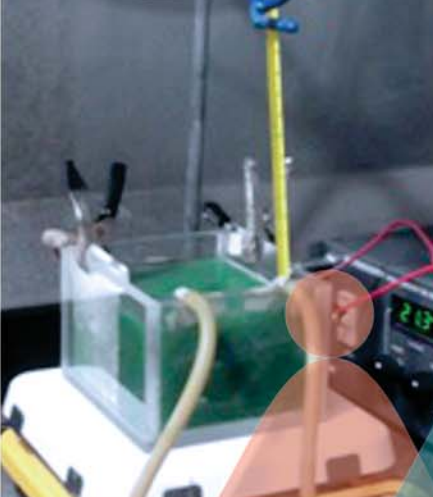


# Nthe

NTHE, palabra ñahò (otomí) que significa vínculo o enlace (se pronuncia "ente")  
Revista electrónica de difusión y divulgación científica, tecnológica y de innovación del estado de Querétaro

## Proyectos científicos y tecnológicos. Impacto Social

ISSN: En trámite. Periodicidad: cuatrimestral - 2013 Núm. 7





SECRETARÍA  
DE EDUCACIÓN



## Directorio

### PRESIDENTE

Lic. José E. Calzada Roviroso

### VICEPRESIDENTE

Dr. Fernando de la Isla Herrera

### DIRECTOR GENERAL

Ing. Ángel Ramírez Vázquez

### SECRETARIO

Lic. Mauricio Palomino Hernández

## NTHE

Año 4, Núm. 7, agosto-noviembre 2013. Publicación cuatrimestral editada por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ). Luis Pasteur Sur No. 36, Col. Centro, C.P. 76000, Tel. (442) 214 3685. [www.concyteq.edu.mx](http://www.concyteq.edu.mx), [nthe@concyteq.edu.mx](mailto:nthe@concyteq.edu.mx). Editor responsable: Alicia Arriaga Ramírez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2010-080615011400-102. ISSN en trámite. Ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de última actualización de este número: Área de Difusión del CONCYTEQ, Ing. Gabriela Jiménez Montoya. Fecha de última modificación, noviembre de 2013. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación, sin previa autorización del CONCYTEQ.

## Comité editorial

### Dra. Norma Eugenia García Calderón

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación de la Facultad de Ciencias (UMDI-J-FC-UNAM) Campus Juriquilla.

### Dr. Ivan Santamaría Hólek

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación de la Facultad de Ciencias (UMDI-J-FC-UNAM) Campus Juriquilla.

### Dr. Francisco Javier Espinosa Beltrán

Centro de Investigación de Estudios Avanzados, Unidad Querétaro (CINVESTAV-IPN).

DISEÑO DE PUBLICACIÓN  
DG Alicia Arriaga Ramírez  
ISCC Marivel Zea Ortíz

CORRECCIÓN DE ESTILO  
Ramón Martínez de Velasco

## Comentario de Opinión

**El silencioso fracaso de la ciencia** 1  
Biol. Armando Bayona Celis

**Sistema de intercambio geotérmico como una alternativa para climatizar inmuebles en la Ciudad de Querétaro** 4  
Geothermal Exchange System as an alternative to weatherizes homes in Queretaro.

Carolina Chaparro Guerrero, Dra. Denise Gómez Hernández

Posgrado de Contaduría y Administración de la UAQ

**Estudio de la corrosión de piezas de aluminio anodizadas en baños de ácido sulfúrico-ácido dicromico.** 15

Julio César Avalos Yépez, René Antaño López, Federico Castañeda Zaldívar, Jorge Morales Hernández, Iván Terol Villalobos Julieta Torres González,

Posgrado en Electroquímica  
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C (CIDETEQU, S.C)

**Flora útil del semidesierto queretano** 22

J. Guadalupe Cruz Pacheco, Cabrera Luna, Alejandro y García Rubio Oscar R.

Laboratorio de Integridad Biótica,  
Fac. Ciencias Naturales de la U.A.Q.

**Panorama multifacético de las áreas verdes de la ciudad de Santiago de Querétaro: el caso de 'La Carbonera' como parque periurbano** 25

Rubén Pineda-López, Raúl Pineda López, Guadalupe Malda Barrera, Aurelio Guevara Escobar, Norma Hernández Camacho, María Concepción Ledesma Colunga, Gracia Patricia González Porter

Fac. Ciencias Naturales de la U.A.Q.

## Comentario *NTHE*

Esta edición de la revista electrónica *NTHE* la dedicamos al tema de *Proyectos científicos y tecnológicos con impacto social*.

Abrimos con la opinión del biólogo Armando Bayona Celis, quien titula su artículo *El silencioso fracaso de la ciencia*, donde expone que, más que apoyarla, debemos usarla y también saber comunicarla, “algo en lo que la comunidad científica ha fracasado”. En ese sentido, expone: “Es notable que los investigadores logren muchos resultados interesantes, a veces con un impacto potencial considerable, pero que difícilmente se llegan a conocer... y menos a impactar el ámbito productivo (...) Así, no es de sorprender el escaso impacto social de la ciencia; o los impactos negativos derivados de no contar con un sistema de ciencia y tecnología del tamaño que México requeriría”.

Continuamos con *Sistema de intercambio geotérmico como una alternativa para climatizar inmuebles en la ciudad de Querétaro*, de Carolina Chaparro Guerrero y la doctora Denise Gómez Hernández, de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), quienes tras advertir que “las proyecciones climáticas indican que las temperaturas aumentarán y las lluvias disminuirán en el estado de Querétaro”, nos dan a conocer las características de un sistema de intercambio geotérmico y la exitosa implementación de esta energía renovable en otros países, así como los factores necesarios para su factibilidad, como climatización (calefacción y refrigeración) alternativa, en los hogares queretanos.

Muy de la mano con el tema anterior, especialistas de la UAQ participan en conjunto en el artículo *Las áreas verdes de la ciudad de Querétaro. Un panorama multifacético*, donde dan cuenta de la creación de un espacio natural para la recreación y educación ambiental en la zona noroeste de la delegación Santa Rosa Jáuregui, donde se ubica el manantial llamado 'El Venado', cuyo rescate fue planteado por profesores y estudiantes de la Licenciatura en Biología y de la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Facultad de Ciencias Naturales, y de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a petición de los habitantes de 'La Carbonera', 'San José Buenavista', 'La Barreta', 'Cerro de la Cruz' y 'Pie de Gallo'. Todos trabajaron en conjunto para diseñar el jardín comunitario 'El Venado', que ha derivado en el proyecto *La Carbonera: comunidad sustentable*, caracterizado por un notable sincretismo de los procesos rurales y urbanos y su amplio respeto por la biodiversidad y el medio ambiente.

Muy de la mano también con este tipo de proyectos, investigadores del Laboratorio de Integridad Biótica de la Facultad de Ciencias Naturales de la UAQ nos dan a conocer la *Flora útil del Semidesierto Queretano*, que por tratarse de una zona particularmente diversa y plagada de endemismos, fue donde los autores de este artículo iniciaron un extenso inventario florístico, que concluirá a principios del año 2015, con el apoyo de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y, para los trabajos de

etnobotánica, con el de los Fondos Especiales de la Rectoría (Foper) de la UAQ. La colecta florística se hizo en los cerros San Martín y el Patol, de cuyos ejemplares se muestran algunas fotografías. Destaca el hecho de que se contó con la cooperación de los habitantes de la región, gracias a lo cual se documentaron los usos tradicionales que dan a las plantas, del Herbario 'Jerzy Rzedowski', y de los estudiantes de las Licenciaturas de Biología y Geografía Ambiental.

Finalmente, especialistas del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ) nos dan a conocer su *Estudio de la corrosión de piezas de aluminio anodizadas en baños de ácido sulfúrico-ácido dicrómico*, un proceso ampliamente utilizado, sobre todo, en la industria aeronáutica.

Esperamos que la lectura de esta edición sea del interés de los lectores.

Ing. Ángel Ramírez Vázquez  
Director General del CONCYTEQ

## Opinión

# El silencioso fracaso de la ciencia

Armando Bayona Celis (abayona@concyteq.edu.mx)

Centro Queretano de Recursos Naturales

Ahora que se estilan tanto las evaluaciones, propongo esta encuesta que trata sobre el impacto social de la ciencia.

¿Cuál percibe usted que sea el impacto social de las siguientes personalidades? Es decir, ¿cuánta gente cree usted que los conoce, o sabe lo que hacen y qué opinan sobre, al menos, algún tema?

Califique del 1 al 10. Si no conoce a la persona, ponga 0.

Nombre	Calif	Nombre	Calif
Mario Molina		Joaquín López Dóriga	
Arturo Sarukhán		Emilio Azcárraga	
René Drucker		Víctor Trujillo	
Julieta Fierro		Maxine Woodside	
<i>Total columna 1</i>		<i>Total columna 2</i>	

¿Hace falta mayor explicación?

Paradójicamente (¿o no tanto?) suman decenas y decenas los contenidos de ciencia que nos recetó el sistema educativo, de modo que ningún mexicano que tenga certificado de preparatoria debería de ignorar, entre otras muchas cosas, qué es y cuál es la función del núcleo de la célula, cómo se originó el Sistema Solar, qué es aceleración o cómo funciona una vacuna, porque lo debió haber estudiado para aprobar, al menos, en dos evaluaciones, y quizá hasta en cuatro (sin contar exámenes de admisión).

¿Para qué más le pudiera haber servido?

Allí está, quizá, una pista. A pesar de que nos enseñaron que es importantísima —y no lo

dudamos—, la percepción general es que entender o conocer la ciencia no le sirve a casi nadie para casi nada, además de aprobar exámenes.

Hace algunas semanas, en el Reino Unido se declaró culpable al dueño de la empresa Global Technical, Gary Bolton, por fraude con respecto al llamado detector molecular GT 200, que es inservible y está basado, supuestamente, en fenómenos que la ciencia jamás determinó, como 'campos día/para magnéticos', y que se vendió ampliamente en varios países (entre ellos México) para labores policíacas, a costos de alrededor de 36,000 dólares la pieza.

Luis Mochán, físico mexicano de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), probó dicho aparato en el año 2011 y demostró, mediante una prueba científica sencilla, que éste no funciona para lo que el fabricante dice, pero no se le hizo caso. Su reporte, sin embargo, fue publicado en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) y sirvió a los británicos como evidencia importante para condenar a Gary Bolton.

En entrevista radiofónica del 22 de agosto de 2013, Mochán comentó que los científicos siempre dicen que hay que apoyar a la ciencia, pero que algo más importante que no se dice, es que todos debemos apoyarnos en la ciencia. “Usémosla”, propone Mochán.

Las dependencias de diversos niveles de gobierno que compraron estos aparatos fueron convencidas por testimonios de clientes y demostraciones de ventas del equipo, no por pruebas o demostraciones científicas.

Luis Mochán comentó que los testimonios no son una demostración, y que lo que ocurrió muestra algo en lo que la comunidad científica ha fracasado: en comunicarle a la sociedad una cultura científica.

Pero la ciencia ha tratado de mejorar la vida humana. ¿En qué medida lo ha logrado? El siglo pasado se caracterizó por una enorme fe en la ciencia y dos grandes revoluciones basadas en la investigación científica, que impactaron intensamente a la sociedad, en lo que se refiere a la alimentación y la salud.

En los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial el mundo capitalista tuvo que hacerle frente al hecho (y a la intensa propaganda) de que la tercera parte de la humanidad vivía ya bajo regímenes socialistas que

garantizaban a todos la alimentación, la salud, la educación y el empleo. Los Estados Unidos, inclusive, habían tomado, justo antes de la Segunda Guerra, una serie de medidas de corte socialista, implementadas por el entonces presidente Franklin Roosevelt, para sacar al país de la crisis económica.

Así, el concepto de 'Estado de bienestar' se afianzó y los gobiernos de países desarrollados buscaron, con seriedad y recursos, paliar el hambre y la enfermedad, no sólo dentro de sus fronteras, sino en los países pobres —llamados entonces 'subdesarrollados' o 'tercermundistas'— para evitar que gravitaran hacia el bloque socialista.

La Revolución Verde (término acuñado por Norman Borlaugh, líder de este proyecto, en contraposición a la Revolución Roja de los comunistas) iniciada y patrocinada por la Secretaría de Agricultura y Ganadería de México y la Fundación Rockefeller en Sonora, a finales de la Segunda Guerra, e intensificada en los años 50-60 del siglo pasado, consistió en la tecnificación agrícola y particularmente en el desarrollo de variedades híbridas de cereales, con el objeto de incrementar la producción de alimento.

Las variedades de trigo desarrolladas por Borlaugh y genetistas mexicanos lograron la autosuficiencia de México en este grano, en 1956, e incrementaron significativamente la producción en India, Pakistán, Turquía y Túnez, entre otras naciones.

Norman Borlaugh recibió el Premio Nobel de la Paz en 1970 y se ha dicho que, gracias a sus aportaciones, 100 millones de seres humanos se salvaron de morir por hambre.

La carrera para lograr una vacuna contra la poliomielitis es otra epopeya de ese tiempo. Esta enfermedad se consideraba, en la década de 1950, el más terrible azote contra la salud humana.

Dos equipos de científicos —el de Sabine en Francia, y en los Estados Unidos el dirigido por Jonas Salk— se consagraron al desarrollo de la vacuna. Salk y su equipo trabajaron a marchas forzadas por siete años enteros. Desarrollar, primero, un virus atenuado y seguro, luego la experimentación en miles de sujetos y por último un proceso de producción masiva, fue una tarea de grandes dimensiones que se seguía, paso a paso, en los medios de comunicación del planeta, hasta su feliz término.

El proceso para fabricar la vacuna se entregó a los gobiernos y al poco tiempo decenas de millones de vacunas eran distribuidas y aplicadas en todo el mundo, gratuitamente. Millones de vidas no se echaron a perder por la parálisis que provoca la polio. Hoy, el número de casos a nivel mundial es apenas de unos cientos de personas.

En una entrevista televisiva se le preguntó a Salk a quién pertenecía la patente de la vacuna. Contestó él: “No hay patente. ¿Se puede acaso patentar el Sol?”.

Hoy las cosas son muy distintas: la investigación científica y el desarrollo de nueva tecnología han sido dejados de lado gradualmente por los gobiernos, junto con la planeación de grandes proyectos nacionales (autosuficiencia alimentaria, red estratégica de ferrocarriles, etc.), para dejar el desarrollo en manos del mercado y la competencia entre las grandes corporaciones.

Como un ejemplo, los casos de la investigación en salud y producción de alimentos —considerados antes como dos de las mayores prioridades de los países, y por supuesto México no era la excepción— han sido fuertemente castigados debido a la disminución en el financiamiento gubernamental.

Hay, sin duda, grupos de investigación con largo camino recorrido y logros muy importantes aún persisten dentro de la estructura gubernamental — como los que existen en el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) o en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), más los que están en universidades y centros de investigación—, aunque es común que apenas sobrevivan.

El caso del INIFAP ejemplifica este proceso. El instituto se conforma en 1985, compactando a tres centros de investigación creados varias décadas atrás: INIP, pecuaria, INIA, agrícola e INIF, forestal, todos ellos de nivel internacional, como consecuencia de un recorte que supuestamente se dio para disminuir costos de la administración.

Y de allí en adelante, todo ha sido un desmantelamiento gradual, una pérdida de recursos patrimoniales, humanos y financieros, y en los años 90, inclusive, de rumbo, al hacer depender las investigaciones de lo que consideren importante ciertos productores en cada estado de la República,

organizados en estructuras llamadas 'Fundación Produce', que lo que ha producido, en gran medida, es atomización, dispersión y duplicidad en los trabajos que, además, deben realizarse con presupuestos muy bajos.

Es notable que, aun en estas condiciones, los investigadores logren muchos resultados interesantes, a veces con un impacto potencial considerable, pero que difícilmente se llegan a conocer... y menos a impactar el ámbito productivo.

Mientras tanto, empresas transnacionales, como Monsanto, que han adquirido enormes latifundios para producir semillas, tratan de introducir en México el cultivo masivo de variedades de maíz transgénico.

