protegidas del Valle de Perote, a saber, San Antonio Limón Totalco y La Recompensa. Estas áreas son ejemplo de los esfuerzos realizados por instancias oficiales para la protección y conservación de la biodiversidad de la región, en aras de un desarrollo sostenible. Las tareas y actividades enfocadas a la conservación de especies vegetales y animales, así como de su hábitat, se llevan a cabo de manera concurrente entre las autoridades —locales, estatales y federales—, la sociedad organizada y las empresas de la región. Es un esfuerzo importante que es necesario mantener, sobre todo porque todavía no ha penetrado en la conciencia de todos los habitantes y comunidades del valle.

Al final de esta primera sección, en el capítulo cuarto, el equipo de trabajo del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana (CCT-UV) nos ofrece un análisis conciso del perfil socioeconómico del Valle de Perote. Es un texto que nos acerca a la comprensión general de la estructura productiva de la región, apreciándose una propensión económica hacia la producción tecnificada de la papa, el haba, la zanahoria y otros cultivos, así como a la ganadería porcícola. A pesar de la expansión lograda hasta la fecha, estas actividades se concentran en algunas zonas del valle bajo el régimen de propiedad privada de la tierra; y su desarrollo contrasta con el rezago económico y productivo de los

pequeños propietarios o ejidatarios de la región. Los autores refieren que uno de los retos que enfrenta la economía del valle es la producción local de alimentos balanceados para el ganado, principalmente de los granos requeridos. También encuentran que el manejo forestal de las partes altas de la región es inmaduro y genera un escaso número de fuentes de empleo, ello a pesar de la vocación natural de zona.

La segunda sección de esta obra, denominada *Investigación, Vinculación y Desarrollo*, se encuentra integrada también por cuatro capítulos. En ella, al mismo tiempo que se divulga información técnico-conceptual, se presentan algunos resultados preliminares del monitoreo meteorológico del Valle de Perote, analizando las tendencias climáticas y la interrelación de los factores ambientales sobre la producción porcícola.

En el capítulo quinto, el grupo de Instrumentación Meteorológica del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Autónoma de México (CCA-UNAM) describe los elementos técnicos de los equipos meteorológicos. La intención de los autores es explicar de manera clara y sencilla que una estación meteorológica es un conjunto de instrumentos destinados a realizar mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros o variables atmosféricas; y que estos datos son utilizados para analizar el comportamiento atmosférico, así como para realizar predicciones y modelos climáticos. Se espera que la divulgación del conocimiento acerca de la utilidad y del funcionamiento de estos equipos, pueda generar, entre las personas, comunidades y organizaciones productivas del Valle de Perote, un mayor interés por apoyar el despliegue de la investigación científica en esta materia, y así contar con mejor información y datos climáticos que, a mediano y largo plazo, coadyuven en la toma de decisiones para el desarrollo sustentable de las actividades económicas, sociales y culturales de la región.

En los dos capítulos siguientes los autores realizan, desde diferentes enfoques metodológicos, un análisis del comportamiento de las variables atmosféricas registradas por tres estaciones meteorológicas instaladas en los terrenos de Granjas Carroll dentro del Valle de Perote. En ambos casos los datos analizados corresponden a los primeros cuatro años de funcionamiento de las estaciones mencionadas; utilizan una base de datos que comprende los registros de un período que se extiende de enero de 2011 a enero de 2015. Cabe decir que el análisis del comportamiento y las tendencias climáticas requiere de bases de datos más a largo plazo; sin embargo, a pesar del corto plazo de registro, el análisis realizado por estos autores aporta algunas conclusiones preliminares que son útiles por su aporte tanto al conocimiento técnico del comportamiento de las variables climáticas, como a la toma de decisiones productivas o sociales. Así, en el capítulo sexto, Berenice Tapia *et al.* analizan los promedios mensuales de la temperatura máxima, promedio y mínima,

la precipitación mensual acumulada, el índice de radiación ultravioleta máximo mensual y la velocidad de los vientos en cada una de las tres estaciones mencionadas. Por su parte, Sergio Juárez efectúa el análisis de los datos disponibles para establecer relaciones empíricas con el propósito de determinar y dimensionar las tendencias de las mismas variables meteorológicas.

Finalmente, en el capítulo octavo, Juan Cervantes examina el tema de la bioclimatología porcina. Plantea que muchas de las mermas y problemas de industria porcícola se relacionan con un ineficiente manejo y control del medio ambiente. Considera que es importante proporcionar a los animales un microclima adecuado y confortable, y que en un tipo de producción intensiva, como la de Granjas Carroll, es indispensable proveer a los animales de un microclima artificial. El control de la temperatura, la ventilación y la higiene de estas áreas representan variables críticas. Por ello —afirma—, es importante conocer de manera oportuna y certera los cambios en las condiciones del tiempo meteorológico con el propósito de hacer más eficiente la provisión del microclima requerido por este tipo de producción ganadera.

El libro *Valle de Perote. Aspectos Bioclimáticos y Socioeconómicos* surge así como un resultado del trabajo realizado a partir de la alianza entre Granjas Carroll de México y el quehacer universitario. En particular, esta obra es producto de la concurrencia del esfuerzo de autores que pertenecen a diferentes disciplinas, tales como ingeniería, biología, ciencias atmosféricas, instrumentación electrónica y estadística. Pero más importante aún es que demuestra la visión y la convicción de los participantes —académicos, servidores públicos y empresarios— de que el trabajo colaborativo y en equipo entre distintos agentes sociales y económicos, es potencial y realmente un modo diferente y sustantivo para generar y aplicar conocimientos en beneficio social y productivo; y posiblemente represente también una vía de trabajo más adecuada para el logro de un modelo de desarrollo sostenible, tan urgente y requerido en la actualidad.

Por todo lo anterior, reconocemos y valoramos el tiempo, el esfuerzo empeñado, la dedicación y los recursos aportados por quienes que hicieron posible la producción y edición de esta obra. A todos ellos nuestro profundo agradecimiento.

Carolina Andrea Ochoa Martínez
Coordinadora

Xalapa, Veracruz
Junio de 2017

ASPECTOS FÍSICOS Y SOCIOECONÓMICOS

DESCRIPCIÓN DEL VALLE DE PEROTE

Gladis Yañez Garrido *
María Esther Nava-Bringas*

ANTECEDENTES

De acuerdo con Bernal Díaz del Castillo, Hernán Cortés y sus soldados, en su marcha hacia la gran Tenochtitlán, cruzaron por el territorio de lo que hoy es el municipio de Perote, Veracruz. Al parecer a uno de ellos, Pedro de Anzures, le gustó el paraje, y en 1527 regresó al lugar para establecer un mesón. El soldado español era poseedor de una figura alta y robusta, por lo que lo llamaban *Pedrote*. Fundó el mesón de San Carlos, alrededor del cual se formó la Villa de San Miguel (Díaz Del Castillo, 1970). Con el tiempo, esta referencia dio su nombre al lugar y a la montaña más alta del valle, cuyo vocablo en náhuatl era difícil de pronunciar para los españoles —*Naucampatépetl*, que significa *montaña cuadrada*—, quienes a causa de su cúspide en forma de baúl le llamaron *Cofre de Perote*.

La Villa de San Miguel de Perote pronto fue un punto importante de referencia en el Camino Real entre México y Veracruz. El poblado que creció a su alrededor se convirtió en el actual Perote; y por Decreto del 2 de octubre de 1973, la Villa de Perote se eleva a la categoría de Ciudad (INAFED, 2015).



Panorámica de la región de Perote, Ver. Foto: Marco Aurelio Morales Martínez.

* Universidad Veracruzana. gyanez@uv.mx, esnava@uv.mx

INTRODUCCIÓN

El Valle de Perote es una región ubicada en el Altiplano Mexicano. Cuenta con una extensión territorial de 735.35 km², los cuales representan el 0.9% de la superficie total del territorio nacional mexicano (INEGI, 1991). Es parte de una zona de transición entre el trópico húmedo y el neotrópico.

El Valle comprende el territorio de seis municipios. Cuatro de ellos están ubicados en el extremo occidental de la región central del estado de Veracruz: Villa Aldama, Perote y parte de los municipios de Altotonga y Jalacingo. Los dos municipios restantes pertenecen al estado de Puebla: Tepeyahualco y Guadalupe Victoria. En estos seis municipios se localizan 291 centros poblacionales, la mayoría de los cuales tienen menos de 500 habitantes. La ciudad de Perote es la más grande del Valle y la única que cuenta con más de 30,000 habitantes.

El municipio de Perote es también el más grande de la región; limita al Norte con los municipios de Altotonga, Villa Aldama, Jalacingo y Las Vigas de Ramírez; al Este con el municipio de Acajete y Tlalnehuayocan; al Sureste con el municipio de Xico; al Sur con el municipio de Ayahualulco; y al Oeste y Sur con el estado de Puebla, en particular con los municipios de Tepeyahualco, Guadalupe Victoria y Lafragua. Cuenta con 74 localidades, de las cuales cinco son urbanas y 69 rurales. En el año 2016 registraba un total de 72 mil 796 habitantes y una densidad poblacional de 112.2 hab/km² (INEGI, 2016).

Tabla I.
Población por cada municipio que conforma el Valle de Perote.

	Población Total
Puebla	65,968
Guadalupe Victoria	33,174
Tepeyahualco	32,794
Veracruz de Ignacio de la Llave	364,676
Altotonga	120,863
Jalacingo	81,509
Perote	140,602
Villa Aldama	21,702
Total general	430, 644

Fuente: INEGI, 2016a e INEGI 2016b

EL VALLE DE PEROTE ES UNA REGIÓN MUY RICA EN TÉRMINOS CULTURALES Y ECOLÓGICOS

Las características culturales de la población del Valle de Perote son semejantes a las del altiplano poblano y tlaxcalteco; desde ahí provino la población que también colonizó las faldas occidentales del Cofre, es decir, la porción veracruzana, donde la influencia cultural y económica del altiplano es indudable, aunque dependa administrativamente del estado de Veracruz (INEGI, 1991).

En lo que se refiere a las dimensiones bióticas del Valle, éstas pueden ser apreciadas y estudiadas a partir de las manifestaciones de su gran biodiversidad, la cual presenta particularidades únicas, así como elevados endemismos; entre ellos destacan especies forestales de hermosa arquitectura, muy apreciadas por sus maderas comerciales. A su vez, las características abióticas de esta región se expresan en la riqueza de sus bancos minerales de oro, plata, mármol y otros materiales pétreos.

En este capítulo presentamos una breve síntesis de las características más significativas de la orografía, geología, clima, suelos e hidrología del Valle de Perote, así como parte de sus dimensiones bióticas (flora y fauna); todas ellas hacen de este valle una región especial.

Orografía

El Valle de Perote es una región situada entre los paralelos 19° 22' y 19° 39' de latitud Norte y los meridianos 97° 06' y 97° 26' de longitud Oeste, en la zona centro occidental del Estado de Veracruz principalmente, y en parte de la Cuenca de El Carmen en el Estado de Puebla. No existen estudios que definan con precisión cuáles son los límites de la región, por lo que esta descripción es general y representa una aproximación que se apoya en lo plasmado en los documentos citados en la bibliografía.

Su topografía es accidentada (INEGI, 1991). En la planicie central cuenta con una altura promedio de 2 mil 380 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), con zonas con pendientes menores a 1° 8', salvo en algunos lomeríos calcáreos emergentes. Al oriente tiene una mayor cantidad de intervalos de altura, como consecuencia de una mayor profundidad que baja hasta los 700 m.s.n.m., en una distancia relativamente corta de aproximadamente 25 Km. Las características anteriores ocasionan, en buena parte, la diversidad de factores interesantes a observar en relación al comportamiento regional de factores tales como la temperatura, precipitación y estratificación de la vegetación, entre otros.

En los contornos del Valle se observan pendientes excesivamente fuertes, barrancas y cañadas muy pronunciadas. La vertiente Este, en la zona de pie de monte, hay por profundas barrancas, con pendientes medianas a fuertes: 11° 19' y 21° 48' (entre 20.1%

y 40.0%); y muy fuertes: 21° 49' y 38° 39' (entre 40.15 y 80.0%), en su mayoría. Pero también existen pendientes moderadas: 5° 43' y 11° 18' (entre 10.1% y 20%). En esta zona la precipitación es cuatro veces mayor, comparada con la parte Oeste. En la vertiente Sur, hacia el límite con Veracruz, el relieve se torna muy accidentado, con pendientes muy pronunciadas.

La principal elevación de la región es el volcán Cofre de Perote con una altitud que va entre los 3 mil 400 y los 4 mil 200 m.s.n.m. Es la segunda elevación más grande en el Estado de Veracruz después del Pico de Orizaba. Toda la historia del Valle está vinculada al volcán, tanto en sus condiciones abióticas (origen, microclima, humedad, precipitación, tipo de suelo, etc.), como en las bióticas, es decir en las composiciones biológicas que ahí se encuentran.



Panorámica de la región de Perote, Ver. Foto: Marco Aurelio Morales Martínez.

Geología

La región del Valle de Perote es parte de sector oriental de la provincia geológica conocida como Faja Volcánica Trans Mexicana (FVTM) (Ferrari, 2000). El Cofre de Perote es un volcán extinto de composición andesítica muy erosionado, cuya forma tiende más hacia un volcán de los llamados tipo escudo; su actividad volcánica se estima que inició hace 1.5 millones de años (Cantagrel y Robin, 1979).

Los arenales característicos del Valle de Perote están compuestos mayoritariamente por depósitos piroclásticos de flujo y de caída. Son producto de la caldera de *Los Humeros*, cuya estructura principal es un cráter circular de aproximadamente 20 kilómetros de diámetro, con una edad que se remota a la era pleistocénica. Se localiza en el límite entre los estados de Puebla y Veracruz, cerca de la ciudad de Perote. Los depósitos de arena pertenecen a

una unidad definida como *Ignimbrita Xáltipan* por Ferriz y Mahood (1984), y su edad fue estimada en 450 mil años.

Las lagunas de aguas perenes El Carmen y Tepeyahualco evidencian material depositado por la actividad volcánica, y el flujo de ese material piroclástico —a veces tan repentino y abundante—, ha ocasionado tanto el desplazamiento de las aguas como su gradual disminución. En la zona se encuentra una alta cantidad de material pumítico, ignimbrítico, tobas y cenizas volcánicas que provienen, en gran parte, de la caldera Los Humeros (Sarh, 1981).

Actualmente la energía geotérmica producida por el calor remanente de la actividad volcánica de la caldera de *Los Humeros*, es una importante fuente de generación de electricidad.

Otros yacimientos importantes son los materiales pétreos, los cuales están relacionados con los enormes bancos de rocas carbonatadas; éstos se encuentran ubicados principalmente en la región central del Valle (Rodríguez y Barrera, 2010).

En el área de Tatatila-Las Minas, los depósitos de caliza fueron afectados por intrusivos graníticos terciarios, los cuales produjeron importantes bancos de mármol. Otra evidencia de su origen se observa en los depósitos de piedra pómez —localmente llamada tepezil— en el Valle de Perote, los cuales son utilizados como agregados para el concreto y para la fabricación de tabicones, también conocidos como “blocks” (Rodríguez y Barrera, 2010).

Suelos

El tipo de suelo que predomina en el Valle es el regosol, altamente susceptible a la erosión, es también poroso, seco y semiárido. El color varía de gris oscuro y negro, gris muy oscuro, gris amarillento, oscuro y negro. Con texturas franca, franco-arenoso, franco-arcilloso, arcillosa y arenosa (INEGI, 1986).

Hidrografía

La situación geográfica del municipio de Perote le confiere particularidades en cuanto a su hidrología. Junto con un pequeño sector del municipio de Ayahualulco, la mitad occidental del municipio de Perote es el único territorio veracruzano que pertenece a la cuenca del río Atoyac y a la región hidrológica del Balsas. El resto del territorio municipal, que integra su zona oriental, forma parte de la cuenca del río Nautla y otros ríos de la región hidrológica Tuxpan-Nautla.

La hidrografía de la zona donde se ubica el Valle es muy importante. En el Cofre de Perote se forman las cuencas del Nautla, Actopan y La Antigua. Además, el Valle también forma parte de la cuenca endorreica Libres-Oriental. Existen pequeñas lagunas, entre las que destacan: Tilapa, Tecajetes, Carnestolenda, Tonaco y Negra. Lagos como Alchichica, Tepeyahualco y El Carmen; los dos últimos son lagos terminales. La localidad carece de ríos permanentes y sólo temporalmente los cauces llegan a conducir agua cuando existen grandes precipitaciones o depresiones.

Cuenca Libres-Oriental

Es una cuenca endorreica que se ubica en parte de los estados de Veracruz, Puebla y Tlaxcala, con una extensión de 4 mil 713.69 kilómetros cuadrados. Contiene los lagos Totolango, Achichica, San Luís Atexcac, La Preciosa, Ajojuca, San Miguel Tecuitlapa, Quechulac, Totolcinco y Ovando, así como los pantanos de Tepeyahualco. El sedimento de los lagos es de textura arenosa. Contiene también los ríos permanentes La Caldera, Xonecuila, Quetzalapa y Piedra Grande; los manantiales temporales El Carmen, Vicencio, Ojo de Agua y Lara Grajales. Cuenta, además, con un volumen considerable de aguas subterráneas (CONAGUA, 2002; CONABIO, 2006).

En toda esta cuenca el nivel freático está muy cercano a la superficie, y en algunos casos aflora —por ejemplo, en las lagunas— debido a que tanto el nivel superior como el inferior, son muy someros. La evaporación es muy alta, por lo que existe gran cantidad de sales depositadas en la superficie. Además, como consecuencia del arreglo estratigráfico, en la cuenca existe una gran cantidad de acuíferos confinados (Pereyra *et al.*, 2010).

Cuenca del Río Nautla

La cuenca del río Nautla se encuentra situada geográficamente entre los 19° 29' y 20° 15' latitud Norte, y entre 96° 46' y 97° 27' longitud Oeste (CONAGUA, 2005). Tiene un área aproximada de 2 mil 376 kilómetros cuadrados; una pequeña extensión de esta cuenca se ubica en el estado de Puebla, y la mayor parte en territorio veracruzano (CFE, 1977).

El río Nautla nace en el Cofre de Perote a una altitud aproximada de 4 mil 150 m.s.n.m, con el nombre de arroyo Borregos. Más abajo, donde confluye con el arroyo El Suspiro, se localiza la planta hidroeléctrica Las Minas, con una capacidad de 15 mil kw. A la altura del municipio de Altotonga este río alimenta a otra hidroeléctrica que tiene una capacidad instalada de 3 mil kw. En la cuenca media la corriente principal toma el nombre de río Bobos; sigue una dirección noreste a través de una penillanura hasta llegar a su desembocadura en el Golfo de México formando la Barra de Nautla (Pereyra *et al.*, 2010).

Cuenca del río Actopan

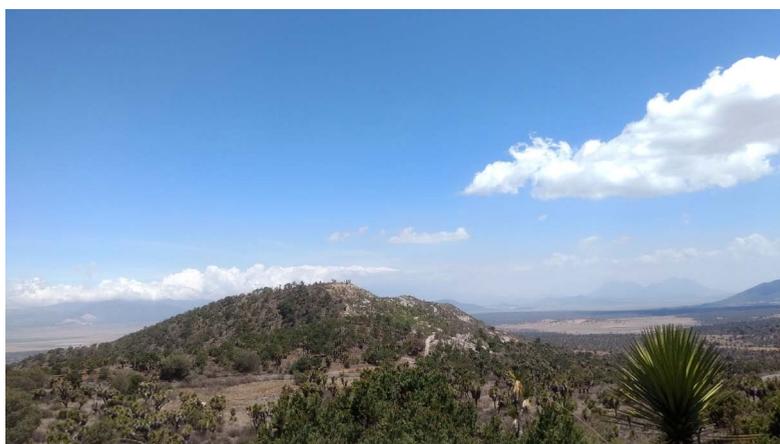
La cuenca del río Actopan se encuentra situada geográficamente entre los 19° 20' y 19° 46' latitud Norte, y entre 96° 20' y 97° 08' longitud Oeste. Tiene un área aproximada de 2 mil kilómetros cuadrados, toda distribuida dentro del estado de Veracruz (CONAGUA, 2005).

El río Actopan nace en las faldas del Cofre de Perote a 3 mil m.s.n.m; su curso sigue en dirección noreste a través de 21 km de terreno montañoso; por ambas márgenes captura las corrientes que se forman en la porción nororiental del Cofre de Perote; luego cambia su curso hacia el sureste, a la altura del poblado de Tlacolulan, dirección que conserva hasta su desembocadura en el Golfo de México en la Barra de Chachalacas (Pereyra *et al.*, 2010).

Cuenca del río La Antigua

La cuenca del río La Antigua se encuentra geográficamente entre los 19° 05' y 19° 34' latitud Norte, y entre 96° 06' y 97° 16' longitud Oeste (Conagua, 2005). Tiene un área aproximada de 2 mil 827 kilómetros cuadrados. Se distribuye en una pequeña porción en el estado de Puebla y la mayor parte dentro del estado de Veracruz (CFE, 1977).

El río La Antigua nace en la Sierra Madre Oriental con el nombre de Río Resumidero, a una altitud de 3 mil 350 m.s.n.m, ubicándose su origen al oriente de la población poblana denominada González Ortega. Fluye hacia el sureste en terreno montañoso y, a la altura del Rancho Calixitla, varía su rumbo; después cambia su nombre a Río Los Pescados. Aguas abajo, por su margen izquierda recibe al río Cosolapa. En esta confluencia el colector general cambia su nombre a Río La Antigua y continúa su flujo al este-sureste, descargando sus aguas en el Golfo de México (Pereyra *et al.*, 2010).



Panorámica de la región de Perote, Ver. Foto: Marco Aurelio Morales Martínez.

ECOSISTEMAS

La mayor parte del territorio del Valle de Perote está dedicado a la agricultura. Sin embargo, existe una amplia zona de bosque, principalmente en las faldas del Cofre de Perote, donde abundan especies como pino y encino, mientras las principales especies vegetales de la zona baja, son los matorrales.

Los ecosistemas están representados por cinco tipos principales de vegetación: el pinar, el bosque de oyamel, bosque mesófilo, los pastizales y el matorral xerófilo, sus transiciones y etapas sucesionales. Otros dos tipos de vegetación se encuentran en la parte alta del Cofre de Perote, los cuales son representativos de la zona: el bosque de pino prieto y el páramo de altura. A continuación se describe cada uno de ellos.

1. Pinar mixto que se ubica por arriba de los mil 500 hasta los 3 mil m.s.n.m. Está compuesto predominantemente por especies del género *Pinus*. Generalmente es de un estrato arbóreo que puede alcanzar hasta los 30 metros de altura. El sotobosque está compuesto principalmente de herbáceas y matorrales.

En la zona del Valle de Perote, en ocasiones los bosques de pino no forman comunidades homogéneas y pueden estar asociados con especies del género *Quercus*, formando incursiones de bosque de pino-encino. Son muy comunes los musgos, líquenes y los hongos de diversas especies, tanto en el dosel como en el sotobosque; es mínima la presencia de epifitas y trepadoras vasculares (Ellis *et al.*, 2010).

Algunas especies de pino que se pueden encontrar en la región de Perote son *Pinus patula*, *P. ayacahuite*, *P. teocote*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus* y *P. oaxacana*. El bosque de pino, así como las asociaciones de pino-encino del Valle, han sido fuertemente impactados por las actividades humanas. De manera histórica, la superficie original se ha visto reducida con intensidad por dos causas principales: desplazamiento de la frontera agropecuaria y la tala inmoderada (Ellis *et al.*, 2010).

2. Bosque de oyamel (entre los 2 mil y 3 mil 500 m.s.n.m), compuesto principalmente por especies del género *Abies*. Este bosque se encuentra distribuido en relictos o fragmentos en las partes más altas del Cofre de Perote, con un rango altitudinal de entre 2 mil 400 y 3 mil 600 m.s.n.m, en un clima francamente frío y húmedo. La comunidad está compuesta por árboles de oyamel (*Abies religiosa* y *Abies hickeli*). Son bosques casi puros que permanecen verdes todo el año. Suele ser la comunidad que continúa cuesta arriba de los bosques de pino y pino-encino. Forman comunidades altas de entre 20 y 40 m., con algunos árboles que llegan

a tener un diámetro de 1.5 m. y aunque presentan sotobosque, éste no es muy desarrollado (Challenger, 1998).

3. Bosque mesófilo de montaña (entre los mil 800 y 2 mil m.s.n.m). Lo encontramos en la parte oriental del Valle, principalmente en el estado de Veracruz. En la zona más húmeda, en cañadas o en sitios protegidos del viento de los municipios de Jalacingo, Altotonga y Perote. Donde predomina el suelo de tipo andosol húmico de origen volcánico. Este bosque se encuentra en fragmentos con condiciones microclimáticas muy específicas. Es denso con árboles de entre 15 y 30 m. de altura. En una mezcla de perennifolios y caducifolios (perdiendo sus hojas en los meses fríos del año), de tal forma que el bosque nunca está carente de verdor.

Un bosque mesófilo bien conservado presenta varios estratos arbóreos, uno o dos arbustivos y casi nulo el estrato herbáceo. Las epífitas están muy bien representadas, principalmente los líquenes, los musgos, los helechos, las orquídeas, las piperáceas y las bromelias. El liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*) es un árbol característico, acompañado por géneros de *Inga*, *Quercus*, *Juglans*, *Ficus*, *Fagus*, *Cornus*, *Clethra*, *Carpinus* y *Ulmus* (Challenger, 1998).

4. Bosque de pino prieto (*Pino hartwegii*) (entre los 3 mil 500 y 4 mil m.s.n.m). El estrato arbóreo de este tipo de bosque está compuesto principalmente por esta especie de pino originario de las montañas de México y Centroamérica. Recibe el nombre de *Pino hartwegii* por Karl Theodor Hartwegii, quien lo describió en 1838. Soporta inviernos muy áridos y una estación intensamente lluviosa en el verano, con constantes heladas desde octubre hasta marzo. Este pino no adquiere la forma enana y retorcida compartida por muchas especies a grandes altitudes. La presencia de árboles de esta especie incide en el límite altitudinal arbóreo en México. La captura de carbono y la formación del suelo son las principales fortalezas de esta especie, además de ser un nicho de diferentes especies en los bosques altos. Las plagas forestales como el muérdago y los descortezadores, son sus principales enemigos naturales. La tala por parte del hombre y la falta de criterios para las reforestaciones, en relación a la obtención de semillas fértiles, son su principal amenaza (Ellis *et al.*, 2010).
5. Pastizales naturales (entre los 2 mil 200 y 3 mil 800 m.s.n.m), en los que predominan los zacatonos. Las especies más abundantes en el estrato herbáceo son: *Muhlenbergia macroura*, *Muhlenbergia sp.*, *Calamagrostis toluensis*, *Festuca willdenowiana*, *F. rosei*, *F. toluensis*, *Poa femaldiana*, *P. conglomerata*, *Stipa ichu* y *Trisetum spicatum*. Así como zonas sucesionales intercaladas con los pastos y

plántulas de coníferas, representadas por los arbustos *Baccharis conferta* y *Senecio salignus* (Ellis *et al.*, 2010).

6. Páramo de altura (a partir de los 4 mil m.s.n.m). Dominan los pastos *Calamagrostis toluensis*, *C. schiedeana*, *Festuca toluensis*, *F. amplissima*, *F. livida*, *Stipa ichu* y *Trisetum spicatum* (CONANP, 2008).
7. Matorral xerófilo (alrededor de los 2 mil 800 m.s.n.m). Es un tipo de vegetación de alto valor biológico, intrincado en la región entre Puebla y Veracruz. Es la vegetación principal de Valle de Perote. Típico de clima árido y semiárido sobre las laderas calizas o volcánicas y aparentemente desérticas. El clima que lo caracteriza es extremo, el invierno es agresivo y la época de estiaje es mucho más larga que la de lluvias. Alcanzando los 2 mil 800 m.s.n.m, este tipo de vegetación se caracteriza por estar compuesto principalmente de arbustos, de los cuales la mayoría son de hojas rígidas. La presencia de espinas es muy común entre las especies que habitan este sitio. Los izotales (*Nolina parviflora*, *Yucca periculosa*), matorrales rosetófilos (*Agave obscura*, *Hechtia roseana*, *Nolina parviflora*, *Dasyllirion acrotriche*), pastizales halófilos (*Distichlis spicata*, *Bouteloua hirsuta*, *Suaeda nigra*), nopaleras (*Opuntia robusta*, *Mammillaria discolor*) (Ellis *et al.*, 2010).

En el malpaís los géneros *Yucca*, *Agave*, *Gochnatia* y diversas cactáceas mantienen el color verde durante todo el año, acompañados de especies como *Hechtia roseana*, *Agave obscura*, *Nolina parviflora*, así como los géneros *Salvia*, *Chrysactinia* y *Dalea* en el estrato herbáceo. El matorral xerófilo ha sido fuertemente impactado por la agricultura y la ganadería (de ovinos y caprinos principalmente), aunque comparativamente en menor medida que otros tipos de vegetación (Soto *et al.*, 1977; Rzedowski, 1978; Gerez, 1985).

FAUNA

La fauna del Valle de Perote es la asociada a los tipos de vegetación que los circundan. Está compuesta por poblaciones de conejos (*Oryctogalus cuniculus*), liebres (*Sylvilagus floridanus*), ardillas, como la ardilla de Perote (*Xerospermophilus perotensis*) endémica del Valle, la ardilla de las rocas (*Otospermophilus variegatus*), la ardilla terrestre mexicana (*Ictidomys mexicanus*), zorros (*Vulpes vulpes*), gato montés, mapache (*Procyon lotor*), armadillos (*Dasypus novemlineatus*), tlacuaches (*Dilelphis virginiana*), gavilanes, palomas (*Columba livia*, *Columba palumbus*) y lechuzas, tuzas (*Cratogeomys merriami*), aves

de presa como *Circus cyaneus*, *Buteo jamaicensis*, *Falco mexicanus*, víboras de cascabel (*Crotalus scutulatus* y *Crotalus molosus*) y comadrejas (*Mustela frenata*), entre otros.

LOS CULTIVOS

En la región, los paisajes de vegetación se encuentran altamente fragmentados, inmersos en una matriz de zonas de cultivos. Entre los cultivos principales están frijol, maíz, cebada, trigo, calabaza, camote, papa, alverjón y haba. Entre los cultivos cíclicos, la región también produce frijol, avena forrajera, cacahuete, calabaza, cebada forrajera, chile verde, haba, papa, brócoli. Sobresale el municipio de Perote que de forma exclusiva produce papa, ajo, arvejón, cilantro, col y lechuga tipo romana.

Aunque los recursos forestales no maderables (como por ejemplo hongos, insectos comestibles, productos ornamentales como las “piñas” de los pinos, hierbas medicinales, cortezas, entre otros) son someramente cuantificables, se estima que Perote es uno de los principales productores de heno y musgo (Ellis y Martínez, 2010). Las plantaciones de árboles frutales como manzana, durazno y pera también son comunes en la región.

Caben destacar que ambas comunidades, las originales y las transformadas, son hábitat de casi trecientas comunidades humanas con poco más de doscientos veintiocho mil habitantes (véase la Tabla 1).

GRANJAS CARROLL DE MÉXICO, S. DE R. L. DE C.V.

Este es el contexto donde se ubica la empresa Granjas Carroll, principal productor de cerdos de México, con presencia en el Valle de Perote desde 1994. Actualmente cuenta con 97 granjas (93 propias y 4 rentadas) instaladas en esta región, la cuales producen más de un millón de cabezas anuales. Es considerada como un detonante y polo de desarrollo regional. La empresa está conformada por dos grupos privados, Agroindustrias Unidas de México (AMSA) y el Grupo Smithfield, principal productor y procesador de cerdo en el mundo.

Desde su inicio, la empresa ha incluido como parte fundamental de su filosofía el cuidado del medio ambiente y el enfoque de la sustentabilidad. Ha obtenido ya en diversas ocasiones el distintivo de “Empresa Socialmente Responsable”, y es además la única empresa pecuaria que se ha sometido de manera voluntaria a la auditoría ambiental.

Mantener el equilibrio en una zona ecológicamente tan frágil como es el Valle de Perote, es un reto que se magnifica al utilizarse los recursos naturales de la zona. Granjas Carroll ha tenido que proporcionar agua a más del doble de la población completa del valle

tan solo por la cantidad de cabezas y vientres que produce, además de garantizar una correcta disposición de los desechos que genera. En seis meses de vida, un cerdo produce entre 750 y mil 500 litros de orina y alrededor de 140 kg de excremento. Si se multiplican estas cantidades por inventarios de 7 mil 500 a 15 mil cerdos por granja, se tiene idea de lo complejo que resulta el manejo y mitigación de los residuos animales en la tarea de cuidar y proteger el medio ambiente. La empresa ha logrado lo anterior instrumentando lagunas de tratamiento.



Instalaciones en la región de Perote, Ver. Foto: Granjas Carroll de México, S de RL de CV.

Es importante continuar generando estrategias de desarrollo acordes a las dimensiones sociales y ecológicas de la región, de manera que se conserven y/o restauren formas apropiadas para el cuidado y manejo de sus recursos naturales y humanos. La finalidad es salvaguardar, aprovechar e incrementar la riqueza del Valle de Perote, sin perder de vista que esta zona frágil del Altiplano Mexicano contiene comunidades únicas en el mundo que son parte de la identidad e historia de nuestro país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cantagrel, J. M. y Robin, C. (1979). K-Ar dating on eastern Mexican volcanic rocks; relations between the andesitic and the alkaline provinces. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 5, pp. 99-114.
- Challenger, A. (1998). *Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente y Futuro.* CONABIO. México. 847 pp.

- Comisión Federal de Electricidad (CFE) (1977). Boletín Hidrométrico: Cuenca del río Tecolutla. Comisión Federal de Electricidad. Vol. No. 7.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, CONABIO (2006). Cuenca Oriental. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_070.html
- Comisión Nacional del Agua, CONAGUA (2002). Mapa de Ríos Principales de la República Mexicana, escala 1:2 700 000. Subgerencia General de Programación, Sistema de Información Geográfica de la Comisión Nacional del Agua.
- Comisión Nacional del Agua, CONAGUA (2005). Mapa Hidrológico, escala 1:1 000 000. Sistema de Información Geográfica del Agua, Subgerencia de Programación de la Gerencia Regional Golfo Centro de la Comisión Nacional del Agua.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, CONANP (2007). Programa de Manejo del Parque Nacional Cofre de Perote, Documento entregado para consulta pública, 120 pp.
- Díaz del Castillo, B. (1970). Historia verdadera de la conquista de la Nueva España. Ed. Porrúa.
- Ellis, Edward, Martínez Bello, Marisol (2010). "Vegetación y uso de suelo". En: Enrique Florescano, Juan Ortiz Escamilla (Coordinadores). Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz; Vol. 1, pp. 203-226. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana, Gobierno del Estado de Veracruz-Universidad, Veracruzana, México.
- Ferrari, L. (2000). "Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década". En: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, V. LIII, pp. 84-92.
- Ferris, H. y Mahood, G. (1984). "Eruption rates and compositional trends at Los Hornos Volcanic Center, Puebla, México". Journal of Geophysical Research, Vol. 89, pp. 8511-8524.
- Gerez, P. (1985). "Uso del suelo durante cuatrocientos años y cambio fisiológico en la zona semiárida poblano-veracruzana", Biótica IO: 123-144, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (1986). Carta edafológica. Hoja Veracruz E14-3. Escala 1:250000.

- Instituto de Estadística y Geografía, INEGI (1991). Cuaderno de información básica región Cofre de Perote. Consultado en http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/920/702825921118/702825921118_1.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2015). ITER. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/iter/default.aspx?ev=5>
- Instituto de Estadística y Geografía, INEGI (2016 a). Anuario Estadístico y Geográfico del Estado de Puebla. Consultado en: http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/PUE_ANUARIO_PDF16.pdf
- Instituto de Estadística y Geografía, INEGI (2016 b). Anuario Estadístico y Geográfico del Estado de Veracruz. Consultado, en: http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/VER_ANUARIO_PDF16.pdf
- Instituto Nacional del Federalismo, INAFED (2015). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Veracruz-Llave. Perote. Consultado en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM30veracruz/municipios/30128a.html>
- Pereyra Díaz, Domitilo, Pérez Sesma, José Antonio Agustín, Salas Ortega, María del Rocío (2010). "Hidrología". En: Enrique Florescano, Juan Ortiz Escamilla (Coordinadores), Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz, Vol. 1, pp. 85-122. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana, Gobierno del Estado de Veracruz-Universidad, Veracruzana, México.
- Rodríguez Elizarrarás, Sergio R. Morales Barrera, Wendy V. (2010). "Geología" en: Enrique Florescano, Juan Ortiz Escamilla (Coordinadores), Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz; Vol. 1, p. 43-64. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana, Gobierno del Estado de Veracruz-Universidad, Veracruzana, México.
- Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Editorial Limusa. México, D. F.
- Soto, M., F. Lozano, A. Diez, C. Mejía y J. Villa (1977). "Estudio piloto de la vegetación en la región de Alchichica-Perote por medio de percepción remota". *Biótica* 2, pp. 19-36.

CLIMATOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE PEROTE

Antonio Luna Díaz Peón*

ALGUNOS CONCEPTOS

Se entiende por *climatología* a la ciencia que estudia los climas, aunque siempre ha existido una polémica acerca de cómo describir el *clima* de un lugar.

Entre las definiciones más aceptadas se encuentra la de Mosiño (1974), quien afirma que el clima de una región dependerá principalmente de la latitud, orografía, distribución de tierras y agua, de las corrientes marinas y de las tormentas incluyendo sus trayectorias. Por su parte, la Organización Meteorológica Mundial define al clima como la síntesis de las condiciones meteorológicas en un lugar determinado, caracterizado por estadísticas a largo plazo de los elementos meteorológicos en dicho lugar (OMM, 1992). Dichos elementos meteorológicos son: la temperatura y la precipitación pluvial, principalmente, aunque también se consideran la velocidad y dirección del viento, humedad y radiación solar, entre otros aspectos.

Temperatura. La temperatura es una magnitud física referida a una escala termométrica de elección que muestra el grado de calor o frío existente en la atmosfera. Las temperaturas que se miden son las extremas, es decir, los valores altos y bajos registrados en una ubicación específica durante un intervalo de tiempo, por ejemplo, un día, mes o estación (Glickman, 2000). Se entiende por temperatura máxima extrema a la mayor temperatura registrada en un día; usualmente se presenta entre las 14:00 y las 16:00 horas en latitudes tropicales. Asimismo, se entiende por temperatura mínima extrema, el valor más bajo que se registra en 24 horas, el cual normalmente se presenta en horas del amanecer, poco después del *orto* (momento en el que el sol emite sus primeros rayos solares). Sin embargo, en condiciones de algún sistema sinóptico como la invasión de una masa de aire frío, por ejemplo, el valor de la temperatura mínima puede incluso presentarse durante el día.

Precipitación. Se conoce como precipitación a cualquier forma de agua que cae de la atmósfera y que llega a la superficie, sin incluir a la neblina y niebla (Tejeda *et al.*, 1989). mencionan que la mayor cantidad de lluvia en el estado de Veracruz se debe a las masas

* Universidad Veracruzana, diazpeon@gmail.com

de aire húmedo tropical que afectan al territorio durante el verano. En el centro del Estado de Veracruz el mes de julio es el más lluvioso, antes de la presencia de la sequía intraestival o “canícula”.

VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y VALORES EXTREMOS EN EL MUNICIPIO DE PEROTE, VERACRUZ.

La variabilidad climática se asocia a las fluctuaciones de los elementos climáticos, específicamente de la temperatura y la precipitación, y normalmente es analizada utilizando series de tiempo. Sin embargo, la variabilidad climática también debe ser estudiada de manera espacial cuando los análisis utilizan más de un punto de observación; es decir, cuando se trata de observar la dispersión que tienen los datos con respecto a su media, lo que permite identificar la variabilidad.

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático define el concepto de *variabilidad climática* como las variaciones del estado medio y otras características estadísticas del clima, en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las que presentan los fenómenos meteorológicos. Ésta puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático *-variabilidad interna-* o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno *-variabilidad externa-* (IPCC, 2007).

Cuando se realizan estudios sobre temperatura es común referirse a los valores promedios y su comportamiento a través del tiempo, y con ello identificar la tendencia; sin embargo, el promedio por sí sólo no representa las tendencias al cambio o variabilidad, ya que esta medida es un suavizamiento de la información. Los valores extremos permiten una mejor identificación.

La zona de estudio

El municipio de Perote se localiza en las coordenadas 19° 34” latitud Norte y 97° 15” longitud Oeste, a una altura de 2 mil 400 m.s.n.m. Cuenta con las estribaciones del Cofre de Perote (4 mil 282 m.s.n.m.), conformando un relieve de elevaciones abruptas seguidas de cañadas, lomeríos, llanuras y barrancas.

Como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, limita al Norte con los municipios de Altotonga, Villa Aldama, Jalacingo, Las Vigas de Ramírez; al Este con Acajete y Tlalnahuayocan; al Sureste con Xico; al Sur con Ayahualulco, al Oeste y Sur con el Estado de Puebla. Tiene una distancia aproximada a la capital del Estado de Veracruz, por carretera, de 50 Km (Gobierno del Estado de Veracruz, 1998).

RESULTADOS

Para realizar la climatología del municipio fue necesario primero localizar y disponer de la información meteorológica existente. Se encontró que el municipio de Perote cuenta con dos estaciones climatológicas pertenecientes a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que miden la temperatura diaria (máxima, mínima y ambiente, esta última a las 08:00 am), así como la precipitación acumulada en 24 horas.

La estación Perote se ubica actualmente en 19° 34' 51" latitud Norte y 97° 14' 52" longitud Oeste, a una altura de 2 mil 392 m.s.n.m., y la estación de nombre Zalayeta ubicada en 19° 24' 50" latitud Norte y 97°23'20" longitud Oeste, a una altura de 2 mil 50 metros m.s.n.m. Aunque ambas cuentan con información desde mayo y julio (respectivamente) de 1965, sólo se cuenta con datos hasta el año 2007 aunque sigue operando. Para este estudio, se realizó el análisis de las temperaturas y la precipitación registradas en ambas estaciones, a continuación se muestran los resultados.

Temperatura

En Perote, en promedio los valores máximos ocurren en los meses de abril y mayo, alcanzando valores de 32° a 34° C. debido a la variación del número de días despejados y a una mayor entrada de radiación solar. En mayo, por la presencia de masas de aire provenientes del Golfo de México, se incrementan los nublados y las lluvias, lo que puede ocasionar que la temperatura tienda a disminuir; aun así, es en el mes de mayo cuando se presenta el valor máximo térmico histórico registrado el día 8 de 1998 (Figura 1). En cambio, la temperatura máxima extrema histórica registrada en la estación Zalayeta alcanza sus valores más altos en los meses de marzo a junio y los más bajos desde octubre hasta enero (Figura 2).

La temperatura mínima de Perote se presenta en los meses de diciembre a marzo con valores que van desde de los 2° hasta los -13° C (Figura 3). Por su parte, la estación Zalayeta presenta una temperatura mínima extrema más baja que en Perote. Es durante los meses de noviembre a febrero cuando se registran los valores más extremos del año; incluso en diciembre y enero la temperatura ha estado por debajo 0 °C. En contraste, de junio a septiembre es cuando las temperaturas mínimas presentan valores más altos (Figura 4).

Figura 1.
Temperatura máxima extrema (en °C) en Perote (1965-2007).

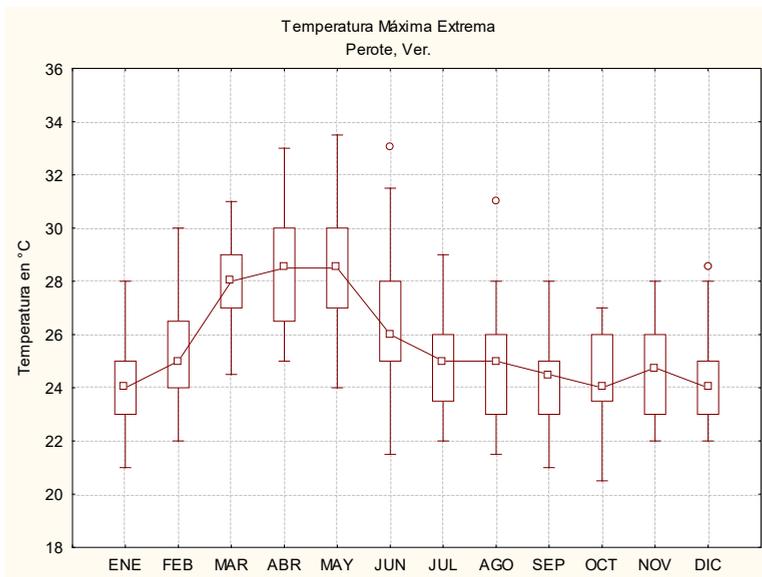


Figura 2.
Temperatura máxima extrema (en °C) en Zalayeta (1965-2007).

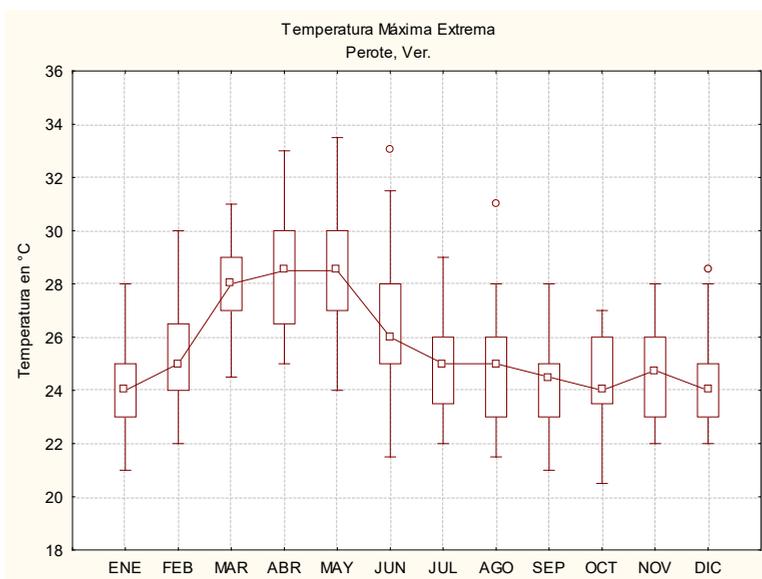


Figura 3.
Temperatura mínima extrema mensual (en °C) en Perote (1965-2007).

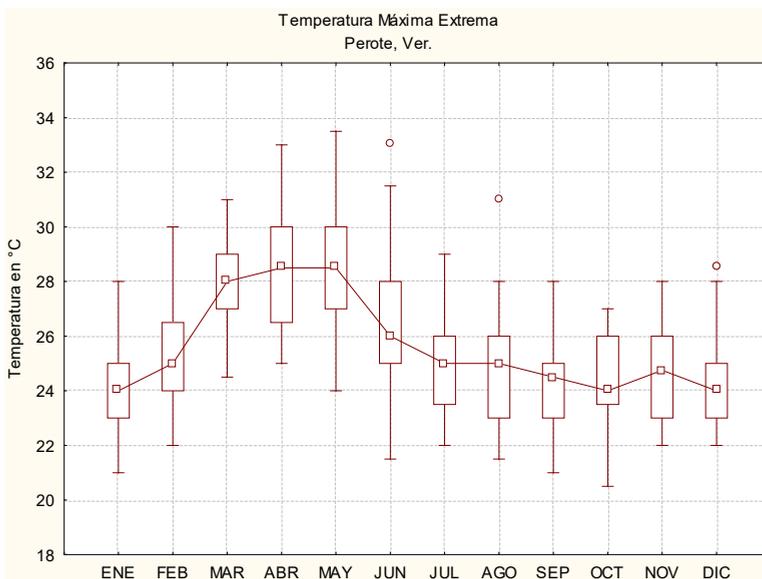
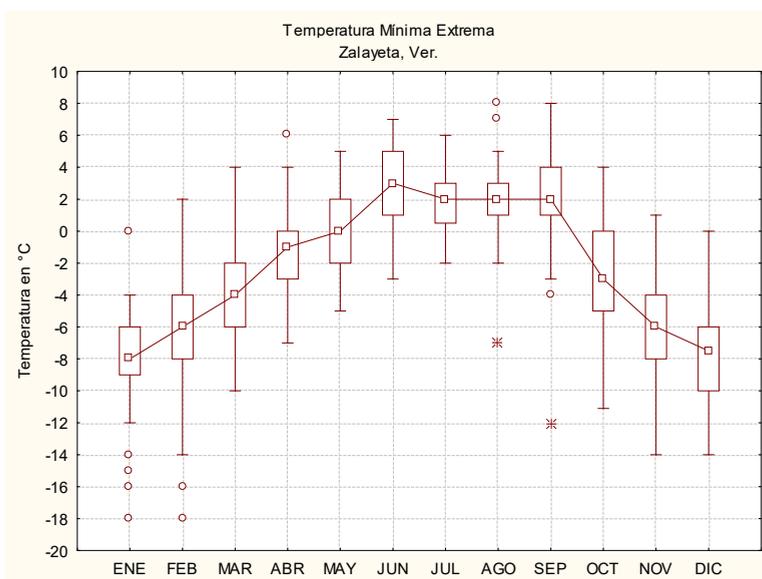


Figura 4.
Temperatura mínima extrema mensual (en °C) en Zalayeta (1965-2007).

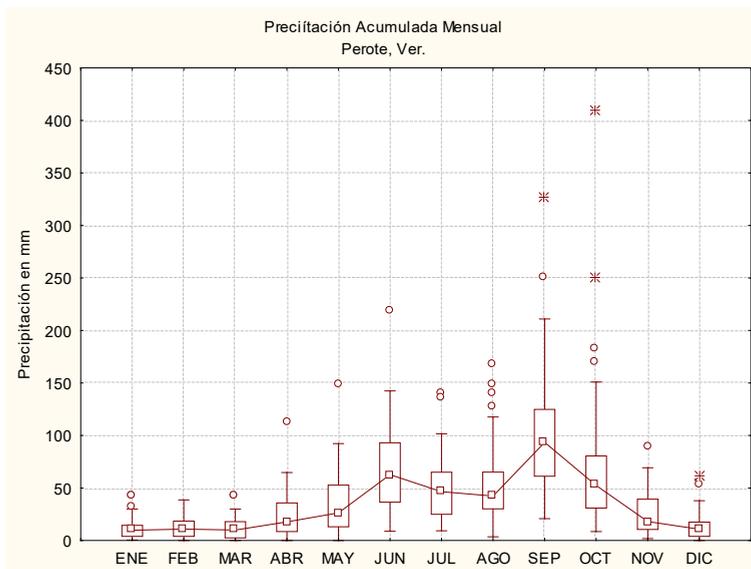


Precipitación

Perote tiene su período lluvioso entre los meses de mayo a octubre, con registros máximos en junio y septiembre. Debido al aporte de humedad, principalmente proveniente del Golfo de México, se puede provocar nubes convectivas de gran desarrollo vertical, en algunos casos reforzadas por sistemas ciclónicos tropicales. Es importante mencionar que Perote presenta una baja de precipitación que incluso puede estar ausente en los meses de julio y agosto a la mitad del periodo lluvioso, fase conocida como sequía intraestival o “canícula”.

Durante los meses de noviembre a abril la precipitación está por debajo de los 20 mm, en promedio acumulado mensual (Figura 5). Este período de precipitación obedece la influencia de las masas frías de la temporada que traen consigo lluvias ligeras y lloviznas; los meses de febrero a abril se consideran incluso como una etapa de riesgo de incendios forestales (Gobierno del Estado de Veracruz, 2013).

Figura 5.
Precipitación acumulada mensual (en mm) en Perote (1965-2007).



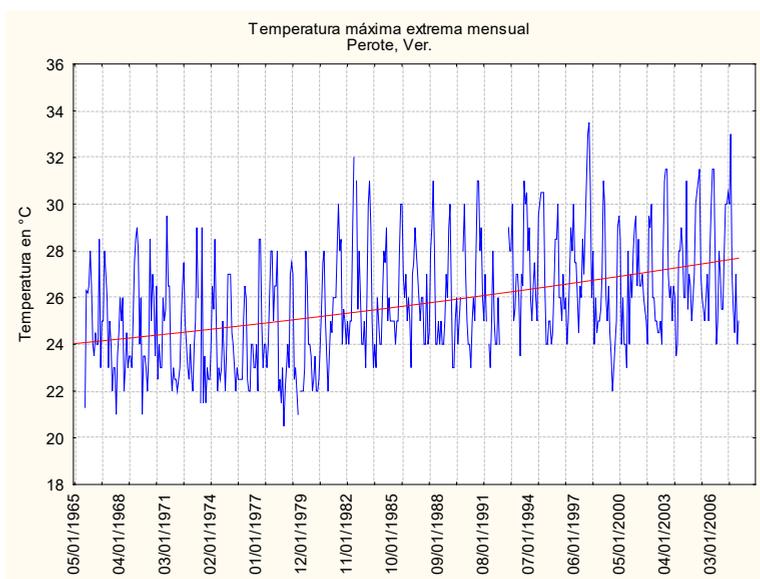
Variabilidad Climática

Temperatura

La figura 6 muestra que la temperatura máxima extrema registrada en Perote fue el 8 de mayo de 1998. Desde que se inició el registro de valores hasta 1980, la temperatura máxima mantuvo una tendencia estable. Sin embargo, posteriormente se ha incrementado

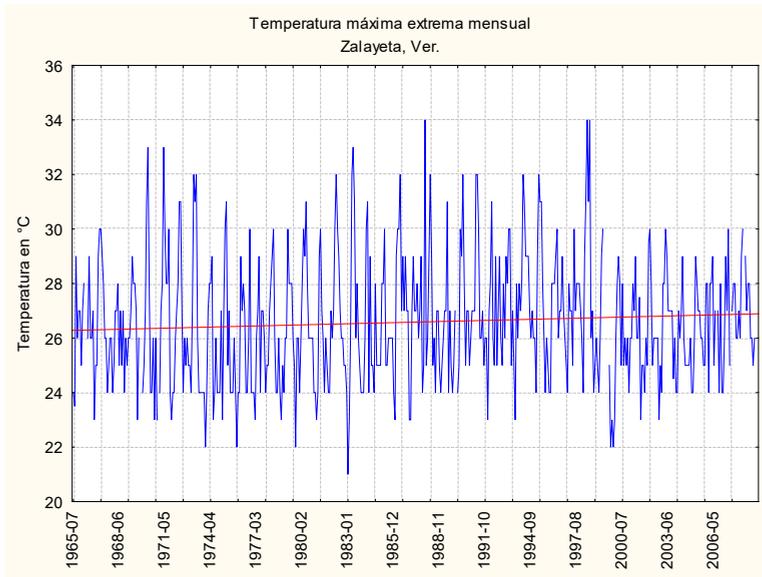
significativamente en 3.5° C. La variabilidad máxima interanual se ha presentado entre los años 1982-1983 y 1997-1998, coincidiendo con eventos de “El Niño” (fenómeno meteorológico de escala global).

Figura 6.
Temperatura máxima en Perote, Ver. (1965-2007).



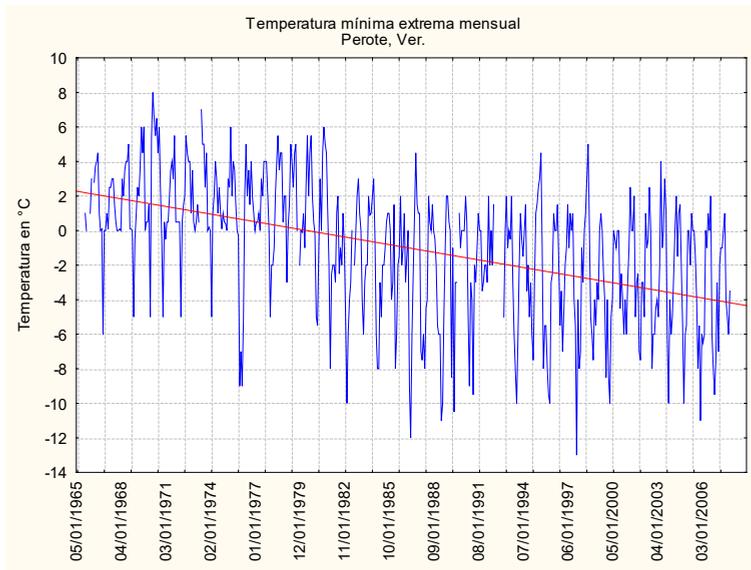
Por su parte, en la estación de Zalayeta, se han presentado dos registros máximos extremos en todo el período analizado; ambos se registraron en el mismo año de 1998 (año de fenómeno de El Niño). El primero el 15 de abril y el segundo el 15 de junio. Aunque la variabilidad que refleja esta estación climatológica es alta, su tendencia apenas alcanza 1° C (Figura 7).

Figura 7.
Temperatura máxima en Zalayeta, Ver. (1965-2007).



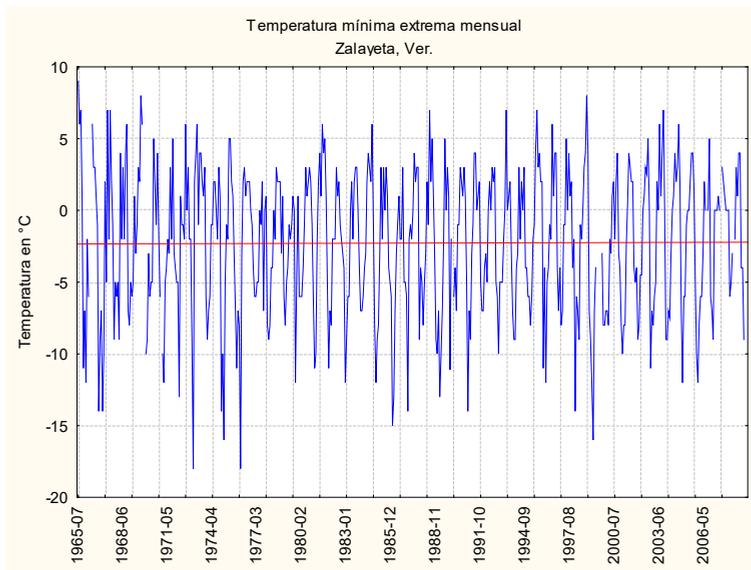
Respecto a la temperatura mínima en la historia de Perote, el 14 de diciembre de 1997 se presentó la temperatura más baja de la que se tenga registro en el período 1965-2007. Se reportó -13°C (es decir, 13° bajo cero), manifestándose incluso una nevada. Los valores por debajo de los cero grados Celsius continuaron registrándose cinco días después. A partir de 1980 la temperatura mínima reflejó un cambio significativo con valores negativos, hecho que propició que la tendencia sea negativa: la temperatura en ese lugar ha disminuido poco más de 6°C en el período de análisis; y esto lo caracteriza, junto con la temperatura máxima, como un lugar extremo del Valle de Perote (Figura 8).

Figura 8.
Temperatura mínima en Perote, Ver. (1965-2007).



En el caso de la estación Zalayeta, en dos ocasiones se han registrado temperaturas de -18°C ; la primera el 30 de enero de 1973 y la segunda el 25 de febrero de 1976. Su tendencia no ha cambiado durante el período de análisis; el 67% de los días (10 mil 271 días) han tenido temperaturas mínimas por debajo de 0°C ; de ellos alrededor de 450 días son menores a -10.0°C . Lo anterior, convierte a ese lugar en uno de los que registran las temperaturas más bajas en el Estado de Veracruz (Figura 9).

Figura 9.
Temperatura mínima en Zalayeta, Ver. (1965-2007).



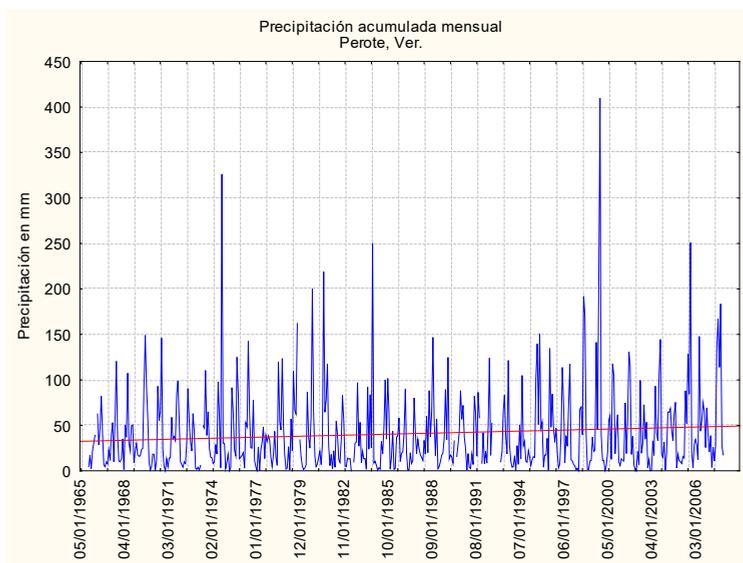
Por último, las temperaturas extremas en las dos estaciones marcan registros de más de 52° C de diferencia: de -18.0 °C como temperatura mínima extrema en Zalayeta, hasta los 34° C de temperatura máxima extrema en Perote. Esto marca el tipo de clima en el que se encuentra la región.

Precipitación

La precipitación en Perote ha sido un tema complicado de explicar; puede suceder que no llueva en más de 100 días, asociándose este fenómeno con la ocurrencia de incendios forestales; o puede pasar que en tan sólo un día se registre una intensa lluvia, equivalente al promedio de precipitación anual, provocando desastres.

En Perote la precipitación acumulada mensual es de 37.3 mm en promedio anual. Históricamente la precipitación mensual más alta registrada fue de 409.7 mm en octubre de 1999. En contraste ha habido meses en los que no se ha registrado precipitación; son los casos de abril y diciembre de 1970, septiembre de 1974, marzo de 1975, marzo de 1977, abril de 1983, marzo de 1994, mayo de 1998 y marzo de 2002. En ese conjunto resalta el mes de mayo de 1998, ya que es un mes que figura dentro de la temporada de lluvias (Figura 10).

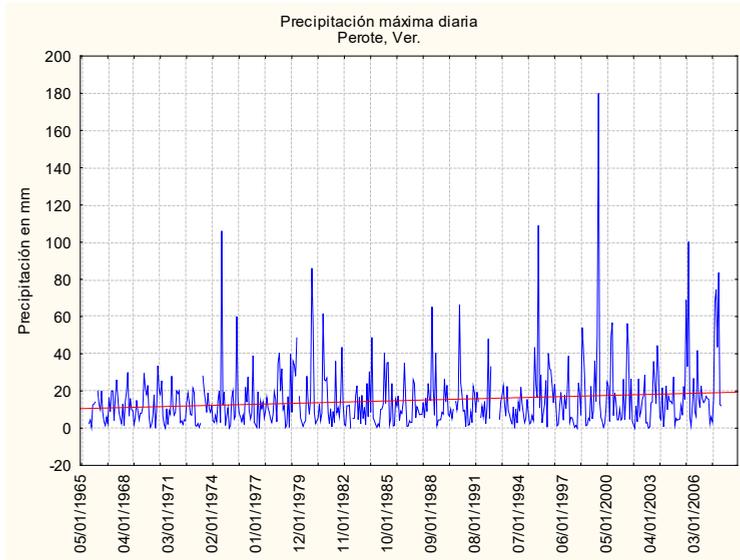
Figura 10.
Precipitación acumulada mensual en Perote, Ver. (1965-2007).



De acuerdo con los tratados sobre el clima, es normal que la lluvia sea escasa en un lugar seco y semiárido como Perote. Durante los 498 meses analizados correspondientes al período 1965-2007, el 54.42% de ellos, es decir 271 meses, presentan registros menores a 30 mm (un litro de agua por metro cuadrado diario). Aún más destacable es que en 21 meses se haya registrado un milímetro o menos de precipitación, esto es un litro o menos de agua al mes. En contraste 47 meses han registrado lluvias acumuladas mensuales superiores a los 100 mm, 7 por arriba de 200 mm y tan solo 2 por arriba de 300 mm.

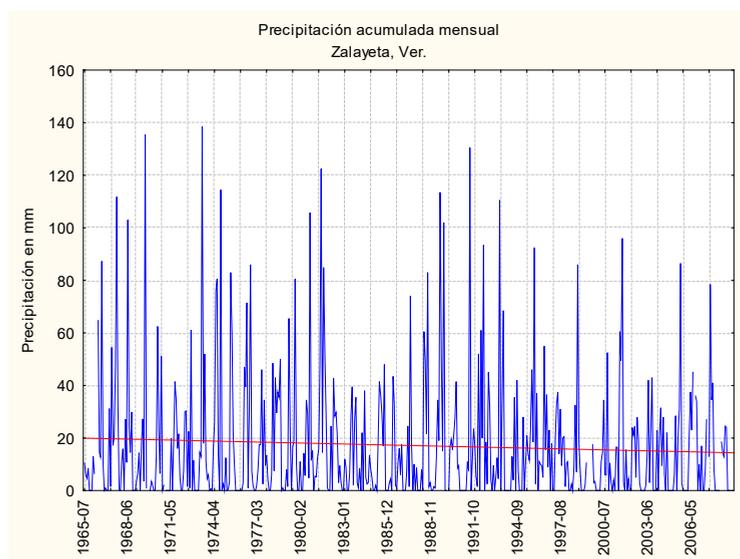
Con respecto a los registros máximos diarios de Perote, cinco casos han sido los que han rebasado los 100 mm diarios. Dos días del mes de octubre de 1999 han quedado en la historia de la precipitación de Perote, ya que se presentaron lluvias de 180.0 mm el día 4, y de 138.0 mm el día 5, ocasionando daños incuantificables; lo anterior debido a la combinación de la depresión tropical N° 11 y el frente frío N° 5. Las consecuencias de este fenómeno se ilustran más adelante (Figura 11).

Figura 11.
Precipitación máxima diaria en Perote, Ver., (1965-2007).



Por su parte, el promedio de precipitación mensual registrado por la estación de Zalayeta es de 31.9 mm. El registro máximo mensual corresponde al mes de octubre de 1999 con 282.0 mm; y de los 498 meses que comprende este estudio, tan solo 29 han registrado una precipitación por arriba de los 100 mm, mientras que en 98 meses no llovió (Figura 12).

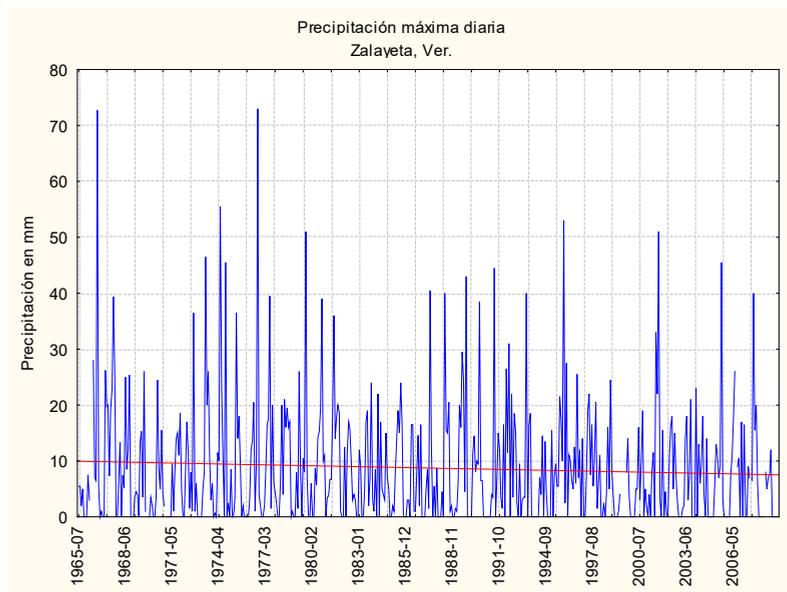
Figura 12.
Precipitación acumulada mensual en Zalayeta, Ver. (1965-2007).



En Zalayeta, dentro del periodo de 1965 al 2007, 318 meses registraron lluvias por debajo de los 30 mm. Lo que significa que el 63.9% del período analizado ha presentado registros de precipitación en los que sólo se hubiera podido contar con un litro de agua para subsistir, si sólo se dependiera del agua proveniente de la lluvia.

Los registros diarios de Zalayeta son aún más contrastantes. Sólo en los días 4 y 5 del mes de octubre de 1999 se registraron lluvias por arriba de los 100 mm; y únicamente diez días presentaron registros por arriba de los 50 mm. Más aún, no se registró lluvia en 360 días del período analizado, mientras que en 7 mil 950 días la precipitación fue de tan solo 10 litros de agua por metro cuadrado (Figura 13).

Figura 13.
Precipitación máxima diaria en Zalayeta, Ver., (1965-2007).



Debido lo ocurrido los días 4 y 5 de octubre de 1999, los desastres provocados fueron cuantiosos. A continuación se presentan algunas imágenes fotográficas que muestran la gravedad de lo ocurrido los días 4 y 5 de octubre del año de 1999. Son fotografías del Diario de Xalapa exytadidas del Archivo Histórico del Estado de Veracruz, 2015 (Figuras 14-20).

Figura 14.
Información de lo sucedido por efectos de la depresión tropical No. 11
y el frente frío No. 5 sobre Perote, Ver.



Figura 15.
Información de lo sucedido por efectos de la depresión tropical No. 11
y el frente frío No. 5 sobre Perote, Ver.

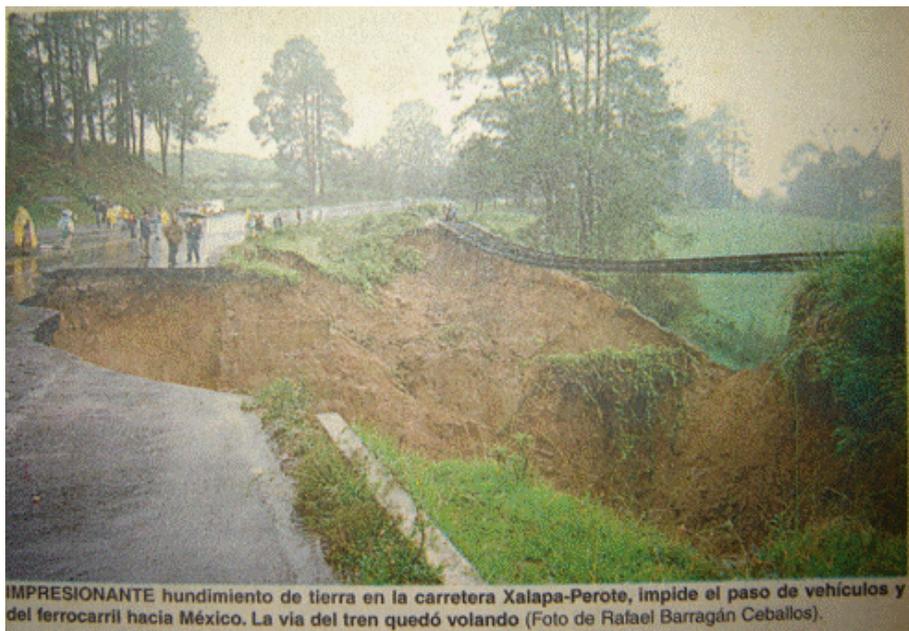


Figura 16.
Información de lo sucedido por efectos de la depresión tropical No. 11
y el frente frío No. 5 sobre Perote, Ver.



Figura 17.
Información de lo sucedido por efectos de la depresión tropical No. 11
y el frente frío No. 5 sobre Perote, Ver.

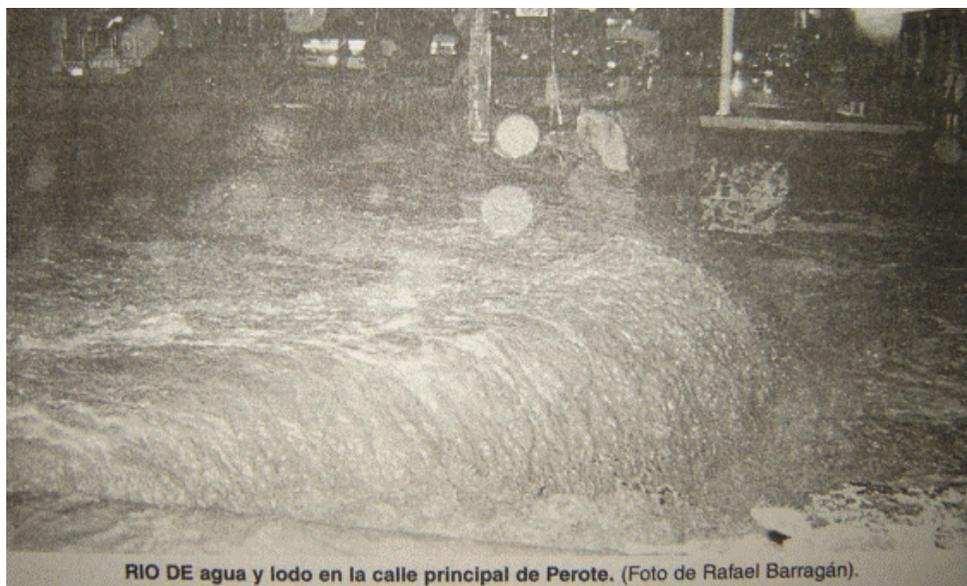


Figura 18.
Información de lo sucedido por efectos de la depresión tropical No. 11
y el frente frío No. 5 sobre Perote, Ver.



Figura 19.
Información de lo sucedido por efectos de la depresión tropical No. 11
y el frente frío No. 5 sobre Perote, Ver.