A pesar de la oposición de científicos mexicanos e internacionales, que han advertido sobre el riesgo que esto implica para la diversidad genética de los maíces criollos y la cultura tradicional, las entidades gubernamentales, particularmente las de salud, agricultura y medio ambiente —que en otros tiempos simplemente hubieran dicho enérgicamente NO a los transgénicos—, son hoy árbitros pusilánimes en una lucha que están dando grupos ciudadanos y académicos en contra de intereses de las empresas que, se prevé, ganarán (de hecho lo están logrando).

Las grandes empresas pagan a centros muy selectos la investigación en temas y líneas que ellas requieren para sus objetivos, mientras que la investigación pagada por los gobiernos recibe muy poco apoyo y se le evalúa o califica en términos del dinero que se logre captar en proyectos.

Los financiamientos están, muchas veces, 'etiquetados' para resolver asuntos que no son de investigación, sino inventarios o estudios rutinarios que la ley les pide a las dependencias para operar, o bien pretextos para que se les dote de equipo o infraestructura que no pueden adquirir de otro modo.

Otros financiamientos o resultados van a dar directamente a empresas transnacionales que no los necesitan, quizá en un afán de los gobiernos por retenerlas aquí, ante la amenaza de que podrían mudarse a otro país en cualquier momento. Todo esto, por supuesto, sin ejes rectores estratégicos nacionales o regionales que, aunque a veces se mencionen en documentos, no se siguen, y con el silencio de la mayoría de la comunidad científica.

Así, no es de sorprender el escaso impacto social de la ciencia; o los impactos negativos derivados de no contar con un sistema de ciencia y tecnología del tamaño que México requeriría.

Los propósitos esenciales de la investigación —la generación de nuevo conocimiento, la formulación de nuevas teorías— están realmente muy poco apoyados en el ámbito académico mexicano y reservados a unos cuantos laureados que dan prestigio y premios, en vez de ser actividades intensas y masivas para formar gente, para crear la base de nuevas tecnologías que impactarán en 10, 50, 100 años, y para crear una cultura científica en nuestro país.

Una cultura científica sirve, por ejemplo, para evitar engaños caros y dolorosos, como el de los detectores GT 200.

Es, además, una herramienta para afrontar la vida a través de un método de pensamiento que nos da una visión más clara de la realidad que cualquier otro; que debería orientarnos permanentemente en el cómo trabajamos, aprendemos y nos desarrollamos; y que debería mostrarnos nuestro lugar en la Naturaleza, la Historia y el Universo.

La ciencia, integrada en nuestro pensamiento es, además, el único freno efectivo ante los prejuicios, la superstición y los fanatismos.

Por último, quizá lo más importante: la ciencia nos hace amar el conocimiento y la búsqueda de lo auténtico.

Todo eso en lo que —como dijo Luis Mochán— la comunidad científica ha fracasado.

# Sistema de intercambio geotérmico como una alternativa para climatizar inmuebles en la ciudad de Querétaro

Geothermal Exchange System as an alternative to weatherizes homes in Queretaro

Carolina Chaparro Guerrero<sup>1</sup>(caro\_290284@yahoo.com.mx), Denise Gómez Hernández<sup>2</sup> (actdenise@gmail.com)

Universidad Autónoma de Querétaro

## Resumen

El cambio climático ha repercutido en la vida de las personas. Las proyecciones climáticas indican que las temperaturas aumentarán y las lluvias disminuirán en el estado de Querétaro, y estos cambios son más notorios debido a que predomina un clima seco semiárido, principalmente en la ciudad capital. El cuidado del medio ambiente es cada vez más importante para las personas, siempre y cuando no sacrifiquen su comodidad. El desarrollo innovador de tecnologías verdes ha permitido que el sistema de intercambio geotérmico sea una alternativa al aire acondicionado convencional, ya que proporciona confort en el hogar y una disminución significativa del consumo de energía. Si bien el costo de las tecnologías alternativas (amigables con el medio ambiente) es mayor que el de las convencionales, el beneficio a largo plazo puede ser mejor. El objetivo de este artículo es dar a conocer las características de un sistema de intercambio geotérmico y la exitosa implementación de esta energía renovable en otros países, así como los factores necesarios para su factibilidad en el estado de Querétaro.

**Palabras clave:** *intercambio geotérmico, confort térmico, calentamiento global, análisis de factibilidad, propiedad intelectual.*

## Abstract

Climate change has affected the lives of people, climate projections indicate that temperatures increase and rainfall decrease in the State of Queretaro, this is because in the state semi-arid dry weather prevails, especially in the City of Queretaro.

The innovative development of green technologies, specifically the geothermic exchange system, is an alternative to conventional air conditioning which provides environmental comfort in houses and buildings, as well as a significant decrease in energy consumption. The cost of alternative technologies (environmental-friendly) is higher than conventional technologies; however, the long term benefit can be greater.

The objective of this paper is to explain the characteristics of geothermic exchange system and its successful implementation in other countries, as well as to provide the procedure and requirements to make its implementation in the State of Queretaro feasibly.

**Keywords:** *geoexchange system, thermal comfort, global warming, feasibility analysis, Intellectual Property.*

## Introducción

El ser humano, como los demás seres vivos, debe adaptarse a los límites impuestos por las condiciones climáticas y a las distintas sensaciones que su organismo soporta. Sin embargo, a diferencia de los animales o plantas, el ser humano tiene la capacidad no sólo de adaptarse a climas muy variados, sino también de modificar las condiciones ambientales de su entorno mediante el vestido y la vivienda (Fernández, 1994).

Hoy en día es posible trabajar en oficinas que cuentan con aire acondicionado, o movernos en automóviles que cuentan también con aire acondicionado. Sin embargo, al llegar a nuestros hogares sufrimos de las inclemencias del clima: abundante frío o abundante calor, que no nos dejan dormir o hacer una vida mucho

<sup>1</sup>Estudiante de la Maestría en Gestión de la Tecnología. Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas s/n, Col. Las Campanas, C. P. 76010. Teléfono: 442 1921200 extensión 5246.

<sup>2</sup>Profesor e Investigador de la Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Contaduría y Administración. Cerro de las Campanas s/n, Col. Las Campanas, C. P. 76010. Teléfono: 442 1921200 extensión 5246.

más placentera dentro de nuestras casas. Pero actualmente hay una gran variedad de equipos de climatización que pueden brindarnos ese confort que tanto buscamos.

El presente artículo discute cómo el calentamiento global afecta la temperatura de la Tierra y la importancia de tener un ambiente térmico confortable. Se presenta una descripción del sistema de intercambio geotérmico y sus beneficios como una alternativa para climatizar, así como algunos casos de éxito de implementación de este sistema en otros países. Finalmente, discute el proceso para realizar un análisis de factibilidad para la implementación del sistema de intercambio geotérmico como climatización alternativa en el estado de Querétaro.

### Calentamiento global y su efecto en Querétaro

El calor en el verano ha aumentado considerablemente en los últimos años debido al 'efecto invernadero', que evita que el calor recibido por la Tierra vuelva al espacio, produciendo el calentamiento gradual del planeta, lo que incrementa la necesidad de colocar equipos de climatización en el hogar para convertirlo en un espacio fresco y confortable (García, 2006).

De acuerdo con los científicos que han analizado el fenómeno del cambio climático, cada año se tendrá un clima más extremo y fenómenos climáticos más

intensos. En general, los veranos serán más cálidos y los patrones de las lluvias se modificarán, dando lugar a lluvias más intensas en algunas partes y lluvias menos frecuentes en otras, aumentando, así, las sequías. Estos investigadores han concluido que el cambio climático se atribuye, principalmente, a la actividad humana. El uso intensivo de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gasolinas, diesel, gas natural y los combustibles derivados del petróleo) y la quema y pérdida de bosques, son dos de las principales fuentes de este problema (INE, 2010).

La Tierra tiene un sistema de control natural de la temperatura. Ciertos gases en la atmósfera causan el efecto invernadero. En promedio, un tercio de la radiación solar que llega a la Tierra se refleja de vuelta al espacio, pero los otros dos tercios son captados por la atmósfera, de los cuales la mayoría son captados por la Tierra y los océanos. La superficie de nuestro planeta se calienta y, como resultado, emite radiación infrarroja. Los gases de efecto invernadero atrapan la radiación infrarroja, lo que da pie al calentamiento de la atmósfera. Empero, las actividades humanas están causando que estos niveles de gases en la atmósfera aumenten. Los gases del efecto invernadero se mezclan a través de la atmósfera.

En la **Figura 1** se muestra el resultado de efecto invernadero (UNEP, 2011).



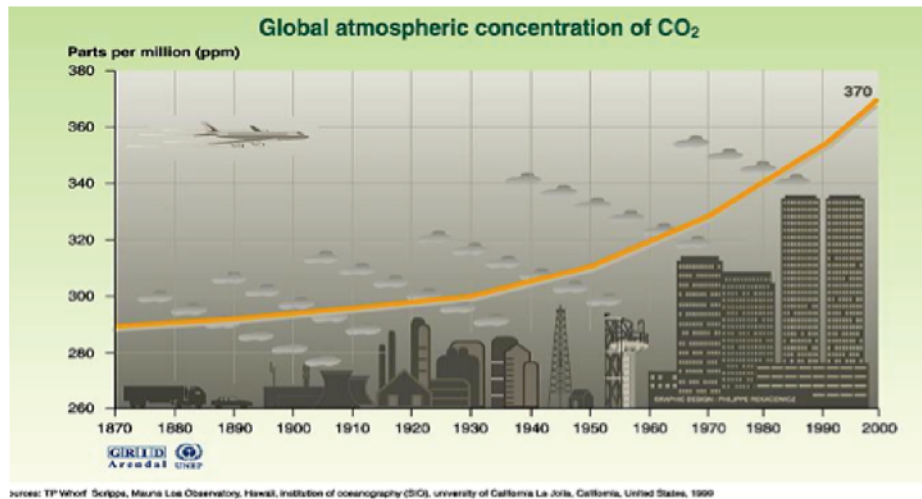
Figura 1. El efecto invernadero. Fuente: University College in Canada (1996).

Hoy día, el CO<sub>2</sub> atmosférico se ha incrementado de una concentración pre-industrial de alrededor de 280 ppmv a 367 ppmv (ppmv = partes por millón por volumen).

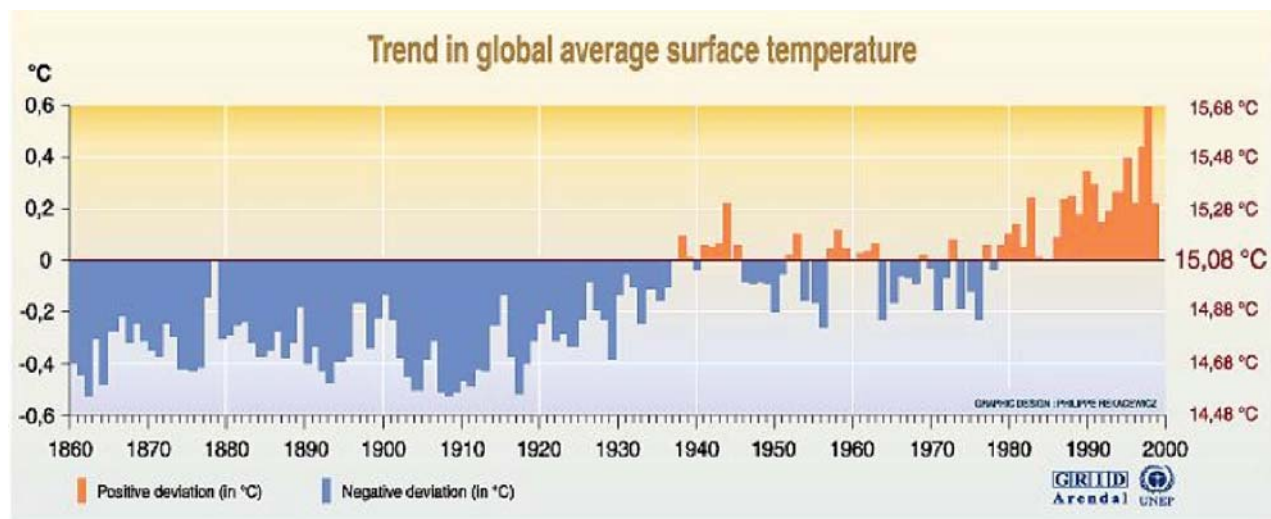
La **Figura 2** muestra la concentración global atmosférica de CO<sub>2</sub> durante el periodo que va del año 1870 al 2000. La curva mostrada se basa en una media móvil de 100 años, es decir, las medias móviles son una lista de números (temperaturas) donde cada uno es el promedio de un subconjunto de los datos originales. Es evidente que el rápido aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> se ha estado produciendo desde el inicio de la industrialización. El aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> se da por los combustibles fósiles (UNEP, 2011).

La **Figura 3** muestra la combinación de tierra-aire en la superficie y la temperatura superficial (grados centígrados) desde 1860 al año 2000, con relación a la temperatura media de 1961 y 1990. La temperatura media de la superficie del planeta ha aumentado alrededor de 0.3 a 0.6°C desde finales del siglo XIX, y de 0.2 a 0.3°C en los últimos 40 años. Los últimos años están dentro de los más calurosos (de los registros disponibles). El calentamiento es evidente en la superficie terrestre (UNEP, 2011).

En el año 2005 la Ciudad de México registró temperaturas de hasta 35°C, mientras que en los estados de Coahuila, Sonora y Guerrero de hasta 46, en Sinaloa 47 y en Chihuahua, Veracruz y San Luis Potosí el termómetro alcanzó 48°C (García, 2006).



**Figura 2.** Concentración global atmosférica de dióxido de carbono.  
Fuente: Universidad de California, La Jolla, Estados Unidos (1999).



**Figura 3.** Tendencia en la temperatura promedio global de la superficie.

Fuente: Facultad de Ciencias del Medio Ambiente, Unidad de Investigación Climática. Universidad de East Anglia, Norwich, Reino Unido (1999).

El estado de Querétaro se encuentra ubicado en el centro de la República Mexicana, en la región llamada 'Bajío'. Limita al Norte con San Luis Potosí, al Oeste con Guanajuato, al Este con Hidalgo, al Sureste con el Estado de México y al Suroeste con Michoacán. El clima es seco en la mayor parte de la entidad, con excepción del norte, donde se registra un clima templado, moderado y lluvioso, con una temperatura media anual de 18°C (*Enciclopedia de los Municipios de México*, 2005).

En el estado de Querétaro la temperatura máxima registrada en el año 2011 fue de 37°C (Clima Querétaro, 2011). Según el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2010) se tienen las proyecciones en cuanto a temperatura y precipitación mostradas en el **Cuadro 1**.

Escenario	Precipitación total anual	Temperatura media anual
2020	Disminuirá entre 5 y 10 %	Aumentará entre 0.8 y 1.2°C
2050	Disminuirá entre 5 y 15 %	Aumentará entre 1.0 y 2.5°C
2080	Disminuirá entre 5 y 20 %	Aumentará entre 2 y 4°C

**Cuadro 1.** Proyecciones de temperatura y precipitación.  
Fuente: Instituto Nacional de Ecología (2010).

Como observamos en el **Cuadro 1**, las temperaturas serán cada vez mayores para el estado de Querétaro y las precipitaciones cada vez serán menores, por lo que se sentirá un calor más intenso en la medida que el tiempo transcurra, debido al cambio climático de la Tierra.

### Importancia de un ambiente térmico comfortable

El calor puede ocasionar molestias que van desde un dolor de cabeza, fastidio, bochornos o sueño, hasta lo que se conoce como 'golpe de calor' (insolación sumada a deshidratación), que en el año 2004 ocasionó la muerte de nueve personas en nuestro país, de acuerdo con cifras de la Secretaría de Salud (García, 2006).

Desde la antigüedad el hombre ha sido consciente de la influencia del confort térmico y muchos pueblos y civilizaciones han mostrado especial interés en definir las condiciones más favorables para la salud y el bienestar de las personas, buscando situaciones favorables y diseñando casas de acuerdo con las características del medio (Fernández, 1994).

El uso racional de los recursos se impone y la adecuación de las construcciones al entorno es uno de

los objetivos más actuales de la moderna arquitectura y planificación urbana. Esta adecuación sólo es posible tras determinar y definir las condiciones óptimas de confort y bienestar para la gente (Fernández, 1994).

La Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, o ASHRAE por sus siglas en inglés (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers), definió en 1966 al confort térmico como "la condición mental en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico" (Tornero *et al.*, 2006). El concepto de confort, por tanto, admite varias definiciones, pero en todas se halla presente el concepto de equilibrio energético entre el cuerpo humano y su entorno (Fernández, 1994).

Entonces, ¿cuál es la temperatura ideal en el hogar? Según la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) en su reporte CR-1205-1 *Compendio de las respuestas humanas con el medio ambiente aeroespacial (A Compendium of Human Responses to the Aerospace Environment)*, el calor crea estrés, el cual se incrementa cuando más elevada es la temperatura del ambiente. A medida que la temperatura crece la actividad de las personas se reduce mucho. Además, se determina que no existe una temperatura ideal para el hogar, ya que depende del tipo de actividad, de la forma de vestir y de la propia persona.

En este reporte se recomienda que la temperatura esté comprendida entre los 18 y 22°C. Esto debido a que 22°C es la temperatura más agradable en interiores para la gente que realiza trabajos sedentarios, 21°C es la temperatura ideal para los trabajos mentales y 18°C la ideal para que las personas que realizan trabajos activos se sientan cómodos, aunque las personas inactivas se sientan un poco incómodas. Cabe mencionar que las preferencias de la gente, en lo que se refiere a la temperatura, varían considerablemente de una persona a otra, por lo que no se espera que todas las personas se sientan cómodas a una temperatura constante (NASA, 1976).

El confort se mide como la diferencia entre la temperatura ambiente y la corporal. Cuando la temperatura de la habitación es uniforme; es decir, no hay diferencias de temperatura entre las paredes, la parte alta y la parte baja de la habitación, el confort es máximo. Se considera que existe confort cuando las

diferencias de temperatura son menores a 3°C (Calthermic, 2010). Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura, menor es el confort (**Figura 4**).



Figura 4. Confort. Fuente: Calthermic (2010).

Un ambiente térmico inadecuado puede originar diversos problemas, como incomodidades de transpiración, temblores a raíz de temperaturas demasiado altas o bajas, y alteraciones de salud (Mondelo, 1999). Asimismo, causa reducciones del rendimiento físico, mental y de la productividad; provoca irritabilidad, incremento de la agresividad, de las distracciones, de los errores, incomodidad al sudar o temblar, aumento o disminución de la frecuencia cardiaca. Todos estos efectos repercuten negativamente en la salud (Mondelo, 1999). Para contrarrestar estas molestias puede usarse desde un simple abanico, un ventilador, un sistema de aire acondicionado, hasta un sistema de intercambio geotérmico.

### El aire acondicionado convencional *versus* sistema de intercambio geotérmico: ventajas, desventajas y costos

#### El aire acondicionado convencional

En Querétaro, de acuerdo con *El Economista* (2011), los equipos que consumen 70 % de la energía en los hogares son estufas, calentadores de agua, refrigeradores y equipos de aire acondicionado, consumiendo en promedio 8,735 kilovatios por año.

La clara tendencia en la saturación de los equipos electrodomésticos en las viviendas de nuestro país explica el aumento de la demanda de energía eléctrica en el sector residencial. Esta tendencia sugiere la importancia de seguir implementando normas de eficiencia energética en los principales electrodomésticos utilizados en México (Pedraza, 2008).

En la **Figura 5** se muestra el consumo de energía eléctrica en el sector residencial y la saturación de los

principales electrodomésticos en México, de 1996 al año 2005.

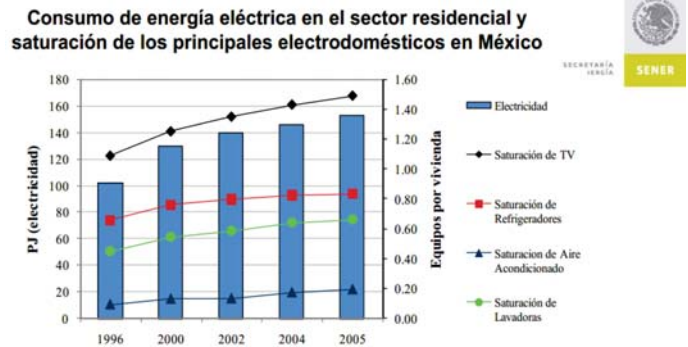


Figura 5. Consumo de energía eléctrica en el sector residencial y saturación de los principales electrodomésticos en México.

Fuente: Pedraza, 2008.

Como podemos observar, el aire acondicionado convencional forma parte de los electrodomésticos que consumen mayor electricidad en los hogares, siendo el más alto la televisión. Pero, ¿qué es el aire acondicionado?, ¿cuáles son sus ventajas, desventajas y su costo de instalación?, ¿cómo contribuye al confort térmico?

Acondicionar el aire es un proceso que consiste en regular su temperatura y grado de humedad, así como renovar y limpiar el aire; esto es, su filtrado o purificación (Granados, 2011). Entre los aparatos de aire acondicionado más comunes que se emplean en casa, se encuentran los siguientes:

- De ventana.- Tienen la forma de cubo y deben colocarse sobre un boquete en la pared, de modo que quede una mitad en el exterior y la otra en el interior (**Figura 6**).



Figura 6. Aire acondicionado de ventana. Fuente: LG Electronics, 2011.

- Split y minisplit.- Son rectangulares y estilizados y se colocan en la pared o en el techo del interior de la casa. La unidad que contiene el compresor se ubica en el exterior y se comunica al interior mediante tubos. El agujero que se hace en la pared es pequeño (**Figura 7**).



**Figura 7.** Aire acondicionado tipo split.  
Fuente: LG Electronics, 2011.

- Portátil.- Incorporan todo el sistema en una caja con ruedas que puede transportarse fácilmente de una habitación a otra. Tiene una manguera flexible que expulsa el aire hacia el exterior (**Figura 8**).



**Figura 8.** Aire acondicionado tipo portátil.  
Fuente: LG Electronics, 2011.

Los equipos de aire acondicionado se fabrican en capacidades por toneladas o su equivalente en unidades térmicas inglesas (BTU, por sus siglas en inglés). En el **Cuadro 2** se muestran las capacidades disponibles para los equipos domésticos (Granados, 2011).

Toneladas	BTU
½	6,000
1	12,000
1 ½	18,000
2	24,000

**Cuadro 2.** Capacidades disponibles para los equipos de aire acondicionado (Granados, 2011).

Para determinar la capacidad correcta a utilizar, deben considerarse varios elementos como el espacio disponible, el clima, el número de personas, el número de ventanas y material de construcción (Granados, 2011).

En el **Cuadro 3** se presenta información de los fabricantes de aires acondicionados en México, considerando únicamente los metros cuadrados de la habitación, divididos por zonas, de acuerdo con su clima.

Los estados de la República que pertenecen a cada zona se muestran en el **Cuadro 4**.

Metros cuadrados (m <sup>2</sup> )	Zona 1 BTU	Zona 2 BTU	Zona 3 BTU	Zona 4 BTU
0 a 4	6,000	5,400	6,600	7,200
4 a 8	8,000	7,200	8,800	9,600
8 a 12	10,000	9,000	11,000	12,000
12 a 16	12,000	10,800	13,200	14,400
16 a 20	14,000	12,600	15,400	16,800
20 a 25	18,000	16,200	19,800	21,600
25 a 30	24,000	21,600	26,400	28,800

**Cuadro 3.** Capacidad de acuerdo a metros cuadrados y zona.  
Fuente: Profeco (Carrier), 2006

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	
Aguascalientes	Distrito Federal	Baja California Sur	Baja California	Sinaloa
Colima	Estado de México	Guerrero	Campeche	Sonora
Guanajuato	Hidalgo	Oaxaca	Chiapas	Tabasco
Jalisco	Michoacán	San Luis Potosí	Chihuahua	Yucatán
Nayarit	Morelos	Tamaulipas	Coahuila	Nuevo León
Tlaxcala	Puebla	Veracruz	Durango	
Zacatecas	<b>Querétaro</b>		Quintana Roo	

**Cuadro 4.** Relación de estados por zona.  
Fuente: Profeco (Carrier), 2006.

Los equipos de aire acondicionado deben cumplir con ciertas Normas Oficiales obligatorias en cuanto a la eficiencia energética (NOM-021-ENER/SCFI/ECOL-2000), a la seguridad (NMX-J521/2-40-ANCE-2003) y, en general, a lo referente a acondicionadores de aire para cuarto (NMX-O-121-1976). (García, 2006.)

Los precios de los aires acondicionados van desde los 2,000 hasta los 24,000 pesos, dependiendo de su capacidad BTU y el tipo de aire acondicionado (ventana, portátil, split o minisplit). Una vez que se seleccione el aire acondicionado que mayor convenga será necesario pagar el costo de instalación, el cual es variable debido a que depende de la ubicación dentro del inmueble (Granados, 2011). El **Cuadro 5** muestra el costo de instalación (asumiendo cinco metros de tubería). (García, 2006.)

Tipo	Instalación costo (\$) más IVA		Mantenimiento costo (\$) más IVA
Ventana	De 1,250	A 1,500	650.00
Minisplit	De 3,800	A 4,500	950.00
Multisplit	De 6,500	A 11,400	1,500.00

**Cuadro 5.** Precios de aire acondicionado en tiendas especializadas.  
Fuente: Profeco (2006).

Cabe destacar que la vida media de un equipo de aire acondicionado es de 10 años, pero es recomendable cambiarlo cada cinco, para ahorrar hasta 45 % en el consumo de energía. De acuerdo con la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) en zonas de climas extremos la mayor cantidad de energía es consumida por los aparatos de aire acondicionado (hasta 40 % de un recibo del consumo bimestral), de ahí la importancia de proporcionar un mantenimiento adecuado (García, 2006).

### El sistema de intercambio geotérmico

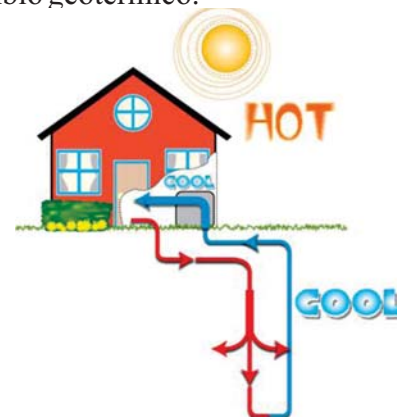
De acuerdo con un reporte emitido por Energy Saver (2011), el sistema de intercambio geotérmico es un

sistema de climatización (calefacción y refrigeración) que utiliza la energía renovable de la Tierra, justo debajo de la superficie, puesto que a unos metros bajo la superficie la temperatura del planeta se mantiene constante durante todo el año, dependiendo de la zona. Por ejemplo, la temperatura va desde los 10°C en la zona norte de los Estados Unidos y a 21°C en el sur de aquel país (Geoexchange, 2011).

El sistema de intercambio geotérmico aprovecha esta temperatura constante para proporcionar calefacción y refrigeración de manera eficiente (Geoexchange, 2011), a la cual se le denomina 'de baja entalpia', por la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.

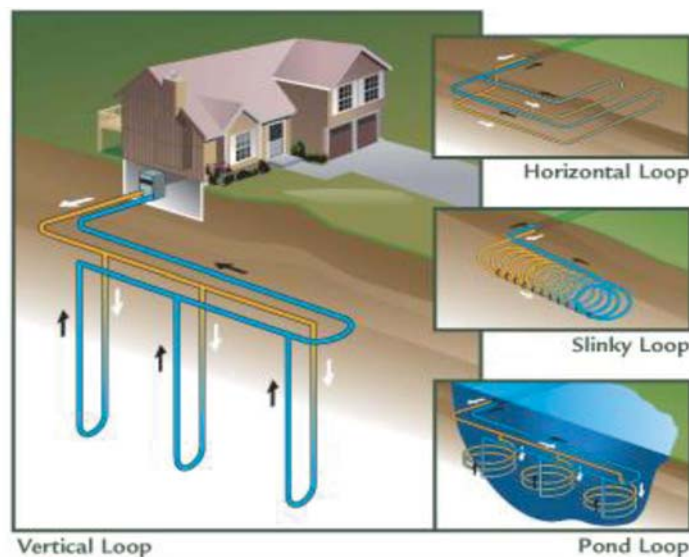
En este caso, el calor que se aprovecha para la climatización se encuentra a muy poca profundidad, justo por debajo del suelo, permitiendo aprovechar el calor que se acumula en el subsuelo, debido al impacto de los rayos solares, para generar la climatización necesaria en los hogares. Como se mencionó anteriormente, a partir de dos metros de profundidad la temperatura del subsuelo se mantiene constante (Fórum Geotermia, 2010).

La **Figura 9** muestra el funcionamiento de un sistema de intercambio geotérmico.



**Figura 9.** Funcionamiento del sistema de intercambio geotérmico.  
Fuente: Asociación Internacional de Bombas de Calor.

En invierno, un fluido que circula a través de tuberías enterradas en el suelo absorbe el calor de la tierra y lo lleva dentro del hogar, mediante una bomba de calor que concentra la energía térmica de la tierra para luego transferirla al espacio interior de la casa. En el verano el proceso se invierte: el calor se extrae del aire de la casa y se transfiere a través de la bomba de calor por medio de la tubería a la tierra. El líquido en el circuito se lleva ese calor y libera aire frío dentro de la casa (Geoexchange, 2011). La **Figura 10** muestra este proceso.



**Figura 10.** Tipos de instalación del sistema de intercambio geotérmico.  
Fuente: Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Este sistema de aprovechamiento de energía solar absorbido por la superficie de la tierra se basa en tres elementos principales:

1. Circuito de intercambio geotérmico con la tierra.
2. La bomba de calor geotérmica.
3. El circuito de intercambio con la vivienda.

La bomba de calor es un dispositivo eléctrico que incorpora el circuito de intercambio geotérmico con la tierra y el circuito de intercambio con la vivienda, que permite la transferencia de temperatura entre el suelo y la vivienda.

El sistema de intercambio geotérmico es el más eficiente, desde el punto de vista de consumo energético como de ahorro económico. Representa un ahorro energético y económico de entre 60 y 80 % con

respecto a los sistemas de climatización tradicionales, como el gas o el gas-oil (Fórum Geotermia, 2010).

Además, es más eficiente que otras energías renovables, como la biomasa o la solar, frente a las cuales representa ahorros económicos y de consumo energético superiores al 50 % (Fórum Geotermia, 2010).

Las ventajas de este sistema es que no produce ruido, proporciona un confort óptimo, tiene bajo consumo de energía (Rehabitar, 2003), es menos contaminante (Ecohabitar, 2004) y tiene una alta duración (Geotermia solar, 2008). Las desventajas de este sistema con respecto al aire acondicionado convencional, son los costos de instalación y la necesidad de suficiente espacio para su instalación (Geotermia solar, 2008).

La Unión Europea (Directiva 2002/91/CE del 16/12/2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios) ha incluido explícitamente a las bombas de calor de un sistema de intercambio geotérmico para calefacción, entre los medios que cumplen los compromisos del Protocolo de Kioto (*Diario Oficial de Comunidades Europeas*, 2002). Este tipo de bombas de calor se consideran oficialmente energías renovables y como energéticamente eficientes en Finlandia, Noruega, Suecia, Suiza, Dinamarca, Francia y Alemania. Todos estos países conceden ayudas para su instalación en el sector residencial (Rehabitar, 2003). En España, la empresa Sofath recibió el 'Premio Construmat 2007' --que se otorga a la innovación tecnológica en la construcción-- por su bomba de calor geotérmica 'Caliane'.