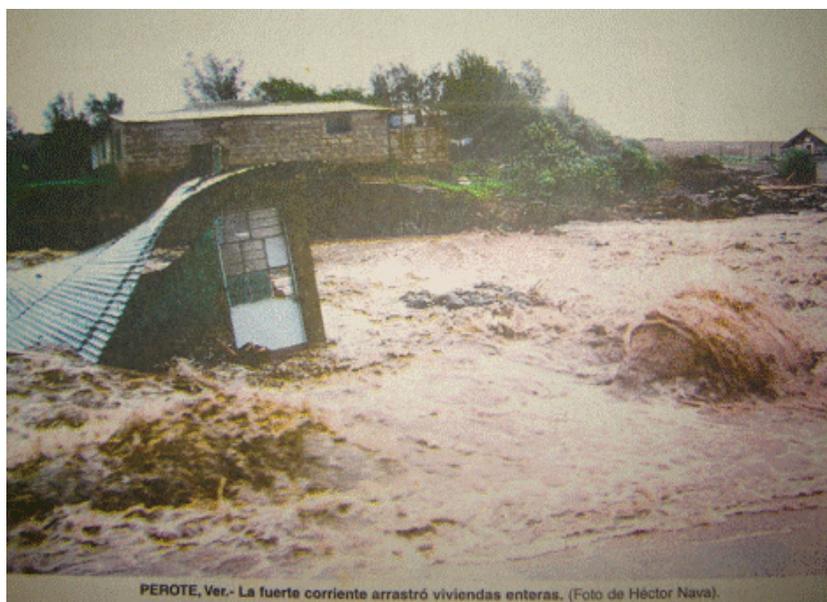


Figura 20.
Información de lo sucedido por efectos de la depresión tropical No. 11
y el frente frío No. 5 sobre Perote, Ver.



CONSIDERACIONES FINALES

Las series de tiempo sobre el clima del municipio de Perote son ricas en información. No obstante, es necesario aclarar que para realizar el análisis presentado se realizaron algunas pruebas estadísticas de control de calidad. A partir de ellas se eliminaron y/o corrigieron algunos datos; por ejemplo, se corrigió el dato de temperatura máxima del día 16 de mayo de 1966, pues aunque en los registros oficiales figuraba una temperatura máxima de 38.0 °C, se comprobó que hubo un error de captura, y el dato real en los registros de papel es de 28.0 °C. Asimismo, se pudo constatar la falta de algunos datos y la poca confiabilidad de otros; por ejemplo, de la serie de tiempo disponible se eliminó el año de 2008, el último con el que se contaba con registro, ya que las pruebas de calidad mostraron evidencia suficiente para no confiar en los datos de ese año.

Finalmente, resulta necesario ampliar y extender el análisis acerca de la tendencia de la temperatura máxima extrema de Perote en función de que entre 2000-2007 dicha tendencia se encontró como significativa; tan sólo el caso de la temperatura máxima extrema diaria, ésta se incrementó en promedio entre 5 y 8 °C. Este es un fenómeno al que no habría que perder de vista en función de sus implicaciones ambientales y socioeconómicas.

Los próximos estudios que incluyan registros más recientes en el análisis, deberán indagar y conocer primero si los instrumentos no han cambiado, si la ubicación de las estaciones es la misma, y si el entorno donde se ubica la estación climatológica ha sufrido alteraciones en estos últimos años; aspectos a considerar para garantizar un continuo y adecuado monitoreo de la variabilidad climática de la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Glickman, T. Editor, (2000). *Glossary of Meteorology*. Segunda Edición. American Meteorological Society. Boston, Massachusetts, USA.
- Gobierno del Estado de Veracruz (1998). “Perote”. *Enciclopedia Municipal Veracruzana*. (1998). 316 pp.
- IPCC (2007). “Cambio climático 2007: Informe de síntesis”. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al *Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Core Writing Team, Pachauri, R.K, Reisinger, A. y Equipo principal de redacción (directores de la publicación)]. Ginebra, Suiza.
- Luna, A. y Rivera, D. (2012). “Los ciclones tropicales en Veracruz y sinopsis del huracán Karl”. En: *Las inundaciones de 2010 en Veracruz. Memoria social y medio físico*. Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. México.
- Mosiño, P. (1993). “Tiempo superficial y configuraciones del flujo aéreo superior en México”, en: *Geofísica Internacional*. pp. 6-12. Instituto de Geofísica, UNAM. México, D.F.
- Organización Meteorológica Mundial, OMM (1992). *Vocabulario meteorológico internacional*. No. 182. Ginebra Suiza. 784 pp.
- Tejeda, A. Jáuregui, O. y Acevedo, F. (1989). *Atlas climático del estado de Veracruz*. Dirección editorial de la Universidad Veracruzana. Veracruz, México.

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS: SAN ANTONIO LIMÓN TOTALCO Y LA RECOMPENSA, DOS EJEMPLOS DE CONSERVACIÓN Y USO SUSTENTABLE EN EL VALLE DE PEROTE

Carlos Alberto Martínez Hernández*

Gladis Yañez Garrido **

Sofía Enith Quiroz Allende*

ANTECEDENTES

Veracruz se encuentra entre los tres estados de mayor diversidad de México, apenas después de Oaxaca y Chiapas. Su ubicación geográfica, así como las características físicas que presenta a lo largo y ancho de su territorio, han dado lugar a la existencia de una serie de hábitats muy singulares, donde se concentra una gran variedad de flora y fauna, considerada como una de las más importantes en el mundo.

En el territorio Veracruzano se localizan alrededor de 8 mil especies de plantas y cerca de mil 500 especies de vertebrados: peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Vázquez-Torres, 2008). Además, presenta 18 diferentes tipos de vegetación, que van desde los ecosistemas de las altas montañas, representados en el Pico de Orizaba y el Cofre de Perote, hasta los ecosistemas propios de las zonas costeras: manglares, dunas costeras, y arrecifes (Vázquez-Torres *et al.*, 2010). Contar con esta enorme biodiversidad no es sólo un privilegio, sino también una gran responsabilidad. Lo anterior hace necesario difundir su conocimiento, protección y conservación para garantizar su correcto aprovechamiento y heredar esa biodiversidad en buenas condiciones a las siguientes generaciones.

Pese a toda la riqueza que se manifiesta en sus diversos ecosistemas, Veracruz también es uno de los estados que presenta una de las mayores tasas de deforestación anual, reflejada en el hecho que en la entidad se ha transformado el 71.43% de la cobertura vegetal original en terrenos con actividades agrícolas y ganaderas (SEDARPA, 2003 citado por Vázquez-Torres *et al.*, 2010).

* Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Estado de Veracruz, carlos.albertomt77@gmail.com

** Universidad Veracruzana. gyanez@uv.mx

Tal problemática pone en riesgo la integridad ambiental, social y económica del estado. Una estrategia para combatir y revertir esos problemas ambientales ha sido la delimitación de áreas que conserven los recursos naturales existentes a través de instituir espacios de vegetación estratégicos como Áreas Naturales Protegidas (ANP'S). Estas ANP'S son una estrategia de política ambiental encaminada a la preservación de los recursos remanentes en todo el mundo.

En la zona del Valle de Perote, se cuenta con varios espacios protegidos mediante esta modalidad, en sus diferentes tipos de aplicación (parque de flora y fauna, reservas ecológicas, áreas privadas de conservación, entre otras), y en diferentes niveles de gobierno (federales, estatales, municipales y privadas).

Sin embargo, en este capítulo no abundaremos en áreas que han sido mayormente estudiadas, como por ejemplo el Parque Nacional Cofre de Perote, aunque su influencia es innegable; nos enfocaremos más bien en dos áreas de particular interés para los objetivos de este libro, y de las cuales existe poca información disponible: un espacio en San Antonio Limón Totalco, perteneciente al Municipio de Perote, y el área privada de conservación "La Recompensa", municipio de Altotonga, ambas en el estado de Veracruz.

INTRODUCCIÓN

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP'S), según la legislación federal, son *"Las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas"* (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA), Artículo 3º, Fracción II, DOF 1988).

Estas zonas se regulan por la LEGEEPA, la cual determina y describe las disposiciones generales, tipos y características, así como las declaratorias para su establecimiento, administración y vigilancia, como condiciones que deben existir en las áreas naturales protegidas del país. Para el caso de las ANP'S de carácter estatal y municipal en el estado de Veracruz, también le compete a la Ley 62 de protección ambiental, establecer los términos para definir y administrar las áreas que deben ser objeto de interés público y de protección, con el propósito de asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos ecológicos.

Las áreas naturales protegidas son fundamentales para conservar la biodiversidad natural y cultural; los bienes y servicios ambientales que brindan son esenciales para la sociedad (Dudley, 2008). Aunque originalmente su objetivo era netamente de conservación, como un espacio de reservorio, gradualmente se han integrado a ellas actividades económicas

como el turismo, entre otras. Lo anterior, tomando en consideración que los ambientes prístinos o intocados son prácticamente inexistentes, y que la influencia que pueden tener en ellos las sociedades humanas no siempre resulta en un impacto negativo (Balee *et al.*, 1998); y asimismo, que estas áreas remanentes representan parte del capital natural con el que cuentan los territorios y no debe alterarse la relación de uso sustentable que existe entre ellas y sus comunidades aledañas (EEM, 2005).



Panorámica de la región de Perote, Ver. Foto: Marco Aurelio Morales Martínez.

Muchas áreas protegidas son importantes para el desarrollo sostenible de las comunidades locales, especialmente los pueblos indígenas que dependen de ellos para su supervivencia. Los paisajes protegidos preservan y reproducen valores culturales importantes; por ejemplo, algunos de ellos salvaguardan las prácticas sostenibles de utilización de la tierra. También son espacios en donde el ser humano puede experimentar paz, revigorizar su espíritu y desafiar sus sentidos. Son importantes para la investigación y la educación, y contribuyen a las economías locales y regionales. La importancia de las áreas protegidas es reconocida en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD). Pueden ser creadas para proteger bellezas escénicas, diversidad biológica y cultural, para investigación científica y para educación ambiental.

En su nuevo documento *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) define a las áreas protegidas como: “Un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados.” (Dudley, 2008). Aunque

semánticamente es diferente al que nuestra legislación propone, esta definición tiene un valor operativo más amplio y debemos recordar que México es parte de la Conferencia de las Partes (COP) del CDB, y ha integrado como suyas sus directrices.

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) define un área protegida como: “*un área geográficamente definida que está designada o regulada y gestionada para lograr específicos objetivos de conservación*”. Según las funciones y objetivos de manejo que tiene un área protegida, ésta puede ser designada como parque nacional o reserva natural, entre otras clasificaciones.

La IUCN ha desarrollado un sistema de estándares para clasificar las áreas protegidas según su categoría de manejo, mismas que son las consideradas en la LEGEPA: a) Reservas de la biósfera; b) Parques nacionales; c) Monumentos naturales; d) Áreas de protección de recursos naturales; e) Áreas de protección de flora y fauna; f) Santuarios; g) Parques y Reservas Estatales, así como las demás categorías que establezcan las legislaciones locales; h) Zonas de conservación ecológica municipales, así como las demás categorías que establezcan las legislaciones locales, e i) Áreas destinadas voluntariamente a la conservación.

Cada ANP debe contar, para su operatividad, con un Programa de Manejo, es decir, con un instrumento de planificación que contenga un conjunto de decisiones y estrategias creadas por el gobierno y la sociedad, que combina diversos factores con el fin de conservar, educar y asegurar la riqueza biológica. Con él se garantiza lo que indican las políticas y la legislación en los diferentes niveles de gobierno. Sin embargo, la operatividad no deja de ser un ejercicio de alta complejidad cuyos resultados sólo son observables a largo plazo.

SAN ANTONIO LIMÓN TOTALCO

En Veracruz se han llevado a cabo diferentes iniciativas de conservación y desarrollo por parte de entidades del gobierno federal, estatal y municipal, de instituciones académicas y de la sociedad civil. Muchas de esas iniciativas tuvieron objetivos comunes, pero desafortunadamente no ha existido una buena coordinación de acciones ni un adecuado seguimiento, generándose incluso graves perturbaciones en las áreas naturales que se quiere proteger.

Un ejemplo al respecto es lo ocurrido en la zona de “San Antonio Limón Totalco”, donde una de las afectaciones más importantes fue provocada por la autopista Perote-Puebla, que la cruzó prácticamente por la mitad, con un alto impacto consecuente: se destruyó una parte del hábitat y se fragmentó su totalidad, con un efecto perjudicial para

todas las especies. A esta problemática se adiciona la influencia de factores naturales, tales como la susceptibilidad del suelo a la erosión o los fenómenos meteorológicos — la intensidad de las lluvias, vientos, radiación solar, entre otros— que, aunque no son provocados directamente por el ser humano, intervienen en el proceso de deterioro y contribuyen, junto con la fragmentación de la zona, a la disminución de la resiliencia natural.

El área natural protegida de “San Antonio Limón Totalco” se encuentra ubicada en los ejidos de San Antonio Limón Totalco y Frijol Colorado, ambos pertenecientes al municipio de Perote, Veracruz con una superficie aproximada de 107 km² y posee un ecosistema bien diferenciado con respecto a su entorno; presenta un alto valor ecológico y un gran potencial para el turismo y la investigación. Cuenta con especies endémicas tales como el ratón silvestre de Perote (*Peromyscus bullatus*) y la ardilla moto (*Xerospermophilus perotensis*). Conservar este tipo de especies ayuda a la aireación e incorporación de materia orgánica a los suelos, así como a la filtración del agua; también promueve la germinación de semillas y el intercambio de nutrientes; además, el consumo de insectos por parte de estas especies, ayuda a la mitigación de plagas potenciales; y por ser consumidoras de semillas, resultan ser una fuente importante de proteínas para sus depredadores naturales (Montero, 2014).

La prioridad de proteger esta área es asegurar la preservación de la riqueza ecológica en el altiplano del municipio de Perote, donde los ecosistemas constituyen ambientes propicios para especies de fauna silvestre que se encuentran en alguna categoría de protección de acuerdo con la NOM-059-2010.

Esta Norma comprende nueve capítulos divididos principalmente en cuatro secciones. En la primera, el Programa de Manejo presenta los antecedentes de conservación del ANP “San Antonio Limón Totalco”, definiendo además la situación actual, los acuerdos nacionales e internacionales de los que forma parte, las atribuciones de las dependencias relacionadas, y las implicaciones de su protección a distintos niveles. El apartado de justificación plantea los atributos que le concedieron su Decreto, haciendo énfasis en su relevancia ecológica, científica, educativa, recreativa, histórica y cultural. El Programa de Manejo presenta también los objetivos del ANP. Posteriormente menciona las características tanto físicas como biológicas del área, y hace énfasis en su problemática.

Además, el Plan de Manejo con el que ya cuenta el área, contiene seis subprogramas de conservación, a saber: protección, manejo, restauración, conocimiento, cultura y gestión; así como las actividades y acciones a desarrollar con el fin de cumplir los objetivos de cada componente en los plazos programados. Existe también un capítulo de Zonificación, en el cual el Programa ubica unidades geográficas denominadas subzonas que, por

sus características de uso y conservación, son sujetas a políticas distintas de manejo, estableciendo actividades permitidas y prohibidas para cada una de ellas.

Ubicación

El ejido San Antonio Limón Totalco perteneciente al municipio de Perote, está situado entre los 2 mil 300 y 2 mil 700 metros de altitud sobre el nivel del mar, entre las coordenadas geográficas son 19° 25' y 19° 37' latitud Norte, y 97° 20' y 97° 34' longitud Oeste. De acuerdo a la información obtenida de las cartas climáticas del Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI), el clima es frío-seco-regular con una temperatura promedio de 12°C; su precipitación pluvial media anual es de 500 milímetros (mm), con un porcentaje invernal menor al 5%.

La temperatura media anual para la región del Valle de Perote es de 12.8°C, con una oscilación térmica que va de los 14.7°C a los 9.8°C. En los meses más fríos del año las temperaturas llegan a bajar hasta los -6°C. Con relación a las precipitaciones pluviales, el promedio anual se encuentra sobre el orden de los 453.4 mm. Con un período de lluvias abundantes en los meses de abril, mayo, septiembre y octubre.



Región de Perote, Ver. Foto: Marco Aurelio Morales Martínez.

La vegetación está constituida por matorrales xerófilos con una marcada variación en su composición y fisonomía, así como en sus características de relieve y suelo. El matorral xerófilo presenta una gran cantidad de endemismos y de especies arbustivas micrófilas que le dan fisonomía de matorral. Es importante resaltar que este tipo de ecosistema se encuentra presente en aproximadamente el 40% de la superficie del país; por consiguiente,

es el más vasto de todos los tipos de vegetación de México. Sin embargo, en el estado de Veracruz sólo se encuentra representado en el Valle de Perote y es particularmente singular.

La vegetación existente en San Antonio Limón Totalco es variable; va desde los bosques abiertos de táscate, pino-encino y cipreses, hasta el matorral xerófilo que presenta una gran diversidad de formas, principalmente constituido por izotales, pastizales naturales y matorrales crasicaules y rosetófilos (plantas cactáceas como el nopal y suculentas adaptadas a estas temperaturas); se encuentran también especies como: *Nolina parviflora* y *Yucca periculosa*; además de los géneros de *Salvia spp.* y *Dalea spp.* en el estrato arbustivo. Existen también otras especies arbustivas y arbóreas que difícilmente sobrepasan los 12 metros de altura; éstas no han llegado a ser tan perturbadas por las actividades antropogénicas en función de las condiciones climáticas en que se desarrollan, que no son muy propicias para la agricultura ni la ganadería intensiva; no obstante, sí se ha resentido la extracción de ejemplares, principalmente de cactus (Rzedowski, 1978). Este tipo de vegetación es verdaderamente valiosa desde el punto de vista biológico; no sólo es considerada por su alto valor escénico o paisajístico, sino por ser un remanente importante de la biodiversidad del valle, que es considerado por los científicos como la única zona “semi-desértica de Veracruz”.

El tipo de suelo en esta zona es litosol volcánico, fluvisol y en algunos afloramientos hay andosol (Gerez, 1985). En el llano abundan los cultivos de trigo, avena, haba, maíz, frijol y papa, aunque existen predios abandonados donde abunda vegetación secundaria. En el llano y zonas de cultivo, el tipo de suelo es el regosol (Gerez, 1985).

Algunas especies presentes en el área son: la ardilla de perote (*Xerospermophilus perotensis*), coyote (*Canis latrans*), lagartijas, zorras (*Urocyon cinereoargenteus*), gato montés (*Lynx rufus*), zorrillo (*Mephitis macroura*), tejones (*Taxidea taxus*), cacomixtles (*Bassariscus astutus*), ratas canguro (*Dipodomys phillipsii perotensis*), ratones (*Liomys spp.*, *Perognathus spp.*, *Peromyscus spp.*, *Reithrodontomys spp.*), lagomorfos (*Sylvilagus spp.*), y liebre torda (*Lepus callotis*).

Contexto

La comunidad de San Antonio Limón Totalco recibió su nombre debido a que una familia de apellido Limón fundó la hacienda y construyó la capilla de ese mismo nombre; las gestiones para la construcción de la capilla iniciaron en 1904 y fue el 12 de noviembre de 1905 cuando se colocó la primera piedra.

Los ejidos que cuentan con mayor población dentro del municipio de Perote son: Ejido Perote con 37 mil 516 habitantes; Ejido San Antonio Tenextepac con 4 mil 368; Ejido San Antonio Limón (Totalco) con 4 mil 172; Ejido Los Molinos (San José) con 3 mil 215 y Ejido La Gloria con 2 mil 510 habitantes. El resto de las localidades del municipio de Perote conjuntan 17 mil 201 habitantes.

Las principales actividades productivas de la comunidad de San Antonio Limón Totalco son los cultivos de maíz, papa, frijol y avena forrajera verde, obteniendo un gran valor económico por las cosechas que benefician a los habitantes. En la zona también existe la cría de puercos (*Sus scrofa*) a nivel de traspatio, y en forma intensiva por la compañía Granjas Carroll de México; además, se llevan a cabo prácticas ganaderas semi-extensivas de ovinos (*Ovis aries*) y caprinos (*Capra hircus*).

En Totalco existen alrededor de 24 productores de ganado caprino, que al mismo tiempo se dedican a la venta de queso de cabra, aunque también venden cabritos (en pie y en canal). Algunas personas se dedican a hacer arreglos florales para fiestas (de alambre y papel encerado). Hay varias tiendas de abarrotes, incluyendo comercios que se encuentran a orilla de la carretera dedicados a la venta de comida, así como talleres mecánicos. Frente a la producción agrícola predominante, todas estas prácticas aportan ingresos a los habitantes y contribuyen a mejorar la calidad de vida (INEGI, 2009).

Cabe señalar que una consecuencia del alto índice de diversidad de los tipos de coyote existentes en la zona, es la pérdida de ganado por la depredación de este cánido; a lo anterior se adiciona la presencia de enfermedades cuya incidencia representa también una pérdida económica importante en la actividad ganadera.

Tenencia de la tierra

La propiedad de la tierra en San Antonio Limón Totalco ha transitado del régimen de tenencia propio de la Hacienda, al sistema ejidal actualmente vigente, el cual cuenta con 10 mil 201 hectáreas y 338 ejidatarios. El comisariado ejidal tiene a su cargo el total de la superficie ejidal, donde 4 mil 240 hectáreas representan tierras parceladas y 5 mil 572 son tierras de uso común. En esas tierras de uso común hay producción forestal no maderable, de restauración, pastizales y superficies de uso agrícola; la administración de esos recursos es lo que le compete representar. Como ya se dijo, el ejido es atravesado por infraestructura carretera (autopista).

Problemática

Existe o se sabe poco de la información generada con anterioridad para comparar los posibles procesos de impacto y transformación ambiental que han sufrido los recursos naturales por actividades humanas. Se piensa gracias a la irregularidad del suelo, la comunidad ha logrado abstenerse de prácticas agrícolas, es decir se trata de un ambiente original que no ha sido significativamente alterado por el hombre; sin embargo, se han identificado varios agentes de presión que, con distinta magnitud, hacen pertinente el requerimiento de la preservación y restauración de esta área. Son los siguientes:

1. Pastoreo de ganado caprino. Se sabe que en esta zona, desde el siglo XVII, se practica la ganadería ovina y caprina de manera intensiva, causando efectos negativos a los recursos naturales de la zona.
2. La caza por parte de los pobladores cercanos produce también un efecto de deterioro que aún no ha sido medido. Es difícil realizar un estimado cuantitativo del impacto que estas prácticas causan a la fauna de la zona; sin embargo, se sabe que en esta área habita una gran cantidad de aves, mamíferos y reptiles, y que los pobladores mantienen actividades de caza y captura, entre las cuales destaca la intensa búsqueda y captura de algunas especies, tales como: las serpientes de cascabel de cola negra (*Crotalus molossus*) y cascabel enana (*Crotalus triseriatus*) zorrillos (*Conepatus leuconotus*) del género *Mephitis*; tlalcoyotes (*Taxidea taxus*); gato montés (*Linx rufus*); coyotes (*Canis latrans*), los cuales son muy apreciados y buscados por la gente por sus supuestas propiedades curativas; así como conejos (*Silvilagus cunicularius*, *S. audobonii*) y liebres (*Lepus callotis*, *L. californicus*) para consumo alimenticio.
3. El efecto más significativo para esta área fue el causado por la apertura de la autopista Perote-Puebla, que constituyó un agente de alto impacto en esta zona, puesto que la cruzó por la mitad, fragmentando el continuo espacial de este tipo de ecosistemas; ello genera impactos a la fauna y a la distribución de la flora; asimismo, implicó una grave agresión al paisaje de este tipo de ambientes.
4. El actual crecimiento de la población del municipio de Perote puede ejercer presión antropogénica en los márgenes del área natural San Antonio Limón Totalco, aunque no exista una dinámica poblacional al interior de la misma. En el área no hay una tendencia de crecimiento demográfico positivo, ni movimientos migratorios a su interior; no obstante, debido a que no existe delimitación física de la poligonal ni vigilancia permanente, el área se encuentra expuesta al uso insustentable de flora y fauna.

El pastoreo de ganado caprino y la caza por parte de los pobladores de la comunidad, son considerados como problema, pues están causando presión al Área Natural Protegida San Antonio Limón Totalco. Surge así la necesidad de promover un comportamiento social amable con los recursos y servicios que proporciona el área mediante la participación comunitaria.

La ganadería es una actividad que beneficia a gran parte de los habitantes del municipio de Perote; se practica la ganadería ovina y caprina de manera extensiva, y por lo general los rebaños se llevan a sitios con vegetación dentro del malpaís, lo que ha implicado que de manera irracional se permita que el ganado consuma cualquier tipo de planta, condicionando así el crecimiento y mantenimiento natural de las comunidades vegetales; asimismo, esta práctica impacta negativamente a los procesos de polinización, y por ende a la producción de miel en la zona. Algunas personas solo manejan rebaños de cabras, otros tienen una que otra vaca. Muchos de ellos tienen burros, caballos, mulas, cerdos y gallinas en sus casas. En la comunidad de Totalco existen alrededor de 24 productores de ganado caprino, dichos productores se dedican a la venta de queso de cabra principalmente, aunque también venden cabritos.

Debido a que las condiciones climáticas y edáficas que presenta el área de San Antonio Limón Totalco no son apropiadas para la agricultura, la poca actividad agrícola que existe se realiza, en su mayoría, bajo las condiciones naturales de la zona.

Presencia y coordinación institucional.

Los actores que han venido participando el desarrollo de diversas actividades han sido el Gobierno del Estado, a través de la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) el Instituto de Ecología, A.C. (INECOL), el Ayuntamiento del municipio de Perote, la Universidad Veracruzana, el Instituto Tecnológico Superior de Perote y los Comités de Participación Ciudadana. Estas son las instituciones que se encargarán de impulsar y promover el cumplimiento de los objetivos y programas establecidos en el programa de manejo de esta Área Natural Protegida.

Asimismo, existen diversas instituciones y organizaciones de la sociedad civil interesadas en la conservación de los recursos naturales. Para el logro de los objetivos del programa de conservación y manejo del área, resulta fundamental una participación interdisciplinaria, en la que se involucren los sectores público, social y privado, entre otros. Por ello, en cumplimiento de la normatividad en esta materia, se deberá conformar un comité asesor, el cual, además de ser una instancia de consulta y asesoría para el seguimiento y evaluación

de los logros obtenidos dentro del área, será un espacio de participación de los usuarios, propietarios y poseedores involucrados.

Por todo lo anterior, surgió la imperiosa necesidad de sumar voluntades institucionales y gubernamentales para la protección de esta zona mediante la creación de esta nueva Área Natural Protegida y, posteriormente la implementación de su Programa de conservación y manejo, conceptualizado este último como el documento rector que establecerá las acciones pertinentes para alcanzar los objetivos de conservación y manejo del ecosistema y su biodiversidad, con base en la gestión, la investigación y la difusión. Integrará, además, los mecanismos y estrategias necesarias para el adecuado manejo y administración del área, en congruencia con los lineamientos de sustentabilidad que establecen los planes de desarrollo en los tres niveles de gobierno, así como los compromisos adquiridos en el marco de la Estrategia Estatal para el uso y conocimiento de la Biodiversidad.



Alrededores de la planta. Perote, Ver. Granjas Carroll de México, S de RL de CV.

ÁREA PRIVADA DE CONSERVACIÓN “LA RECOMPENSA”

La conservación de tierras privadas es un componente importante de una estrategia nacional para la protección y el uso sustentable de los recursos naturales. La conservación de tierras en manos privadas representa un aporte significativo que muchas veces no está al alcance de los organismos de gobierno.

El Área Privada de Conservación “La Recompensa”, es una reserva ecológica privada promovida por Granjas Carroll de México, S. de R. L. de C.V., que tiene como objetivo la implementación de un programa de manejo con sub-programas a desarrollar a largo,

mediano y corto plazo, sin obviar la generación de información e investigación para la conservación.

La Ley No. 62 Estatal de Protección Ambiental (LEPA) define a las Áreas Naturales Protegidas como zonas donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservados o restaurados. De acuerdo con la LEPA, la clasificación y categorías de los Espacios Naturales Protegidos son: a) Categorías de Áreas Naturales Protegidas y b) Categorías de Áreas Privadas de Conservación (APC).

Estas últimas, tienen como principal objetivo preservar e interconectar ambientes naturales, salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, lograr el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y mejorar la calidad del ambiente en los centros de población y sus alrededores.

Bajo la categoría de Área Privada de Conservación, en 1997 se certificaron 26 hectáreas en el predio denominado La Recompensa, ubicado en el ejido Estanzuela, Municipio de Altotonga. Su creación, planteó tres líneas de trabajo: 1) la protección, 2) la restauración, y 3) implementar un instrumento de proyectos de desarrollo sostenible.

El Área Privada de Conservación “La Recompensa”, también contiene un programa de trabajo diferido en cinco etapas que son:

1. Gestión-inventario de la condición actual del entorno.
2. Ambiente-meta.
3. Plan de manejo del hábitat.
4. Programa de restauración.
5. Evaluación y seguimiento a largo plazo.

Descripción

El Área Privada de Conservación “La Recompensa” se localiza en la región del altiplano de México, conocida como Valle de Perote, en el municipio de Altotonga (Morales-Mávil, *et al.*, 2013), y cuenta con una superficie de 26 hectáreas.

En esta región se ubica una prolongación importante del sistema montañoso de México, que es la Sierra Madre Oriental y el Cinturón Neovolcánico que cruza el país. Estas formaciones incluyen el Pico de Orizaba con una altitud de 5 mil 747 metros sobre el nivel del mar y el Cofre de Perote o Naucampantepetl, con una topografía accidentada, correspondiendo a una zona de transición entre el Trópico Húmedo y el Altiplano. La

altitud en el Valle de Perote oscila entre los 2 mil 100 y los 2 mil 700 metros sobre el nivel del mar.

Estudios como los de García (1970) y Gómez-Pompa (1978) incluyen factores a los cuales responde la vegetación, tales como la cantidad de lluvia en la época de sequía y la variación de temperatura entre los meses más calientes y los más fríos. El clima según Köppen modificado por García (1989), es BsB'w', que corresponde al más húmedo de los semiáridos, templado con verano cálido, lluvioso y poca oscilación térmica. Existe una variación anual de temperatura entre los 2° C y 18° C (Medina y Angulo, 1990).

El tipo de suelos que predomina son los litosoles y regosoles, mismos que conforman un grupo complejo. Un factor común en ellos es la ausencia de horizontes desarrollados con roca madre en diferentes estados de descomposición (volcánico y rocas calizas). El suelo es muy delgado y se localiza entre rocas; es rico en componentes de calcio, los cuales influyen sobre la vegetación. Los suelos producen localmente un ambiente más seco debido al alto drenaje y a una retención escasa de agua.

Descripción del medio biológico

Fauna

Su fauna, al igual que en todas las tierras frías y de elevadas alturas, está compuesta de notables especies silvestres reconocidas por las comunidades de la región de Perote, tales como armadillo (*Dasypus novemcinctus*), ardilla (*Sciurus sp.* y *Spermophilus sp.*), conejo (*Silvilagus sp.*), coyote (*Canis latrans*), gato montés (*Felis silvestris*), liebre (*Lepus sp.*), mapache (*Procyon lotor*), tlacuache (*Didelphis marsupialis*), zorrillo (*Mephitis macroura*), águila real (*Águila chrysaetos*), codorniz (*Coturnix coturnix*), gavilán (*Accipiter nisus*), lechuza (*Tyto alba*), paloma torcaza (*Zenaida auriculata*) y lobo (*Canis lupus*), entre otros.

Vegetación

La estructura de la vegetación es relativamente sencilla y su riqueza florística es pobre en generales, por ser una región semiárida.

En la vegetación natural de la zona aledaña a la reserva se presentan áreas de izotales (*Nolins parvifolia*, *Yucca periculosa*, *Agave obscura*), matorrales rosetófilos (*Agave obscura*, *Hechtia roseana*, *Nolina parvifolia*, *Dasyllirion acrotiche*), pastizales halófilos (*Distichis spicata*, *Bouteloa hirsuta*, *Suaeda nigra*), nopaleras (*Opuntia robusta*, *Mammillaria discolor*), entre otros; característicos de las laderas y zonas agrícolas, bosque de pinos piñoneros (*Pinus cembroides*, *Yucca filifera*, *Quercus microphylla*, *Nolina*

parviflora). En el malpaís y en los cerros calizos se pueden encontrar izotales, matorral rosetófilo y nopaleras (Rzedowski 1978, Gerez 1985).

Diagnóstico y problemática

Tras realizar el diagnóstico de la zona colindante al APC “La Recompensa” se logró determinar que el sitio se encuentra altamente fragmentado; por lo tanto, la iniciativa de su conservación realizará actividades para la recuperación ambiental para con ello contribuir al restablecimiento de las estructuras de la vida silvestre, teniendo como único riesgo la expansión urbana de las poblaciones cercanas. En cuanto a las recomendaciones de manejo para dicha APC, Granjas Carroll sugiere establecer programas de educación ambiental, a fin de sensibilizar a los pobladores adyacentes a esta zona.

CONCLUSIONES

En México y en el mundo, cada vez es más clara la necesidad de considerar como tema prioritario el cuidado, protección y restauración de los ecosistemas, así como subsanar la falta de actualización, aplicación, regulación, cumplimiento de la legislación ambiental existente y su marco regulatorio. También es necesario integrar, en una visión a largo plazo, los procesos de planeación con la indispensable pero inexistente continuidad de los programas y acciones estatales y municipales; fenómeno que se produce ante los cambios de la administración pública, de las autoridades y de los tomadores de decisiones.

En materia legislativa es necesario realizar estudios exhaustivos de leyes hacendarias que consideren el análisis del costo-beneficio de los servicios ambientales contra el deterioro ambiental ocasionado por la instrumentación de programas de desarrollo que no toman en cuenta los daños ambientales que generan; tal es el caso de la autopista Perote-Puebla, que partió en dos un área natural con las características necesaria para ser protegida con prioridad.

Es imperativa la puesta en práctica de la corresponsabilidad ambiental con procesos participativos efectivos de gestión de los recursos naturales, compartida entre el gobierno y la sociedad (Morales-Mávil *et al.*, 2013) como es el caso del APC “La Recompensa”. Actualmente, para cumplir con la normatividad ambiental, y dadas las circunstancias económicas, se requiere de alternativas que comiencen a establecerse a nivel nacional: políticas públicas para legitimar las funciones en general y, en concreto, las de inspección y vigilancia, como el programa de auditoría ambiental, con la finalidad de impulsar la política ambiental desde otras perspectivas.

Se requiere también del fortalecimiento de esquemas de coordinación de políticas públicas que consideren, en un mediano plazo, la transectorialidad y la descentralización en materia de biodiversidad.

Finalmente, es indispensable fortalecer la concurrencia del Poder Ejecutivo Estatal y municipal para que se ejercite y fortalezca la legislación ambiental vigente y la gestión ambiental, en aras de conocer su efectividad, y en su caso tomar las medidas necesarias a efecto de satisfacer las necesidades y el bien común de los ciudadanos. Asimismo, se requiere integrar al sector privado a las acciones de participación y seguimiento para salvaguardar lo mejor posible el principio del desarrollo sustentable: mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, fundado en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

Ambas iniciativas, San Antonio Limón Totalco y La Recompensa, contribuyen a conseguir este fin en el Valle de Perote; representan la preservación de un reservorio de la biodiversidad original y del capital natural para las sociedades que con ella conviven.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assessment, M. E. (2005). *Ecosystems and human well-being: desertification synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC. 36 pp.
- Balée, W. (1998). "Historical ecology: premises and postulates". En: W. Balée (Ed.). *Advances in historical ecology*. Columbia University Press. Nueva York, pp. 13-29.
- Bruner, A. G., Gullison, R. E., Rice, R. E. Rice y Da Fonseca, G. A. B. (2001). "Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity". *Science* 291, pp.125-128.
- Challenger, A. (1998), *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, pasado, presente y futuro*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México, 847 pp.
- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (1988). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, Diario Oficial de la Federación, 28 de enero de 1988.
- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (2000). *Ley General de Vida Silvestre*, Diario Oficial de la Federación, 3 de julio de 2000.

- Convenio de la Diversidad Biológica. (1992). Página web: www.cbd.int _Organización de las Naciones Unidas (ONU). Río de Janeiro.
- Coordinación General De Medio Ambiente (CGMA) (2009). *Espacios Naturales Protegidos del Estado de Veracruz*. Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente. Documento interno, 4 pp.
- Dudley, N. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). Suiza. 116 pp.
- García, E. (1970). "Los climas del estado de Veracruz". En: *Anales del Instituto de Biología, UNAM. Serie Botánica*, 41(1): pp. 3-42.
- Gerez-Fernández, P. (1985). "Uso del suelo durante cuatrocientos años y cambio fisionómico en la zona semiárida Poblano-Veracruzana", *Biótica* N° 10, pp. 123-144. México.
- Gobierno del Estado de Veracruz (1917). *Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Veracruz de Ignacio de la Llave*, Gaceta Oficial del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 25 de septiembre de 1917.
- Gobierno del Estado de Veracruz (2000). *Ley Estatal de Protección Ambiental de Veracruz de Ignacio de la Llave*, Gaceta Oficial del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 30 de junio de 2000.
- Gobierno del Estado de Veracruz (2005). *Plan Estatal de Desarrollo 2005-2010*, Gobierno del Estado de Veracruz, México.
- Gómez-Pompa, A. (1978). *Ecología de la vegetación del Estado de Veracruz*. Compañía Editorial Continental S. A. CECSA e Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos A. C. México, D. F.
- Montero, G. A. (2014). "Ecología de las interacciones entre malezas y artrópodos". Capítulo X, pp. 267-305. En: Fernández, OA; HA Acciaresi & ES Leguizamón (eds.). *Malezas e Invasoras de la Argentina: ecología y manejo*. Tomo I. Editorial Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 964 pp.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Limusa. México, D. F. 432 pp.
- Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente, SEDESMA (2008). *Síntesis de los espacios naturales protegidos del estado de Veracruz*, Coordinación Estatal de Medio Ambiente CEMA, Gobierno del Estado de Veracruz, 20 pp.

- Soto, M., & García, E. (1989). *Atlas climático del estado de Veracruz*, (Vol. 25). Instituto de Ecología., Xalapa, Ver., México.
- Soto, M., F., Lozano, A. Diez C. Mejía y J. Villa. (1977). "Estudio piloto de la vegetación en la región de Alchichica-Perote por medio de percepción remota". *Biótica* N° 20, pp. 171-197.
- Vázquez-Torres, M. (2008). *Los nombres de las cosas que comemos*. Editora del Gobierno del Estado de Veracruz. 149 pp.
- Vázquez-Torres, M., Carvajal, C. y A.M. Aquino (2010). "Áreas Naturales Protegidas". En: E. Florescano & Ortiz, J.(Coords.). *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. I Patrimonio natural*. Comisión del Estado de Veracruz para la conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. Veracruz, México.

PERFIL REGIONAL DEL VALLE DE PEROTE, VERACRUZ

Marco Aurelio Morales Martínez*
Carolina Andrea Ochoa Martínez*
Carlos Manuel Welsh Rodríguez*
Pablo Rivera Amaya*

INTRODUCCIÓN

Frente a los grandes contrastes que se observan en el desarrollo socioeconómico de la población asentada en los diferentes ámbitos geográficos de nuestro país, resulta razonable identificar y conocer las características económicas de una zona o región geográfica que puedan representar una ventaja competitiva para el logro de un desarrollo regional sustentable y del bienestar social.

Con esa intención, en este capítulo se presenta una breve descripción del perfil económico regional del Valle de Perote, situado en dos porciones colindantes de las entidades federativas de Veracruz y Puebla. Es una zona cuyo crecimiento se centra principalmente en el sector primario, aportando una importante contribución a la producción ganadera, particularmente porcina, en función precisamente de su ubicación geográfica y de sus características regionales.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y CONTEXTO NATURAL

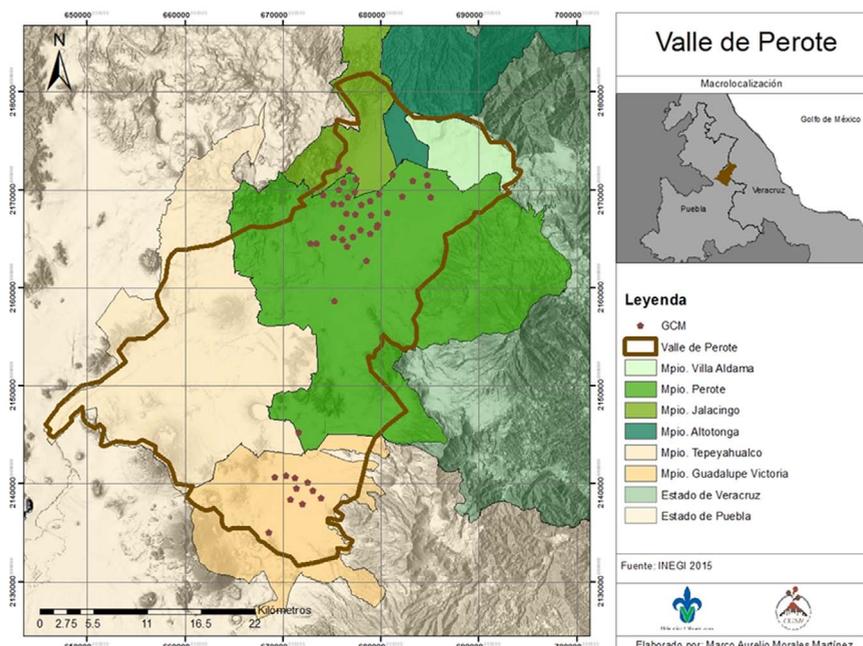
La porción veracruzana del Valle de Perote se ubica en la zona central y montañosa del Estado de Veracruz entre los paralelos 19° 22' y 19° 39' de latitud Norte; los meridianos 97° 06' y 97° 26' de longitud Oeste; lo delimita al Norte la Sierra de Jalacingo, al Sur el Volcán Cofre de Perote (Inegi-Orstom, 1991), o *Nauhcampatépetl (Cerro de los Cuatro lados)*, que es la octava más alta de México con sus 4 mil 282 metros sobre el nivel del mar.

La altitud en el valle oscila entre los 2 mil 250 y los 2 mil 500 msnm (Ellis, 2012). Al Este lo limita una topografía accidentada, que corresponde a una zona de transición entre dos ambientes muy contrastados: el trópico húmedo y el altiplano, localizado precisamente en la parte sur de la Sierra Madre Oriental, siendo la única incursión del estado de Veracruz en el altiplano.

* Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, marcmorales@uv.mx, caochoa@uv.mx

Estas condiciones hacen que el clima en el área sea templado, con temperaturas medias anuales de 12 a 18°C, con mínimas de alrededor de -3°C en su mes más frío. Considerando como barrera natural al Cofre de Perote, impidiendo la entrada al Valle de los vientos cálidos del Golfo. Se presentan dos subtipos de clima, el templado subhúmedo con lluvias en verano y el seco semiárido con lluvias en verano y estación seca en invierno (Flores, 2012).

Figura 1.
Mapa de influencia y presencia de las Granjas Carroll en el Valle de Perote.



El área del Valle se encuentra en los territorios de cuatro municipios de Veracruz y dos municipios del estado de Puebla, de acuerdo con la encuesta intercensal 2015, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (Ver Figura 1).

El municipio de Perote el de mayor importancia en el Valle, cuenta con una población total de 72 mil 795 personas, y actualmente está conformado por 57 colonias en la cabecera municipal y 22 comunidades, entre las que destacan: Ejido 20 de Noviembre, Los Pescados, La Gloria, El Escobillo, Tenextepec, El Conejo, Xaltepec, Justo Sierra, Rancho Nuevo, Vidal Díaz Muñoz, El Progreso y la Colonia 20 de Noviembre. Mientras que en el Valle se encuentran las localidades de San Antonio el Limón Totalco, San José del Carmen,

Zalayeta, Francisco I. Madero, Guadalupe Victoria, Libertad, Los Molinos, Sierra de Agua y El Frijol Colorado (Gobierno Municipal, 2014).

ACTIVIDADES PRIMARIAS EN EL VALLE

El Valle de Perote tiene un suelo con aptitud para el desarrollo del sector primario; no obstante, éste sólo emplea al 27.5% de la población económicamente activa (PEA) (INEGI, 2015).

El municipio de Perote también destaca por ser el mayor contribuyente a la población económicamente activa del Valle, aportando el 10.6% de la PEA regional, porcentaje que corresponde al 33.5% de la PEA total de ese municipio.

Agricultura

Los principales cultivos son los de papa y maíz en grano (ver Tabla 1), aunque también se tiene trigo, haba en grano, zanahoria, frijol, avena, cebada forrajera, chícharo, maíz forrajero, cebada en grano, lenteja y girasol (SIAP, 2014)

Tabla 1.
Principales productos agrícolas del Valle de Perote.

Principales cultivos	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Volumen (Ton)	Valor (Miles de pesos)
Papa	1,500.00	1,500.00	58,860.00	322,063.10
Maíz grano	26,067.00	26,067.00	43,150.40	167,452.70
Haba grano	2,935.00	2,935.00	5,767.50	52,088.00
Zanahoria	200.00	200.00	8,102.00	20,430.00
Fuente: SIAP, 2014				

La vertiente oriental del Valle de Perote —es decir la porción que corresponde al estado de Veracruz— es la que tiene una vocación acentuada para la producción de papa, maíz y haba, situación condicionada por tipo de suelo, régimen pluviométrico, temperatura y presencia de condiciones ambientales propias de montaña.

Es necesario señalar que, las condiciones atmosféricas en la montaña tales como: frentes fríos, corriente de chorro, helada fuera de temporal, son responsables de afectar la producción agrícola de la zona con efectos negativos en el corto y mediano plazo.

En este contexto, el municipio de Perote dispone de una superficie total de 25 mil 941 hectáreas, de las cuales 21 mil 938 son tierras de cultivo, divididas en 3 mil 341 unidades de producción (Gobierno Municipal, 2014).

Para el caso del municipio de Guadalupe Victoria, en el estado de Puebla, la producción del sector primario es cercana a 2% del total del Valle, de acuerdo a datos del SIAP; sin embargo, dicha producción representa cerca de 12% de la producción ganadera de este estado, “muy probablemente por la presencia de las granjas porcícolas ubicadas en la región” (SIAP, 2014).

Ganadería

Las principales especies en el Valle de Perote son bovinas, ovinas, caprinas y porcinas, siendo estas dos últimas las más destacadas, debido a la presencia de la empresa Granjas Carroll de México, S. de R. L. de C. V., de carácter internacional con presencia en Veracruz y Puebla.

De acuerdo con el Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP), hacia 2014, la actividad ganadera más importante era la porcina con una producción de 275 mil 231 cabezas, seguido del ganado vacuno con 648 cabezas.

La Tabla 2, muestra las principales especies de producción cárnica en el Valle, se observa con claridad la dependencia del sector respecto a la ganadería porcina, la cual representa en términos económicos cerca del 93.6 % del valor de producción de carne en canal.

Tabla 2.
Producción de carne en el Valle de Perote.

Especie	Volúmen de producción en pie (Ton)	Valor de producción en pie (Miles de pesos)	Volumen de producción de carne en canal (Ton)	Volumen de producción de carne en canal (Miles de pesos)
Total	132,418.20	2,895,809.70	102,968.60	3,788,703.10
Bovino	1,671.30	40,184.80	848.00	35,990.30
Porcino	128,785.00	2,808,042.50	100,834.00	3,546,177.70
Ovino	657.80	19,338.60	331.10	17,444.20
Caprino	338.20	8,024.80	168.60	8,109.10
Áve	939.90	19,244.80	768.70	180,068.00
Guajolote	26.00	974.20	18.20	913.80
Fuente: SIAP, 2014				

El municipio de Guadalupe Victoria, Puebla, destaca con respecto a la producción ganadera, configurándose como el segundo productor en su estado y el primero del Valle con 37.27% de la producción de carne en canal, lo que representa 42% del valor de la producción total de dicha zona.

Se puede decir entonces que un factor determinante en el crecimiento económico y en el desarrollo del Valle de Perote es la actividad relacionada con la producción porcícola, la cual aporta cerca del 94 % del valor de la producción de carne en todo el Valle. Esta actividad, además de generar empleos directos, es responsable de posicionar a la región en el contexto nacional.

Sector Forestal

El tercer lugar en importancia en el sector primario del Valle es el subsector forestal, el cual generó una producción total en 2013 de 124 mil 767 m³, de los cuales 119 mil 74 m³ correspondieron a madera pino, 2 mil 604 m³ a encino, 225 m³ a maderas comunes tropicales y 2 mil 864 m³ a otros tipos de especies maderables; lo anterior se logró por medio de 63 autorizaciones de aprovechamiento forestal (INEGI, 2014).

LA INDUSTRIA

El sector secundario emplea a 17 mil 923 personas las que representan 28% de la población económicamente activa. En función de las condiciones geológicas de la región, existe una producción de sustratos básicos y necesarios para la industria de producción de tabique y ladrillo.

Estas actividades concentran cerca del 10% de la actividad económica del municipio de Perote, con la presencia de al menos seis empresas registradas para la producción refractaria de tabique con tepezil, el cual es una grava que se encuentra generalmente en lugares de origen volcánico, situación que permite a la región posicionarse en esta industria.

LOS SERVICIOS

El sector de servicios es el que concentra el mayor porcentaje de la población económicamente activa del Valle de Perote, agrupando al 40%. También en este rubro, el municipio de Perote es el que tiene mayor participación en este sector, concentrando doce tiendas DICONSA, un tianguis, un mercado público, un rastro y 32 centros de acopio de productos básicos (INEGI, 2014).

Dicha situación que puede estar condicionada por la cercanía de la cabecera municipal de Perote con el puerto de Veracruz, a través de la carretera federal que cruza Xalapa por una parte; y por otra, por su fácil acceso y comunicación con la meseta central y el altiplano a través de la carretera federal a Puebla. Esta posición hace del municipio de Perote un punto estratégico para la comunicación de personas y mercancías, con una red viaria que dispone de 91.7 kilómetros de carreteras, de las cuales 32.7 kilómetros corresponden a vías federales pavimentadas, y 17.3 kilómetros son carreteras estatales-rurales.

Esta red de carreteras está integrada por los siguientes tramos: Teziutlán - Perote, Zacatepec - Xalapa, Guadalupe Victoria - Los Altos, Perote - Cofre de Perote, Zalayeta - Xaltepec, y Sierra de Agua - Los Pescados - El Conejo. Perote se encuentra a 50 minutos de la Ciudad de Xalapa por carretera libre, y a 20 minutos por autopista (Gobierno Municipal, 2014).

SALUD PÚBLICA

A causa de la escasez de lluvias, la geografía y las condiciones ambientales propias de la región montañosa central, las instituciones médicas que aportan servicio de salud pública dan frecuentemente atención a enfermedades infecciosas causadas por virus o bacterias, parasitarias o alérgicas produciendo urticaria.

Hoy en día, los municipios del Valle de Perote cuentan con 45 unidades de consulta externa, así como con tres hospitales pertenecientes a instituciones como el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de Trabajadores del Estado (ISSSTE), y la Secretaría de la Defensa Nacional. Estas instituciones, junto con diversas clínicas y consultorios particulares, se encargan de dar servicio médico a la población otorgando vacunas, medicinas, así como campañas de beneficio social, que prevengan toda clase de contagios, enfermedades respiratorias, digestivas, infecciosas, parasitarias, alérgicas y funcionales principalmente, que por las condiciones climatológicas son de fácil transmisión.

Especial mención hay que hacer a los primeros casos de influenza H1N1 que se reportaron en la comunidad de La Gloria en los últimos días del mes de marzo del año 2009, siendo presuntamente el primer brote de esta epidemia en el país. La empresa Veratect, empresa estadounidense dedicada a la bio-vigilancia, emitió una advertencia al respecto a la Organización Mundial de la Salud (OMS) desde el día 2 de Abril. No obstante, es importante señalar que no existe evidencia científica fehaciente que demuestre una relación

directa entre la producción porcícola de la zona con el que, en su momento, fue llamado el Caso I de dicha epidemia.

SERVICIOS PÚBLICOS

Los servicios públicos que proporcionan los municipios localizados en el Valle son: limpieza y alumbrado público, energía eléctrica, seguridad, tránsito, agua potable y alcantarillado. Además de parques, jardines, centros culturales, recreativos y deportivos; así como servicios de central de abastos, mercados públicos, transporte, rastros, panteones, equipamiento y vialidad.

Los municipios del Valle correspondientes al estado de Veracruz, cuenta con 273 fuentes de abastecimiento de agua, con un promedio diario de extracción de 23 mil 600 m³. No existe registro de plantas potabilizadoras, por lo que no es posible reportar el volumen suministrado anual de agua potable. Se constata la existencia de diez tomas de agua que abastecen a los cuatro municipios veracruzanos. En cuanto a drenaje y alcantarillado, 45 localidades de dichos municipios cuentan con su propio sistema de drenaje y alcantarillado (INEGI, 2014 y 2015).

Además, en el Valle, existen 46 mil 891 tomas instaladas de energía eléctrica, distribuidas en 68 localidades, todas correspondiente al estado de Veracruz (INEGI, 2015).

Por su parte, la porción del Valle correspondiente al estado de Puebla tiene una cobertura en servicio de agua del 94.5% y de drenaje de 71.9%, así como un 96.9% de cobertura del servicio eléctrico.

Por último, en el municipio de Perote existen diversos lugares donde los habitantes pueden asistir de manera gratuita a divertirse; entre los espacios de esparcimiento se encuentran diversos campos deportivos, parques, la Plazuela del Centenario, el Centro Peroteño, que hasta hace poco era un salón de usos múltiples, así como el Auditorio Municipal, ubicado dentro del Palacio Municipal, teniendo diferentes utilidades como salón de fiestas, de actos cívicos, cancha deportiva, entre otros.

EDUCACIÓN

En el Valle de Perote se atiende desde nivel básico hasta nivel superior, tanto en sistema abierto como escolarizado, contando con carreras técnicas de computación, contador público y secretariado.

En el caso de los municipios veracruzanos del Valle de Perote, éstos cuentan con 345 planteles educativos, los cuales se desglosan de la siguiente manera: tres de Educación Inicial, ocho de Educación Especial, 115 de educación preescolar, 128 Primarias, 60 Secundarias, 29 Bachilleratos y dos institutos de nivel superior.

Además el Valle en su parte Veracruzana, tiene cuatro centros de educación para adultos y doce centros de formación para el trabajo. Estos centros educativos conglomeran a 2 mil 678 profesores y atienden a 28 mil 913 hombres y 28, 780 mujeres (SEV, 2014 y INEGI, 2014). La biblioteca pública, ubicada en el Palacio Municipal de Perote, al igual que la casa de cultura, son también una puerta abierta a la población.

COMENTARIOS FINALES

Era necesario indagar a fondo los aspectos fundamentales de los procesos económicos y sociales de la región, estudiando el desarrollo real y potencial de sus actividades productivas en su relación con la evolución de la economía nacional; lo anterior, tomando siempre en cuenta las particularidades y singularidades de las condiciones geográficas y ambientales del Valle de Perote.

Mientras tanto, ofrecemos tres conclusiones generales:

- El sector agrícola del Valle de Perote muestra una dependencia de tres productos: papa, maíz y haba.
- La actividad del sector forestal muestra una débil incidencia en el crecimiento económico de la región.
- El crecimiento del sector ganadero porcícola no sólo va en aumento, sino que posiciona al Valle de Perote en el mapa nacional por su producción y su impacto en el desarrollo regional, generando empleos directos e indirectos. No obstante, este desarrollo tiene todavía la potencialidad de propiciar y contribuir mayormente al desarrollo local y regional, por ejemplo, favoreciendo de manera directa los mercados locales para el suministro de los insumos necesarios para el sector porcícola; paralelamente, la producción local de los mismos debe cumplir con los requisitos de calidad que exige esta actividad. De lograrse, esta relación sería la de ganar-ganar, tanto para la población local como para las empresas, en este caso Granjas Carroll.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ellis E. A., Martínez B. M. (2010). "Vegetación y uso de suelo", en: Florescano E., Ortiz E. J., Benítez B. G., Welsh R. C. (Coords). *Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural de Veracruz, Tomo 1 Patrimonio Natural*. Comisión Organizadora del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave para la conmemoración del Bicentenario de la Independencia y del Centenario de la Revolución Mexicana. Xalapa, Veracruz. pp. 203-226.
- Flores R. N. F. (2012) "Potencial de Captura y Almacenamiento de CO₂ en el Valle de Perote, Estudio de Caso: Pinus cembroides subsp. orizabensis D.K. Bailey". *Foresta Veracruzana, Recursos Genéticos Forestales*. 14(1) pp. 17-22
- Gobierno Municipal de Perote (2014). *Programa municipal de protección civil 2014- 2017*. Documento oficial del Gobierno Municipal de Perote, Veracruz 2014-2017. pp:97.
- INEGI-ORMSTROM (1991). *Cuaderno de información básica región Cofre de Perote*. Instituto de Geografía, Estadística e Informática. 1991.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2014). *Anuario Estadístico y Geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave 2014*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, c2014. pp. 1079.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2015). *Encuesta Intercensal 2015*. Consultado 5-10-2016, disponible en [<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>] .
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP (2014). Disponible en [<http://www.gob.mx/siap/articulos/expectativas-de-produccion-agropecuaria-y-pesquera?idiom=es>]
- Secretaría de Educación de Veracruz, SEV (2015). *Prontuario Estadístico 2014-2015*. Consultado 6-02-2016. Disponible en [<http://www.sev.gob.mx/servicios/anuario/>]

INVESTIGACIÓN
VINCULACIÓN Y
DESARROLLO

EQUIPO METEOROLÓGICO

Manuel García Espinosa*
Wilfrido Gutiérrez López*
Miguel Robles Roldán*
Cecilia Conde Álvarez*

¿QUE ES UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA?

Una manera sencilla de describir lo que es una estación meteorológica sería de la siguiente forma: Es un conjunto de instrumentos destinados a realizar mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros o variables meteorológicas, utilizando los transductores adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos, así como para estudios climáticos.

Figura 1.
Ejemplos de estaciones meteorológicas.

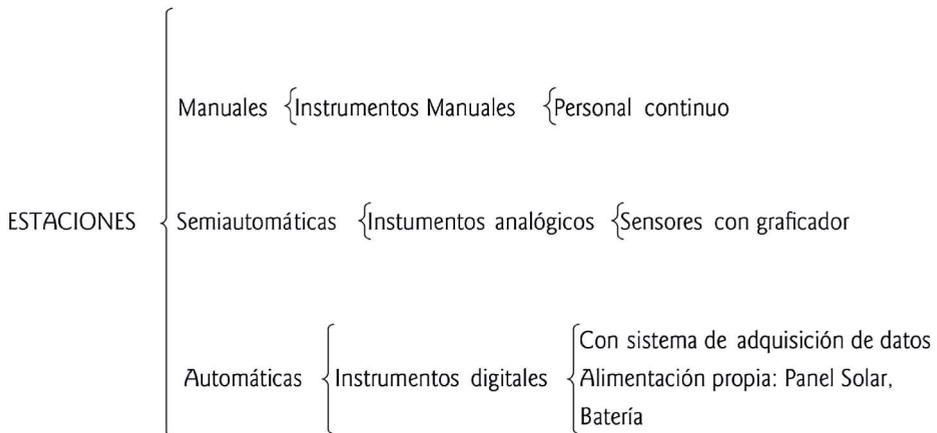


Las estaciones meteorológicas se clasifican en tres grupos principales: 1) manuales, 2) semiautomáticas y 3) automáticas. Las primeras consisten de instrumentos o manuales de uso personal continuo. Las segundas constan de instrumentos analógicos tales como los sensores con graficador. Las terceras, automáticas constan de instrumentos digitales

* Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM),
mgare@atmosfera.unam.mx, wili@atmosfera.unam.mx

con sistemas de adquisición de datos, con alimentación propia ya sea a través de paneles solares o baterías (Tabla 1).

Tabla I.
Clasificación de las estaciones meteorológicas



Las partes principales que componen una estación meteorológica automática (EMA) son las siguientes: 1) sensores con señal analógica y/o digital, 2) adquisidor de datos o unidad de control, y 3) sistema de energía autónomo. Las que se encuentran instaladas en la empresa Granjas Carroll son EMA's por lo que a continuación, se hablará sólo de este tipo.

Estación Davis:

Características: Marca Davis, modelo Vantage Pro 2 (figura 2).

Figura 2.
Estación Automática Davis



Las variables que este tipo de estación se encarga de medir son temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, cantidad de lluvia, radiación solar y radiación ultravioleta, que a continuación se describen.

Temperatura ambiental

Es la medida mediante un sensor de tipo circuito integrado. Para que la lectura sea válida se debe de cumplir la normatividad de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés). Debe ser instalado a la sombra; para esto, se utiliza un abrigo meteorológico a fin de protegerlo del sol directo o la lluvia. Las unidades en que se reporta esta variable son grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$).

Humedad relativa

Este transductor es fabricado mediante la utilización de sales higroscópicas las cuales tienen la propiedad de absorber o repeler la cantidad de agua; mediante este comportamiento físico da la información sobre la cantidad de agua que contiene la atmósfera. Al igual que el de la temperatura, también debe ser instalado a la sombra dentro de un abrigo meteorológico. La WMO define que esta variable sea reportada en %. En esta estación vienen integrados en el mismo encapsulado tanto el sensor de temperatura como el de humedad relativa. A este tipo de arreglo se le conoce como termohigrómetro. La figura 3 muestra la ubicación del termohigrómetro dentro de su abrigo meteorológico.

Figura 3.
Ubicación del termohigrómetro



Dirección de Viento

Al instrumento que se encarga de dar la información acerca de donde proviene el viento se le conoce como veleta. Está formado por una resistencia variable que nos entrega una señal analógica correspondiente a la posición unida a una flecha equilibrada en su centro, la cual apunta hacia el lugar de donde proviene el viento. Se reporta la posición en grados o en puntos cardinales.

Velocidad de Viento

Al instrumento que mide esta variable se le conoce como anemómetro. Está formado por un conjunto de tres copas colocadas equidistantes, horizontales, que giran sobre un punto y unidas a un sensor que realiza la conversión de número de vueltas a una señal digital.

La unidad básica de medición son los metros/segundo, aunque a veces se usan los kilómetros/hora. Al conjunto de veleta y anemómetro se le conoce como sistema de viento (Figura 4).

Figura 4.
Partes que componen el sistema de viento.

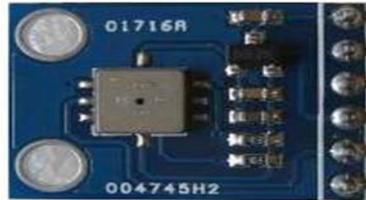


Presión Atmosférica

El instrumento que se conoce como barómetro, es el transductor responsable de sensar los cambios en la presión atmosférica; se encuentra basado en la compresión y expansión de una membrana de silicón y mediante un circuito electrónico convierte ese movimiento en una señal digital. Las unidades en las que entregan los datos son milibares.

Este instrumento se encuentra localizado dentro del cerebro de la estación y es similar al que se presenta en la figura 5.

Figura 5.
Barómetro digital.



Cantidad de lluvia

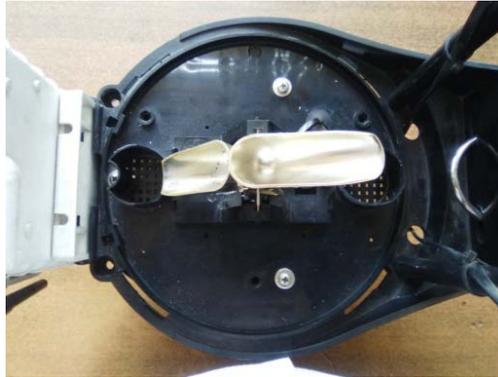
El instrumento que se utiliza para medir la cantidad de lluvia en una zona determinada (precipitación pluvial) se le conoce como pluviómetro. La medición la realiza mediante un embudo que captura el agua y la deposita en un balancín el cual está calibrado para una cierta cantidad establecida de agua, y al llegar a su límite, gira colocando la parte vacía en posición para que sea llenado nuevamente (Figuras 6 y 7). La unidad de medición para esta variable está definida en milímetros y representa la cantidad de un litro contenida en un metro cuadrado.

Figura 6.
Embudo del pluviómetro.



Figura 7.

Balancín del pluviómetro.



Radiación solar

El instrumento llamado piranómetro mide la radiación solar global. Lo hace mediante la utilización de una termopila, la cual envía una señal analógica de acuerdo a la cantidad de energía recibida (Figura 8). Su unidad de medición son los Watts por metro cuadrado (W/m^2). La radiación global que mide este instrumento comprende la banda de luz visible (380-780 nanómetros).

Radiación ultra violeta

El sensor de luz ultravioleta emplea el mismo principio que el piranómetro (Figura 8). La diferencia estriba en la banda de medición, la cual comprende el espectro invisible UVA (320-400 nm.) y UVB (280-320 nm). Es adimensional y se reporta en índices (0-16). Su medición es de gran importancia, ya que la luz ultravioleta es la causante de quemaduras en la piel y en algunos casos precursor de cáncer en la piel.

Figura 8.
Sensores de radiación global y UV.



Equipo meteorológico



Adquisidor de datos o unidad de control

A la unidad de control que se encarga de realizar la secuencia correspondiente de lectura de las señales que generan los sensores, manipular, procesar la información recibida, y posteriormente almacenarla en su sistema de respaldo de información (memoria) se le conoce como “sistema adquisidor de datos”.

El adquisidor para esta estación en específico, está integrado en una consola conteniendo la tarjeta electrónica de control, una pantalla de cristal líquido para ver los datos puntuales de las variables meteorológicas y un conjunto de teclas con diferentes funciones para poder visualizar manualmente las diferentes variables meteorológicas de dicha estación (Figura 9).

Figura 9.
Consola de la estación.



Sistema de energía autónomo

Este sistema se encarga de proporcionar energía eléctrica a la estación meteorológica de forma ininterrumpida. Se compone de los siguientes elementos:

- *Celda solar*

La celda solar proporciona durante las horas sol la energía necesaria para el buen funcionamiento de la estación, así como la recarga de la batería de respaldo (Figura 10).

Figura 10.
Celda solar para Vantage Pro2.



- *Batería de respaldo.*

Es la encargada de almacenar la energía que le proporciona la celda solar durante el día y así poder proporcionar la energía necesaria a la estación durante la noche para obtener un funcionamiento continuo. La batería utilizada es del tipo plomo-acido de 6 volts y 12Ah.

Figura 11.
Batería de respaldo.



- *Regulador de carga*

Tiene como función principal realizar el control de la energía que le proporciona la celda solar a la batería, evitando que se sobrecargue, protegiéndola de sobrecargas y fallas, dando una vida útil con mayor duración de tiempo en funcionamiento (Figura 12).

Figura 12.
Ejemplo de un regulador de carga.



MANTENIMIENTO A LAS ESTACIONES.

Existen dos tipos de mantenimiento que se deben de realizar a una estación meteorológica para tener un equipo en buen funcionamiento: preventivo y correctivo.

Mantenimiento preventivo: consiste en diversas acciones de revisión, limpieza y cuidados para tener un funcionamiento óptimo en el instrumento.

Mantenimiento correctivo: consiste en el cambio o compostura, y en su caso se realiza la calibración de los instrumentos reparados.

El buen funcionamiento de una estación depende de dos factores:

1. Haber elegido instrumentos de calidad y buenos proveedores; y
2. Contar con mantenimiento preventivo eficiente, el cual se resume en la Tabla 2.

Para realizar un buen mantenimiento preventivo es necesario, antes que nada, tener reunida toda la documentación de la estación, instrumentos, celda solar, baterías, entre otros aspectos, y un respaldo del programa de adquisición de datos. Después, es recomendable elaborar una serie de bitácoras que contengan la siguiente información:

- a) Fechas de adquisición de la estación
- b) Calendarización de los mantenimientos preventivos y labores a realizar (que incluyen verificación de la calibración y limpieza de los instrumentos, cambio de baterías, cambio de módulo de memoria, cambio de filtros de protección, etc.)
- c) Bitácora de vida de las baterías, para su sustitución definitiva antes de que presenten una falla.

Tabla 2.
Resumen de las tareas de mantenimiento preventivo

Mantenimiento Preventivo	Limpieza de los instrumentos
	Cambio de filtros (Termómetro, Higrómetro, Barómetro)
	Cambio de banco de baterías de alimentación
	Cambio del módulo de almacenamiento de información
	Introducir fecha y hora en la unidad de control
	Verificación del funcionamiento de la celda solar
	Verificación de la calibración de los instrumentos
	Verificar que los datos se reciben en la unidad de control y se almacenan en el módulo de memoria
Revisión de los datos en el centro de recepción	

Para lograr una mayor eficiencia y tiempo de vida de los instrumentos debe efectuarse una limpieza cuidadosa. Se recomienda seguir los siguientes consejos:

1. No utilizar materiales de limpieza que sean capaces de obstruir o corroer alguna parte del mecanismo del instrumento (alcohol natural, tinner, pinturas, etc.).
2. Usar como lubricante sólo aceite de buena calidad.
3. No descuidar la limpieza por largos períodos, ya que los instrumentos se pueden ver afectados. Hacerlo en intervalos regulares dependiendo de los instrumentos.
4. La limpieza de cada uno de los instrumentos será realizada de acuerdo a las especificaciones de éstos como lo recomienda el fabricante.
5. Limpieza de la celda solar y cambio de baterías de respaldo de la estación.

Una vez realizado en mantenimiento preventivo (prevención de fallas), el siguiente paso es verificar el buen funcionamiento de la estación revisando cada una de las variables de cada sensor, así como la revisión del funcionamiento de la celda solar y las baterías de respaldo.

La verificación se realiza comparando las mediciones obtenidas en la estación con instrumentos patrón que son llevados a campo, y tomando lecturas instantáneas por un lapso promedio, mediante ese procedimiento se puede saber si la estación está funcionando correctamente. También es importante analizar los datos procesados una vez que estos han sido bajados a la computadora con fin de encontrar si algún instrumento está presentando fallas aleatorias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Davis Instruments (2011). *Manual de la consola vantage pro2*. Hayward, CA 94545, USA. 2011.
- Davis Instruments (2011). *Manual de instalación para las estaciones vantage pro2*. Hayward, CA 94545, USA.
- Herrera Vázquez Gloria (2005). *Manual de instrumental meteorológico y métodos de observación*, 1ª reimpresión, Servicio Meteorológico Nacional, México.
- Organización Meteorológica Mundial (1996). *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos*, sexta edición, W.M.O. Ginebra, Suiza.

RED DE MONITOREO METEOROLÓGICO EN EL VALLE DE PEROTE

Berenice Tapia Santos*
Carolina Andrea Ochoa Martínez*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la meteorología ha cobrado importancia principalmente a causa de los cambios en la atmósfera y en el sistema climático. El análisis del estado del tiempo y su predicción requieren de complicadas metodologías físicas y matemáticas.

La atmósfera es el objeto de estudio común de dos disciplinas: la *Meteorología*, que se encarga de las causas, estructura, evolución y relación de los fenómenos atmosféricos en un período corto de tiempo; y la *Climatología*, que requiere de la información de cada una de las variables meteorológicas en grandes períodos para obtener valores medios, normales y otros, que permitan detectar y apreciar la interrelación de los fenómenos atmosféricos con la geografía del lugar (Ayllón, 2003).

Para ubicar los alcances del análisis que aquí se presenta, es conveniente señalar la diferencia entre dos importantes conceptos. El primero de ellos, conocido como el *Tiempo* (meteorológico) hace referencia al estado momentáneo de la atmósfera en un lugar determinado. El segundo, denominado como *Clima* se puede definir como el promedio estadístico en un período amplio, de al menos 30 años, de las variables físicas del sistema terrestre (temperatura, radiación solar, humedad, presión, precipitación, etcétera) que siguen patrones bien definidos año tras año en una región o localidad particular (CICESE, 2009).

Por otro lado, se dice que se tiene una *variabilidad climática* cuando los patrones anuales del comportamiento físico del sistema terrestre se alejan del valor climatológico esperado; es decir, se tiene una variabilidad interanual de las variables. En general, el comportamiento de las variables atmosféricas, oceánicas y de la superficie terrestre es diferente año con año; sin embargo, sólo cuando se observan valores extremos, es decir, valores que se alejan mucho del valor climatológico esperado, es cuando la variabilidad climática se considera importante (CICESE, 2009).

*Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, beretap@gmail.com, caochoa@uv.mx

Por lo tanto, predecir o pronosticar el estado del *tiempo* (de uno o varios días) o el *clima* (de una a otra estación) o el cambio del clima (de una o varias décadas), se ha convertido en una parte esencial de nuestras vidas y, más aún, de la eficiencia de nuestras actividades económicas y productivas; e incluso como una necesidad para la prevención de desastres naturales y de pérdida de vidas humanas. Por ejemplo, de una estación a otra, los agricultores necesitan saber si podrán aprovechar un invierno lluvioso y templado para sembrar hortalizas, o por el contrario, si tendrán que “sufrir” una sequía y heladas, o en el mejor de los casos utilizar ese período para fortalecer sus equipos de trabajo y mantener al mínimo el uso del agua. Asimismo, los comerciantes necesitan saber si hará frío para una mejor planeación y estrategia de venta. Por lo tanto, la predicción de la tendencia que tendrá el cambio del clima es sin lugar a dudas, el más importante de todos los pronósticos (CICESE, 2009).

De acuerdo con Martín-Vide (2003), los *datos meteorológicos* son aquellos valores numéricos que caracterizan a la atmósfera en un lugar y momento determinados, teniendo así una asignación temporal, por lo regular breve, que define al tiempo meteorológico. Mientras que una *serie climática* es una sucesión larga, temporalmente hablando, de datos meteorológicos relativos a un lugar determinado y cuyas medidas de tendencia central y de dispersión son representativas y características del lugar. La Organización Meteorológica Mundial ha recomendado el uso de períodos de 30 años para calcular las estadísticas de referencia del clima llamadas *normales climatológicas* (Vázquez, 2010).

Además, se debe considerar que, a pesar de la separación conceptual y contextual entre tiempo y clima, existe una ambigüedad en la delimitación de la longitud de los períodos a considerar. Más aún, el análisis de series climáticas de un mismo lugar puede arrojar valores ligeramente diferentes en sus resultados estadísticos, dependiendo del número de registros meteorológicos usados en la composición de las mismas series. Aunado a lo anterior, no debe perderse de vista que analizar frecuentemente una serie climática permite definir el clima de un determinado lugar, mientras que su análisis temporal nos permite conocer la evolución climática (Martín-Vide, 2003).