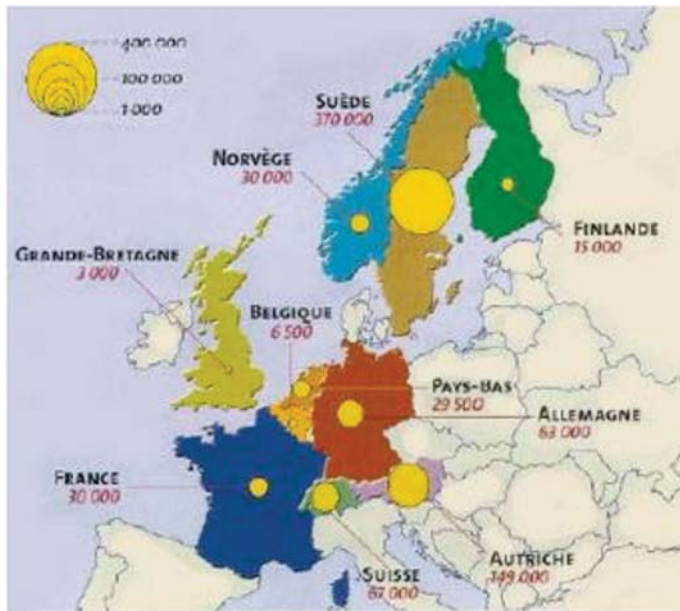
El sistema de intercambio geotérmico, que está muy extendido en varios países de Europa, comenzó en Suecia y en el centro de Europa (Austria, Alemania y Suiza) para desarrollarse posteriormente en otros países como Finlandia, Francia y la región Benelux (Pérez, 2011). El índice de penetración muestra que Suecia es el mercado donde mayor éxito ha tenido, pues hay 33 sistemas de intercambio geotérmico por cada 1,000 habitantes, se han instalado más de 200,000 unidades y se calcula que en la actualidad el 40 % de las casas unifamiliares tienen este sistema (Pérez, 2011).

En otros países europeos este índice también es elevado, tales como Finlandia, Suiza y Austria, donde hay 8, 7, y 5.5 sistemas de intercambio geotérmico por

cada 1,000 habitantes, respectivamente (Pérez, 2011). En España hay instalados unos 3,000 sistemas de intercambio geotérmico y se esperaba que en el año 2012 se instalaran 2,000 más (Pérez, 2011).

Para el año 2005 se instalaron más de 650,000 sistemas de intercambio geotérmico en los Estados Unidos (Geoexchange, 2009). En Austin, Texas, 48 primarias, cuatro secundarias y tres colegios comunitarios han sido equipados con el sistema de intercambio geotérmico (Lienau *et. al.*, 1995).

En la **Figura 11** se muestra la distribución del sistema de intercambio geotérmico implementada en el



**Figura 11.** Calefacciones geotérmicas en Europa.  
Fuente: Rehabitar (2003).

continente europeo.

En los Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) ha identificado el sistema de intercambio geotérmico como una tecnología que reduce significativamente el gas de efecto invernadero y otras emisiones atmosféricas asociadas a la calefacción y refrigeración. Además, los consumidores ahorran dinero en comparación con otros métodos de climatización.

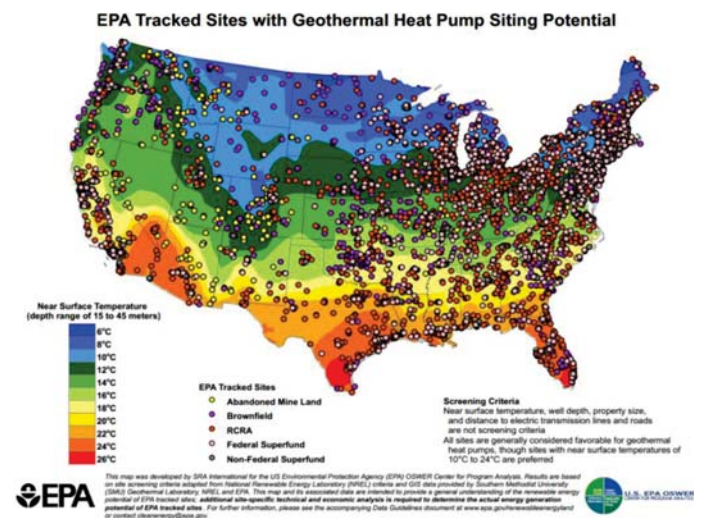
Por cada 100,000 unidades implementadas del sistema de intercambio geotérmico en residencias en los Estados Unidos, se reduce el consumo de electricidad

por 799 millones de kilovatios hora (Kwh) al año, lo que corresponde a una reducción de las emisiones de alrededor de 2.18 millones de toneladas de carbono y un ahorro para los consumidores de 750 millones de dólares durante los 20 años de vida útil del equipo (Geoexchange, 2011). También este sistema representa un ahorro de energía del 30 al 70 % en calefacción y de 20 a 50 % en refrigeración, en comparación con los sistemas convencionales.

Diversas encuestas aplicadas en los Estados Unidos indican un alto nivel de satisfacción del sistema de intercambio geotérmico, en comparación con los sistemas convencionales. Dichas encuestas muestran que más del 95 % de los clientes que cuentan con este sistema lo recomendarían a un familiar o amigo.

Hasta el día de hoy, hay instalados más de un millón de sistemas de intercambio geotérmico en los Estados Unidos, beneficiando en la disminución de emisiones de dióxido de carbono en 5.8 millones de toneladas y ahorrando un consumo de energía de 8 mil millones kWh al año. Estos beneficios son equivalentes a retirar 1,295,000 automóviles de las carreteras, a la plantación de más de 385 millones de árboles y la reducción de dependencia de los Estados Unidos de los combustibles importados por 21.5 millones de barriles de petróleo crudo por año (Geoexchange, 2011).

La **Figura 12** muestra la distribución de sistemas de



**Figura 12:** Distribución del sistema de intercambio geotérmico en los Estados Unidos.  
Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), Centro OSWER para el programa de análisis.

intercambio geotérmico instalados en los Estados Unidos.

El análisis de factibilidad describe y cuantifica las principales diferencias en el funcionamiento y el rendimiento con los sistemas alternativos para apoyar a la decisión sobre la elección del sistema. Asimismo, se identifican los obstáculos y problemas asociados con las opciones (NYSERDA, 2007).

Los principales factores a analizar para determinar la implementación de un sistema de intercambio geotérmico, son:

- Factor 1: Elementos descriptivos del caso de estudio, para simular el consumo de energía del inmueble.
- Factor 2: Mapas hidrogeológicos del estado de Querétaro.
- Factor 3: Elección del sistema de intercambio geotérmico. De acuerdo con los requerimientos del inmueble, escoger el sistema de intercambio geotérmico que mejor se adapte.
- Factor 4: Realizar un análisis sobre el costo de inversión, mantenimiento y compararlo con el aire acondicionado convencional.
- Factor 5: Realizar un análisis de sensibilidad de los parámetros que podrían tener un impacto significativo.
- Factor 6: Realizar una simulación, con el software disponible, para sustentar la información recabada del inmueble.
- Factor 7: Realizar un análisis cualitativo sobre el beneficio ambiental, ecológico y social, sobre la implementación este sistema alternativo de climatización.

Una vez realizado el análisis de los factores anteriores, deberá tomarse la decisión sobre su implementación, exponiendo los costos y beneficios para una decisión eficaz.

Cabe mencionar que el estado de Querétaro cuenta con toda una gama de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas) por lo que puede observarse una gran diversidad de suelos como:

- Depósitos del tipo lacustre (Qla).
- Depósitos fluviales (Qfl).
- Basalto Unidad Cimatarío (TQbc).

- Ignimbritas riolíticas Unidad Hércules (Tsth).
- Tobas de caída libre Unidad Cuesta China (Tstcc).
- Andesita y basalto de la Unidad Menchaca (Tmbm).
- Tobas arcillosas, arenosas y vítreas de la Unidad Mompaní (Titm).
- Basalto y andesita Unidad San Pedrito (Tibsp) e intrusivos de la Unidad Juriquilla (Tij).

Por lo que cada sistema de intercambio geotérmico tendrá que adaptarse (ya sea horizontal o vertical) a cada tipo de suelo para su instalación en el inmueble para un funcionamiento óptimo. De ahí la importancia de analizar cada factor mencionado.

## Conclusiones

Las personas se preocupan cada vez más por el medio ambiente, sin sacrificar su calidad de vida. Puede decirse que, en el pasado, para obtener confort, era necesario el uso desmedido de la energía eléctrica. Afortunadamente, hoy puede mantenerse esa calidad de vida mediante las diferentes alternativas, amigables con el medio ambiente. El costo inicial de una 'tecnología verde' (focos, calentador solar, sistema de intercambio geotérmico) es mayor que una tecnología convencional (como el aire acondicionado). No obstante, a largo plazo los beneficios generados por las tecnologías verdes suelen ser mejores. Si las personas se concientizan de no contaminar y preservar el planeta, los beneficios ambientales serán mayores.

El desarrollo de nuevas tecnologías --gracias a la innovación continua de los productos-- ha permitido el progreso de nuevas bombas de calor más eficientes. De acuerdo con la investigación documental que se realizó para esta investigación, podemos inferir que es posible implementarlo en la República Mexicana, no sólo en el estado de Querétaro. Esto, debido a que existen zonas de México donde la temperatura ambiental es más extrema y el uso del aire acondicionado es mayor, dando por consecuencia un consumo de energía eléctrica significativo.

Otra de las razones es el gran beneficio ambiental para nuestro país; esto es, la reducción de emisiones contaminantes --como el dióxido de carbono-- y el ahorro de energía eléctrica sin sacrificar el confort de las personas, forma parte de los beneficios de este sistema.

La implementación de este sistema --como hemos visto en otros países (los Estados Unidos, Canadá, España, Suiza y otros)-- se verá reflejado en un ahorro de energía y en la conservación del medio ambiente. Este sistema está patentado ante la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) desde el año 2000 y ha sido mejorado continuamente, de tal modo que en el 2011 se han registrado 14 patentes referentes al sistema de intercambio geotérmico.

El sistema de intercambio geotérmico es, pues, una alternativa para climatizar los hogares queretanos.

## Referencias

- Calthermic. 2010. Confort térmico. Obtenido el 20 de septiembre de 2011, desde: <http://www.calthermic.com/confort.swf>
- Clima en Querétaro. 2011. Días con valores históricos extremos durante el año 2011. Obtenido el 10 de marzo de 2012, desde: [http://www.tutiempo.net/clima/Queretaro\\_Qro/2011/766250.htm](http://www.tutiempo.net/clima/Queretaro_Qro/2011/766250.htm)
- Chiasson, A. 2006. Final report feasibility study of a geothermal heat pump system Lapwai Middle-High School. Obtenido el 5 de diciembre de 2011, desde: [http://www.energy.idaho.gov/informationresources/d/nez\\_perce\\_geo\\_heat\\_pump\\_feasibility\\_study.pdf](http://www.energy.idaho.gov/informationresources/d/nez_perce_geo_heat_pump_feasibility_study.pdf)
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas. 2002. Directiva 2002/91/CE. Obtenido el 05 de diciembre de 2011. Desde: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0065:ES:PDF>
- García C. E., H. A. Valdez. 2006. Brújula de compra, aires acondicionados para el hogar. Obtenido el 12 de marzo de 2012, desde: [http://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj\\_2006/bol20\\_aire\\_acon.asp](http://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj_2006/bol20_aire_acon.asp)
- Ecohabitar. 2004. Climatización geotérmica. Obtenido el 7 de junio del 2011 desde: <http://www.ecohabitar.org/articulos/tecnopropiadas/geotermica.html>
- Saldaña N. 2011. Reportan cobro excesivo de luz en Querétaro. Obtenido el 6 de abril de 2012, desde: <http://eleconomista.com.mx/sociedad/2011/06/01/reportan-cobro-excesivo-luz-queretaro>
- Energy Saver. 2011. Geothermal heat pump. Obtenido el 20 agosto de 2011, desde: [http://www.energysavers.gov/your\\_home/space\\_heating\\_cooling/index.cfm/mytopic=12640](http://www.energysavers.gov/your_home/space_heating_cooling/index.cfm/mytopic=12640)
- Fernández G. F. 1994. Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos. Obtenido el 21 de octubre de 2011, desde: <http://titulaciongeografia-sevilla.es/web/contenidos/profesores/materiales/archivos/articuloconfort.pdf>
- Fórum Geotermia. 2010. La energía geotérmica. Obtenido el 25 de noviembre de 2011, desde: [http://www.forumgeotermia.com/esp/la\\_energia\\_geotermica.pdf](http://www.forumgeotermia.com/esp/la_energia_geotermica.pdf)
- Geoexchange. 2011. Geothermal HVAC. Obtenido el 02 de agosto de 2011 desde: [http://www.geoexchange.org/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=375&Itemid=32](http://www.geoexchange.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=375&Itemid=32)
- Geoexchange. 2011. The facts about Geoexchange systems. Obtenido el 7 de diciembre de 2011, desde: [http://www.geoexchange.ca/en/geoexchange\\_key\\_facts\\_p11.php](http://www.geoexchange.ca/en/geoexchange_key_facts_p11.php)
- Geoexchange. 2011. Geoexchange heating and cooling systems: Fascinating Facts. Obtenido el 7 de diciembre de 2011 desde: <http://www.geoexchange.org/downloads/GB-003.pdf>
- Geotermia Solar. 2008. ¿Por qué geotermia? Obtenido el 02 de junio de 2011 desde: [http://www.geotermiasolar.com/Geotermia\\_esp.html](http://www.geotermiasolar.com/Geotermia_esp.html)
- Halfhide T., S. MacDonald, J. McLane, S. Titcomb. 2009. A feasibility study of geothermal heating and cooling at Colgate University. Obtenido el 3 de octubre del 2011 desde: <http://www.colgate.edu/portaldata/imagegallery/www/d0f441dc-098d-4190-9faa-348b1c72ee56/ImageGallery/Geothermal%20Final%20Report.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología. 2010. ¿Qué es el fenómeno del cambio climático? Obtenido el 15 de marzo de 2012, desde: [http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/queeselcc/queeselcc.html](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/queeselcc/queeselcc.html)
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. 2005. Enciclopedia de los Municipios de México. Obtenido el 21 de octubre del 2011, desde: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/queretaro/>
- Instituto Nacional de Ecología. 2010. El cambio climático en México, Querétaro proyecciones del clima. Obtenido el 20 de octubre de 2011, desde: [http://www2.ine.gob.mx/climatico/edo\\_sector/estados/futuro\\_queretaro.html](http://www2.ine.gob.mx/climatico/edo_sector/estados/futuro_queretaro.html)
- Lienau P. J., T. L. Boyd, R. L. Rogers. 1995. Ground-source heat pump case studies and utility programs. Obtenido el 28 de noviembre de 2011, desde: <http://geoheat.oit.edu/pdf/hp1.pdf>
- Granados L. 2011. Brújula de compra, cómo comprar aires acondicionados. Obtenido el 12 de abril de 2012, desde: [http://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj\\_2011/bol195\\_aire.asp](http://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj_2011/bol195_aire.asp)
- Mondelo, R. P., E. T. Gregori, S. U. Comas. 1999. Ergonomía 2. Confort y estrés térmico. Obtenido el 22 de octubre de 2011. Desde: [http://books.google.es/books/about/Ergonom%C3%ADa\\_2.html?id=2N0jNvsNFyQC](http://books.google.es/books/about/Ergonom%C3%ADa_2.html?id=2N0jNvsNFyQC)
- NASA CR-1205-1. 1976. A compendium of Human Responses to the Aerospace Environment. Obtenido el 15 de octubre de 2011, desde: [https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:bjxVhkSKPOYJ:www.polarhide.com/HeatPproductivity\\_NASA.pdf+NASA+Report+CR-1205-1&hl=en&gl=us&pid=bl&srcid=ADGEEJTORCAM4fDbiqENL88ARj8YQZV2bBNISEUa03zVmOx3FM2wJRSCAfO6wHIUik\\_EwFLyN-4-4q4t23s1a1Nu2WyBhonAlmBe1FiMdD0AY0fdt1gZUW6soWgic1eEyuLlebDP&sig=AHIEtT\\_GVIsQVphEPZaxuzztplWdK9sIA](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:bjxVhkSKPOYJ:www.polarhide.com/HeatPproductivity_NASA.pdf+NASA+Report+CR-1205-1&hl=en&gl=us&pid=bl&srcid=ADGEEJTORCAM4fDbiqENL88ARj8YQZV2bBNISEUa03zVmOx3FM2wJRSCAfO6wHIUik_EwFLyN-4-4q4t23s1a1Nu2WyBhonAlmBe1FiMdD0AY0fdt1gZUW6soWgic1eEyuLlebDP&sig=AHIEtT_GVIsQVphEPZaxuzztplWdK9sIA)
- NYSERDA. 2007. Information for evaluating geoexchange applications. Obtenido el 7 de junio de 2011, desde: [www.nyserda.com/programs/geothermal/geothermal\\_manual.pdf](http://www.nyserda.com/programs/geothermal/geothermal_manual.pdf)
- Pedraza H. E. 2008. Estadísticas e indicadores de Energía como herramienta para el Desarrollo de Políticas Públicas. Obtenido el 15 de abril de 2012, desde: [http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6153/2/estadistica\\_s\\_indicadores\\_energia.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6153/2/estadistica_s_indicadores_energia.pdf)
- Pérez D., C. Aceves. 2011. Análisis de la bomba de calor geotérmica en el panorama energético español. Obtenido el 5 de diciembre de 2011, desde: [http://www.caloryfrio.com/archivos-cyf/pdf/ponencias/Ponencia\\_geoener21.pdf](http://www.caloryfrio.com/archivos-cyf/pdf/ponencias/Ponencia_geoener21.pdf)
- Rehabitar. 2003. La calefacción geotérmica. Obtenido el 6 de junio de 2011, desde: [http://www.probiocsl.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=35&Itemid=51](http://www.probiocsl.com/index.php?option=com_content&task=view&id=35&Itemid=51)
- Torero, J., A. J. Pérez, F. Gómez. 2006. Ciudad y confort ambiental: Estado de la cuestión y aportaciones recientes. Obtenido el 24 de octubre de 2011, desde: [http://www.uv.es/cuadernosgeo/CG80\\_147\\_182.pdf](http://www.uv.es/cuadernosgeo/CG80_147_182.pdf)
- UNEP, Grid arendal, Environmental Knowledge for Change. 2011. Trend in Global average surface temperature. Obtenido el 8 de octubre de 2011, desde: <http://www.grida.no/publications/vg/climate/page/3070.aspx>
- UNEP, Grid arendal, Environmental Knowledge for Change. 2011. Trend in Global average surface temperature. Obtenido el 8 de octubre de 2011, desde: <http://www.grida.no/publications/vg/climate/page/3062.aspx>
- UNEP, Grid arendal, Environmental Knowledge for Change. 2011. Trend in Global average surface temperature. Obtenido el 8 de octubre de 2011, desde: <http://www.grida.no/publications/vg/climate/page/3058.aspx>