En resumen, la disponibilidad y el análisis de los datos meteorológicos (en tiempo real), tanto como de los climáticos —incluyendo la información sobre eventos extremos, fechas esperadas de comienzo y finalización, entre otras— resulta de vital importancia para los procesos de planeación y toma de decisiones en los diferentes sectores económicos y sociales, ya que les permite prever, sobre bases reales, sus necesarios procesos de ajuste o adaptación a corto, mediano o largo plazo (FAO, 2011).

LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS

Las variables básicas que se consideran en los estudios meteorológicos son las siguientes:

Temperatura

La temperatura juega un papel importante en todos los procesos naturales. Los cambios de temperatura determinan en gran medida la velocidad e intensidad de las reacciones químicas, físicas o biológicas que se manifiestan en la naturaleza.

Precipitación

La precipitación se conceptualiza como la cantidad de agua caída a la superficie de la tierra en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo. Se registra en milímetros, aunque es importante mencionar que un milímetro de registro de lluvia es equivalente a un litro de agua sobre un metro cuadrado.

Radiación

Lo que suele llamarse “radiación solar actual”, es técnicamente conocida como radiación solar global y es una medida de la intensidad de la radiación del sol que llega a una superficie horizontal. Esta irradiación incluye tanto el componente directo del sol como el componente reflejado del resto del cielo. Su lectura ofrece una medida de la cantidad de radiación solar que choca contra el sensor de radiación solar en cualquier momento dado, y se expresa en watts/metro cuadrado (W/m^2) (CCH-UNAM, 2012).

Índice UV

La energía del sol llega a la tierra como rayos visibles, infrarrojos y ultravioleta (UV). La exposición a los rayos UV puede causar numerosos problemas de salud, tales como quemaduras de sol, cáncer en la piel, envejecimiento de la piel, cataratas oculares e incluso puede suprimir el sistema inmune. Disponer de datos sobre los niveles cambiantes de radiación UV puede advertir sobre situaciones donde la exposición es especialmente inaceptable.

El índice UV es una medida de intensidad definida por *Environment Canada* y adoptada por la OMM. Este índice asigna un número entre 0 y 16 a la intensidad de los rayos ultravioleta detectados. La tabla 1 muestra las categorías de exposición definidas por la *Environmental Protection Agency* (EPA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos; en ella se observa que entre más cercano a cero es el número, más bajo es el peligro de quemadura por radiación solar (OMS, 2003).

Tabla 1.
Categorías de exposición por radiación ultravioleta.

Valores de índice	Categorías de exposición
0 - 2	Baja
03 - 4	Moderada
05 - 6	Alta
07 - 9	Muy alta
10 +	Extrema

Viento

El viento es el movimiento del aire que está presente en la atmósfera, especialmente en la tropósfera, y que es producido por causas naturales. La dirección del viento (de donde proviene) es identificada por medio de dieciséis puntos cardinales dentro de una rosa de viento.

La intensidad del viento se ordena según su velocidad utilizando la escala de Beaufort; esta escala se divide en varios tramos según sus efectos y/o daños causados, desde el aire en calma hasta los tornados y huracanes de categoría 5.

LA ZONA DE ESTUDIO Y ASPECTOS METODOLÓGICOS DE ANÁLISIS

A pesar de la importancia de los sistemas socio-ecológicos que cohabitan en el extenso Valle de Perote, esta región sólo contaba con dos estaciones meteorológicas ubicadas en las localidades veracruzanas de Perote y Zalayeta; es decir, esta amplia zona no cuenta con una red de monitoreo a este respecto.

Esa fue la razón por la que en el año de 2010 se iniciaron las tareas para establecer un proceso permanente de monitoreo meteorológico en el Valle; esfuerzo que fue emprendido por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en colaboración con el Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana (UV), incluyendo también la participación de la empresa Granjas Carroll S. de R. L. de C.V. (GCM).

Para el año 2014 se contaba ya con tres estaciones instaladas, dos propiedad de la UNAM y una de GCM, las cuales por su ubicación se nombraron Planta de Alimentos, Slat House e Incinerador (ver Tabla 2). Estos equipos generan información meteorológica, consistente en el monitoreo de las variables atmosféricas registradas cada media hora.

Tabla 2.
Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas.

Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Localidad
Planta de Alimentos	19° 30' 47" N	97° 19' 42" O	2370	Totalco
Slat House	19° 34' 59" N	97° 17' 14" O	2395	Perote
Incinerador	19° 36' 39" N	97° 18' 54" O	2510	Orilla del Monte

Los resultados que se ofrecen en el siguiente apartado de este trabajo tomaron como base los datos meteorológicos generados por estas tres estaciones durante el período 2011-2014.

Con ellos se construyeron y analizaron series de tiempo de corto plazo sobre las variables atmosféricas monitoreadas integrando sus medias muestrales, calculando para cada una de las estaciones:

- a) Los promedios mensuales de la variable temperatura ambiente; la temperatura máxima promedio mensual; la temperatura mínima promedio mensual; los valores más elevados de la temperatura máxima; y los valores menores de la temperatura mínima. Toda esta información se integró y se presentó por mes para que fueran comparables entre ellos.
- b) Para la variable *precipitación* los valores considerados fueron los acumulados durante cada mes (precipitación mensual acumulada).
- c) El índice de radiación solar máximo mensual.
- d) El índice de radiación ultravioleta máximo mensual.
- e) La velocidad de los vientos.

Para ubicar y valorar los resultados de la construcción y el análisis de este tipo de series de tiempo, es necesario tomar en cuenta que las series climáticas, en especial las breves, constituyen una realidad de muestras estadísticas que forman parte de un conjunto más amplio, que es el que define el “auténtico” clima de un lugar (Martín-Vide, 2003).

En particular, las series breves denominadas como “medias muestrales”, son útiles en función de que representan la única información disponible mientras no se cuente con los datos de un período más amplio observación; con este tipo de series se puede estimar

estadísticamente un margen de confianza, conocido como intervalo de confianza, de la media poblacional o valor climático.

En el caso de muestras pequeñas generalmente se utiliza la siguiente fórmula, misma que fue aplicada por nosotros, para establecer un intervalo con un nivel de confianza del 95%, es decir, cuando el nivel de significancia es igual a 0.05, es decir, $\alpha = 0.05$

$$\hat{x} \pm t_v * \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde: \hat{x} = media, s = desviación tipo, n = número de datos de la muestra y t_v = valor de las distribución t de Student para v grados de libertad = $n - 1$.

Aplicando esta fórmula a las muestras de datos generadas por cada una de las estaciones mencionadas arriba, se obtuvieron los siguientes intervalos de confianza para la temperatura promedio en el período de estudio:

Para la estación Incinerador $(9.72^{\circ}\text{C} \leq \hat{x} \leq 15.28^{\circ}\text{C})$

Para Slat House $(9.05^{\circ}\text{C} \leq \hat{x} \leq 15.15^{\circ}\text{C})$

Para la estación Planta de Alimentos $(9.25^{\circ}\text{C} \leq \hat{x} \leq 15.35^{\circ}\text{C})$

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

A continuación se presentan los resultados de un primer análisis de los datos obtenidos en el período 2011-2014, en cada una de las tres estaciones de monitoreo referidas bajo la metodología descrita en el apartado anterior.

Estación Planta de Alimentos

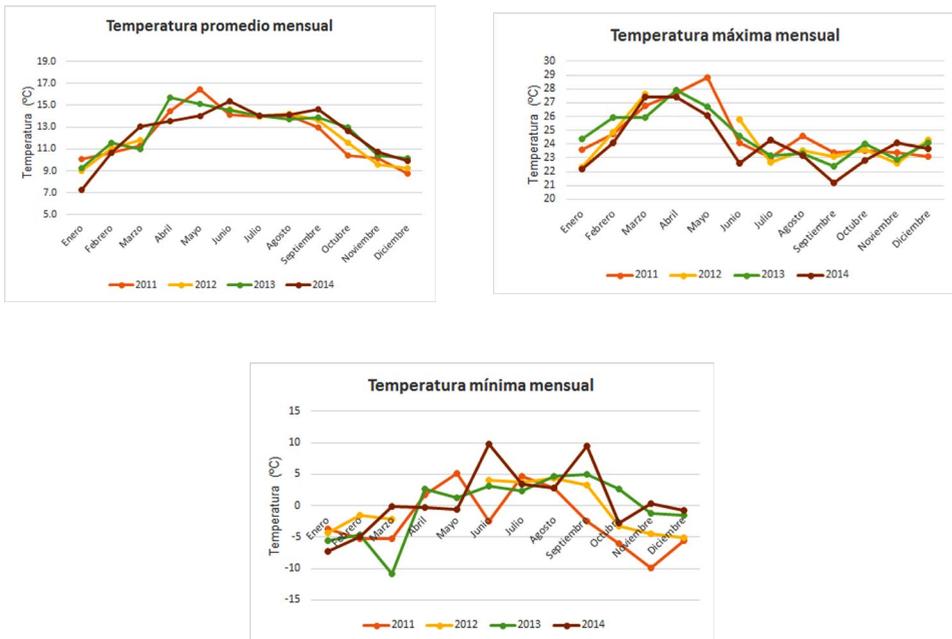
Temperatura

La Figura 1 muestra el comportamiento de la temperatura mensual promedio, máxima y mínima respectivamente de la estación Planta de Alimentos. En ella se puede observar lo siguiente:

- El rango de temperatura ambiente promedio en esta estación oscila entre los 7.3°C y los 16.5°C , la primera registrada en enero de 2014 y la segunda en mayo de 2011.
- La temperatura máxima promedio oscila entre los valores de 21.2°C y 28.8°C , ocurriendo en septiembre 2014 y mayo 2011 respectivamente.

- En el caso de las temperaturas mínimas promedio, los valores oscilan desde -10.9°C hasta 9.8°C, la primera registrada en marzo 2013 y la segunda en junio 2014.

Figura 1.
Estación Planta de Alimentos
Temperatura promedio, máxima y mínima mensual
período 2011-2014.



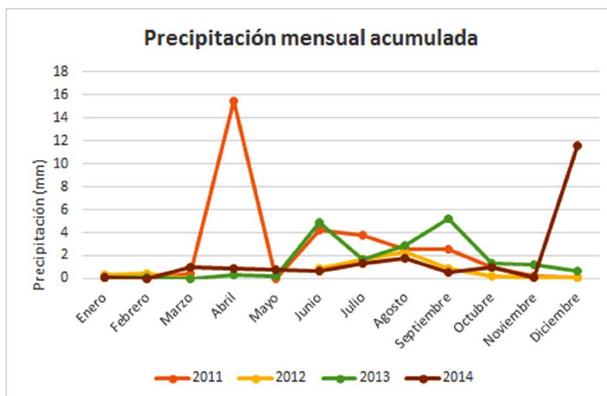
Fuente: Elaboración propia

Precipitación

En el caso de la precipitación, los valores acumulados anuales muestran que para el período de estudio, el año más seco ocurre en 2012 con sólo 7 milímetros de lluvia y el más alto en el 2011 de 30.59 milímetros.

En la Figura 2 puede observarse que los meses con mayor precipitación son los que van de junio hasta septiembre de cada año. Sin embargo, fuera de este período han ocurrido dos eventos extremos, uno en el mes de abril de 2011, donde se registró una precipitación acumulada mensual de 15.52 mm; y el segundo en el mes de diciembre de 2014 con un registro de 11.59 mm.

Figura 2.
Estación Planta de Alimentos
Precipitación mensual acumulada
Período 2011-2014



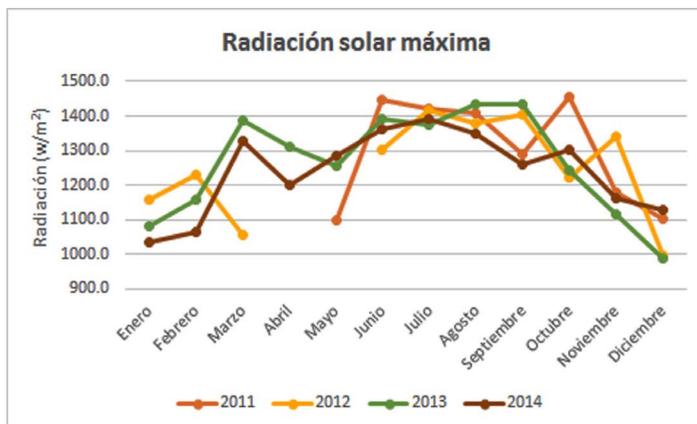
Fuente: Elaboración propia.

Radiación solar

La radiación solar máxima alcanzada en esta estación tuvo lugar en los meses verano; sin embargo, de acuerdo a los datos analizados, el índice máximo de radiación solar se presentó en el mes de octubre de 2011, con un valor de 1,455 W/m².

En los meses de invierno la radiación máxima es mucho menor, alcanzando en diciembre índices máximos alrededor de los 1000 W/m² (Figura 3).

Figura 3.
Estación Planta de Alimentos
Radiación solar máxima alcanzada en el mes
Período 2011-2014.



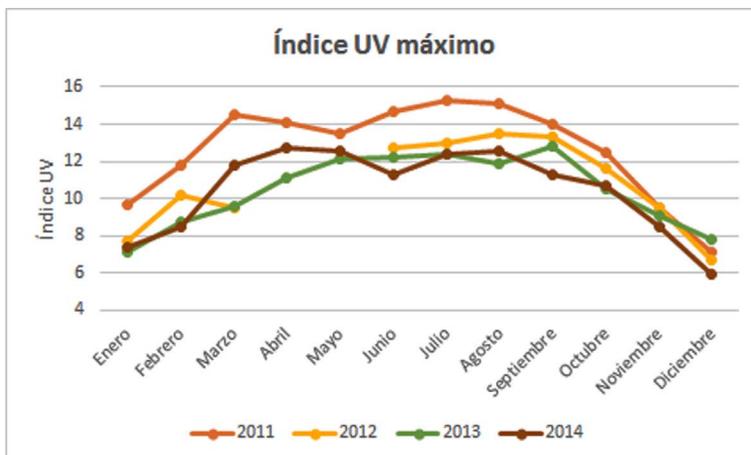
Fuente: Elaboración propia.

Radiación Ultravioleta (UV)

Los meses con mayor índice de radiación ultravioleta registrados fueron los correspondientes a las estaciones de primavera y verano (Figura 4).

En esta estación se registró un máximo de radiación UV en el mes de julio de 2011, alcanzándose un índice de 15.3, valores que de acuerdo con la Tabla 2, se consideran extremos, por lo que es importante alertar a tiempo a las personas sobre los posibles daños a la exposición de la radiación ultravioleta extrema.

Figura 4.
Estación Planta de Alimentos
Índice de radiación ultravioleta máximo mensual alcanzado
período 2011-2014.

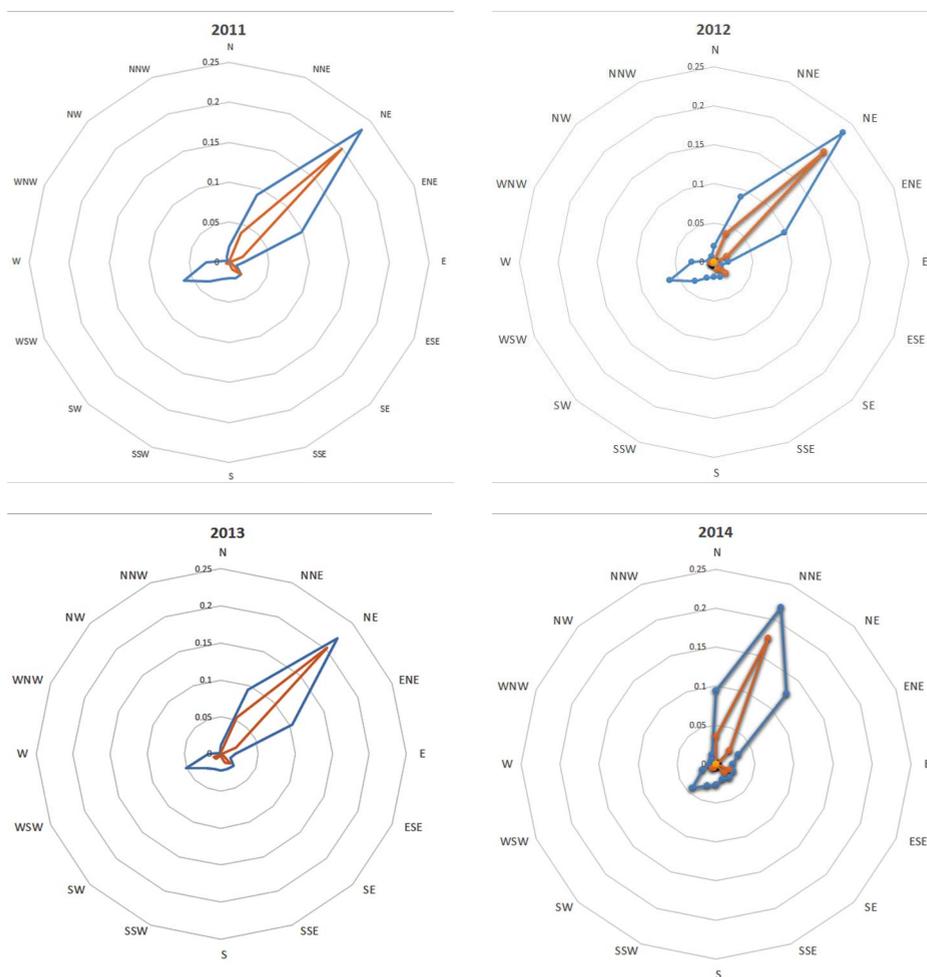


Fuente: Elaboración propia.

Viento

Para los años 2011, 2012 y 2013 el viento provino predominantemente del noreste, mientras que para el 2014 la estación mostró viento predominante del nornoreste. En todos los años, la intensidad del viento más frecuente fue la de 0-20 km/h, es decir, entre viento calma y viento que puede agitar las hojas de los árboles (Figura 5).

Figura 5.
Rosa de Viento anual
periodo 2011-2014.



Fuente: Elaboración propia.

Estación Slat House

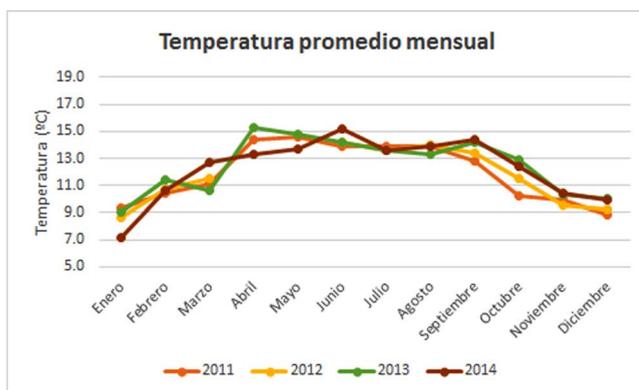
Para el caso de esta estación es necesario mencionar que durante este período existen vacíos de información debido a fallas técnicas del equipo. Tal es el caso de las variables temperatura máxima, mínima y promedio, la radiación solar y la radiación ultravioleta, principalmente en los meses de enero a marzo del 2011, abril y mayo del 2012 y el período comprendido de septiembre a noviembre del 2014.

Temperatura

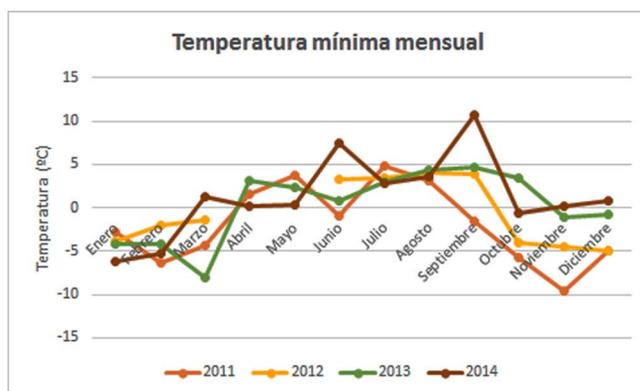
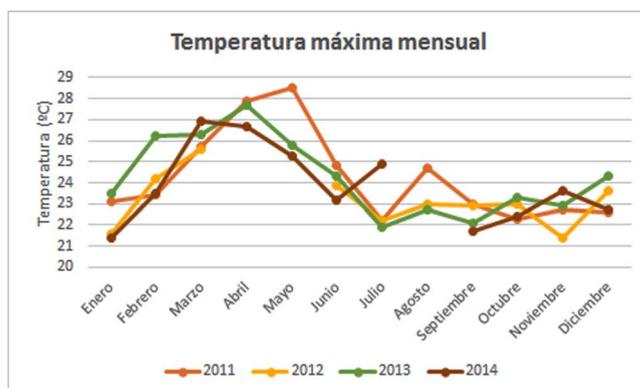
La Figura 6 muestra el comportamiento de la temperatura mensual promedio, máxima y mínima respectivamente de la estación Slat House. En ella se puede observar lo siguiente:

- La temperatura ambiente promedio osciló entre los 7.1°C y los 15.3°C, registrándose la primera en enero de 2014 y la segunda en abril de 2013.
- La temperatura máxima promedio varía entre los 21.4°C y los 28.5°C, ocurriendo en enero de 2014 y en mayo de 2011 respectivamente.
- En el caso de las temperaturas mínimas promedio, los valores oscilan desde los -9.6°C hasta los 10.8°C, la primera registrada en noviembre 2011 y la segunda en septiembre 2014.

Figura 6.
Estación Slat House
Temperatura promedio, máxima y mínima mensual período 2011-2014.



Red de monitoreo meteorológico en el Valle de Perote



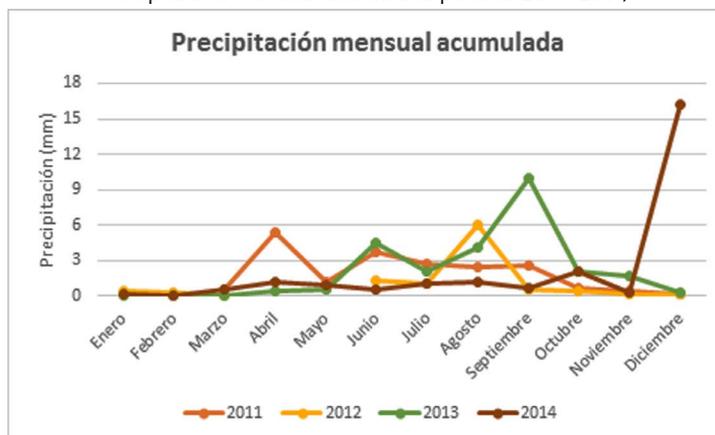
Fuente: Elaboración propia.

Precipitación

El año con menor precipitación registrada en la estación Slat House fue el 2012 con tan solo 10.5 milímetros, y el año con el registro más alto fue el de 2013, con un registro anual de 25.79 mm.

En la Figura 7 se puede observar los meses con mayor precipitación, siendo estos desde junio hasta septiembre. Sin embargo, en el mes de diciembre de 2014 tuvo lugar un evento extremo, con un registro mensual acumulado de 16.19 mm.

Figura 7.
Estación Slat House
Precipitación mensual acumulada período 2011-2014.

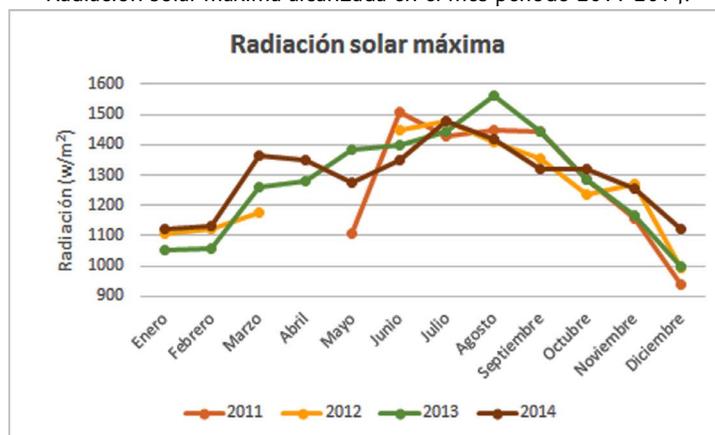


Fuente: Elaboración propia.

Radiación Solar

Los valores más altos de radiación solar máxima registrados en esta estación se observaron en los meses de verano, presentándose el máximo en el mes de agosto de 2013, con un valor de 1561 W/m². Es en el mes de diciembre de todos los años donde se observan los menores índices de radiación con valores que oscila alrededor de los 1000 W/m² (Figura 8).

Figura 8.
Estación Slat House
Radiación solar máxima alcanzada en el mes período 2011-2014.

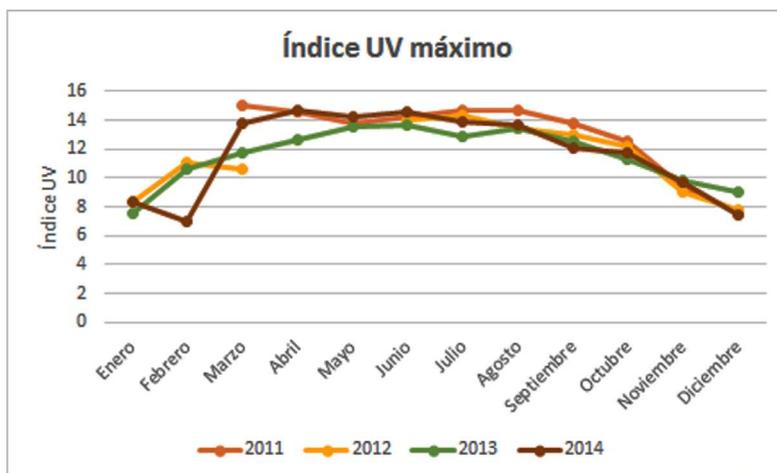


Fuente: Elaboración propia.

Radiación ultravioleta (UV)

Al igual que la estación Planta de Alimentos, los períodos del año con mayor índice de radiación ultravioleta fueron los meses de primavera y verano. En la estación Slat House el índice máximo se registró en marzo de 2011 alcanzando un valor de 15, el cual según la EPA es un valor considerado extremo y dañino para la salud humana (Figura 9).

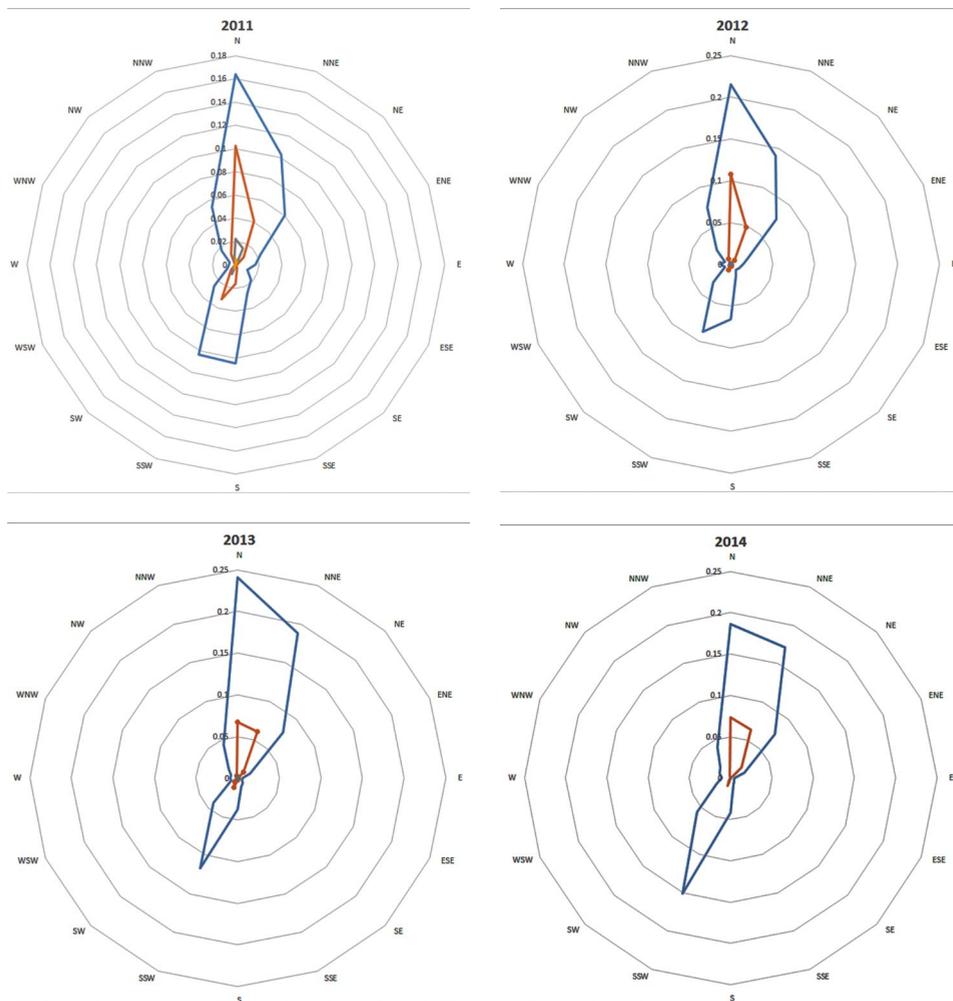
Figura 9.
Estación Slat House
Índice de radiación ultravioleta máximo mensual alcanzado periodo 2011-2014.



Fuente: Elaboración propia.

El viento predominante registrado en la estación Slat House fue el viento del Norte para todos los años, mientras que la intensidad con mayor frecuencia fue la de 0 -20 km/h, es decir, entre viento calma y viento que puede agitar las hojas de los árboles (Figura 10).

Figura 10.
Estación Slat House
Rosa de Viento anual
periodo 2011-2014.



Fuente: Elaboración propia.

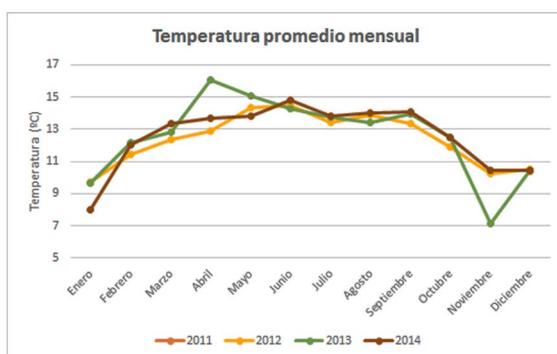
ESTACIÓN INCINERADOR

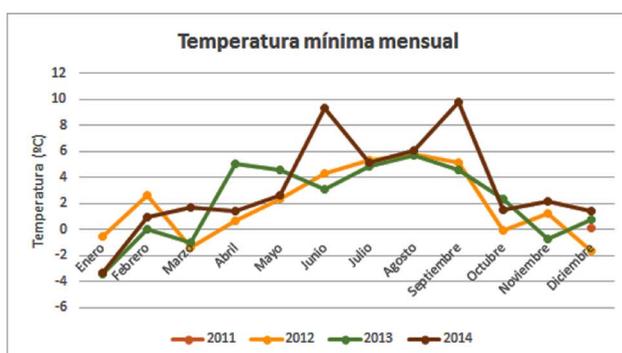
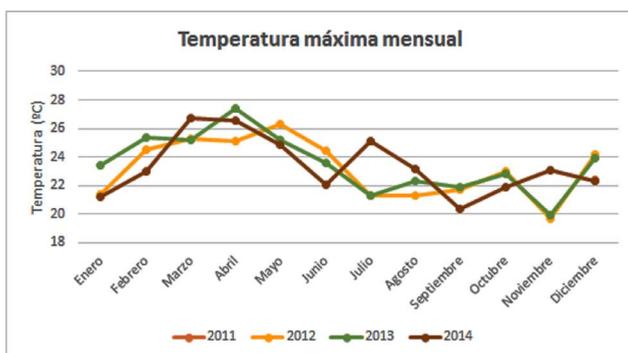
Es preciso señalar que para el caso específico de esta estación (propiedad de GCM), no cuenta con un sensor de radiación por lo que no se pudo disponer de los datos de dicha variable. Asimismo, y por el mismo motivo, tampoco se contó con los datos correspondientes al índice de radiación ultravioleta, por lo que sólo cuenta con los datos de Temperatura, Precipitación y Viento. Además de que fue colocada a finales del año 2011, por lo que el análisis solo comprende el período 2012-2014.

Temperatura

- En la Figura 11 se observa que, de acuerdo a los datos registrados por la estación Incinerador, la temperatura ambiente promedio osciló entre los 7.1°C y los 16.1°C, la primera en noviembre y la segunda en abril, ambas en el año de 2013.
- La temperatura máxima promedio oscila entre los valores de 19.7°C y 27.4°C, ocurriendo en noviembre 2012 y abril 2013 respectivamente.
- En el caso de las temperaturas mínimas mensuales, los valores oscilan desde los -3.4°C hasta los 9.8°C, la primera registrada en enero 2013 y la segunda en septiembre 2014 (Figura 11).

Figura 11.
Estación Incinerador
Temperatura ambiente promedio, máxima y mínima mensual
período 2011-2014.





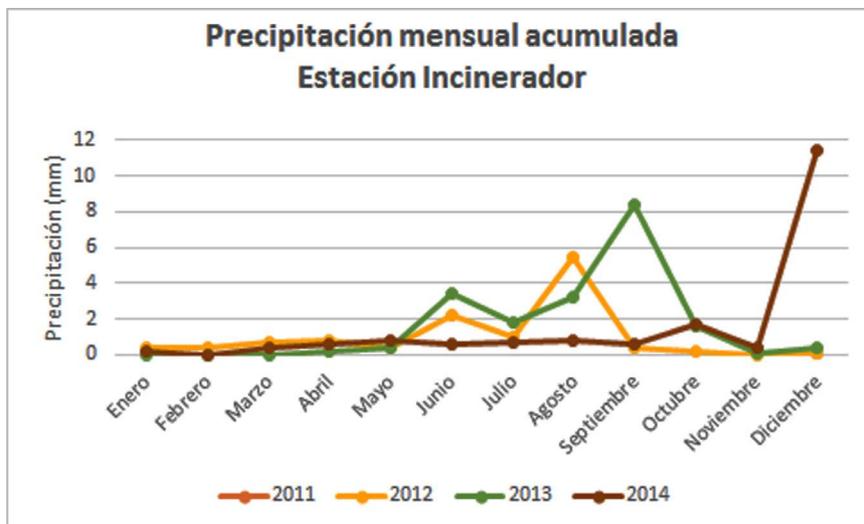
Fuente: Elaboración propia.

Precipitación

En el caso de la precipitación registrada en la estación Incinerador, el año más seco fue el de 2012 con solo 11.9 milímetros de lluvia y el año con el registro más alto fue el de 2013 con un registro anual de 19.57 milímetros.

En la Figura 12 se puede observar que los meses con mayor precipitación son los de junio a septiembre de cada año, coincidiendo en ello con los registros de las otras dos estaciones; asimismo, se registra también el evento extremo ocurrido en diciembre de 2014 con un registro promedio mensual de 11.41 mm.

Figura 12.
Estación Incinerador
Precipitación mensual acumulada
período 2012-2014.



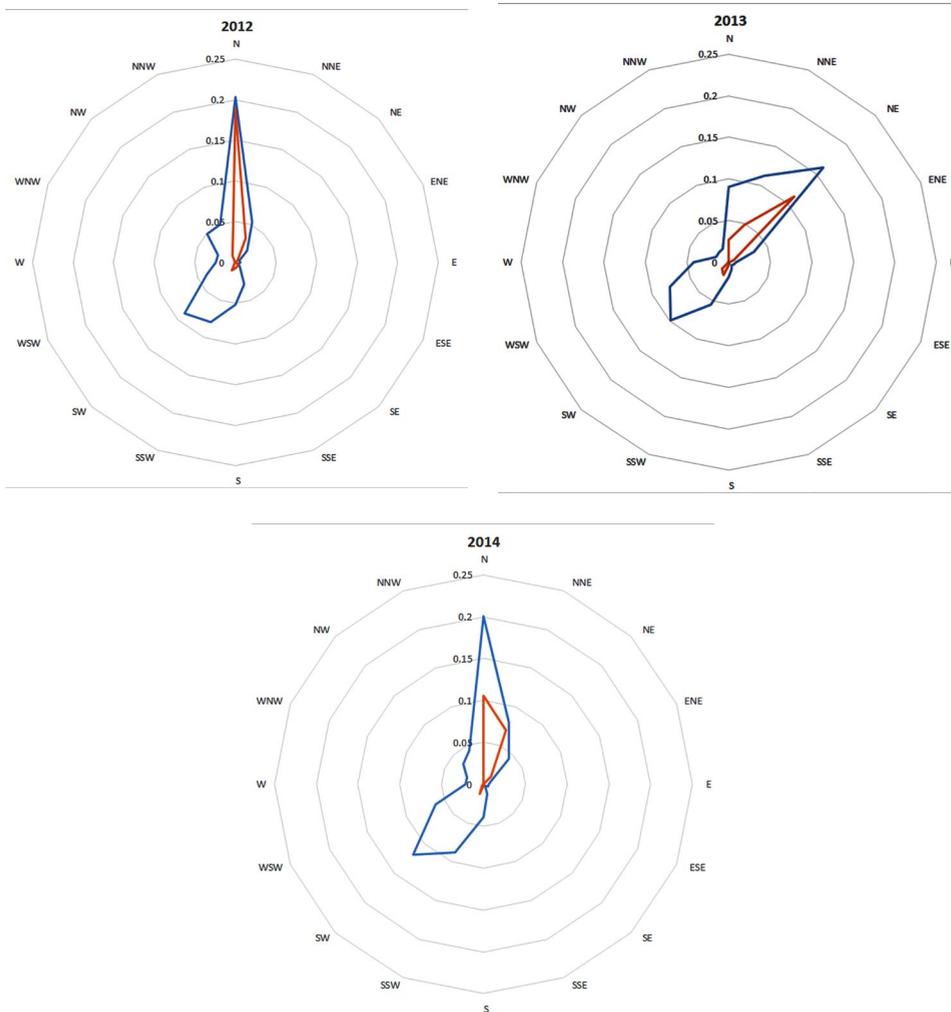
Fuente: Elaboración propia.

Viento

Los vientos predominantes registrados en esta estación fueron el viento del norte durante los años de 2011, 2012 y 2014, mientras que para el año 2013 fue el viento proveniente del noreste.

En todos los años la intensidad del viento registrada con mayor frecuencia fue la de 0 a 20 km/h que, como ya se mencionó, es viento entre calma y viento que puede agitar las hojas de los árboles (Figura 13).

Figura 13.
Estación Incinerador
Rosa de Viento anual
período 2011-2014.



Fuente: Elaboración propia.

CONSIDERACIONES FINALES

A partir del análisis de los datos registrados por estas tres estaciones en el período 2011-2014, se ofrecen las conclusiones preliminares siguientes:

Temperatura

- La temperatura ambiente promedio para el período de estudio está distribuida de la siguiente manera: Estación Slat House con 12.1°C, Estación Planta de Alimentos con 12.3°C y Estación Incinerador con 12.5°C.
- En términos generales, la temperatura ambiente promedio para la zona cubierta por las tres estaciones mencionadas, puede ubicarse oscilando entre los 7.2°C y los 16°C.
- Las temperaturas máximas mensuales registradas por las estaciones Planta de Alimentos y Slat House fueron de 28.8°C y 28.5°C respectivamente, ocurriendo ambas en el mes de mayo de 2011. En cambio, la temperatura máxima mensual registrada por las estación Incinerador fue de 27.4°C en el mes de abril de 2013.
- Para el caso de las temperaturas mínimas mensuales se observó una mayor variabilidad dentro del período de estudio. La menor temperatura se registró en la estación Planta de Alimentos alcanzando un valor de -10.9°C en el mes de marzo de 2013. En la estación Slat House fue de -9.6°C en el mes de noviembre de 2011, mientras que la estación Incinerador registró solo -3.4°C como temperatura mínima en el mes de enero de 2014.
- Con lo anterior podemos observar que los patrones de temperatura ambiente promedio y las máximas son menos variables, ya que para la primera, la diferencia entre los valores registrados en las tres estaciones no es de más de 0.5°C, para las temperaturas máximas la diferencia estuvo de 1.4°C, sin embargo, para la temperatura mínima la diferencia fue de 7.5°C.

La tabla 3 muestra de manera resumida los datos de temperatura para cada una de las estaciones.

Tabla 3.

Resumen de las temperaturas promedio ambiente, máxima y mínima mensual para cada una de las estaciones en el período de estudio.

Estación	Temperatura °C											
	Promedio				Máxima				Mínima			
	Max	Fecha	Min	Fecha	Max	Fecha	Min	Fecha	Max	Fecha	Min	Fecha
Planta de Alimentos	16.5	may-11	7.3	ene-14	28.8	may-11	21.2	sep-14	9.8	jun-14	-10.9	mar-13
Slat House	15.3	abr-13	7.1	ene-14	28.5	may-11	21.4	ene-14	11	sep-14	-9.6	nov-11
Incinerador	16.1	abr-13	7.1	nov-13	27.4	abr-13	19.7	nov-12	9.8	sep-14	-3.4	ene-13

Precipitación

En el caso de la precipitación se observaron valores máximos en diciembre de 2014 para las estaciones de Slat House e Incinerador; y para la estación de Planta de Alimentos se registró el valor máximo en abril de 2011. Los valores fluctúan entre los 11.4 mm y 16.2 mm y se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.

Precipitaciones máximas acumuladas durante el periodo de estudio.

Estación	Precipitación en mm	
	Máximo acumulado	Fecha
Planta de Alimentos	15.52	abr-11
Slat House	16.19	dic-14
Incinerador	11.41	dic-14

Radiación Solar e Índice UV

Para los índices de radiación, sólo se analizaron las estaciones Planta de Alimentos y Slat House ya que la estación Incinerador no generaba los datos correspondientes.

La radiación máxima se registró en la estación Planta de Alimentos en el mes de octubre de 2011, alcanzando un valor de 1455 W/m². En la estación Slat House dicho indicador alcanzó un valor de 1564 W/m² en el mes de agosto de 2013.

Los valores máximos del índice de radiación UV se alcanzaron en julio de 2011 en la estación Planta de Alimentos, en la estación Slat House en marzo del mismo año (Tabla 5).

Tabla 5.
Radiación solar e índice UV máximos obtenidos.

Estación	Radiación máxima W7m ²				Índice UV Máximo			
	Max	Fecha	Min	Fecha	Max	Fecha	Min	Fecha
Planta de Alimentos	1455	oct-11	988	dic-13	15,3	jul-11	5,9	dic-14
Slat House	1561	ago-13	939	dic-11	15	mar-11	7	feb-14

Viento

Finalmente, la Tabla 6 muestra los valores máximos obtenidos en el registro del viento en las tres estaciones.

- El registro de la mayor intensidad del viento en la estación Planta de Alimentos tuvo lugar en marzo de 2013, alcanzando valores de 98.28 km/h.
- En la estación Slat House, la intensidad máxima del viento ocurrió en el mes de mayo de 2014, alcanzando los 90km/h.
- Para la estación Incinerador, el valor máximo registrado fue de 80.64 km/h en abril del año 2013.
- En las tres estaciones, la dirección predominante del viento fue desde el norte hasta noreste; y en general, la intensidad predominante fue desde los 0 hasta los 20 km/h.

Tabla 6.
Intensidades máximas obtenidas en m/s.

Estación	Viento Máximo en m/s	
	Max	Fecha
Planta de Alimentos	98.28	mar-13
Slat House	90	may-14
Incinerador	80.64	abr-13

CONCLUSIONES

Si se considera al clima como un factor que interviene en la mayoría de las actividades humanas, resulta necesario conocer su comportamiento. Éste puede ser estudiado desde diversas escalas espaciales: local, regional, estatal, país, mundo. Todo ello con la finalidad de poder realizar evaluaciones útiles ante las posibles variaciones que presente y que, a su vez, tendrán efectos en ámbitos tanto sociales como económicos.

Por ello, contar con estudios sobre el comportamiento del tiempo meteorológico y del clima, como una herramienta para mejorar la calidad de los servicios climáticos de una zona o región, favorece la planificación estratégica y la toma de decisiones ante posibles impactos ambientales y sociales.

Aunado a lo anterior, no debe perderse de vista que el cambio climático es el mayor desafío al que la humanidad se enfrenta en el siglo XXI, pues conlleva complejas interacciones y cambios en la probabilidad de ocurrencia de los diversos impactos.

Ante este panorama y debido a la importancia ecosistémica del Valle de Perote, al ser la única región semidesértica del Estado de Veracruz, es importante generar y profundizar la investigación sobre los procesos atmosféricos en regiones específicas donde aún se cuenta con vacíos de información.

De esta manera, es de vital importancia contar con el interés y el apoyo del sector privado y no sólo de las instituciones académicas, con el propósito de conocer -y de ser posible anticipar- los posibles impactos que la variabilidad climática en áreas geográficas específicas tendría sobre las actividades productivas y los procesos de generación de riqueza y bienestar humano.

Por lo anterior es altamente deseable continuar con el monitoreo atmosférico y la recopilación de datos meteorológicos en la región del Valle de Perote para contar —a mediano y largo plazo— con una base de datos más confiable que permita entender mejor los fenómenos naturales y antropogénicos que en ella se presentan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayllón, Teresa (2003). *Elementos de meteorología y climatología*, México, D.F., Editorial Trillas.
- CCH-UNAM (2012). Boletín Meteorológico del Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur. Año 3, Volumen 1, No. 10 octubre 2012. Universidad Nacional Autónoma

- de México (UNAM). https://colecchsur.files.wordpress.com/2011/09/boletin_10_octubre_2012.pdf (Consultada 10/01/2016).
- CICESE (2009). *Libro de Meteorología.* <http://usuario.cicese.mx/~sreyes/LIBRO%20METEOROLOGIA/METEO9.pdf> (consultada 03/01/2016).
- FAO (2011). Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay”. FAO-MGAP. TCP URU/3302. <http://www.fao.org/climatechange/84982/es/> (Consultada 05/01/2016).
- Martín-Vide, J. (2003). *El Tiempo y el Clima.* Ed. Rubes, Primera Edición. España. 127 pp.
- Organización Meteorológica Mundial, OMM (2011). *Guía de prácticas meteorológicas OMM No- 100.* http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf (Consultada 03/01/2016) .
- Organización Mundial de la Salud, OMS (2003). Índice UV Solar, Mundial. Guía Práctica (/01/2016) [http://www.who.int/uv/publications/en/uvispa .pdf](http://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf)
- Vázquez, J. (2010). *Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México.* Instituto Nacional de Ecología. Primera edición. 88 pp.

DETECCIÓN Y ESTIMACIÓN DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN EL VALLE DE PEROTE

Sergio Francisco Juárez Cerrillo*

En este trabajo identificamos el comportamiento de las tendencias en la temperatura ambiente, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, velocidad de viento, radiación solar e índice ultravioleta en las estaciones de monitoreo meteorológico Planta de Alimentos, Slat House e Incinerador, ubicadas en el valle de Perote, en el estado de Veracruz, México.

El período completo de observación abarca de mayo del 2011 a enero del 2015. La técnica de extracción de tendencia que utilizamos es el Análisis Espectral Singular. Los cálculos se realizaron con el paquete Rssa de R. Esta técnica permite ver a la tendencia como un cambio suave en el valor medio de una variable aleatoria observada a lo largo del tiempo. En las variables de las estaciones Planta de Alimentos y Slat House, las dinámicas de las tendencias se identificaron como crecientes y no lineales. En la estación Incinerador las tendencias en la temperatura ambiente, máxima y mínima fueron ligeramente decrecientes.

INTRODUCCIÓN

La Universidad Veracruzana, a través de su Centro de Ciencias de la Tierra, junto con la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de su Centro de Ciencias de la Atmósfera, con la participación de Granjas Carroll de México, S. de R. L. de C.V., establecen en 2010 una red de monitoreo meteorológico en el Valle de Perote, con el propósito de generar datos meteorológicos que sirvieran de contraste con los datos meteorológicos recabados en la zona por las instancias oficiales. Como producto de este esfuerzo de cooperación y colaboración académica se produce una valiosa base de datos meteorológicos la cual se analiza en este trabajo.

Las variables meteorológicas presentan variabilidad a lo largo del tiempo. Ésta puede ser de varias formas, por ejemplo: tendencia, estacionalidad, ciclos, eventos extremos y fluctuaciones aleatorias. El estudio de estas formas de variación en variables ambientales es

* Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana, sejuarez@uv.mx

de gran interés, pues ayuda a revelar la dinámica de los sistemas climáticos. En particular, detectar y estimar tendencias permite, por un lado, determinar si están ocurriendo cambios de manera regular en los valores de la variable y por otro entender cómo son estos cambios.

Para desarrollar una comprensión de los fenómenos climáticos y meteorológicos hay dos enfoques fundamentales. El primer enfoque consiste en desarrollar modelos mecanicistas que reflejen los procesos que gobiernan estos fenómenos. El segundo consiste en analizar datos disponibles del fenómeno para establecer relaciones empíricas que pueden describir y explicar el funcionamiento del fenómeno. Utilizando el segundo enfoque se investigó la posible existencia de tendencias climáticas en las variables meteorológicas que se observaron en tres estaciones de esta red de monitoreo. El período de tiempo de observación abarca de mayo del 2011 a enero del 2015.

Actualmente existen muchas técnicas estadísticas para detectar y estimar tendencias. Algunas son muy básicas como las tendencias lineales ajustadas con mínimos cuadrados ordinarios, y otras son muy sofisticadas como las técnicas avanzadas para el análisis de series de tiempo (modelos SARIMA, *wavelets*, suavizadores no paramétricos, redes neuronales). En este caso, la complejidad del comportamiento de las variables hace que las herramientas elementales no sean adecuadas. El riesgo que se corre al utilizar alguna técnica elemental inadecuada es que no se tome en cuenta toda la información disponible en los datos, lo cual produzca tendencias incorrectas que lleven al establecimiento de conclusiones incorrectas.

En este trabajo se detectaron y estimaron tendencias con una técnica conocida como *Análisis Espectral Singular* (AES). El AES es una poderosa herramienta para analizar series de tiempo, cuyos orígenes se remontan a los trabajos de Broomhead y King (1986a, 1986b). Desde que el AES apareció se consolidó como una herramienta básica en meteorología, climatología y geofísica, pero permaneció prácticamente desconocida para los estadísticos interesados en el análisis de series de tiempo. Sin embargo en los últimos años ha alcanzado una gran popularidad en las aplicaciones y se ha convertido en un área de intensa investigación tanto metodológica como teórica.

Como principales hallazgos del análisis se tiene la evidencia empírica de que las variables monitoreadas (temperatura ambiente, temperatura máxima, la temperatura mínima, precipitación, y radiación solar) han experimentado un aumento sostenido durante el período de observación. Este aumento se estima en 1°C aproximadamente en las temperaturas ambiente, máxima y mínima. La precipitación también presenta una tendencia que aumenta drásticamente a finales del 2014, mientras que la radiación solar aumentó de aproximadamente 200 a 210 Watts/m².

La estructura del trabajo es la siguiente. En la Sección 2 se presentan las variables que se analizan; después se describe formalmente lo que entenderemos por tendencia en el trabajo. En la Sección 3 se hace una discusión sobre los resultados; y, finalmente, la Sección 4 resume los principales hallazgos del trabajo. Una breve descripción del AES se ha incluido en el apéndice; los detalles del AES se pueden consultar, por ejemplo, en Golyandina y Zhigljavsky (2013).

Los DATOS

Los datos que se analizan corresponden a tres estaciones meteorológicas denominadas Planta de Alimentos Slat House e Incinerador, que en lo sucesivo se llamaran Planta, Slat e Incinerador. Las mediciones se hicieron en las variables que se muestran en el Cuadro I.

Cuadro I.
Descripción de las variables meteorológicas.

VARIABLES METEOROLÓGICAS	Significado
Temperatura	Temperatura ambiente (en °C).
Temperatura Máxima	Temperatura ambiente máxima registrada en el período (en °C).
Temperatura Mínima	Temperatura ambiente mínima registrada en el período (en °C).
Velocidad de Viento	Velocidad del viento dada en metros/segundo, o en las unidades seleccionadas por el usuario.
Dirección de Viento	Dirección del viento está registrada en grados: de 0° a 360°. Esta variable indica de donde viene el viento, no hacia donde se dirige.
Cantidad de Lluvia	Cantidad de lluvia, dada en milímetros.
Radiación Solar	Cantidad de radiación solar. Es una medida de la intensidad de la radiación solar al alcanzar una superficie horizontal, expresada en Watts/m ² .
Índice ultravioleta	La energía del sol llega a la tierra como rayos visibles, infrarrojos y ultravioleta. La exposición a los rayos ultravioleta pueden causar numerosos problemas de salud, como quemaduras, cáncer de piel, envejecimiento de la piel, cataratas y puede debilitar el sistema inmunológico.

El Cuadro 2 muestra las variables que se analizan por estación en este trabajo. Finalmente, el cuadro 3 presenta un resumen de estadística descriptiva básica de cada variable analizada.

Cuadro 2.
Variables meteorológicas analizadas en cada estación.

Variables Meteorológicas	Planta	Slat	Incinerador
Temperatura Ambiente	X	X	X
Temperatura Máxima	X	X	X
Temperatura Mínima	X	X	X
Velocidad de Viento	X	X	
Dirección de Viento	X	X	
Precipitación	X		
Radiación Solar	X	X	
Índice Ultravioleta	X	X	

El período de observación inicia el 24 de mayo del 2011 a las 5:30pm en Planta y Slat, y a partir del 30 de noviembre del 2011 a las 2:30pm en Incinerador. En las tres estaciones el período de observación concluye el 31 de enero del 2015 a las 11:30pm. En Planta se hicieron observaciones en 55 mil 280 puntos del tiempo, en Slat en 55 mil 458 y en Incinerador en 49 mil 936.

Un cálculo con R nos arroja que hay 64 mil 719 intervalos de tiempo (espaciados cada 30 minutos) en el período de observación de las estaciones Planta y Slat, lo que equivale a un período de observación con una duración de aproximadamente mil 348 días. Por lo que en Planta no se hicieron mediciones en $64\text{ mil }719 - 55\text{ mil }280 = 9\text{ mil }439$ puntos del tiempo, lo que equivale a un poco más de $9\text{ mil }439/48 \approx 193$ días.

Un cálculo similar para Slat produce aproximadamente 193 días en los que no se hicieron mediciones. Es decir el porcentaje de observaciones faltantes es 14.5 % y 14.3 % en Planta y Slat, respectivamente.

El período de observación en la estación Incinerador contiene 55 mil 603 intervalos de tiempo también espaciados cada 30 minutos, o bien mil 158 días, por lo que no se tienen mediciones en aproximadamente 118 días, lo que equivale a un 10 % del período de observación con datos faltantes. La localización dentro del período de observación de estos *huecos* sin mediciones se puede ver como líneas rectas en las Figuras 3, 4 y 5.

Las observaciones faltantes hacen más difícil la tarea de identificación y estimación de tendencia. En general se deben llenar estos huecos para lo cual existen muchas técnicas. En este trabajo los datos faltantes se imputaron con la mediana de la respectiva variable.

Como se puede ver en la inspección del cuadro 3, en general los datos son de buena calidad: salvo las observaciones faltantes. Se percibe evidencia de eventos extremos manifestados por observaciones extremas (*outliers*) tanto máximas como mínimas.

Cuadro 3.
Estadísticas descriptivas de las variables

	Min	Q1	Mediana	Media	Q3	Max
Planta, 55280 puntos del tiempo con observaciones						
Temperatura Ambiente	-10.80	8.30	12.30	12.13	16.10	28.40
Temperatura Máxima	-9.10	8.80	12.70	12.55	16.70	28.80
Temperatura Mínima	-10.90	7.90	11.90	11.71	15.70	28.00
Velocidad de Viento	0.00	0.00	1.80	2.68	4.90	13.90
Precipitación	0.00	0.00	0.00	0.001	0.00	0.76
Radiación	0.00	0.00	3.00	214.9	394.00	1240.00
Índice UV	0.00	0.00	0.00	1.69	2.40	15.30
Slat, 55458 puntos del tiempo con observaciones						
Temperatura Ambiente	-9.60	8.40	12.10	11.97	15.70	28.50
Temperatura Máxima	-8.80	8.70	12.40	12.36	16.20	28.90
Temperatura Mínima	-9.60	8.00	11.80	11.59	15.30	28.00
Velocidad de Viento	0.00	0.40	2.20	2.71	4.50	13.00
Precipitación	0.00	0.00	0.00	0.001	0.00	1.52
Radiación	0.00	0.00	4.00	207.30	370.00	1169.00
Índice UV	0.00	0.00	0.00	1.92	2.80	14.70
Incinerador, 49936 puntos del tiempo con observaciones						
Temperatura Ambiente	-3.20	9.40	12.30	12.48	15.60	26.40
Temperatura Máxima	-2.90	9.90	12.70	12.90	16.00	27.40
Temperatura Mínima	-3.40	8.90	12.00	12.05	15.20	26.10
Precipitación	0.00	0.00	0.00	52.07	0.00	1029.00

Existen diversas recomendaciones en cuanto a la longitud del período de observación adecuado para extraer tendencias. Por ejemplo Lettenmaier (1982), en el contexto de variables ambientales, señala que se debe tener un mínimo de 5 años de datos mensuales para detectar tendencias monótonas. En nuestro caso contamos con series de tiempo con observaciones cada 30 minutos por aproximadamente 4 años. Es decir, se tienen series de tiempo con una alta frecuencia lo cual proporciona más información con respecto a la estructura de la serie de tiempo. Sin embargo, esta alta resolución hace más difícil el análisis de la tendencia tanto computacionalmente como por la posible presencia de componentes de variabilidad, tales como variabilidad armónica la cual puede presentarse durante el ciclo de variabilidad diurno-nocturno en algunas variables.

¿QUÉ ES UNA TENDENCIA?

De manera general, el análisis de tendencia es la investigación de cambios en un fenómeno sobre un período de tiempo. Este fenómeno se observa mediante una secuencia de observaciones de alguna variable, estas observaciones se hacen en T periodos igualmente espaciados y lo que resulta es lo que se conoce como una serie de tiempo: Y_1, Y_2, \dots, Y_T . Los valores observados en la serie de tiempo se consideran las realizaciones de una secuencia Y_1, Y_2, \dots, Y_T de variables aleatorias. Esta visión de enmarcar el fenómeno de interés dentro de la teoría de la probabilidad permite contestar preguntas sobre el comportamiento del fenómeno como preguntas acerca de la distribución de probabilidad de las variables aleatorias Y 's.

En este trabajo se utilizó la definición de tendencia de Chandler y Scott (2011), la cual se presenta a continuación. Considerando al valor esperado de las variables aleatorias Y_1, Y_2, \dots, Y_T

$$\mu_t = EY_t, \quad t = 1, \dots, T.$$

El parámetro μ_t es el promedio del fenómeno en el tiempo t . La secuencia $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_T)$ proporciona una representación matemática del nivel medio de la variable y es lo que se entiende como tendencia de la serie de tiempo. Desde el punto de vista del climatológico el parámetro $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_T)$ es el más fundamental del estado de la variable, véase Storch y Zwiers (1998). Por ejemplo si $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_T$ se puede decir que no hay tendencia. Las formas más simples para describir la tendencia están dadas por funciones relativamente sencillas, algunas se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4.
Funciones para modelar tendencia

Función	Tipo de tendencia
$\mu_t = \beta_0 + \beta_1 t$	Lineal
$\log \mu_t = \beta_0 + \beta_1 t$	Logarítmica
$\mu_t = \alpha / (1 + \beta e^{-\gamma t})$	Logística
$\mu_t = \beta_0 + \beta_1 \cos(2\pi f(t - \tau))$	Cíclica con frecuencia f
$\mu_t = m(t)$	m es una función tal que m'' es de valores <i>pequeños</i>

El supuesto fundamental que se hace es que las series de tiempo meteorológicas que aquí se analizan son de la forma:

$$Y_t = \mu_t + S_t + h_t + e_t + u_t$$

donde $\mu_t = EY_t$ es la tendencia, S_t es un componente de variabilidad estacional, h_t comprende componentes de variabilidad armónica, e_t es un componente de eventos extremos y u_t es un componente aleatorio que bien puede ser descrito por un proceso ARMA o bien es un ruido blanco. El AES descompone a una serie de tiempo en componentes ortogonales (no correlacionados) los cuales se atribuyen los componentes mencionados arriba. Este trabajo se enfoca a extraer (identificar y estimar) a la tendencia μ_t .

RESULTADOS

En esta sección muestra los resultados de la extracción de la tendencia de cada serie de tiempo de las variables meteorológicas mostradas en el cuadro 2.

Estación Planta

Las Figuras 1 y 2 corresponden a las series de tiempo de la estación Planta junto con las tendencias sobrepuestas. En todas las variables, excepto en la precipitación, se aprecia tendencia ligeramente creciente. Además el comportamiento cualitativo de todas las

tendencias es aparentemente lineal. Durante el período de observación, la temperatura ambiente fluctúa alrededor de los 11 °C, la temperatura máxima alrededor de los 12 °C y la mínima alrededor de los 10 °C.

En la gráfica de la precipitación se observan los episodios anuales de lluvias máximas, y se puede ver que es en el 2015 cuando se registran las precipitaciones mayores. La tendencia de la radiación solar tiene fluctuaciones alrededor de los 200 Watts/m². También se aprecia que es en los meses de mayo, junio, julio y agosto que la radiación alcanza sus valores máximos. El índice UV es la variable, junto con la precipitación, que más pone en evidencia el ciclo anual. Se observa también que los máximos valores del índice UV se alcanzan en los mismos meses que en el caso de la radiación, es decir en mayo, junio, julio y agosto. La variable viento generalmente se analiza estudiando de manera conjunta sus componentes de velocidad y dirección. Aquí cabe mencionar que la dirección, al ser un ángulo, es una variable que en la literatura estadística se conoce como *variable circular* y requiere de tratamiento especial —la estructura topológica del círculo es diferente a la de la recta real, por ejemplo el círculo, al ser una curva cerrada, requiere de aritmética módulo 2π — que no se aplica en ese trabajo ya que las direcciones se registraron de manera categórica en lugar de angular. De modo que se analizan los componentes del viento separadamente.

En la gráfica de la serie de tiempo de la velocidad vemos que la tendencia al inicio del período de observación está alrededor de 2 m/s, a partir de ese momento muestra una tendencia sostenida creciente hasta el 2015. Finalmente, tanto en la Figura 2, como en el cuadro 4 se observa que la dirección de viento que predomina es la noreste, 65%, seguida por la dirección suroeste, 11.9%.

Estación Slat

En las Figuras 3 y 4 se muestran las series de tiempo de la estación Slat. El comportamiento de la temperatura (ambiente, máxima y mínima) así como de la radiación solar y el índice UV es similar al de la estación Planta: tendencias lineales crecientes.

Por otra parte la velocidad del viento muestra una clara tendencia decreciente, sin embargo se debe tener cautela en considerar real esta tendencia ya que este comportamiento a la baja aparece exactamente sobre el período de tiempo en donde se tienen observaciones faltantes y recordemos que la tendencia se está estimando con el hueco llenado con la mediana de la velocidad del viento. Finalmente vemos que la dirección de viento predominante es la noreste, 31.5%, seguida por la norte 31.2%, y luego la suroeste, 16.9%.

Estación Incinerdor

Los resultados para la estación Incinerador se muestran en la Figura 5. Las tendencias de las series de tiempo de las tres variables de temperatura tienen un comportamiento diferente al de sus análogas en las estaciones Planta y Slat; esta vez surgen tendencias no crecientes aunque aparentemente lineales y con fluctuaciones entre los 11°C y 12°C.

Figura 1.
Series de tiempo de la estación Planta

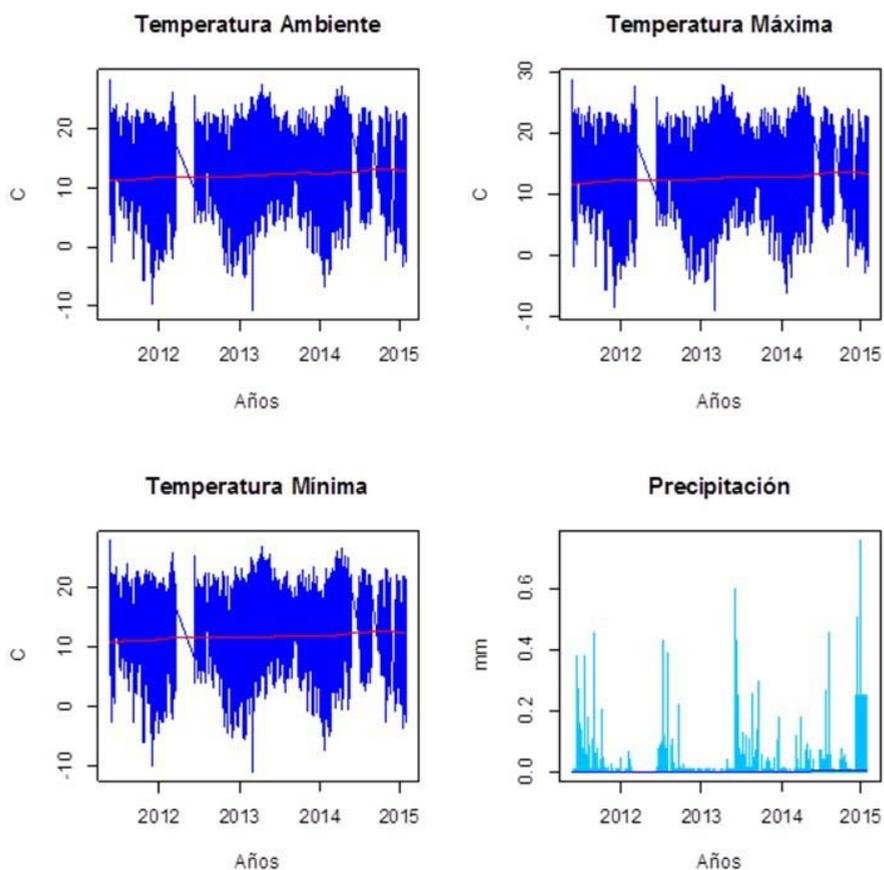


Figura 2.
Series de tiempo de la estación Planta (continuación)

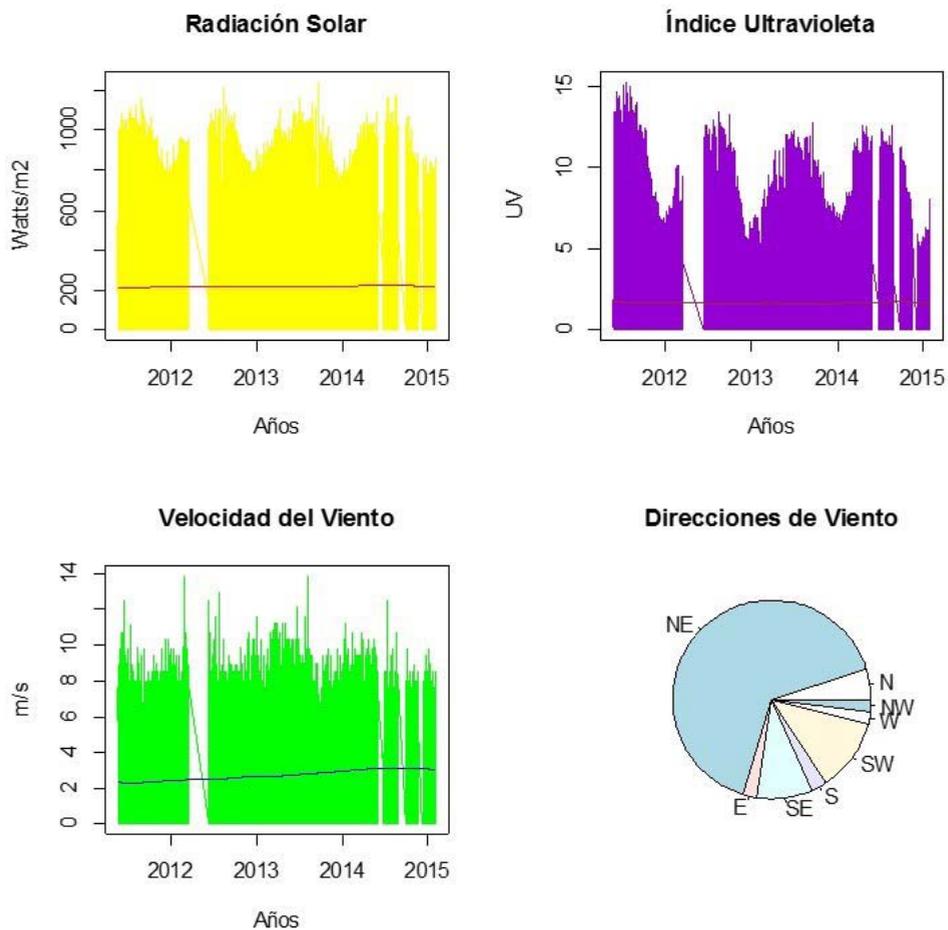


Figura 3.
Series de tiempo de la estación Slat

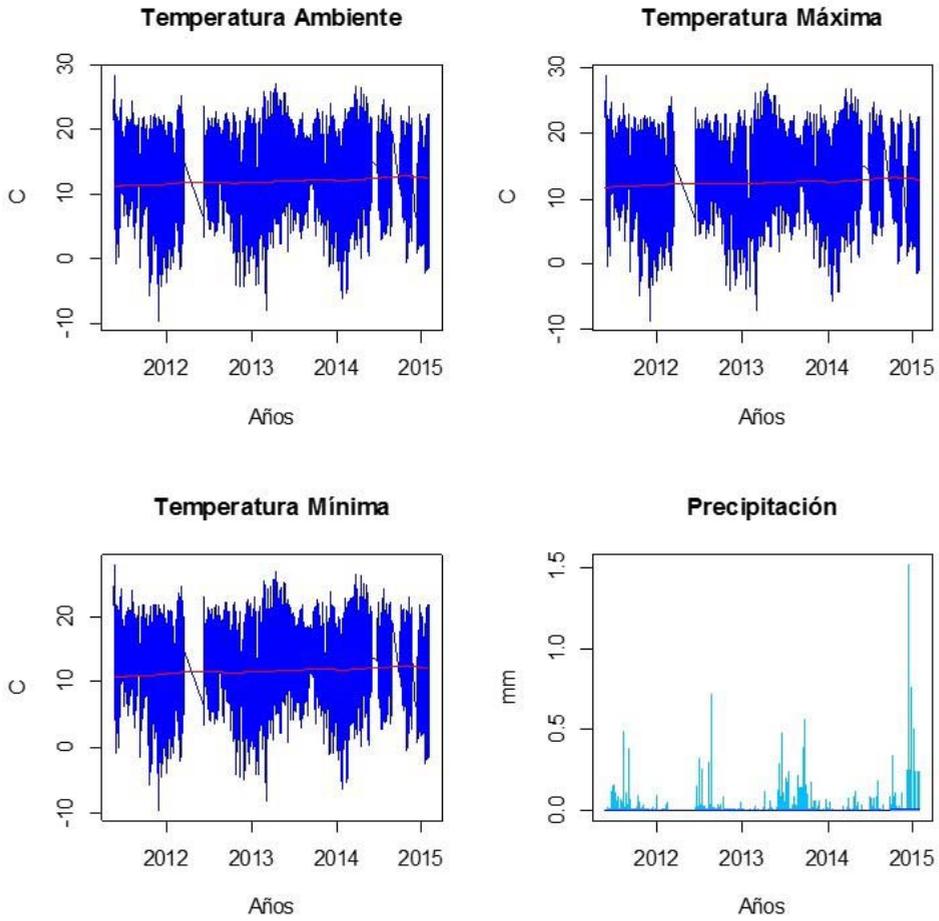
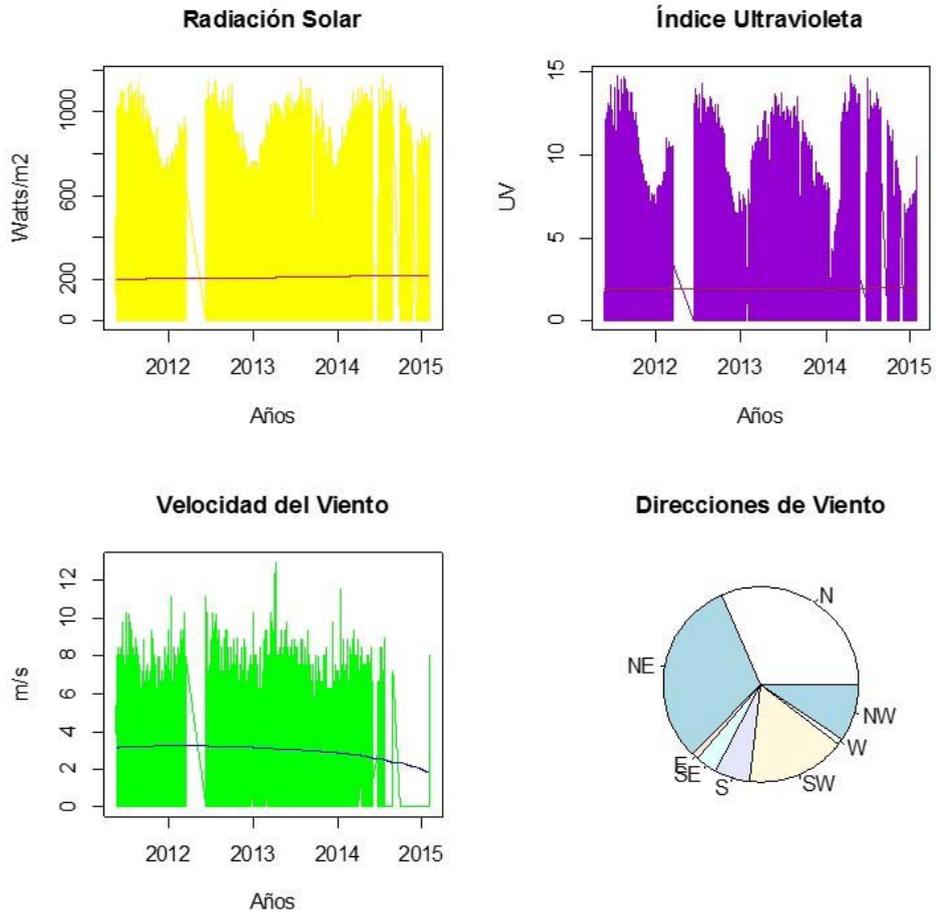


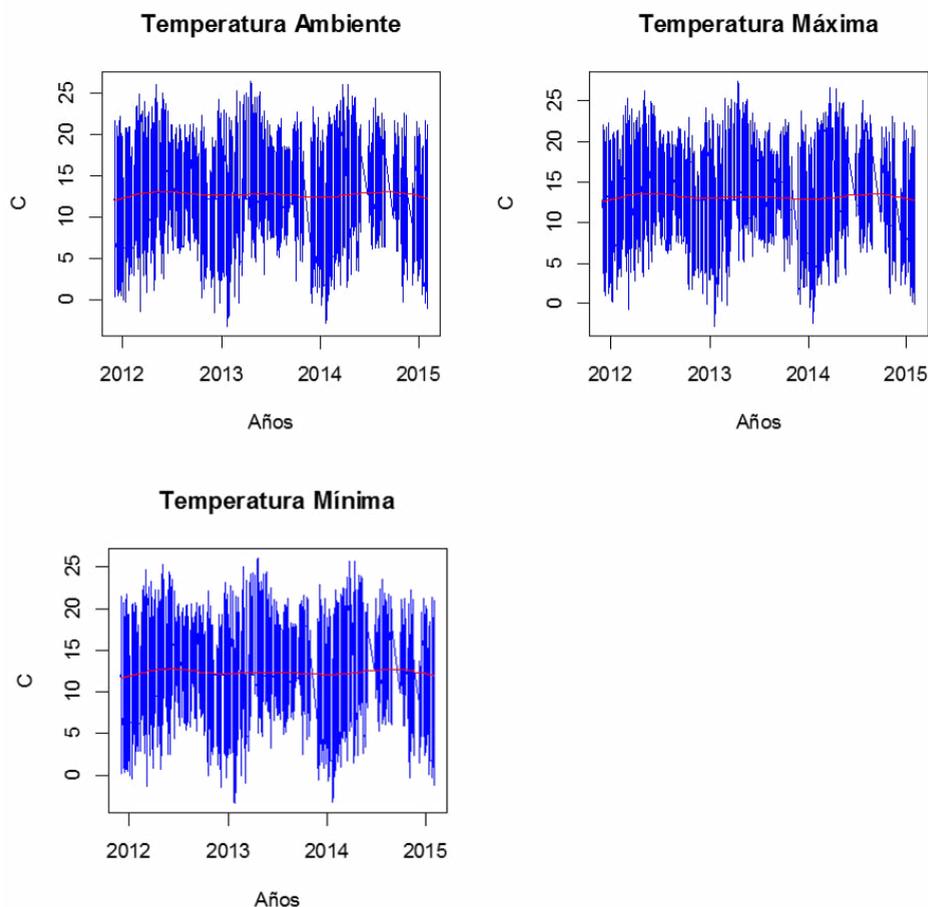
Figura 4.
Series de tiempo de la estación Slat (continuación)



Cuadro 4.
Frecuencias de la direcciones de viento.