# Estudio de la corrosión de piezas de aluminio anodizadas en baños de ácido sulfúrico-ácido dicrómico

J. C. Ávalos Yépez<sup>1</sup>, R. Antaño López<sup>1</sup>, F. Castañeda Zaldivar<sup>1</sup>, J. Morales Hernández<sup>1</sup>, I. Terol Villalobos<sup>1</sup>, J. Torres González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQU) S. C., México.

## Resumen

El anodizado de aluminio es un proceso de protección y mejora de dicho material, el cual busca, entre otras características, mejorar la resistencia a la corrosión del material tratado en dicho proceso. Este proceso incrementa de manera controlada la película protectora de óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), la cual tiende a formarse de manera natural cuando se somete corriente en una celda electroquímica.

El proceso de anodizado es ampliamente usado en la industria aeronáutica, por ejemplo, donde se requiere que, además de la resistencia a la corrosión, las piezas anodizadas tengan buena adherencia y resistencia a la fatiga [1]. Para obtener tales características se utiliza el anodizado con ácido crómico (CAA), el cual provee una excelente resistencia para aleaciones de aluminio estructurales para la industria aeronáutica. Sin embargo, el Cromo VI presente en dicho baño es un carcinógeno y su uso está en descenso [2]. Por ello se busca encontrar nuevas formulaciones que puedan remplazar al proceso CAA y que, a la vez, proporcionen las excelentes características que dicho proceso otorga.

En nuestra investigación se utiliza una combinación de dos ácidos fuertes: el ácido sulfúrico ( $H_{2SO_4}$ ) combinado con ácido dicrómico ( $H_2Cr_2O_4$ ) en diferentes concentraciones, temperaturas, corriente aplicada, contra electrodos y tiempo de anodizado, para determinar cuál combinación puede proveer la mejor respuesta ante la corrosión. Esto se evaluará

mediante las técnicas de espectroscopía de ruido electroquímico (EQN) y de cámara de niebla salina (NS).

**Palabras clave:** *anodizado sulfúrico, óxido de aluminio, dicromato, ácido dicrómico.*

## Introducción

El aluminio posee una excelente resistencia a la corrosión en la atmósfera debido a la formación espontánea de una capa de óxido protectora ( $Al_2O_3$ ) cuando entra en contacto con el oxígeno del aire. La capa pasiva que se forma tiene un espesor entre 2-10  $\mu m$  y no es muy adherente [3], por lo que cualquier método que mejore la adherencia e integridad de esta capa mejora la resistencia a la corrosión. En la actualidad el tratamiento superficial más empleado para prevenir la corrosión atmosférica en estructuras aeronáuticas es el anodizado, porque además de ser inhibidor de la corrosión es de fácil aplicación, durabilidad y adherencia.

El anodizado crómico es un proceso utilizado para proteger las aleaciones de aluminio de grado aeroespacial contra la corrosión y guardar la funcionalidad de la pieza y ensambles [1].

El anodizado crómico aún se suministra en la actualidad [2] debido a las aplicaciones que se les da a las piezas tratadas mediante este proceso.

Los fabricantes más importantes de aviones han empleado este proceso durante varias décadas, pese a las restricciones cada vez más estrictas sobre el uso de cromo hexavalente (1M por litro en el depósito de anodización).

Los desechos de la anodización con ácido crómico crean un problema con su disposición final, cuya seriedad se halla en las regulaciones locales e internacionales para su manejo dada la elevada toxicidad del Cromo VI [4, 5], un producto carcinógeno [2].

## Antecedentes

El aluminio, para protegerse de la acción de los agentes atmosféricos, se recubre en forma natural de una delgada película de óxido de aluminio, de un

espesor más o menos regular del orden de 0,01 micras sobre el metal recientemente decapado y puede llegar a 0.2 o 0.4 micras sobre metal que haya permanecido en un horno de recocido. Se pueden obtener películas de óxido artificialmente mucho más gruesas y con características distintas a las de la capa natural, más protectoras, por procedimientos químicos y electrolíticos (anodizado de aluminio) [7].

El anodizado del aluminio y sus aleaciones han sido ampliamente usadas en aplicaciones tales como la protección a la corrosión, resistencia al desgaste, decoración, y en muchas otras, debido a los buenos espesores alcanzados en electrolitos ácidos [8].

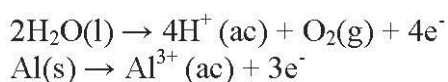
El proceso de anodizado permite formar capas en las que el espesor puede, a voluntad, ser de algunas micras a 25-130 micras en los tratamientos de protección o decoración, llegando a las 100 micras y más por procesos de endurecimiento superficial; esto es, el anodizado duro [7].

Durante el proceso de anodizado pueden señalarse dos tipos de reacciones anódicas, que presentan variantes:

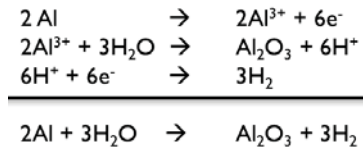
- En los electrolitos que no tienen acción disolvente sobre la capa de óxido se forma una película muy adherente y no conductora. El crecimiento de la película se realiza hasta que su resistencia eléctrica es tan elevada que impide la circulación de la corriente hacia el ánodo, formándose entonces una capa llamada 'capa barrera'.
- En los electrolitos que tienen una acción disolvente sobre la capa de óxido --si el metal es disuelto y si los productos de reacción son solubles en el electrolito-- no se forma capa de óxido.

Así pues, el anodizado puede ser visto deliberadamente como la corrosión controlada de la superficie de aluminio en un medio ácido para formar una película protectora de óxido, uniforme y continua [9].

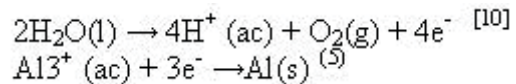
Algunos trabajos reportan que el posible mecanismo electroquímico de anodizado se lleva a cabo por medio de las siguientes reacciones:



De manera global, se proponen las siguientes reacciones electroquímicas y químicas [1]:



...donde las semi-reacciones de reducción del agua y del aluminio se presentan a continuación:



El anodizado del aluminio consta de tres etapas, básicamente:

- 1) Preparación previa de la superficie, que consiste en un desengrase, decapado y neutralizado.
- 2) Tratamiento electrolítico de anodizado.
- 3) Otros tratamientos [6].

Cada uno con una etapa de enjuague por el que se someten las piezas antes de pasar a cada etapa.

El proceso de conversión del aluminio está determinado por el tiempo de anodizado y la densidad de corriente, de tal modo que cuando aumentan estos parámetros se incrementa la conversión. La morfología y espesor de la capa de óxido anódico también depende de la intensidad del voltaje, de la temperatura y de la composición del electrolito.

En el anodizado del aluminio el electrolito más utilizado es el ácido sulfúrico (al 20 %), aunque en ocasiones pueden emplearse otro tipo de soluciones, como el ácido oxálico, fosfórico o crómico, siendo esta última aplicación cada vez menos usada y en aplicaciones muy concretas. El anodizado en ácido oxálico fue desarrollado en Japón y posteriormente fue utilizado en Europa, pero el proceso de anodizado con este tipo de ácidos es más caro que en sulfúrico y además los residuos que genera presentan una elevada toxicidad. El anodizado en ácido fosfórico se usa sobre todo en la industria aeroespacial para mejorar las propiedades adherentes del aluminio muy concretas [7]. No obstante, como se mencionó anteriormente, el anodizado crómico también se emplea en este sector debido a las propiedades superiores que no pueden ser proporcionadas por el anodizado sulfúrico para aplicaciones específicas.

Algunas de las tantas condiciones de operación para anodizado crómico se presentan a continuación:

Voltaje		Rampa de 0 a 40V	
Temperatura		38-42°C	
Concentración de electrolito		30-100 g/l	
Grosor		2-5 µm	

**Tabla 1.** Condiciones trabajo anodizado aluminio con ácido crómico [7].

Cómo puede observarse, la mayoría de los ácidos utilizados para anodizar aluminio son ácidos fuertes, cómo lo son el ácido crómico, el ácido sulfúrico y el ácido fosfórico.

Así, nuestro proyecto se enfoca en la selección de una mezcla de ácidos fuertes basados en ácido sulfúrico, y en caracterizar su resistencia a la corrosión mediante las pruebas de ruido electroquímico y por medio de la cámara de niebla salina.

Se proponen la combinación de los siguientes ácidos: ácido sulfúrico-ácido dicrómico ( $H_2SO_4$ - $H_2Cr_2O_4$ ), los cuales son de baja toxicidad en comparación con el ácido crómico ( $CrO_3$ ,  $H_2CrO_4$ ).

### Metodología experimental

La metodología experimental planteada nos divide en dos partes. La primera fue producir piezas de aluminio

anodizadas en un baño de ácido sulfúrico-ácido dicrómico, y posteriormente caracterizar la corrosión por medio de la técnica de ruido electroquímico (EQN) y cámara de niebla salina.

### Mezcla de ácido sulfúrico-ácido dicrómico para un proceso de anodizado

Se seleccionó la sal de dicromato ( $Cr_2O_3$ ) para elaborar una mezcla de ácidos base ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) para llevar a cabo la anodización de piezas, debido a que el cromo se ha utilizado en su valencia 6+ para hacer el proceso de anodizado crómico, el cual ha tenido un gran desempeño desde hace muchos años para diversas aplicaciones y sectores, destacando, entre éstos, el sector aeroespacial.

Se sabe que las piezas anodizadas con ácido dicrómico ( $H_2Cr_2O_4$ ) no tienen el mismo desempeño que aquellas anodizadas con ácido crómico ( $H_2CrO_4$ ). Sin embargo se espera que la presencia de cromo III en el baño tenga una respuesta favorable al combinarse con  $H_2SO_4$ .

Se utilizó un diseño experimental de  $2^{6-2} = 2^4$  con un total de 16 corridas sin repeticiones para este baño de anodizado. La matriz experimental es la siguiente:

Orden Est	Corriente (A/dcm <sup>2</sup> )	Tiempo (min.)	Cátodo	Temperatura (°C)	Ác. Sulfúrico [M]	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [mM]
2	-1	-1	Acero Inox.	-1	-1	+1
1	+1	+1	Aluminio	-1	+1	+1
4	+1	-1	Acero Inox.	+1	+1	-1
3	-1	+1	Aluminio	+1	-1	-1
10	+1	-1	Acero Inox.	-1	+1	+1
12	-1	-1	Acero Inox.	+1	-1	-1
11	+1	+1	Aluminio	+1	+1	-1
9	-1	+1	Aluminio	-1	-1	+1
8	+1	+1	Acero Inox.	+1	-1	+1
7	-1	-1	Aluminio	+1	+1	+1
5	+1	-1	Aluminio	-1	-1	-1
6	-1	+1	Acero Inox.	-1	+1	-1
13	-1	-1	Aluminio	-1	+1	-1
14	+1	+1	Acero Inox.	-1	-1	-1
15	+1	-1	Aluminio	+1	-1	+1
16	-1	+1	Acero Inox.	+1	+1	+1

**Tabla 2.** Matriz experimental combinación  $H_2SO_4$ - $Cr_2O_3$

...donde como variables de interés para el presente diseño se consideraron los siguientes parámetros: la temperatura, la densidad de corriente, la naturaleza del cátodo (aluminio y acero inoxidable), el tiempo de anodizado y las concentraciones del baño ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), donde +1 y -1 representan las condiciones superior e inferior de las variables a probar.

### Etapa de anodizado

Para la etapa de anodizado se utilizó una placa de aluminio 1100. Se recortaron placas de dimensiones de 10 cm x 7.5 cm.

Posteriormente se le aplicó un pre-tratamiento a cada pieza, el cual consistió de lo siguiente:

- Devastado con lijas grano 400 y 600.
- Limpieza con agua destilada.
- Limpieza de la pieza con jabón.
- Enjuague con agua desionizada.
- Desengrasado en alcohol isopropílico.

- Limpieza con agua desionizada.
- Decapado alcalino en NaOH.
- Enjuague con agua desionizada.
- Neutralizado en  $\text{HNO}_3$ .
- Limpieza con agua desionizada.
- Secado de la pieza.

Se prepararon cuatro disoluciones de ácido sulfúrico-dicromato, de un litro cada una, a las concentraciones que se presentan en la **Tabla 1** de la matriz experimental.

Se trabajó en una celda de acrílico montada sobre una parrilla con agitación, utilizando además un equipo recirculador de agua para controlar la temperatura del baño. Para suministrar el potencial se usó una fuente de poder donde se ajustó la corriente a aplicar sobre la superficie a trabajar. Una vez montado el dispositivo experimental se llevó a cabo el anodizado a las diferentes condiciones presentadas en la matriz experimental. A continuación se presenta una fotografía del montaje experimental.