Dirección	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Planta	5.0	65.3	2.2	9.2	2.5	11.9	2.0	1.9
Slat	31.5	31.2	1.1	3.6	5.8	16.4	1.0	9.5

Figura 5.
Series de tiempo de la estación Incinerador.



Las gráficas de las series de tiempo anteriores, Figuras 1 a la 5, muestran el comportamiento relativo de las tendencias con respecto a sus correspondientes series de tiempo completas.

En la Figura 6 se evitó la distorsión por la escala al remover a las series de tiempo, por lo que se puede apreciar de manera detallada el comportamiento cuantitativo y cualitativo de las tendencias identificadas y estimadas. En las variables de temperatura ambiente, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación el comportamiento cualitativo de las estaciones Planta y Slat es muy similar: tendencias no lineales y crecientes hasta

inicios del 2015, en donde se aprecia una tendencia a la baja, aunque este comportamiento -decrecimiento- se observa también al inicio de los años 2013 y 2014.

Durante el período de observación se observa un cambio de aproximadamente 1°C en las tres variables, además la magnitud de la brecha entre las tendencias aumenta sostenidamente a lo largo del período de observación. Las estaciones Planta y Slat también tienen una tendencia similar en la precipitación: no lineal y creciente con un rápido aumento en el 2015.

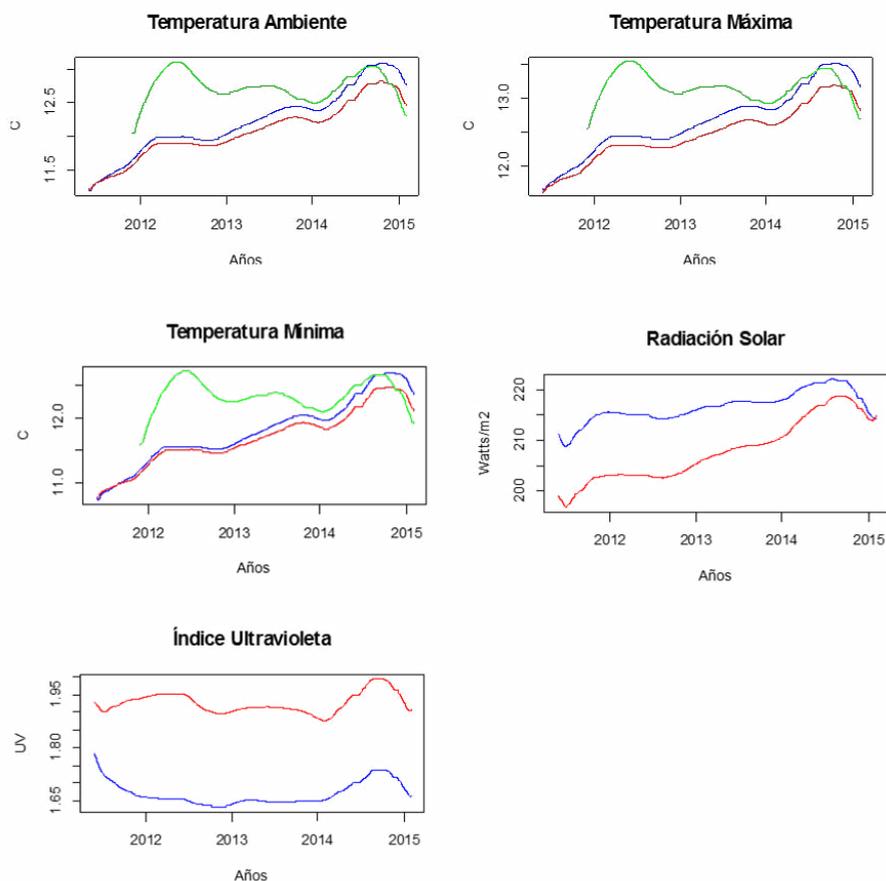
Por otro lado, la estación Incinerador muestra un comportamiento totalmente diferente, tanto cualitativamente como cuantitativamente, con respecto a las estaciones Planta y Slat. En esta estación la tendencia en temperatura (ambiente, máxima y mínima) ahora parece ser muy ligeramente decreciente y con un comportamiento cíclico con valores máximos al inicio y al final del período de observación.

La radiación solar y el índice UV sólo se registraron en las estaciones Planta y Slat. Podemos ver una clara tendencia creciente y no lineal en la radiación en ambas estaciones con los niveles de radiación en Planta mayores a los niveles en Slat, al inicio del período de observación tenemos 200 Watts/m^2 en Slat y 210 Watts/ms^2 en Planta, aunque la brecha tiende a cerrarse de manera sostenida hasta prácticamente desaparecer al final del período de observación. El índice UV decrece en Slat hasta que termina el 2013, empieza a aumentar en el 2014 para volver a disminuir en el 2015. Un comportamiento similar se observa en el índice UV en la estación Planta.



Cofre de Perote. Foto: Marco Aurelio Morales Martínez.

Figura 6.
Tendencias. Línea azul: Planta, línea roja: Slat, línea verde: Incinerador.



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una desventaja del AES, principalmente en climatología y meteorología, es que en ocasiones los componentes que identifica no son físicamente interpretables; es decir, no son fácilmente atribuibles a fuentes de variación que tengan sentido en un contexto climático. Sin embargo, dado que el interés se ha centrado en la tendencia, se considera que el AES tiene la capacidad para detectarla y estimarla con confiabilidad.

Las funciones de autocorrelación en las Figuras 7, 8 y 9 ponen en evidencia la compleja estructura de las series de tiempo estudiadas. Para detectar y estimar otros tipos de componentes de variación se requiere de un análisis mucho más extenso y detallado con herramientas más avanzadas.

Es importante tener presente que el análisis de tendencias sólo permite describir lo que sucede durante el período de observación. En principio es recomendable evitar la extrapolación de estas tendencias hacia el horizonte futuro, ya sea a corto o largo plazo, con fines de pronóstico. Si el pronóstico fuera el interés, entonces es necesario extraer otros componentes de variabilidad de las series de tiempo para incorporarlos en una modelo de pronóstico.

Una de las tareas más importantes de la climatología y meteorología moderna es entender la variabilidad del clima. La finalidad de este trabajo fue mostrar el papel que juegan las herramientas estadísticas en esta tarea.

Figura 7.
Funciones de autocorrelación.

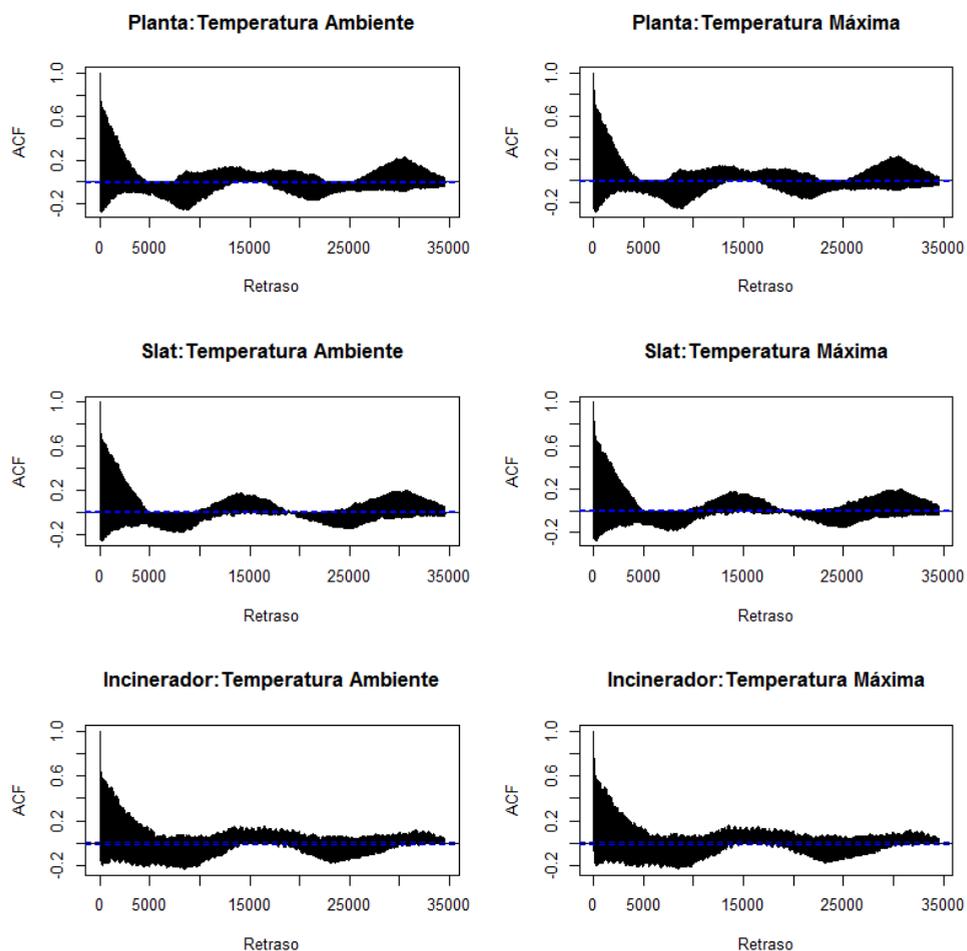


Figura 8.
Funciones de autocorrelación.

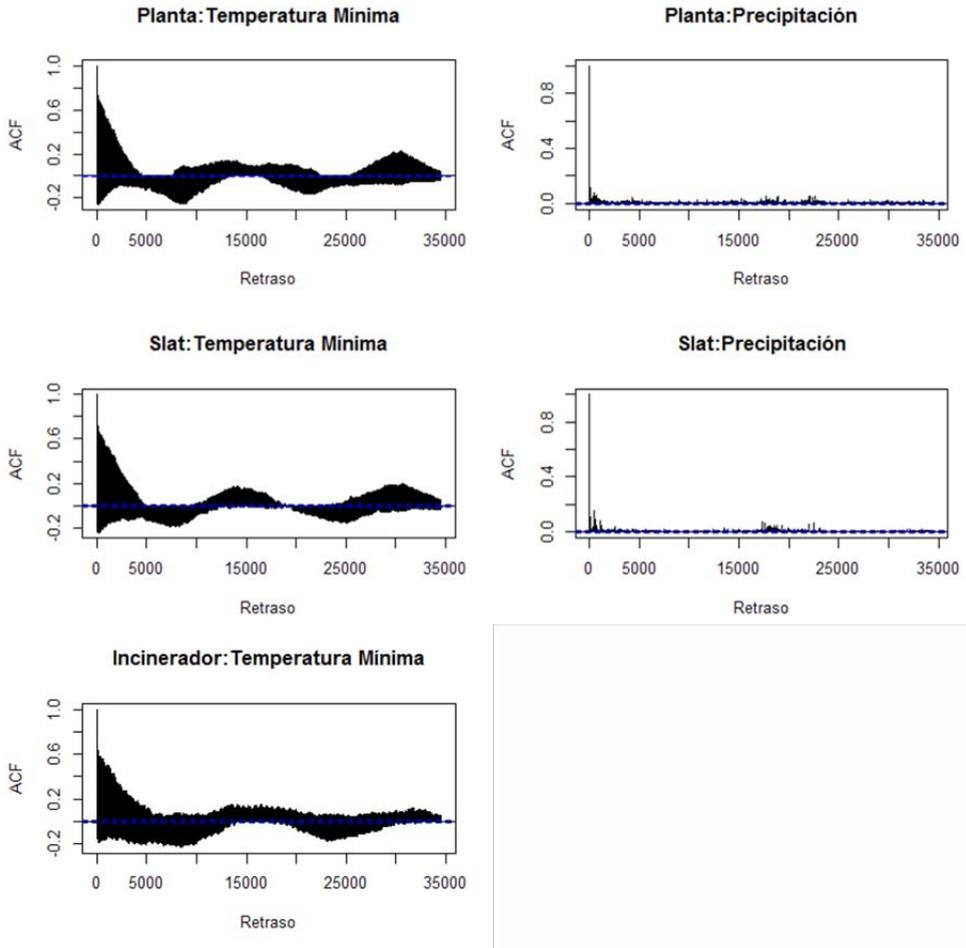
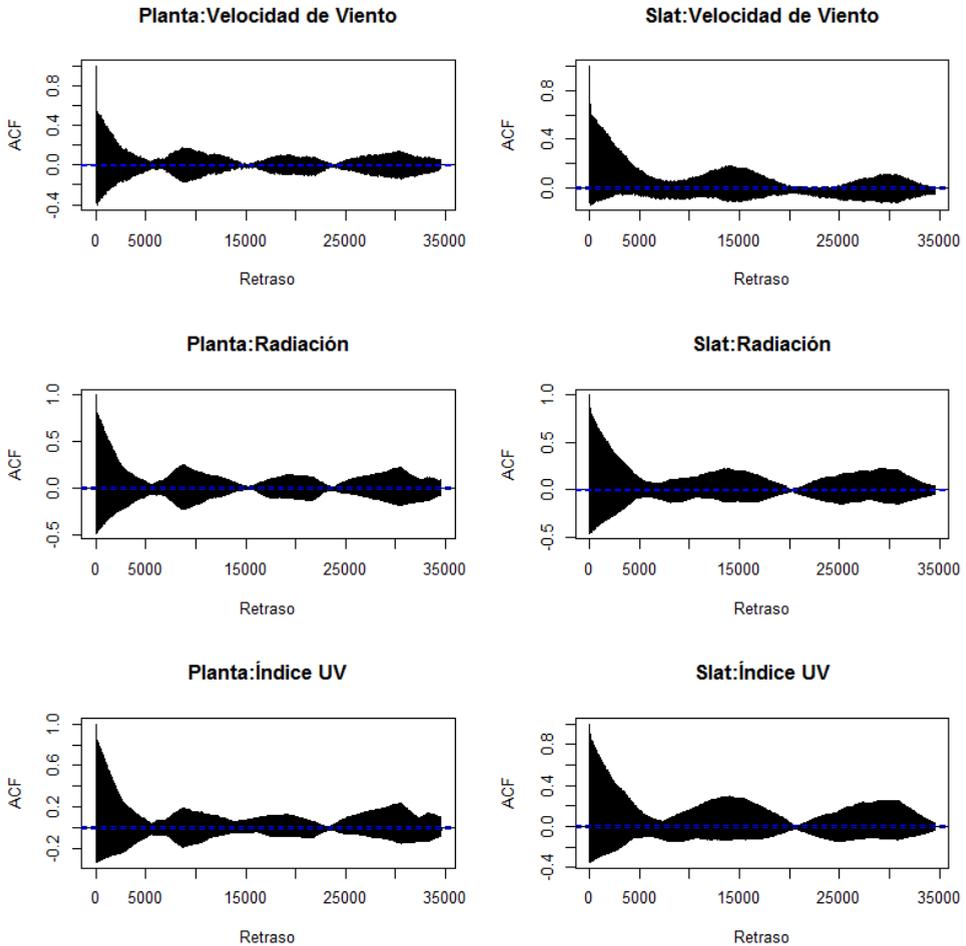


Figura 9.
Funciones de autocorrelación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Broomhead, D.S., and King, G.P. (1986a). Extracting Qualitative Dynamics from Experimental Data. *Physica D*, 20, pp. 217-236.

Broomhead, D.S., and King, G.P. (1986b). On the Qualitative Analysis of Experimental Dynamical Systems, en: *Nonlinear Phenomena and Chaos*, editado por Sarker, S., pp. 113-144, Adam Hilger, Bristol.

- Chandler, R. and Scott, M. (2011). *Statistical Methods for Trend Detection and Analysis in the Environmental Sciences*. Wiley: Chichester.
- Golyandina, N., and Zhigljavsky, A. (2013). *Singular Spectrum Analysis for Time Series*. Springer: New York.
- Lettenmaier, D.P., Conquest, L.L., and Hughes, J.P. (1982). *Routine Streams and Rivers Water Quality Trend Monitoring Review*. C.W. Harris Hydraulics Laboratory, Technical Report No. 75, Seattle, WA.
- Storch, H.V., and Zwiers, F.W. (1998). *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press: Cambridge.

APÉNDICE

ANÁLISIS ESPECTRAL SINGULAR

El Análisis Espectral Singular (AES) es una técnica de análisis de series de tiempo cuyo principio fundamental es que la dinámica de la serie de tiempo está determinada por componentes individuales aditivos e interpretables en el contexto de los datos. Estos componentes se identifican, se aíslan y se extraen mediante un análisis de componentes principales de la estructura de auto-correlación de la serie de tiempo. El AES está implementado en programas estadísticos tales como: SAS, en Caterpillar, en Matlab, y en R en el paquete Rssa. A continuación se describe el AES.

Sea $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_T)$ una serie de tiempo. Dada una longitud de ventana l tal que $k = T - l + 1$, entonces se transforma a \mathbf{y} en la matriz

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & y_3 & \dots & y_k \\ y_2 & y_3 & y_4 & \dots & y_{k+1} \\ y_3 & y_4 & y_5 & \dots & y_{k+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_l & y_{l+1} & y_{l+2} & \dots & y_T \end{bmatrix}. \quad (1)$$

La matriz \mathbf{Y} se conoce como la matriz de trayectoria de la serie de tiempo \mathbf{y} . Si se fijan l y T , entonces hay una correspondencia uno a uno entre las matrices de trayectoria $l \times T$

y las series de tiempo. Note que los elementos en las antidiagonales de \mathbf{Y} son iguales, las matrices que tienen esta propiedad se llaman matrices de Hankel. Formalmente, una matriz $\mathbf{H} = (h_{ij}) l \times T$ es una matriz de Hankel si sus elementos en las antidiagonales son iguales, es decir si sus elementos satisfacen $h_{ij} = h_{i-1,j-1}$. Sea \mathbf{H} la matriz $l \times T$ de trayectoria de la serie de tiempo $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_T)$. Consideremos a los índices de los elementos de \mathbf{H} en las antidiagonales

$$A_t = \{(i, j) : i + j = 1 + t, i = 1, \dots, l, j = 1, \dots, k\}, t = 1, \dots, T.$$

Se denota la cardinalidad A_t por $|A_t|$, entonces se puede verificar que

$$x_t = \frac{1}{|A_t|} \sum_{(i,j) \in A_t} h_{ij}, t = 1, 2, \dots, T.$$

Este procedimiento para transformar a \mathbf{H} de regreso a la serie de tiempo \mathbf{x} se conoce como *promediación diagonal*. De manera que la promediación diagonal de una matriz Hankel recupera a la serie de tiempo que la produjo. Considere a la Descomposición en Valores Singulares (DVS) de \mathbf{Y}

$$\mathbf{Y} = \sum_{i=1}^d \lambda_i \mathbf{u}_i \mathbf{v}_i'$$

donde d es el rango de \mathbf{Y} , $\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_d$ y $\mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_d$ son los eigenvectores de $\mathbf{X}'\mathbf{X}$ y $\mathbf{X}\mathbf{X}'$, respectivamente y $\lambda_1^2 \geq \dots \geq \lambda_d^2 > 0$ son los eigenvalores correspondientes a estos eigenvectores. A $(\lambda_i, \mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i)$ los cuales se llaman el *eigentriple* i de \mathbf{Y} . Sea I_1, I_2, \dots, I_m una partición del conjunto de índices $\{1, 2, \dots, d\}$ y sea $\mathbf{Y}_{I_j} = \sum_{i \in I_j} \lambda_i \mathbf{u}_i \mathbf{v}_i'$, ($j = 1, \dots, m$), entonces

$$\mathbf{Y} = \mathbf{Y}_{I_1} + \mathbf{Y}_{I_2} + \dots + \mathbf{Y}_{I_m}. \quad (2)$$

Se puede demostrar que cada matriz \mathbf{Y}_{I_j} , ($j = 1, \dots, m$), es una matriz de Hankel, por lo que se puede transformar en una serie de tiempo \mathbf{y}_{I_j} de longitud T mediante promediación diagonal. Además, por construcción, las columnas de las matrices en (2) son ortogonales, lo cual resulta en la reconstrucción de la serie de tiempo original \mathbf{y} en las series de tiempo ortogonales $\mathbf{y}_{I_1}, \mathbf{y}_{I_2}, \dots, \mathbf{y}_{I_m}$ tales que

$$\mathbf{y} = \mathbf{y}_{l_1} + \mathbf{y}_{l_2} + \dots + \mathbf{y}_{l_m}.$$

En la aplicación del AES se debe buscar una reconstrucción $\mathbf{y} = \mathbf{y}_s + \mathbf{y}_r$ en la cual \mathbf{y}_s esté formada por $p < d$ componentes determinísticos e interpretables de manera que se puedan considerar una señal y \mathbf{y}_r se pueda considerar un ruido blanco. La magnitud del espectro de \mathbf{Y} , $\sum_{i=1}^p \lambda_i / \sum_{i=1}^d \lambda_i$, proporciona un criterio para determinar la dimensión p la cual a su vez se considera una estimación de la dimensión topológica del sistema dinámico que gobierna a la serie de tiempo \mathbf{y} . Por otro lado, la composición de \mathbf{y}_s con componentes interpretables depende de la ventana l y de la agrupación de los eigentriples dada por l_1, l_2, \dots, l_m . Para elegir tanto a l como a la partición no existen reglas universales sino recomendaciones generales cuyo uso se debe combinar con el conocimiento disponible sobre el fenómeno bajo estudio.

En este trabajo se detectaron tendencias usando sólo el primer eigentriple del AES de las series de tiempo, es decir, la tendencia estimada estará dada por la serie \mathbf{y}_1 obtenida de la promediación diagonal de $\mathbf{Y}_1 = \lambda_1 \mathbf{u}_1 \mathbf{v}'_1$.

LA BIOCLIMATOLOGÍA PORCINA. CONSIDERANDO AL FACTOR AMBIENTAL EN LA PRODUCCIÓN PORCÍCOLA

Juan Cervantes Pérez*

INTRODUCCIÓN

Aunque en el ámbito común los términos *tiempo* (meteorológico) y *clima* se usan de manera indistinta, la diferencia entre ambos se da en el tiempo (cronológico) de ocurrencia: el primero incluye fenómenos que ocurren en un período corto de minutos (por ejemplo: remolinos, granizadas, etc.), hasta días (por ejemplo: huracanes, ondas tropicales o nortes); mientras que el segundo describe fenómenos que caracterizan un período de meses a años (por ejemplo: una temporada lluviosa, una época de sequía) (Vázquez, 2010). En ambos casos, las condiciones de la atmósfera influyen en el accionar de los seres vivos: en un día frío la gente se cubre y resguarda, mientras que en una temporada calurosa utiliza ropa ligera y evita recibir en lo posible la radiación solar.

La Organización Meteorológica Mundial define a la Biometeorología (Bioclimatología) como la disciplina que estudia los efectos del tiempo atmosférico (clima) en los seres vivos (seres humanos, vegetación y animales) (OMM, 1992). Uno de los objetivos de estas disciplinas ha sido determinar las condiciones óptimas de cada especie, fundamentado en buena medida en el hecho de que, bajo esas condiciones, el desarrollo físico y mental (en su caso) ocurre en su máximo potencial, condición conocida como confort térmico (Fanger, 1970). Se ha reconocido que las variables intrínsecas al organismo y meteorológicas más importantes que afectan la condición de confort son: nivel de actividad (producción de calor por el cuerpo humano), temperatura del aire, flujos de energía (calor) intercambiados, rapidez relativa del viento y presión de vapor del agua (humedad) (Fanger, 1970 y Landsberg, 1972).

En el caso de la producción porcina, muchas de las mermas o problemas que se producen en las explotaciones porcinas se relacionan con un deficiente manejo y control del medio ambiente. Es necesario proporcionar a los animales un microclima adecuado. El microclima se refiere a la modificación artificial de los elementos que forman el medio ambiente, para

* Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, jcervantes@uv.mx

proporcionar a los animales una zona de comodidad adecuada a sus necesidades y a la función productiva que deban satisfacer (Echeverría).¹

Una cantidad considerable de investigaciones han sido conducidas para determinar el ambiente óptimo que permita una máxima producción por parte de los animales, evaluando también el efecto negativo resultante, cuando los factores ambientales se apartan del óptimo. Por muchos años los productores y los científicos han trabajado para desarrollar sistemas de manejo que permitan maximizar la ganancia diaria de peso, la utilización del alimento, producción de leche y otros parámetros de productividad. Sin embargo, en años recientes, con los incrementos en los costos en general (por ejemplo, energía, entre otros), el interés ha cambiado desde “Niveles Máximos de Producción” a “Niveles Más Económicos de Producción”. Los cálculos de la relación Costo-Beneficio permiten apreciar la rentabilidad relativa de la provisión de sombra, aislamiento térmico, calor suplementario, ventiladores, aspersores y otras medidas tendientes a modificar el ambiente, según especies y sistemas de producción (Cunningham y Acker, 2000).

Con base en lo anteriormente descrito, el objetivo de este capítulo es describir brevemente algunos de los efectos de los elementos ambientales en la producción porcina y comentar algunos aspectos de las instalaciones que permiten mejorar las condiciones microclimáticas para llevar a los hatos a la condición de confort o en su caso, a la cercanía del mismo.

EFFECTOS DE ALGUNOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS EN LA PRODUCCIÓN PORCINA

La temperatura

Con la excepción de aquellas usadas en acuicultura, casi todas las especies domesticadas son homeotermas, es decir, especies que para mantenerse saludables y productivas deben regular su temperatura corporal dentro de un rango muy estrecho. Para mantener su temperatura corporal constante el calor producido más el calor ganado, eventualmente desde el exterior (por ejemplo: por radiación solar directa), deben igualar al calor perdido. Los intercambios de calor son regulados de forma tal que, en un período dado, el calor producido dentro del cuerpo sea igual a la cantidad de calor perdido (condición conocida como equilibrio térmico), permitiendo así el mantenimiento de una temperatura corporal constante.

¹ Echeverría, I. A. El ambiente climático en la producción porcina. Nota situada en la página web del Centro de Información de Actividades Porcinas (CIAP), consultada en septiembre de 2015.

El ambiente que rodea a un animal en cualquier instante tiene influencia sobre la cantidad de calor intercambiado entre él mismo y su ambiente, lo que consecuentemente tiene influencia sobre los ajustes fisiológicos que el animal debe realizar para mantener su balance de calor corporal. Si el ambiente no se encuentra enteramente dentro de la “zona de confort” del animal, los ajustes serán considerables y se dice que el animal se encuentra bajo un estrés de calor o estrés térmico, lo que impactará en su crecimiento, salud y producción.

Cuando un animal se encuentra, por ejemplo, en un ambiente más frío que su temperatura corporal, se removerá más calor de su cuerpo. Si esto continúa sin ninguna compensación fisiológica, se producirá un descenso de la temperatura corporal. Sin embargo los animales pueden compensar esta pérdida adicional de calor mediante el incremento de la producción de calor y/o una disminución de la pérdida de calor mediante diferentes ajustes físicos (Esmay, 1969). La tabla I muestra algunos aspectos de las condiciones de los animales cuando la temperatura ambiente está en descenso y en ascenso

Tabla I.
Respuestas fisiológicas y “de ajuste” para alcanzar el confort térmico de los animales ante el descenso y el ascenso de la temperatura

Descenso	Ascenso
<p>I.- Reducción de la pérdida de calor mediante:</p> <p>a) Vasoconstricción periférica.</p> <p>b) Incrementando la aislación corporal (mediante aumento de la cobertura adiposa, incrementando la capa de pelo: Mayor densidad y pelos más largos. Piloerección.</p> <p>c) Búsqueda de protección o cobertura del viento, lluvia, nieve, etc.</p> <p>d) Reducción del área superficial. Mediante cambios de postura corporal agrupándose estrechamente con otros animales.</p>	<p>I.- Incremento de la pérdida de calor mediante:</p> <p>a) Vasodilatación periférica.</p> <p>b) Disminución de la aislación corporal (Caída de la capa o cubierta de pelo).</p> <p>c) Incrementando la superficie corporal. (Descansando en una posición estirada o relajada).</p> <p>d) Incrementando el enfriamiento evaporativo mediante la transpiración y el jadeo. Cuando la temperatura ambiente se aproxima a la temperatura corporal, la transpiración y el jadeo se convierten en los principales mecanismos de disipación del calor.</p>

	<p>La radiación, conducción y convección se vuelven más bien no efectivas. En realidad estas formas de intercambio calórico pueden convertirse en una ganancia de calor (Exposición directa a la radiación solar).</p> <p>e) Evitando la exposición a la radiación solar., buscando sombra, por ejemplo.</p>
<p>2.- Incremento en la producción de calor mediante:</p> <p>a) Incrementando el consumo del alimento. (Mayor ingesta de energía, incremento calórico de la digestión).</p> <p>b) Incrementando la actividad física. Temblor involuntario en condiciones extremas de frío.</p> <p>c) Buscando la exposición a la radiación solar.</p>	<p>2.- Reduciendo la producción de calor mediante:</p> <p>a) Reduciendo el consumo de alimento. (Menores niveles de la hormona tiroxina y menor tasa metabólica).</p> <p>b) Reducción de la actividad física.</p>

Fuente: Adaptada de Echeverría, Pág. Web del CIAP

Es responsabilidad de los encargados del manejo de los animales mantenerlos tan confortables y productivos como sea posible, práctica o económicamente. Se debería prestar especial atención y cuidado en condiciones climáticas de extremo frío o calor (Echeverría, pág. web del CIAP).



Foto: Granjas Carroll de México, S de R. L. de C. V.

RADIACIÓN

La energía radiante se mueve en el espacio por medio de ondas electromagnéticas que se propagan en línea recta. Se transforma en energía térmica al entrar en contacto con el animal. De esta forma un animal puede percibir calor en un día luminoso de invierno, especialmente si se encuentra en un lugar protegido del viento.

La radiación también implica el intercambio de calor entre dos objetos que no están en contacto. El calor fluye desde el objeto más caliente al más frío. Por ejemplo un ternero parado al sol, en un día claro de invierno, recibe calor solar mediante radiación. Bajo confinamiento un animal puede perder calor por radiación, cuando las temperaturas de las paredes y del techo sean más bajas que la temperatura del animal. Sin embargo, un techo con pobre aislamiento térmico, en verano, puede resultar en una ganancia significativa de calor radiante sobre el lomo de los animales (Echeverría, pág. web del CIAP).

La pérdida de calor hacia el ambiente externo se realiza mediante dos rutas o formas principales. En primer lugar por la transferencia no-evaporativa de calor hacia el aire y superficies adyacentes al animal mediante radiación, convección y conducción. En segundo lugar, mediante la transferencia de calor evaporativo, asociado con la pérdida de vapor de agua desde la superficie corporal y el sistema respiratorio (Wathes y Charles, 1994).

A las bajas velocidades del aire, típicas del ambiente de los edificios de confinamiento (y de viviendas), la tasa de pérdida de calor por intercambio de radiación es tan importante como la convección, especialmente para grandes animales. El aislamiento provisto por la capa límite de aire alrededor del cuerpo, decrece con el incremento de la velocidad del aire, como también lo hace el aislamiento de la capa externa, incrementando la proporción de la pérdida de calor no evaporativo debida a la convección.

Consecuentemente la convección es dominante a altas velocidades del viento y a eso se debe la ventaja ambiental que proporcionan los reparos o barreras para viento. Por el contrario las velocidades del aire deben ser bajas, para que el calentamiento infrarrojo sea efectivo (es el caso del uso de lámparas infrarrojas en lechones recién nacidos en confinamiento, donde debe cuidarse especialmente la ausencia de corrientes de aire por convección) (Echeverría, pág. web del CIAP).

CONVECCIÓN

Es el flujo o transferencia de calor mediante el movimiento del aire o del agua. En los animales la transferencia de calor por convección ocurre entre la superficie externa del cuerpo y el aire que lo rodea. Su magnitud depende de dos factores: 1) La diferencia de

temperaturas entre la superficie del animal y el aire, y 2) El aislamiento térmico provisto por la capa límite de aire alrededor del cuerpo (Echeverría, pág. web del CIAP).

Esta capa límite es alterada por las corrientes de aire, siendo afectada también por la naturaleza de la superficie (pelos, plumas, piloerección, etc.). Bajo condiciones de viento el calor es removido por “Convección Forzada” en una magnitud que depende de la velocidad y dirección del viento. En condiciones de aire quieto o en calma, el movimiento del aire alrededor del cuerpo animal es consecuencia del movimiento ascendente natural del aire (el aire caliente asciende) y el calor se remueve, mínimamente, por “Convección Libre”. Los procesos equivalentes para los edificios de confinamiento son la ventilación debida al viento y el efecto “Chimenea” (Whates y Charles, 1994).

Un animal al aire libre, por ejemplo un novillo, expuesto a un viento de 32 Km/hora a 0°C, estará expuesto a una “Temperatura Efectiva” de -12°C (índice de sensación térmica), experimentando una considerable pérdida de calor por convección (Cunningham y Acker, 2000). Por otra parte, este incremento de las pérdidas de calor por convección, como consecuencia de las corrientes de aire, es uno de los medios eficaces para luchar contra las temperaturas muy elevadas (Forcada Miranda, 1997).

Los cambios en las corrientes o velocidad del aire son proporcionalmente más efectivos a bajas velocidades que cambios similares a velocidades altas, probablemente como resultado de la ruptura de la capa límite de aire que ocurre a bajas velocidades. Por esta razón las corrientes de aire frío a bajas velocidades son perjudiciales en condiciones de confinamiento, especialmente para las categorías de animales pequeños o recién nacidos (lechones, pollitos, etc.), porque aumentan mucho las pérdidas de calor, lo que puede tener consecuencias en el crecimiento y el estado de salud de estos animales.

En cerdos en crecimiento, bajo confinamiento, alimentados *Ad Libitum*, las corrientes de aire en invierno pueden afectar las eficiencias de conversión del alimento al incrementar las pérdidas de calor en los alojamientos. En la práctica, estas corrientes de aire tienen a menudo una temperatura más baja que el aire de los corrales, aumentando por esta causa adicionalmente la pérdida de calor (Echeverría, pág. web del CIAP).

CONDUCCIÓN

Es el flujo o transferencia de calor entre un animal y cualquier superficie, particularmente el piso, con la que esté en contacto. Los animales que permanecen de pie pierden pequeñas cantidades de calor por conducción debido a que el área de contacto con el piso es muy pequeña. Sin embargo, la pérdida de calor conductivo puede ser significativa para un animal

echado, cuando el piso está constituido por materiales que sean relativamente buenos conductores (concreto, chapas de hierro perforadas, alambre tejido, que son usadas por ejemplo en los sistemas de confinamiento en cerdos y jaulas para aves). Un cerdo echado sobre un piso frío de listones de concretos (“Slats”) pierde calor por conducción hacia los listones. Por lo contrario un animal echado sobre un piso calentado por cañerías de agua caliente o losa radiante ganará calor por conducción. Este último es el caso del uso de las “alfombras eléctricas” que se usan frecuentemente para los lechones, en las maternidades porcinas bajo confinamiento (Echeverría, pág. web del CIAP).

El efecto positivo de la “cama de paja o viruta de madera”, que se utiliza en diferentes especies y circunstancias, se debe en gran parte al efecto aislante que disminuye la pérdida de calor por conducción, creando una especie de “microclima”, que disminuye también la pérdida de calor por convección (Echeverría, pág. web del CIAP).

Para el caso de un piso frío, el flujo de calor desde el animal es una función del área de contacto, del gradiente de temperatura, de la conductividad térmica y de la capacidad calórica del material del piso. Es necesario tener en cuenta la cantidad de calor requerida para calentar el material del piso (capacidad calórica), que se suma al flujo de calor que corresponde al gradiente de temperatura, que a su vez es función de la conductividad. Por ejemplo, esto es particularmente importante para lechones pequeños que descansan sobre una gruesa capa de concreto, donde la capacidad calórica del concreto anula la utilidad de la barrera aislante colocada debajo, cuando se usa aislamiento térmico del piso. Si los lechones cambian de posición frecuentemente es como si no existiera aislamiento alguno debido a que cada porción fresca o nueva del piso constituye un gran “depósito” o pérdida de calor, como consecuencia de la capacidad calórica de la gruesa capa de concreto. La capa o cobertura de cemento por encima del material aislante no debería ser, por esta razón, demasiado gruesa. Lo mínimo compatible con una durabilidad adecuada (Echeverría, pág. web del CIAP).

PÉRDIDAS DE CALOR POR EVAPORACIÓN

El pasaje del agua del estado líquido a vapor, por ejemplo en la superficie del animal por transpiración, implica un intercambio de calor. Por cada gramo de agua evaporada se transfieren 0.58 Kcal que quedan en el aire que rodea al animal como calor latente de vaporización. El calor es tomado de la superficie del animal, resultando en un enfriamiento de la masa corporal. Es el mismo principio físico por el que se enfría el líquido, por ejemplo agua, contenido en un recipiente expuesto al viento, envuelto con una bolsa de arpillera saturada de agua (Echeverría, pág. web del CIAP).

A medida que la temperatura ambiental se aproxima a la temperatura corporal del animal, las pérdidas de calor no evaporativo (radiación, conducción y convección) se vuelven muy pequeñas, debiendo el animal disipar calor por medio de la evaporación. Bajo estas condiciones, en los porcinos la cantidad de calor perdido depende de la magnitud de la evaporación, que a su vez es influenciada por la superficie o área del animal que se encuentra humedecida, por la temperatura de la piel y por la velocidad, temperatura y humedad relativa del aire (Echeverría, pág. web del CIAP).

Cuando la humedad relativa es muy alta, cercana por ejemplo al 100 %, la pérdida de calor evaporativo se compromete severamente. La humedad relativa se define como la proporción o cantidad de vapor de agua que contiene el aire, a esa temperatura, respecto al máximo (saturación) que podría contener a esa misma temperatura. Mientras mayor sea la temperatura del aire, mayor será su capacidad para contener vapor de agua (Echeverría, pág. web del CIAP).

Un aspecto importante a considerar es que, en condiciones de confinamiento, el calor perdido por los animales por evaporación no contribuye al calentamiento del alojamiento. El calor disipado queda en el ambiente como calor latente de vaporización. En cambio, el calor no evaporativo disipado hacia el ambiente, contribuye para elevar la temperatura del alojamiento. Por este motivo las pérdidas de calor no evaporativas se denominan también *Calor Sensible o Calor Perceptible*. El acondicionamiento ambiental de los sistemas de confinamiento, en los climas templados a templado-fríos, trata en realidad de hacer uso de este calor no-evaporativo, para regular la temperatura interna de los alojamientos mediante el control de la ventilación, evitando en lo posible el uso de calor o energía de una fuente externa (Echeverría, pág. web del CIAP).



Foto: Granjas Carroll de México, S de R L de C V

Cuando las temperaturas ambientales son mayores que la temperatura corporal normal de los animales, la evaporación es la única forma de pérdida de calor, constituyéndose en un mecanismo esencial para el mantenimiento de la homeotermia. La habilidad para transpirar y perder calor por evaporación difiere marcadamente entre las distintas especies animales. Una característica notable de los cerdos es que no parecen transpirar. Las pérdidas de agua por la piel pueden atribuirse a la difusión, sin secreción glandular. Poseen glándulas sudoríparas atrofiadas que responden poco al estrés por calor, debido particularmente a la capa de grasa debajo de su piel. Se ha determinado (Ingram, 1965) que las pérdidas de agua o evaporación por la piel, con temperaturas ambientales por encima de la temperatura crítica superior, ascienden para los cerdos a sólo 30 gramos por metro cuadrado de superficie del animal y por hora. Contrastando con los 60 gr/m²/hr para las ovejas, 70–140 para los bovinos y los 1,000 o más gr/m²/hora para el hombre. Los cerdos, por lo tanto, no parecerían adaptados a las condiciones cálidas, en las que la evaporación juega el papel más importante en la pérdida de calor, dado que en este caso la temperatura del ambiente se acerca o excede la temperatura superficial del cerdo, reduciendo las pérdidas de calor perceptible a cero o transformándose, inclusive en una ganancia de calor. Sin embargo, el hábito de los cerdos de tratar de mojarse superficialmente, revolcándose en el barro, buscando los charcos o aspersión de agua, aumenta en gran medida su tolerancia al calor.

Se ha determinado que la evaporación de un cerdo embarrado y mojado (en los flancos), es equivalente al nivel alcanzado por el hombre en un ambiente caluroso. Por lo tanto los cerdos pueden compensar mediante el comportamiento su inaptitud para transpirar, si es que disponen de agua exógena. Se ha remarcado el hecho de que si los cerdos evolucionaron en áreas pantanosas, húmedas y cálidas, la evolución favoreció el hábito de revolcarse y chapotear en el agua y en el barro como una adaptación por comportamiento, en lugar de la adaptación fisiológica de transpirar como mecanismo para la pérdida de calor por evaporación (Roller y Goldman, 1969).

También se pierde calor por evaporación de humedad desde los pulmones y el tracto respiratorio. El aumento de la frecuencia respiratoria como respuesta a las elevadas temperaturas, propia de algunas especies, tiene por finalidad aumentar la pérdida de calor evaporativo. Algunas especies, como los porcinos, si no pueden expresar su comportamiento normal de buscar lugares húmedos o barro, responden al calor con jadeo, incrementando así la pérdida de vapor de agua desde el sistema respiratorio, mientras que otras tienen capacidades variables para transpirar, como respuesta al calor, de forma que la consecuente evaporación toma calor desde la superficie de la piel. También hay especies que jadean y transpiran.

Si bien los cerdos, bajo condiciones de calor, tienen una cierta capacidad para incrementar la pérdida de vapor de agua (y calor como ya se explicó), desde el sistema respiratorio mediante el jadeo, esta capacidad es más bien limitada, sobre todos para los animales en terminación y los reproductores, o sea para las categorías de mayor peso o tamaño, que tienen una gran producción metabólica de calor cuando se encuentran bajo los altos niveles de productividad de los sistemas actuales de producción. Una frecuencia respiratoria superior a 50/minuto, indica estrés por calor en los porcinos.

El idioma de los cerdos para manifestar su incomodidad ante las altas temperaturas ambientales es básicamente su comportamiento (Roppa, 2003). Este autor describe claramente la sucesión de respuestas:

- a. Aumento de la temperatura superficial por el mayor flujo de sangre hacia la superficie. Esta vasodilatación aumenta el traslado de calor hacia la piel en hasta 8 veces, calor que puede disiparse por evaporación superficial suministrando agua por aspersión, nebulización, charcos o refrescaderos, según sistema de producción.
- b. Termoregulación por comportamiento. Los animales se esfuerzan para buscar lugares más húmedos y fríos. Aumenta el consumo de agua.
- c. Cae el consumo de ración para producir menos calor corporal. Menor actividad de la tiroides.
- d. Jadeo termal
- e. Desequilibrio electrolítico. Con el aumento de la tasa respiratoria ocurre una gran pérdida de anhídrido carbónico, que lleva a un cuadro de "alcalosis respiratoria". El organismo, en respuesta, altera la excreción urinaria de bicarbonato, provocando una acidosis metabólica para mantener estable la relación entre ácido carbónico y bicarbonato.
- f. Con la continuidad del estrés por calor que provoca un desequilibrio hídrico, de electrolitos e ion hidrógeno, el cerdo entra en la fase de hipertermia, con un postramiento inicial, que después puede llegar a la muerte.
- g. Sin embargo puede existir algún grado de aclimatación con respecto a las altas temperaturas.

Es conveniente analizar la importancia de las diferentes formas de intercambios de calor con relación a las temperaturas del ambiente (Tabla 2).

Tabla 2.
Importancia relativa de las distintas formas de intercambio calórico¹.

Porcentaje de pérdida de calor debida a:				
Temperatura del Aire (°C)	Radiación	Convección	Conducción ²	Evaporación
4	35	38	13	15
21	27	34	11	28
38	3	5	3	90

¹ Cerdos de 30 a 200 Kg de peso vivo.

² Se incluye el calor de calentamiento de la ingesta.

Fuente: Bond *et al.*, 1959.

Para los porcinos en condiciones de confinamiento en climas con humedad relativa medias a bajas, se suelen utilizar paneles de enfriamiento evaporativo (como una ventana, pero cubierta con una especie de fieltro de papel de celulosa), por donde circula agua y por donde entra al alojamiento, en forma forzada, parte del aire de ventilación. De esta forma el aire externo caliente y con baja cantidad de vapor de agua, al pasar por el panel, provoca la evaporación del agua, perdiendo calor (enfriándose), a la vez que aumenta su contenido de vapor de agua (Forcada Miranda, 1997).

TERMONEUTRALIDAD: TEMPERATURAS CRÍTICAS

Zona Termoneutral.

La tasa de producción metabólica de calor es mínima e independiente de la temperatura del aire en la “zona termoneutral”, entre los puntos T_{ci} y T_{cs} (temperaturas críticas inferior y superior) del eje de las abscisas (temperaturas del aire), con consumos de alimento y actividad física a un nivel fijo. Este nivel de producción de calor, denominado Tasa Metabólica en Reposo (Mtn), corresponde en la Figura 1, a 6.8 MJ/cerdo/día. Dentro de esta zona la tasa metabólica es mínima y el animal puede mantener su homotermia automáticamente mediante compensaciones “físicas” (alterando el flujo de sangre periférica, pilo erección, cambios de postura, etc.) (Esmay, 1969).

TEMPERATURA CRÍTICA INFERIOR (T_{ci}).

La temperatura crítica inferior (T_{ci}) se podría definir como la temperatura del aire por debajo de la cual, el animal debe incrementar su producción metabólica de calor, para mantener

el equilibrio térmico. Bajo estas condiciones, la producción de calor se hace cada vez más dependiente de la temperatura del aire. En condiciones ambientales por debajo de la temperatura crítica inferior (T_{ci}), los animales deben incrementar su tasa metabólica por encima del valor de “reposo”, para balancear la tasa o ritmo de pérdida de calor hacia los alrededores. En estas condiciones el calor es perdido principalmente mediante las formas No Evaporativas, siendo mínimas las pérdidas de calor Evaporativas y máxima la aislación térmica corporal (Wathes y Charles, 1994).

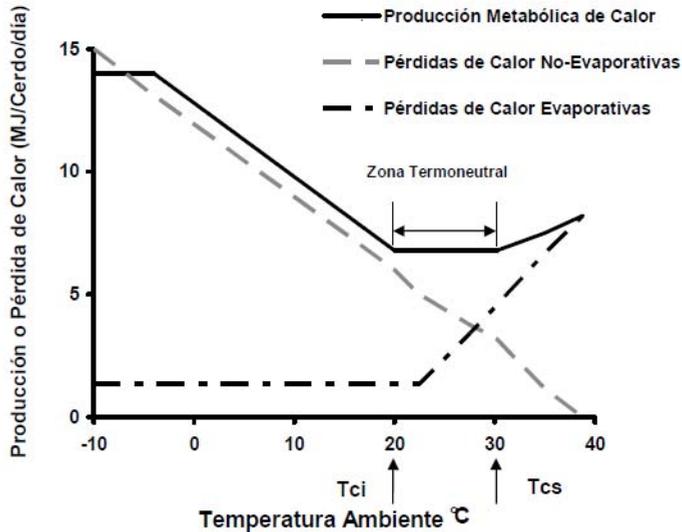
El conocimiento de los valores de las Temperaturas Críticas Inferiores (T_{ci}) es importante, sobre todo en condiciones de confinamiento y en épocas de bajas temperaturas ambientales, ya que si se logra mantener a los animales dentro de la Zona Termoneutral, el proceso de producción será más eficiente porque no se estará derivando energía del alimento para la producción de calor termoregulatorio. Por ejemplo, en los cerdos en crecimiento alimentados a discreción o *Ad Libitum* mediante comederos automáticos, aumentará el consumo voluntario de alimento cuando la temperatura ambiental se encuentre por debajo de la T_{ci} correspondiente para esas condiciones particulares de producción (Tipo de pisos, con o sin cama, corrientes de aire, número de animales por grupo, etc.). El aumento de peso no cambiará respecto a la termoneutralidad, de manera que empeorará la conversión del alimento, ya que una parte de la energía del mismo será empleada solo para mantener la termoneutralidad y no para funciones de producción. Si el alimento está restringido (en cantidades diarias fijas, por debajo del apetito o consumo voluntario), se afectará el aumento diario de peso, además de la conversión del alimento.

TEMPERATURA CRÍTICA SUPERIOR (T_{cs}).

La magnitud de la Temperatura Crítica Superior (T_{cs}) depende de la tasa metabólica, aislación térmica y de la habilidad del animal para disipar calor por evaporación. El incremento en la tasa metabólica que se observa por encima de T_{cs} (Figura 1), es una consecuencia del incremento en la temperatura corporal y del esfuerzo respiratorio realizado para aumentar la pérdida de calor evaporativo (Echeverría, pág. web del CIAP). La T_{cs} es la temperatura del aire (punto hipertérmico) por encima de la cual se incrementa la producción metabólica de calor (Mount, 1974).

Figura 1.

Diagrama metabólico: relación entre la temperatura del aire, la producción y las pérdidas de calor para un cerdo de 60 Kg con un consumo diario de energía de dos veces el mantenimiento (Echeverría, pág. web del CIAP).



También se puede definir a la T_{cs} como la temperatura del aire por encima de la cual se incrementa marcadamente la pérdida de calor evaporativo. En el contexto de esta última definición (menos aceptada) se habla de Temperatura Superior Evaporativa. Puede parecer un contrasentido el hecho de que los animales, en condiciones de altas temperaturas ambientales, lleguen a aumentar su producción de calor, pero esto se explica por el aumento de la frecuencia respiratoria (que produce calor), en un intento de aumentar las pérdidas evaporativas y por el aumento de las pérdidas no-evaporativas, si aumenta la temperatura corporal. En realidad, sería como un círculo vicioso, en que al intentar aumentar las pérdidas de calor, se incrementa la producción de calor.

Es conveniente comprender que los anteriores son, más bien, mecanismos de ajuste en el corto plazo. En el largo plazo los animales se "adaptan", en cierto grado, a las altas temperaturas, bajando particularmente la tasa metabólica. Esto se debe a una disminución del consumo de alimento y de la actividad tiroidea. Como se aprecia en la Figura 1, es mucho menor, en general, la tolerancia o rango de respuesta de los cerdos al calor que al frío. Esto es válido asumiendo, en las condiciones de frío, una disponibilidad adecuada de alimentos (o reservas corporales en ciertos casos) y con la excepción de los recién nacidos,

que en muchas especies son muy susceptibles al frío, por ser fisiológicamente inmaduros y tener su sistema termoregulador muy poco desarrollado (Echeverría, pág. web del CIAP).

ALGUNOS VALORES DE TEMPERATURAS CRÍTICAS

El conocimiento de los valores límites para la Zona de Termoneutralidad, o sea de las Temperaturas Críticas, es de gran importancia, sobre todo en condiciones de confinamiento, ya que si se logra mantener a los animales dentro de estos límites, el proceso de producción será más eficiente porque no se estará derivando energía del alimento para la producción de calor termoregulatorio.

Esta producción de energía adicional para mantener la homeotermia se cubrirá utilizando más alimento, lo que disminuye la eficiencia de conversión del alimento. Debe tenerse presente que los valores para las temperaturas críticas, que se darán más adelante para diferentes categorías de animales, son orientativos, ya que dependen de muchos factores como por ejemplo del plano de alimentación que afecta la producción de calor, de la velocidad del viento o movimiento del aire, del uso de cama y tipos de pisos, de la edad, peso vivo y de la composición corporal o grado de magrura de los animales, ya que aquellos que produzcan canales más magras serán menos capaces de tolerar ambientes fríos. Las temperaturas críticas también dependerán del agrupamiento de los cerdos.

Muchos valores encontrados en la literatura corresponden a cerdos alojados individualmente. Los animales pueden modificar su ambiente térmico mediante "cooperación social", por ejemplo apretujándose unos con otros, disminuyendo la superficie expuesta y de esta forma la pérdida de calor. Además los valores de T_{ci} mostrados, se aplican a animales que están secos. La humedad superficial puede producir un gran incremento de la pérdida de calor (calor evaporativo).

Los valores de T_{ci} y de T_{cs} pueden determinarse experimentalmente. Sin embargo los valores de T_{cs} son más complicados de determinar que los de T_{ci} , debido a que es más difícil cuantificar la partición de las pérdidas de calor en ambientes cálidos. Algunas especies tienen temperaturas críticas inferiores mucho más bajas que otras. En general las especies que se explotan bajo sistemas extensivos de producción, al aire libre (bovinos, ovinos, etc.), tienen una T_{ci} mucho más baja que especies que se adaptan a la producción bajo confinamiento (cerdos, aves, etc.).

Tabla 3.
Temperaturas críticas inferiores (Tci) para cerdos
de diferentes categorías y con tres niveles de alimentación

Peso vivo (kg)	Consumo de energía metabolizante		
	M ¹	2M	3M
2	31 (-4)	29 (-5)	29 (-5)
20	26 (-2)	21 (-2)	17 (-2)
60	24 (-1)	20 (-2)	16 (-3)
100	23 (-1)	19 (-2)	14 (-2)

¹ M = 0,42 MJ EM por Kg^{0,75}. (MJ EM/DIA). M: Mantenimiento

² Valores entre paréntesis: A restar para cerdos en grupos de 3-6.

CONTROL DEL ESTRÉS TÉRMICO: ADAPTACIÓN

Adaptación fisiológica al estrés térmico

Los animales se ajustan o “aclimatan” parcialmente a la temperatura cuando están expuestos por un cierto período de tiempo. La “aclimatización” se refiere a los ajustes que hace un animal ante cambios ambientales o factores diversos, sobre un periodo de semanas o meses (Cunningham y Acker, 2000).

La aclimatización o ajustes al ambiente, involucra tanto cambios hormonales, como cambios fisiológicos termoregulatorios. Durante el estrés térmico se secretan hormonas de las glándulas adrenales y tiroides, para ayudar con el ajuste corporal. Con las bajas temperaturas se incrementa la secreción de tiroxina, lo que causa un incremento en la tasa metabólica y en la producción de calor del animal. También se incrementa la secreción de corticoides, desde la glándula adrenal, como consecuencia del estrés por frío, lo que contribuye, aún en mayor grado, al incremento de la tasa metabólica. La glándula tiroides secreta menos tiroxina, durante el estrés por calor.

PROBLEMAS CON LAS ALTAS TEMPERATURAS: CONTROL DEL ESTRÉS POR CALOR

Cuando la temperatura del aire se incrementa por encima de la Temperatura Crítica Inferior (Tci), hay una disminución en la proporción de calor metabólico que los animales pierden por la vía No-Evaporativa. En las aves, ovinos y porcinos, el incremento correspondiente en la tasa de pérdida de calor evaporativo, se realiza principalmente desde el tracto respiratorio, como resultado del jadeo.

La mayoría de los animales de granja, con la excepción de los equinos, no pueden disipar el calor corporal tan fácil y rápidamente como lo hacen los humanos. Los porcinos poseen glándulas sudoríparas que responden poco al estrés por calor, debido particularmente a la capa de grasa debajo de su piel. Los pollos no tienen glándulas sudoríparas y con su cobertura de plumas, son particularmente sensibles al estrés por calor. El enfriamiento evaporativo por “jadeo” es particularmente útil para las aves (abren el pico), debido a su inhabilidad para transpirar. En contraste, los bovinos y equinos dependen mucho más de la evaporación de sudor desde la superficie de la piel, como medio para remover el exceso de calor.

El estrés por calor tiene un significativo efecto negativo sobre la eficiencia reproductiva, tanto en el macho como en la hembra. Los verracos, así como los machos de otras especies, son más afectados por el calor que las hembras, debido a que el calor daña el esperma inmaduro. En los verracos el daño por calor tarda dos semanas en manifestarse en la fertilidad (los espermatozoides en el epidídimo no son afectados). Pueden tardar entre 50 a 60 días, desde la exposición a las altas temperaturas, para recobrar su fertilidad. Una frecuencia respiratoria superior a 50/minuto, indica estrés por calor en los porcinos.

SOMBRA

La sombra constituye la herramienta más simple y económica para disminuir la ganancia de calor proveniente de la radiación solar. Los árboles para sombra, desparramados en una pastura y las sombras artificiales, pueden ofrecer una considerable protección de la radiación solar.

Las sombras bien diseñadas reducirán hasta un 50% la ganancia de calor radiante de ovinos, bovinos y porcinos. La investigación indica que deben tener unos tres metros de alto, para permitir un adecuado movimiento del aire. De ser posible, se deben colocar en la parte alta del terreno, abiertas en todos los costados, o a lo sumo con un cerramiento vertical, desde el techo, de unos 0,70-1,00 metro de tela media-sombra, colocado por ejemplo en el lado oeste, para disminuir la entrada de Sol, cuando éste está declinando por la tarde, aumentando así el área bajo sombra del sombreadero.

Si el sombreadero es de forma rectangular, es conveniente colocarlo con la dimensión principal Este-Oeste, para disminuir la entrada de radiación, con temperaturas más frescas debajo de la sombra. Si el techo tiene una pendiente, es conveniente colocar el lado más bajo hacia el Norte, para dar mayor protección respecto a la parte más cálida de la bóveda celeste. Se debe tener presente que, en nuestra latitud, el Sol realiza una trayectoria de Este

a Oeste con una cierta inclinación hacia el Norte, más marcada en invierno y menor en verano.

Si se utilizan sombreaderos con techo de metal o de madera, la superficie externa debería ser blanca o brillante, con la superficie interna oscura y opaca, para que absorba y no refleje el calor emitido por los animales y por el suelo (radiación de onda larga). Las pinturas externas sobre el techo modifican los intercambios de calor por radiación, afectando la reflectividad y la emisividad de la superficie del techo (Esmay, 1969). La mejor combinación es el color blanco en la parte externa, con el negro en la parte interna (Bond, 1954).

Desde hace algunos años, se encuentran también comercialmente disponibles mallas o telas para construir sombras, conocidas con el nombre genérico de Media-Sombra (tejidas con hilos plásticos), con cubrimientos que dan desde el 30 al 90% de sombra y con tratamiento anti UV (radiación ultravioleta, que acelera la degradación del material). Manejadas con cuidado pueden durar hasta diez años y son más fáciles de construir y de mover que la mayoría de las sombras de metal, madera o paja. Aparentemente para los bovinos se requieren de 3.0 a 5.5 m² de sombra por animal, mientras que los porcinos y ovinos necesitan entre 1.8 a 2.3 m² /animal.

ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

Uno de los medios más efectivos para controlar el estrés por calor es el uso del “Enfriamiento Evaporativo”. El uso de aspersores, de nebulizadores y de paneles evaporativos, puede ser económicamente rentable, especialmente para los porcinos. En muchos casos, el agua subterránea se encuentra fría de antemano, de manera que también contribuye con enfriamiento por conducción, además de la evaporación resultante del movimiento natural del aire.

Con el incremento del confinamiento en la producción porcina, se ha convertido en una necesidad la utilización de sistemas de enfriamiento. Debido a que los porcinos tienen poca habilidad para transpirar y a que son “jadeadores” ineficientes, deben depender del agua (nebulizadores, aspersores, etc.), para lograr un enfriamiento evaporativo, durante el estrés por calor. Para lograr un enfriamiento evaporativo máximo, es importante permitir, a los animales, secarse. A los cerdos en terminación, idealmente, se los debe humedecer alternativamente, dándoles tiempo para secarse.

Como se explicó anteriormente, en porcinos bajo condiciones de confinamiento, en climas con humedad relativa medias a bajas, se suelen utilizar paneles de enfriamiento

evaporativo (como una ventana, pero cubierta con una especie de fieltro de papel de celulosa), por donde circula agua y por donde entra al alojamiento, en forma forzada, parte del aire de ventilación.

De esta forma el aire externo caliente y con baja cantidad de vapor de agua, al pasar por el panel, provoca la evaporación del agua, perdiendo calor (enfriándose), a la vez que aumenta su contenido de vapor de agua (Forcada Miranda, 1997). La humedad relativa del aire externo, debe ser menor al 50 %, según este autor, para que estos sistemas de enfriamiento sean efectivos. Se han realizado estudios que demuestran el valor de los nebulizadores y de aspersores intermitentes, para reducir el estrés por calor en los porcinos.

En la producción porcina a campo o al aire libre, también se utilizan charcos o refrescaderos. Los charcos, aunque a menudo se los califica como antihigiénicos, cumplen una importante función para atenuar el estrés por calor, sobre todo para los animales reproductores (cerdas y padrillos). En cierta forma constituyen un mal necesario. Los parásitos internos más comunes pueden manejarse adecuadamente, por ejemplo, mediante la medicación del alimento, con antiparasitarios apropiados. Cuando se utilizan charcos o refrescaderos, no es necesario que sean demasiado profundos, ya que el enfriamiento no se realiza principalmente por conducción, sino por evaporación (no hace falta que el agua se encuentre a baja temperatura), siendo conveniente que los animales se encuentren con una capa de barro húmedo, para maximizar la tasa de evaporación de agua desde la superficie. En las cerdas madres no aumenta la incidencia de mastitis, como a veces se afirma.

Obviamente el enfriamiento evaporativo es más efectivo en climas áridos, donde la evaporación es más rápida. En zonas de alta humedad ambiente, en realidad los aspersores pueden incrementar la humedad en las cercanías de los animales, disminuyendo la tasa evaporativa.

En la producción avícola y también en la producción porcina, se suele utilizar la nebulización de agua dentro de los galpones, para lograr el enfriamiento evaporativo del ambiente, cuidando especialmente de no mojar los animales, por las consecuencias negativas que ello tendría. El incremento resultante en la humedad relativa, debe ser manejado mediante la ventilación adecuada.

La evaporación de humedad desde los pastos, también tiene un efecto refrescante. Para comprobarlo basta colocarse en un día caluroso de verano, en un alfalar, primero en el extremo del lote desde donde sopla el viento (de cara al viento o a barlovento) y luego en el otro extremo, hacia donde sopla el mismo. Se comprobará que la brisa que viene desde

el lote de alfalfa está considerablemente más fresca, que la que proviene, en el otro extremo del lote, del campo cultivado, sin la pradera.

La existencia de cobertura vegetal, es un aspecto importante, en los sistemas de producción porcina al aire libre, para atenuar las temperaturas extremas, propias del suelo pelado o sin cobertura.

NECESIDADES DE AGUA Y ALIMENTO DURANTE EL ESTRÉS POR CALOR

Es sabido que una abundante provisión de agua resulta esencial para una producción, con sentido económico, del ganado y de las aves. El ganado tiene una necesidad de agua de tres a cuatro veces el consumo de alimento, necesitando más agua en las épocas o climas de calor. Las gallinas ponedoras consumen el doble de agua, que de alimento a 10°C, y hasta cinco veces el alimento a temperaturas entre 32 a 38°C (Cunningham y Acker, 2000).

El consumo de agua varía con el consumo de alimento y con la temperatura ambiental. Cuando la temperatura sube, incrementándose la pérdida de calor evaporativo, el requerimiento de agua se incrementa drásticamente. Es muy importante que los animales expuestos al calor tengan una provisión abundante de agua limpia y fresca. Los cerdos, que comen grandes cantidades de alimento seco, tienen también grandes necesidades de agua, aproximadamente entre dos a tres veces el consumo de alimento. Las cerdas gestantes y lactantes tienen grandes necesidades de agua, particularmente en condiciones de altas temperaturas. En las cerdas en lactación, en ambientes o épocas cálidas, mientras menor sea el consumo de agua, menor será el consumo de alimento (Libbrandt 1989). La pérdida de peso excesiva en la lactación alarga el intervalo destete-celo y con ello disminuye la eficiencia reproductiva.

Las cerdas en gestación deben tener acceso libre al consumo de agua, para protegerse de la cistitis (inflamación seguida por infección de la vejiga). Este aspecto es especialmente importante en los sistemas de gestación en jaulas (confinamiento), como causa principal de muertes y desechos de las cerdas en esta fase.

La disminución en el consumo de agua, aumenta la concentración de la orina en la vejiga, especialmente si no son obligadas a levantarse o pararse varias veces por día. Esta concentración hace que se alcance el punto de saturación de los minerales de la orina, causando la formación de pequeños sedimentos sólidos que irritan y lesionan la membrana mucosa de la vejiga (Roppa, 2003). Estos sedimentos se formarían siempre que el consumo de agua sea inferior al 80 % del consumo que tendrían con libre acceso o sin restricción

del agua. En condiciones normales con 20°C de temperatura, el consumo de agua es de 10 a 12 litros/día.

Se ha demostrado (Koketsu 1994) que para las cerdas en lactación, los bebederos tipo "TAZA" son preferibles a los tipo "CHUPETE" porque permiten un consumo adicional de medio kilo de ración por día. Para el caso de que los bebederos de la granja sean de tipo chupete o taza, el criador debe prestar mucha atención al flujo o caudal de agua que sale de los mismos: las exigencias de agua y el flujo del bebedero para cerdas y cerdos en crecimiento, se muestran en la tabla 4.

Tabla 4.
Efectos del enfriamiento evaporativo en los porcinos

Fase	Exigencia mínima (litros/día)	Exigencia máxima (litros/día)	Flujo mínimo (litros/min)
Cerdos de 25 a 50 Kg	4.0	7.0	0.7
Cerdos de 50 a 100 Kg.	5.0	10.0	1.0
Cerdas en Gestación	15.0	23.0	2.0
Cerdas en Lactación	20.0	35.0	2.0

Fuente: Echeverría.

Otro aspecto importante es tratar de que el agua de bebida esté lo más fresca posible. En porcinos al aire libre, las cañerías de conducción de agua, que muchas veces son temporarias o desarmables para permitir el traslado del criadero o de los piquetes, deberían estar cubiertas por pasto, para evitar el calentamiento excesivo del agua por el sol. La mejor temperatura del agua para un consumo ideal de los cerdos es de 12 a 18°C. En climas cálidos cuanto más caliente el agua, menor será su consumo. Algunos estudios demostraron que el consumo de agua fue un 63% inferior con temperatura del agua a 30°C, comparado con el agua a 12°C, con temperaturas del aire superiores a 25°C (Roppa, 2003).

También se deben considerar las necesidades de alimento de los animales durante la exposición a las altas temperaturas. En todas las especies, las dietas altas en fibra contribuyen al estrés calórico. Estos alimentos producen un alto incremento calórico por cada caloría consumida, lo que implica que se genere una gran cantidad de calor corporal extra en el proceso de digerir y utilizar este tipo de alimentos. El calor extra debe ser disipado por los animales, lo cual es una tarea difícil en clima cálido. Los alimentos que

tienen un gran incremento calórico son un beneficio para los animales durante el estrés por frío.

En las cerdas en lactación, en condiciones de altas temperaturas que producen problemas para lograr un adecuado consumo voluntario de alimento, se suelen utilizar dietas con el agregado de grasas o aceites, que tienen un menor incremento calórico, para mejorar así la ingesta diaria de energía y atenuar el estrés calórico.

CONTROL DEL ESTRÉS POR FRÍO

Cuando se considera el estrés por frío, es importante pensar en el balance de energía de los animales. Para mantener la homotermia, la pérdida de calor del animal debe igualar su producción de calor. Durante el invierno se incrementa marcadamente la pérdida de calor no evaporativo. Para ayudar a los animales a enfrentar su ambiente el productor puede, por ejemplo, suministrar calor suplementario o reducir las pérdidas de calor mediante reparos, barreras para el viento, provisión de cama abundante y de adecuado aislamiento térmico en las instalaciones de confinamiento, etcétera. Obviamente las decisiones o medidas concretas a adoptar están en función de un gran número de factores, tales como la especie animal, tipo o sistema de producción, aspectos económicos (costos de las medidas a adoptar y valor del producto final), entre otros. Los cerdos y las aves, especialmente los lechones pequeños, debido a su poca cobertura de pelos y a su gran área superficial por unidad de peso, son menos tolerantes al estrés por frío. Estas especies requieren un buen reparo del frío, para producir con altos niveles, eficientemente.

El grado de estrés por frío sobre los animales está influenciado por muchos factores, como la temperatura, el viento, la humedad y los reparos. La *Temperatura efectiva*, es la suma de todos los efectos ambientales sobre el animal. Está definida como el efecto total de calentamiento o enfriamiento del ambiente. A pesar de que el termómetro puede indicar, por ejemplo, una temperatura de 4°C, la temperatura efectiva puede estar varios grados por debajo. Por ejemplo, la lluvia y el viento reducen la aislación térmica de la capa de pelos, incrementando la pérdida de calor convectivo y disminuyendo por lo tanto la temperatura efectiva.

El uso de barreras para el viento puede reducir sustancialmente el estrés por frío sobre los animales, reduciendo la pérdida de calor convectivo y algo de la pérdida evaporativa. Son generalmente de dos tipos: naturales como árboles y arbustos, y artificiales. En cerdos en crecimiento-terminación, en piquetes al aire libre, se pueden utilizar rollos enteros, con

chapas sobre ellos, para crear microclimas, que los protejan de las bajas temperaturas. Estos rollos, proporcionan además, una cama abundante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bond, T. E., C. F. Kelly y H. Heitman (1959). Hog house air conditioning and ventilation data. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs*, 2, 1.
- Cunningham, M. y D. Acker (2000). *Animal Science and Industry*. Six Edition. Prentice Hall. 784 pp.
- Esmay, M. L. (1969). *Principles of Animal Environment*. The Avi Publishing Company Inc. 358 pp.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Denmark: Danish Technical Press, 244 pp.
- Forcada Miranda, F. (1997). *Alojamientos para ganado porcino*. Mira Editores. España.
- Ingram, D. (1965). *Nature*, Lond., 207: 415. En: Cole, D. 1971. *Pig Production*. University of Nottingham Eighteenth Easter School in Agric. Science. 1971, Capítulo 2.1. p. 85. Butterworths
- Lansberg, H. E. (1972). *Assessment of human bioclimate. A limited review of physical parameters*. Nota Técnica 123 de la WMO, Suiza, 36 pp.
- Organización Meteorológica Mundial (1992). *Vocabulario Meteorológico Internacional*. Suiza, OMM, 276 pp.
- Roller, W. y Goldman, R. (1969). *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs*. 12: 164. En: Cole, D. 1971. *Pig Production: University of Nottingham Eighteenth Easter School in Agric. Science*. 1971. Butterworths.
- Roppa, L. (2003). Manejo alimentario de cerdas y cerdos en el crecimiento en climas calientes. *Memorias*. Páginas 101–116. VII Congreso Nacional de Producción Porcina. Octubre de 2003. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto. Cuba.
- Vázquez, J.L. (2010). *Guía para el Cálculo y Uso de índices de Cambio Climático en México*. INECC. 88 pp.
- Wathes, C.M. y D. R. Charles (1994). *Livestock Housing*. Wallingford. 345 99.

Valle de Perote. Aspectos bioclimáticos y socioeconómicos, se terminó de imprimir en el mes de septiembre de 2017. El cuidado de la edición estuvo a cargo de Carolina Andrea Ochoa Martínez. En la composición tipográfica se utilizaron fuentes ITC Goudy Sans Std.