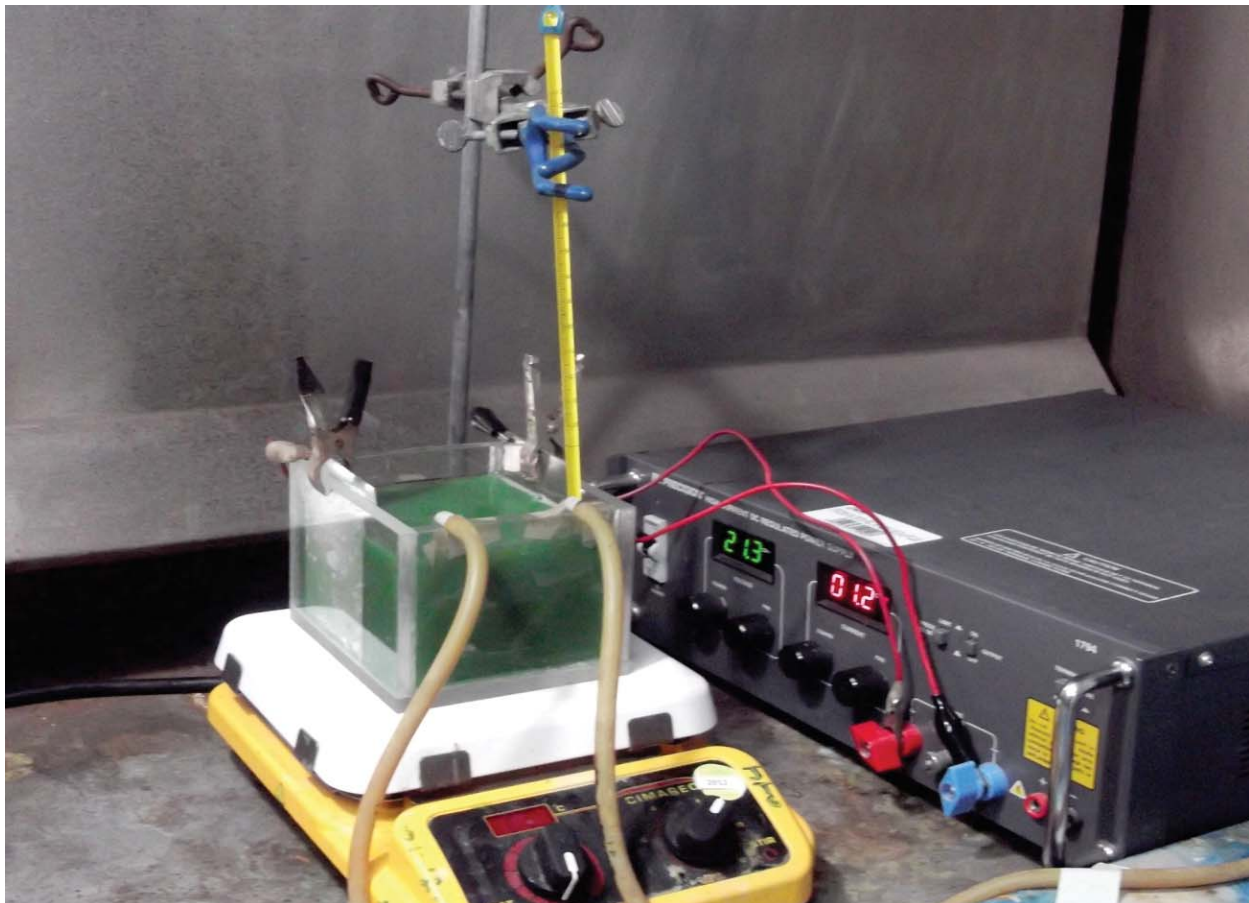


Imagen. 1. Dispositivo experimental montado para anodizar aluminio.

Posterior a cada anodizado se procedió a realizar el sellado hidrotérmico en agua desionizada, en una temperatura entre 90°C durante 10 minutos.

Se procedió a cortar las placas anodizadas para llevar a cabo las pruebas de niebla salina y de ruido electroquímico.

### Ruido electroquímico (EQN)

Se montó una celda de dos electrodos de dos placas del mismo material anodizado. En ese arreglo se conectaron las dos placas, de manera que una fuera el electrodo de trabajo (WE) y la otra funcionara como el electrodo auxiliar (CE), y al mismo tiempo como el de referencia (RE).

Posteriormente se procedió a realizar la técnica de Corriente a Potencial Cero (ZVC), donde se impuso un potencial de 0 V durante un periodo de una hora y se monitorearon los transientes de corriente generados en un tiempo de una hora.

### Cámara de niebla salina ASTM B 117-11

Los anodizados obtenidos en el diseño experimental, fueron sometidos a un periodo de 336 horas en condiciones de corrosión acelerada, conforme a las especificaciones para el monitoreo en cámara de niebla salina descritas en la Norma ASTM B 117-11.

### Resultados

#### Ruido electroquímico

Se obtuvieron los espectros de ruido electroquímico de las 16 muestras anodizadas, colocando dos piezas del mismo anodizado, a manera de colocarlas como una celda típica de dos electrodos, donde se midió la variación de la corriente en función al tiempo cuando se establece el potencial del sistema 0 Volts. En el siguiente gráfico se muestra un espectro de ruido de una de las muestras caracterizadas por dicha técnica.

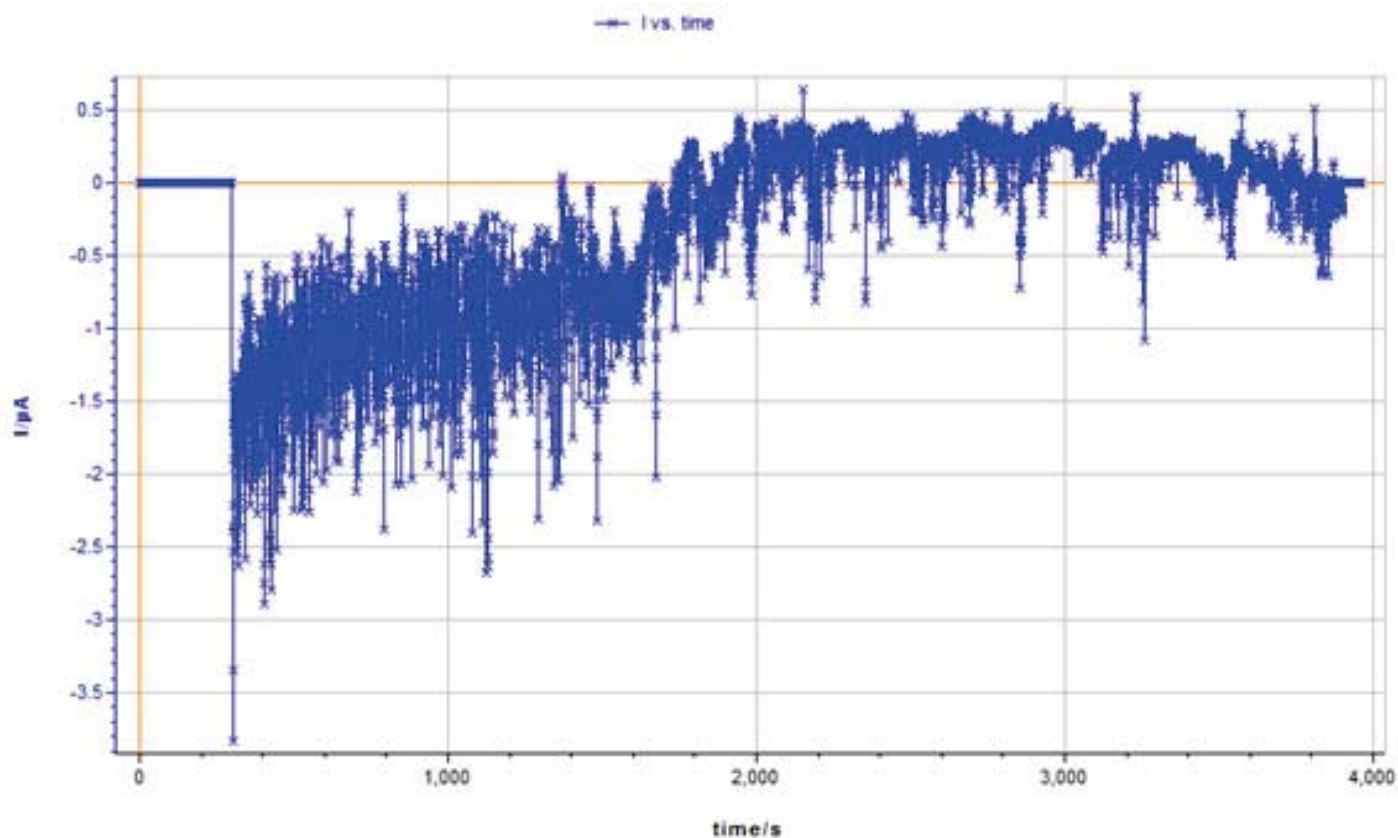


Gráfico 1. Espectro de EQN para muestra no. 3 del diseño de experimento de la combinación  $H_2SO_4-Cr_2O_3$

Posteriormente, los espectros de ruido fueron analizados con el programa *Ec-lab* y se obtuvieron los datos de las desviaciones estándar para cada muestra, mismos que se presentan a continuación:

Muestra	Desviación Estándar $\sigma_{E-WE}$ (V)	Desviación Estándar $\sigma_i$ (A)
1	6.69E-05	2.47E-07
2	6.95E-05	3.84E-07
3	6.78E-05	2.99E-07
4	6.37E-05	1.80E-07
5	7.86E-05	7.71E-07
6	6.37E-05	4.63E-07
7	6.63E-05	1.49E-07
8	8.90E-05	2.13E-07
9	3.21E-04	1.91E-07
10	6.69E-05	2.02E-07
11	2.79E-04	5.79E-07
12	1.38E-04	2.31E-07
13	7.24E-05	1.28E-07
14	1.40E-04	2.46E-07
15	2.31E-04	1.89E-07
16	3.34E-04	1.90E-07

**Tabla 3.** Desviaciones estándar del potencial de electrodo de trabajo y de la corriente, obtenidas por EQN para las muestras anodizadas.

Se procedió a calcular la resistencia al ruido ( $R_n$ ), equivalente, en este caso, a una resistencia a la polarización ( $R_p$ ) en la técnica de EQN, mediante la ecuación 1:

$$R_{Ip} = R_{In} = \sqrt{\frac{2(\sigma_i^2)}{2(\sigma_{E-WE}^2)}} \quad \text{Ec. 1 [8]}$$

Donde  $R_p$  es la resistencia a la polarización,  $R_n$  es la resistencia al ruido,  $(\sigma_i^2)$  es la varianza de la corriente, y  $(\sigma_{E-WE}^2)$  es la varianza del potencial en el electrodo de trabajo.

Para calcular la corriente de ruido,  $I_n$ , se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_n = \frac{(\sigma_{E-WE})}{R_p} \quad \text{Ec. 2 [8]}$$

Donde  $(\sigma_{E-WE})$  es la desviación estándar del potencial en el electrodo de trabajo, y  $R_p$  es la resistencia al ruido al ruido obtenida por la ecuación 1.

Los datos obtenidos de las corrientes de ruido se presentan en la **Tabla 4**.

Muestra	$R_n = R_p$	$I_n$
1	270.7	2.47E-07
2	180.7	3.84E-07
3	226.9	2.99E-07
4	353.3	1.80E-07
5	102	7.71E-07
6	137.5	4.63E-07
7	445.5	1.49E-07
8	418.4	2.13E-07
9	1681	1.91E-07
10	331.5	2.02E-07
11	481.2	5.79E-07
12	598.4	2.31E-07
13	564.3	1.28E-07
14	569.4	2.46E-07
15	1221	1.89E-07
16	1761	1.90E-07

**Tabla 4.** Valores de  $R_p$  e  $I_n$  obtenidos para las muestras anodizadas en EQN.

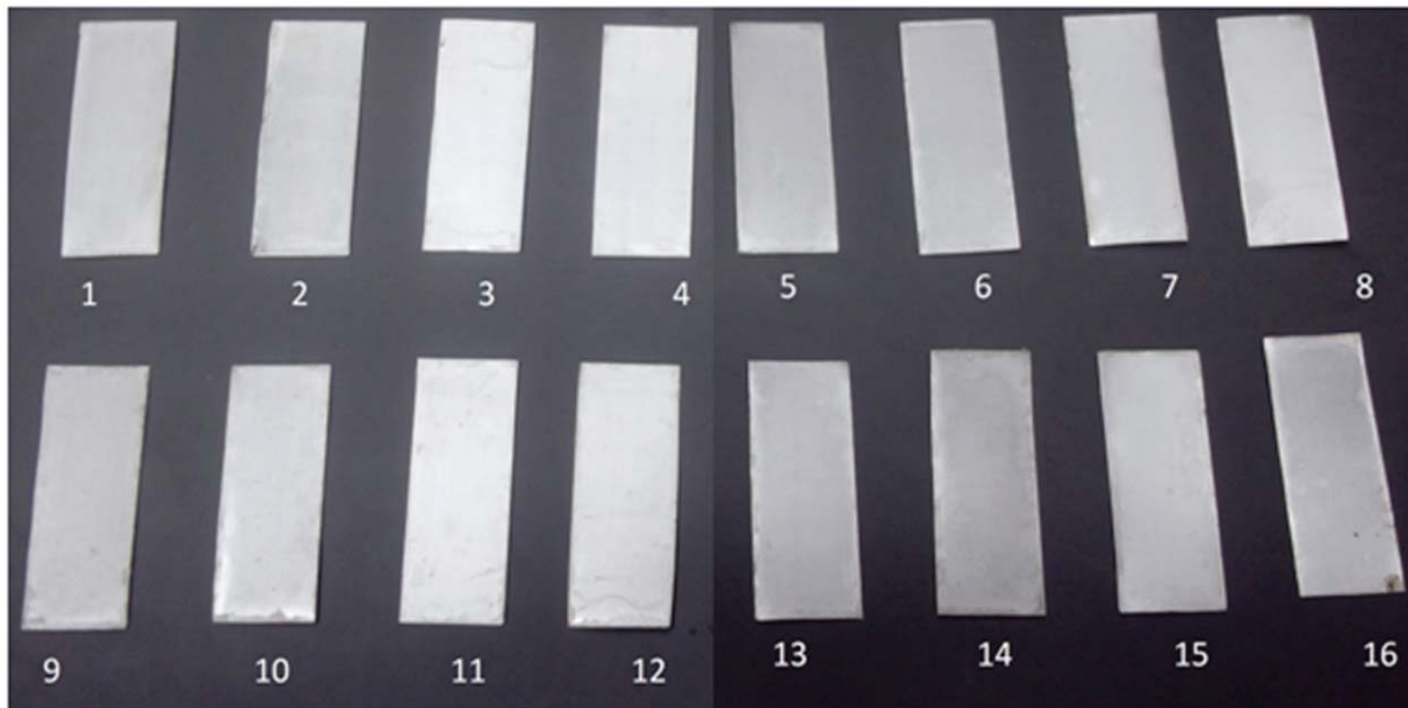
Donde se observa que las muestras que presentan menor corriente de ruido de todo el lote analizado, son las piezas 13, 7 y 4 marcadas en color verde.

Teniendo en consideración que estas corrientes de ruido son muy parecidas a las corrientes de corrosión que se obtienen por las técnicas convencionales de electroquímica —como son curvas de polarización y espectroscopia de impedancia electroquímica—, se puede intuir que las corrientes de corrosión de dichas muestras serán muy bajas y que pueden presentar una buena alternativa para sustituir al anodizado crómico.

### Cámara de niebla salina

De acuerdo con el informe entregado por el Departamento de Servicios del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S. C. (CIDETEQ), las piezas de aluminio anodizado mostraron un buen comportamiento al término de las 336 horas, pues en todas las piezas no se presentaron daños por picaduras al estar sometidas en el ambiente corrosivo de la cámara de niebla salina.

En la **Imagen 2** se muestran las piezas después de salir de la cámara de niebla salina.



**Imagen 2.** Piezas anodizadas después de pasar 336 horas en la cámara de niebla salina, acorde a la Norma ASTM B 117 - 11.

## Conclusiones

1. Al término de la prueba en cámara de NS, se observó que todas las piezas anodizadas en el DOE presentan una buena resistencia a la corrosión, en comparación con el CAA.
2. Es posible anodizar a una baja concentración de  $H_2SO_4$  al combinarlo con  $Cr_2O_3$ . Sin embargo, el DOE indica que la concentración de  $Cr_2O_3$  parece no tener mucha relevancia en el efecto obtenido.
3. Las condiciones del DOE en las muestras 13, 7 y 4 fueron en las que se obtuvieron las corrientes de ruido bajas en todo el lote de analizados; sin embargo, las demás muestras también presentan corrientes en el mismo orden de magnitud.
4. Al relacionar el resultado de la NS y de EQN puede concluirse que son piezas que pudieran competir con el CAA en cuanto a la resistencia a la corrosión, por lo que en estudios posteriores se procederá a hacer las pruebas de adherencia y de resistencia a la fatiga a las mejores respuestas obtenidas en este trabajo.

## Referencias bibliográficas

1. Ramirez Medina, L.J., *Fatiga de aleaciones de aluminio aeronáutico con nuevos tipos de anodizado de bajo impacto ambiental y varios espesores de recubrimiento*, in *Departamento de métodos matemáticos y representación 2010*, Universidade da Coruña: La Coruña.
2. Sheasby, G. and R. Pinner, *The surface treatment and finishing of aluminium and its alloys*, ed. Ed. Vol. 1 2001: ASM International Finishing Publications LTD.
3. Hufnagel, W., *Manual del Aluminio*, ed. Edición 1992, España: Ed. Reverté.
4. REACH. Available from: [http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach\\_intro.htm](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_intro.htm).
5. CHEMSEC, I.C.S.; Available from: <http://www.chemsec.org/>.
6. Lizarbe, R., *"Oxidación anódica, coloración y sellado del aluminio", Teoría y Práctica de la Lucha Contra la Corrosión*. 1ra. Edición ed 1984, Madrid, España.: Consejo Superior de investigaciones Científicas (C.S.I.C.).
7. Ambio Consult, S. *Guía sobre las mejores técnicas disponibles en España del sector de tratamiento de superficies metálicas y plásticas*. 2007.
8. Cottis, R., et al., *Electrochemical Impedance and Noise* 1999: NACE International.

*Lentana hirt*

## Flora útil del Semidesierto Queretano

J. Guadalupe Cruz Pacheco, Cabrera Luna Alejandro, García Rubio Óscar R.

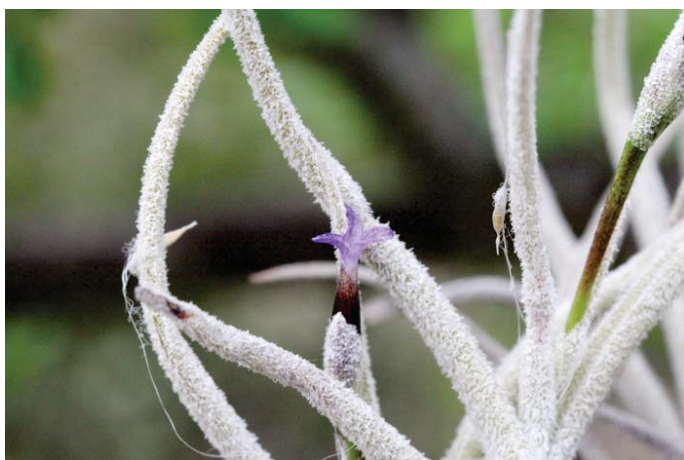
Laboratorio de Integridad Biótica.  
Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas S/N.  
Col. Las Campanas. Santiago de Querétaro, Querétaro. C. P. 76010.

### Introducción

La flora mexicana está reconocida como una de las más ricas y diversas del planeta. Entre otras características, su endemismo es considerable, ya que alrededor del 10 % de los géneros y cerca del 52 % de las especies son exclusivas del país (Rzedoswki y Equihua, 1987; Rzedowski, 1991; Villaseñor, 2003). A pesar de los múltiples trabajos que se abocan a conocer y cuantificar la riqueza florística de México, aún existen varias regiones que no han sido estudiadas o cuya exploración ha sido poca o nula. La flora del semidesierto es particularmente diversa y está plagada de endemismos; por ello se ha iniciado un extenso inventario florístico que concluirá a principios del año 2015, para registrar la flora del Semidesierto Queretano. Cabe señalar que este trabajo recibe un financiamiento de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), mientras que los trabajos de etnobotánica fueron soportados gracias al apoyo de los Fondos Especiales de la Rectoría (FOPER) de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ).

Varios autores consideran a esta región como parte del Desierto Chihuahuense, considerado como una región rica en endemismos y que guarda una riqueza florística importante para la región. Particularmente, la región

*Acalypha mollis**Oxalis decaphylla*



*Tillandsia recurveta*

Sureste del Desierto Chihuahuense es la que presenta las especies vegetales más raras y amenazadas (Hernández *et al.*, 2008). El área de San Martín y El Patol ha sido poco estudiada y a la fecha no existen registros fiables de su flora en general, salvo casos de especies particulares (*e.g. Dasyilirion acrotriche, Strombocactus disciformis, Turbinicarpus pseudomachrochele, Lophophora difusa*, etc.). También se han llevado a cabo algunas colectas para la serie de la *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes* (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 1991).

En lo que se refiere a los alrededores del pueblo de Bernal, el único trabajo que hace referencia a la flora es el de Zamudio *et al.* (1992), donde describe la vegetación dominante del lugar, principalmente árboles y cactáceas. Las caminatas de reconocimiento de la biodiversidad que se han llevado a cabo reflejan una alta diversidad biológica, particularmente de grupos como los reptiles y la flora. Por ello, es pertinente llevar a cabo estudios detallados sobre estos grupos.



*Brongniartia lupinoides*



*Physalis cinerascens*

Por lo antes mencionado, el presente estudio tiene como metas el coleccionar y analizar la riqueza florística de los cerros San Martín y el Patol, conjuntando una colección de ejemplares y fotografías de las especies encontradas, contribuyendo, así, al conocimiento florístico local y, en general, de la región del Semidesierto Queretano-Hidalguense.

Cabe señalar que este estudio se lleva a cabo en el Laboratorio de Integridad Biótica y en el Herbario 'Jerzy Rzedowski', de la Universidad Autónoma de Querétaro.

### Área de estudio

El área de estudio se localiza en el estado de Querétaro, entre los municipios de Ezequiel Montes, Toliman, Cadereyta y Colón, en la región del Semidesierto Queretano. La superficie posee una extensión de 15,399.91 ha. Se aloja entre las coordenadas extremas 100° 1' 51" longitud Oeste y 20° 50' 37" latitud Norte, y 99° 49' 0" longitud Oeste y 20° 43' 1" latitud Norte.



*Comelliona tuberosa*



Manuel Olvera, médico tradicional de San Antonio de la Cal.

Como ya se mencionó, el área abarca los municipios de Tolimán, Colón, Cadereyta y Ezequiel Montes, donde las principales elevaciones son los cerros de San Martín y El Patol. Dicha área forma parte de las regiones terrestres reconocidas por la CONABIO como áreas prioritarias para la investigación y conservación biológica (Arriaga *et al.*, 2000).

## Avances

Durante el desarrollo de este proyecto se pidió la ayuda de quienes mejor conocen la vegetación de la zona: sus habitantes. Han sido ellos quienes nos han ayudado a llevar a cabo este cuidadoso registro de la flora, quienes nos han enseñado y compartido, sin mezquindades, sus conocimientos ancestrales sobre los usos que les dan a diversas plantas. Este sincero esfuerzo de cooperación por parte de los habitantes de la región nos llevó a iniciar la documentación de los usos tradicionales que les dan a las plantas.

Manuel Olvera es un habitante de San Antonio de la Cal, que se dedica a dar masaje, limpiezas, curaciones y sesiones de temascal. Él es un médico tradicional. El señor Olvera ha dedicado mucho de su tiempo a enseñarnos las plantas que usa cotidianamente. Sólo por citar un ejemplo, nos mostró la *Acallypha mollis*, conocida como 'hierba del cáncer', una planta que sirve para desinfectar. El modo de preparación inicia con el lavado de la raíz, que se hierve en uno o dos litros de agua, para ser consumida como agua de día.

Esta especie es una de los 652 especímenes botánicos colectados hasta el momento. En total nos comprometimos a coleccionar, al menos, 2,000 especímenes en los siguientes dos años.

En el Herbario 'Jerzy Rzedowski' se han montado 415 ejemplares; de ellos, se identificaron hasta nivel de especie 408. En el sistema BIÓTICA, el sistema de la CONABIO para organizar los listados de flora y fauna, se han cargado 302 ejemplares que pertenecen a tres Divisiones, cuatro Clases, 25 Órdenes, 50 Familias, 111 Géneros y 139 Especies.

En lo referente a sus usos, la mayor proporción se encuentra en la categoría de 'uso medicinal', seguido de las plantas comestibles. Ambos quehaceres humanos son básicos para nuestra subsistencia, por lo que no es raro que la mayoría de los usos caigan dentro de esta categoría. Las familias que presentaron un mayor número de especies fueron *Cactaceae* y *Asteraceae*.

Los trabajos etnobotánicos contribuyen a completar el vacío de información que existe actualmente sobre el uso y manejo de los recursos naturales. Además, abren un amplio panorama sobre los trabajos de desarrollo comunitario.

La participación de los 'informantes clave' de las comunidades en estos trabajos es fundamental, pues ellos fungen como un vínculo entre la compilación tradicional de los conocimientos y la adquisición formal, ya que son auténticos 'reservorios culturales' que han resguardado los conocimientos particulares de sus comunidades.

Finalmente, los autores de este trabajo quieren agradecer a todos nuestros colaboradores: los habitantes de San Antonio de la Cal, los informantes, los estudiantes de las Licenciaturas de Biología y Geografía Ambiental, a los becarios de los proyectos apoyados por la CONABIO y al CONCYTEQ.

## Referencias

- Arriaga L., Espinoza J.M., Aguilar C., Martínez E., Gómez L., y Loa E. (Coordinadores). 2000. Regiones prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. <http://www.conabio.gob.mx>.
- Hernández H. M., Goettsch B., Gómez-Hinostrosa C. y Arita H. T. 2008. *Cactus species turnover and diversity along a latitudinal transect in the Chihuahuan Desert Region. Biodivers Conserv.* 17:703–720.
- Rzedowski J. 1991. Diversidad y origen de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana.* 14:3-21.
- Rzedowski J. y Calderón de Rzedowski G. (eds.). 1991. Fascículo 1 Complementario, Presentación y guía para los autores y normas editoriales. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología, A. C. Centro Regional Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Rzedowski J. y Equihua M. 1987. Atlas cultural de México (Flora). Grupo editorial Planeta. Ciudad de México, México.
- Villaseñor R. 2003. Diversidad y distribución de las *Magnoliophytas* de México. *Interciencia.* 28:160-167.
- Zamudio S., Rzedowski J., Carranza E. y Calderón G. 1992. La vegetación en el estado de Querétaro. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. Querétaro, México.

# Panorama multifacético de las áreas verdes de la ciudad de Santiago de Querétaro: el caso de 'La Carbonera' como parque periurbano

Rubén Pineda-López (rpineda62@hotmail.com), Raúl Pineda López (rufuspinedal@gmail.com), Guadalupe Malda Barrera (gmalda@uaq.mx), Aurelio Guevara Escobar (guevara@uaq.mx), Norma Hernández Camacho (minos100@hotmail.com), María Concepción Ledesma Colunga (con-colunga@hotmail.com), Gracia Patricia González Porter (graciasyed@gmail.com)

Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro

## Resumen

Las áreas verdes urbanas cumplen con importantes servicios ambientales y sociales. En el presente contexto de amplio crecimiento urbano de la ciudad de Querétaro, cambio climático, pérdida de la biodiversidad y aumento de las poblaciones de especies invasoras, es necesario considerar y valorar las funciones que cumplen las áreas verdes, e inclusive añadir nuevas, como la educación y el cuidado de la biodiversidad. En este trabajo se compendian las funciones de las áreas verdes urbanas, los trabajos realizados en éstas por personal de la Facultad de Ciencias Naturales (FCN) de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), en especial los realizados en la comunidad de 'La Carbonera'. Se proponen estrategias de manejo para el mejor funcionamiento de las áreas verdes en la ciudad de Querétaro.

**Palabras clave:** *ecología urbana, parques, desarrollo sostenible.*

## Introducción

A nivel mundial, la urbanización está ocurriendo a una escala sin precedentes. Especialmente en países en desarrollo, los cuales experimentan una transición que ha llevado a que el 80 % de sus habitantes residan en las ciudades. La urbanización conlleva una fragmentación y pérdida de hábitats, introducción de especies exóticas y sus enfermedades, incremento de temperatura (las ciudades como islas de calor), aumento drástico de las superficies impermeables,

alteración hidrológica de las cuencas y contaminación química y acústica, entre otros efectos que, en general, causan un deterioro de la biodiversidad, especialmente porque muchas ciudades se encuentran concentradas en áreas con ecosistemas con alta productividad y biodiversidad (Anderies *et al.*, 2007; Goddard *et al.*, 2010; Nielsen *et al.* 2013).

Para hablar de los espacios verdes en las ciudades, es importante definirlos, considerándolos como los sitios donde predomina la vegetación arbórea, sea esto en plazas, jardines públicos y parques urbanos (prados dominados por césped y algunos setos, no entran en esta consideración).

Se reconocen dos categorías: las áreas verdes pequeñas (como jardines, plazas y camellones anchos lineales urbanizados, como serían espacios para caminatas y ejercicios físicos) y las áreas verdes grandes (como parques municipales o espacios verdes naturales discontinuos entre las áreas urbanizadas). (Franco, 1994.)

En las ciudades la presencia de áreas verdes contribuye de varias maneras a la calidad de vida de sus pobladores, ya que les proveen de beneficios sociales y psicológicos que enriquecen su vida con significados y emociones. En este sentido, son importantes también algunos beneficios que van desde la recreación, la promoción de salud mental y física de las personas y la educación ambiental, hasta el fortalecimiento de la organización comunitaria, al mejorar las relaciones humanas (Sorensen, 1996; Heyman, 2010). Además, proporcionan servicios ambientales y ecológicos, y son espacios necesarios para 'ciudades sostenibles' (Chiesura, 2004).

Así, las áreas verdes son de vital importancia porque cumplen con una serie de beneficios directos hacia la propia urbe, entre los que destacan los siguientes:

- El mejoramiento de la circulación atmosférica y de la calidad del aire.
- El bienestar térmico por la disminución de temperaturas gracias al sombreado y evapotranspiración, lo cual favorece a la estabilidad climática y al ahorro en consumo de energía.
- El mantenimiento de humedad del suelo así como la protección de áreas de captación de agua, lo que promueve la recarga de mantos acuíferos.

- El enriquecimiento de suelo, aumentando su fertilidad y disminuyendo su erosión.
- La protección contra vientos.
- El control de contaminación sonora.
- Confort lumínico diurno y una mejoría de la plasticidad del paisaje (Sorensen, 1996).

Otro de los servicios ambientales que los parques proveen, es que disminuyen el riesgo de los fenómenos hidrometeorológicos, pues amortiguan el efecto de la lluvia y su escorrentía. La intercepción de la lluvia por la copa de los árboles disminuyen la fuerza del impacto y la cantidad de agua disponible para infiltración y escurrimiento; así, los sistemas de drenaje tienen más tiempo para desalojar el agua de lluvia y los riesgos de inundación y la inversión en esta infraestructura también serán menores. Las hojas, ramas y troncos pueden almacenar temporalmente agua que puede evaporarse directamente. Dependiendo de la estructura de la vegetación, la lluvia interceptada es de 14 a 80 %, y la hojarasca en el suelo, adicionalmente, contribuye a la intercepción de la lluvia (Xiao, 2002; Guevara-Escobar *et al.*, 2007a; Armson *et al.*, 2013).

A todos estos servicios que las áreas verdes cumplen, es importante integrar otras funciones, como son la educación y el cuidado de la biodiversidad. Si bien la biodiversidad disminuye drásticamente con una urbanización avanzada (McKinney, 2008), los parques se encuentran entre las zonas con mayor riqueza de especies de las zonas verdes urbanas, lo que ha sido reportado para aves, plantas, anfibios, reptiles y mamíferos. Sin embargo, en dicha riqueza de especies de los parques se cuenta con la participación de especies exóticas, especialmente de plantas (Nielsen *et al.* 2013).

Con todo, los parques urbanos y suburbanos pueden tener importancia en la conservación de la biodiversidad, especialmente en regiones altamente urbanizadas, y si contienen fragmentos de hábitats naturales (Cornelis y Hermy, 2004), inclusive los parques pequeños y jardines son importantes como refugios para las aves (Carbó-Ramírez y Zuria, 2011).

Se ha comprobado que el cuidado de la biodiversidad en ecosistemas urbanos puede tener un impacto positivo en la calidad de vida y en la educación de la población urbana, lo que puede facilitar la preservación de la biodiversidad también en zonas naturales (Nielsen *et al.*, 2013).

En los parques hay factores que favorecen la biodiversidad, como la vegetación y la presencia de agua (Shwartz *et al.*, 2008). Entre dichos factores, el área del parque es el factor que más influye en los indicadores de biodiversidad (Cornelis y Hermy, 2004). También la edad del parque es un buen predictor de la complejidad del hábitat y de la riqueza de especies de aves. En este sentido, la edad de la vegetación leñosa es benéfica para la riqueza de especies de aves, por lo que los árboles viejos pueden ser un factor más importante que el área del parque para la riqueza de especies (existe evidencia similar para arbustos y hierbas). En ocasiones, la vegetación exótica tiene una influencia negativa sobre la riqueza de especies; no obstante, algunos árboles exóticos pueden soportar a la diversidad de aves (Nielsen *et al.*, 2013).

En contraste con lo anterior, en los parques hay factores que afectan negativamente a la biodiversidad. Entre ellos están los químicos empleados para el control de plagas, el manejo usual de la vegetación y la mayor presencia humana y de sus especies introducidas acompañantes (perros y gatos domésticos, sean animales de compañía o callejeros), debido a que potencialmente son transmisores de enfermedades parasitarias por *toxoplasma* y varias especies de céstodos y nemátodos. Además, son responsables de procesos de defaunación, al depredar animales más pequeños como aves, lagartijas y ardillas, entre otros (Pimentel *et al.*, 2005; van Heezik *et al.*, 2010; Calver *et al.*, 2011; MacGregor-Fors y Shondube, 2011). Inclusive, se ha demostrado que con una alta presencia de gatos y perros domésticos hay el doble de depredación que fuera de la zona urbana (Borgmann y Rodewald, 2004).

En cuanto al manejo de la vegetación, la reducción del estrato arbustivo es común, ya que el bosque abierto es percibido por las personas como seguro y agradable, sin considerar que el estrato arbustivo es importante para la alimentación y protección de algunas aves y otros tipos de fauna (Heyman, 2010; Fontana *et al.*, 2011). En este sentido, se ha observado que una reducción completa del estrato arbustivo afecta la abundancia de las aves, lo que no sucede con una reducción parcial (Heyman, 2010).

Como resultado de dichos factores negativos para la biodiversidad, hay indicios de que la zona urbana es un sumidero para algunas especies de aves, lo que significa que dentro de las ciudades hay una

mortalidad mayor que la natalidad, por lo que la presencia de la especie depende del aporte de individuos a partir de ecosistemas naturales. Sin embargo, hay muy pocos estudios que evalúan si los ambientes urbanos son trampas ecológicas para especies nativas, especialmente en países tropicales (Leston y Rodewald, 2006).

El efecto de la urbanización no termina con el límite de la mancha urbana, pues perros y gatos extienden sus efectos negativos al penetrar en los remanentes del hábitat natural que rodea a las ciudades, lo que tiene un efecto negativo en las comunidades de fauna silvestre que sobreviven en estas zonas que, en ocasiones, poseen más recursos para la fauna nativa y que pueden tener una mayor riqueza y abundancia (van Heezik *et al.*, 2010; Calver *et al.*, 2011).

## RESULTADOS

### Trabajos realizados en las áreas verdes de la ciudad de Querétaro

Si bien puede asumirse que los parques de la ciudad de Querétaro cumplen con todo lo estipulado para los parques a nivel global, es de resaltar que han sido poco estudiados. En cuanto a los servicios ambientales que ofrecen, se conoce de la capacidad de la especie *Ficus benjamina* (ficus) para interceptar y reducir el efecto de la lluvia (Guevara-Escobar *et al.*, 2007b).

También se conoce que la ciudad tiene, en promedio anual, 4.4°C más de temperatura que 'El Cimatarío', lo cual es evidencia del 'efecto de isla de calor urbana'. Por otra parte, se encontró que en sitios con vegetación abundante la temperatura promedio anual disminuyó hasta 1.7°C. Estos datos indican que la vegetación nativa de la ciudad de Querétaro tiene potencial para regular la temperatura ambiental (Ledesma Colunga, datos no publicados).

Para el caso de la diversidad vegetal en los espacios verdes de la ciudad de Querétaro, un trabajo conjunto entre el Vivero Municipal y la Facultad de Ciencias Naturales (datos no publicados) muestra preliminarmente que existen aproximadamente 110 especies diferentes de árboles, tanto en áreas verdes como en banquetas y jardineras externas de domicilios particulares. De este total, más de la mitad está constituida por especies exóticas, sólo un 32 % corresponden a especies mexicanas y apenas un 7 % a especies nativas regionales (ver **Anexo**). Cabe mencionar que una porción más o menos considerable

del total de especies (12 %) corresponde a diversas especies de frutales, aunque su abundancia en número de ejemplares es mínimo.

Empero, esta aparente riqueza de especies no proporciona los beneficios que potencialmente podrían esperarse, pues además de la presencia mayoritaria de especies exóticas, hay una dominancia privilegiada de unas pocas especies en cuanto su cantidad. Tal es el caso de árboles como ficus, jacarandas y eucaliptos, entre otros, que se encuentran a lo largo de toda la ciudad en cantidades abundantes. Por esta razón, los espacios verdes realmente diversos de especies vegetales en nuestra ciudad están muy limitados.

Una diversidad mínima de especies en cualquier ambiente facilita la diseminación de plagas y enfermedades devastadoras; además, la competencia del mismo tipo de árboles por los mismos requerimientos de agua y nutrientes promueve el empobrecimiento de la fertilidad del suelo y la insuficiencia de los esquemas de riego.

En cuanto a la biodiversidad faunística, faltan estudios sobre especies nativas, sobre todo de mamíferos, anfibios y reptiles, así como de especies exóticas introducidas y sus efectos sobre las especies originarias de la zona. Las aves son el grupo más conocido de la zona urbana y sus áreas verdes. Se conoce que los embalses urbanos Presa Juriquilla y Bordo 'Benito Juárez' poseen tanta riqueza de aves acuáticas (39 especies) como los embalses de tamaño similar que se ubican fuera de ella (Pineda-López, 2011a).

Se conoce también el efecto positivo que las áreas verdes tienen sobre la riqueza de especies, en comparación con las áreas urbanas adyacentes a ellos, y que dicha riqueza está asociada a vegetación (árboles y arbustos) y que un conjunto de parques de tamaño reducido tiene tantas especies como parques de mayor tamaño (Malagamba-Rubio *et al.*, 2013).

Dentro de los parques urbanos y suburbanos de Querétaro se han registrado más de 75 especies de aves (datos no publicados), casi igual número de especies que las registradas en la zona urbana y periurbana de la misma ciudad (74 especies, Pineda-López, 2011b) y un número importante de las aves registradas en áreas protegidas cercanas a la ciudad de Querétaro (126 especies, Pineda *et al.*, 2008).

Dentro de las especies de aves registradas en los parques hay especies exóticas potencialmente invasoras y plagas, como la paloma turca o de collar (*Streptopelia decaocto*), el estornino pinto (*Sturnus vulgaris*) y el loro monje o cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*), a las cuales es necesario estudiar y controlar por el daño que puedan causar a especies nativas, especialmente al loro monje que adicionalmente tiene el potencial de afectar infraestructuras urbanas (Pineda-López y Malagamba, 2011).

Por otra parte, dentro del grupo de los artrópodos sólo se ha estudiado a las mariposas, de las cuales se han registrado 70 especies en parques urbanos y zonas naturales periféricas a la ciudad de Querétaro (Hernández Miranda y Jones, 2009).

Además de los parques urbanos, la ciudad de Querétaro se encuentra rodeada de zonas de gran importancia ecológica que pueden resguardar un gran número de especies, especialmente en zonas con vegetación nativa (Pineda-López *et al.*, 2008; Pineda-López *et al.*, 2010), y a las cuales es necesario proteger. Sin embargo, pocas de ellas se encuentran categorizadas como Áreas Naturales Protegidas (ANP) y no cuentan con suficientes estudios básicos de su biodiversidad. Por nombrar un ejemplo, no existe ningún estudio publicado sobre la diversidad herpetofaunística del Parque Nacional 'El Cimatario'.

La depredación por perros se ha detectado en algunas áreas naturales situadas alrededor de la ciudad de Querétaro (Hernández Camacho, 2011), mientras que en ciudades michoacanas se ha observado una menor diversidad de aves en zonas con alta actividad humana y presencia alta de perros y gatos (McGregor-Fors y Shondube, 2011), lo que es un indicio del efecto negativo de estas especies en la ciudad de Querétaro.

### **Creación de un espacio natural para la recreación y educación en 'La Carbonera'**

La planeación de parques y jardines se restringe a comunidades relativamente mayores de 2,000 habitantes. Pero dada su cercanía con el entorno rural, se asume que las pequeñas comunidades entre 200 y 500 habitantes pueden tener la posibilidad de recreación y contacto con la naturaleza. No obstante, estas comunidades, que viven un proceso de urbanización, tienen aspiraciones similares a las colonias de la ciudad que esperan ser atendidas.

Un ejemplo de estos procesos periurbanos lo constituye la comunidad de 'La Carbonera', en la zona noroeste de la delegación Santa Rosa Jáuregui. En esta localidad, en un área común ejidal está ubicado el manantial llamado 'El Venado', que tiene una larga historia de utilización antes de la introducción del agua potable.

En este manantial, que era el único con agua en la temporada de secas, los habitantes de otras comunidades (como 'San José Buenavista', 'La Barreta', 'Cerro de la Cruz' y 'Pie de Gallo') iban por agua y ello tuvo fuertes repercusiones sociales, pues era el centro de reunión y en él se mezclaron muchos



Vista de la zona del manantial 'El Venado', en el año 2004.

apellidos. El terreno donde se asienta el manantial es menor a 6,000 m<sup>2</sup>; sin embargo, y dada su importancia histórica y la voluntad de muchos habitantes de 'La Carbonera', se planteó su rescate a través de la creación de un parque comunitario de temática ambiental.

Ante esta solicitud de los habitantes, profesores y estudiantes de la Licenciatura en Biología y la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la UAQ, así como estudiantes de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), trabajaron en conjunto con un grupo de habitantes para diseñar el jardín comunitario 'El Venado', mismo que iniciaron con apoyo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y del grupo inmobiliario Desarrollos Residenciales Turísticos (DRT).

Como resultado de ello se rescató el manantial (se desazolvó mediante la extracción a mano de dos

toneladas de lodos y una tonelada de basura), el terreno se limpió de hierbas y arbustos (dejando en pie todos los árboles nativos) mediante faenas comunitarias, y se construyeron macetas de ladrillo donde cada familia de la comunidad sembró plantas de ornato y se responsabilizó de su cuidado y sobrevivencia. El arroyo que cruza el predio se limpió y se estabilizaron sus taludes.

El jardín fue cuidado durante un año por la comunidad y ésta continuó las gestiones para concluir su arreglo, que finalmente se logró con ayuda del gobierno municipal. Actualmente el jardín está siendo cuidado por personal municipal y se ha complementado de manera semejante a un parque urbano. Cabe señalar que es muy visitado por aves debido a los árboles nativos que allí se desarrollan. También es ampliamente visitado por familias que disfrutan de las actividades al aire libre y que recuerdan a sus hijos la

historia del manantial y el esfuerzo por tener un jardín que hoy es orgullo de la comunidad, y que por lo mismo es celosamente cuidado por todos sus habitantes.

El proceso de desarrollo del jardín no sólo ha estimulado la recreación, sino que ha permitido un incremento significativo de la educación ambiental y asimismo ha permitido desarrollar, de manera conjunta durante los últimos cuatro años, el proyecto '*La Carbonera*': *comunidad sustentable*, caracterizado por un notable sincretismo de los procesos rurales y urbanos, y su amplio respeto por la biodiversidad y el medio ambiente.



Inicio de los trabajos.



Rescate del manantial.



El jardín en la actualidad, durante la época de secas.

## Conclusiones y recomendaciones

Considerando que el planteamiento de estrategias para el desarrollo sostenible de las ciudades necesita de indicadores adecuados (uno de los cuales es la cantidad y calidad de los espacios verdes) y que el crecimiento en la ciudad de Querétaro actualmente se da a un ritmo muy acelerado, es importante considerar y valorar las funciones que cumplen las áreas verdes urbanas y añadir a estas zonas otras funciones, como la educación ambiental y el cuidado de la biodiversidad. En este aspecto, el proveer de información a los usuarios sobre la biodiversidad encontrada en los parques ha probado ser un factor que favorece una buena percepción de los usuarios, por lo que se recomienda informarles ampliamente.

Por tanto, es necesario incrementar y valorar las áreas verdes dentro de la zona urbana y periurbana de la ciudad de Querétaro, sobre todo en el presente contexto de amplio crecimiento urbano, cambio climático (se esperan tormentas y temperaturas más elevadas), pérdida de la biodiversidad y aumento de

las poblaciones de especies invasoras.

También es importante fomentar acciones concretas de manejo que favorezcan la biodiversidad urbana, como los siguientes:

- Mayor utilización de especies de plantas nativas.
- Protección de zonas naturales.
- Protección y ampliación de los estratos arbóreo y arbustivo.
- Control de perros y gatos vagabundos.
- Control de especies exóticas potencialmente invasoras y plagas.
- Mayores estudios sobre el funcionamiento y biodiversidad presente en las áreas verdes.

Es importante considerar que la implementación de estrategias de conservación de los espacios verdes necesita de la evaluación sobre cómo la gente percibe los espacios verdes, así como su participación directa, como ya ha sido señalado por otros autores.

### Anexo

#### Ejemplos de los árboles comunes en la ciudad de Querétaro

##### Especies exóticas

Alamillo plateado	<i>Populus alba</i>
Alamillo verde	<i>Populus tremuloides</i>
Almendro	<i>Prunus amygdalus</i>
Añil	<i>Senna didymobotrya</i>
Aralia	<i>Aralia schefflera</i>
Araucaria	<i>Araucaria heterophylla</i>
Astronómica, crespón	<i>Lagerstroemia indica</i>
Bugambilia	<i>Bougainvillea spectabilis</i>
Calistemo o cepillo	<i>Callistemon citrinus</i>
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>
Encino siempre verde	<i>Quercus virginiana</i>
Eucalipto	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
Ficus	<i>Ficus benjamina</i>
Fogata china	<i>Koelreuteria paniculata</i>
Foster	<i>Mioporum laetum</i>
Framboyan o Tabachin	<i>Delonix regia</i>
Granada	<i>Punica granatum</i>
Grevilea	<i>Grevillea robusta</i>
Jacaranda	<i>Jacaranda mimosaeifolia</i>
Lluvia de oro	<i>Laburnum anagyroides</i>
Palma abanico	<i>Livistona chinensis</i>
Palma fénix	<i>Phoenix canariensis</i>
Paraíso	<i>Melia azedarach</i>
Pata de vaca	<i>Bauhinia monandra</i>
Pirul chino	<i>Schinus terebentifolius</i>
Pirul	<i>Schinus molle L.</i>
Retama africana o añil	<i>Senna didymobotrya</i>
Rosa laurel	<i>Nerium oleander L.</i>
Sangre libanesa	<i>Euphorbia cotinifolia</i>

Sauco blanco	<i>Sanbucus mexicana</i>
Sauce	<i>Salix bonplandiana</i>
Solano	<i>Solanum rantonnetii</i>
Trueno	<i>Ligustrum japonicum</i>
Tulipán	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>
Tuya	<i>Thuja orientalis L.</i>
Velo de novia	<i>Duranta repens</i>

##### Mexicanas (pero no distribuidas en el estado)

Colorín o patol	<i>Erythrina americana</i>
Fraile	<i>Thevetia thevetoides</i>
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>
Magnolia	<i>Magnolia grandiflora</i>
Palo de rosa	<i>Tabebuia rosea</i>
Palo verde	<i>Parkinsonia aculeata</i>
Retama o bricho manso	<i>Senna multiglandulosa</i>
Tabachin de monte	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>

##### Nativas en el estado

'Arbol de San Pedro o tronadora	<i>Tecoma stans</i>
Colorín o patol	<i>Erythrina coralloides</i>
Guamúchil	<i>Pithecellobium dulce</i>
Huizache chino	<i>Acacia shaffneri; Acacia farnesiana</i>
Mezquite	<i>Prosopis laevigata</i>
Palo bobo	<i>Ipomoea murucoides</i>
Sabino o ahuehuete	<i>Taxodium mucronatum</i>
Tepozán	<i>Buddleia cordata</i>
Yuca o palma izote	<i>Yucca filifera</i>

## Referencias bibliográficas

- Anderies J. M., M. Katti y E. Shochat. 2007. Living in the city: Resource availability, predation, and bird population dynamics in urban areas. *Journal of Theoretical Biology* 247: 36-49.
- Armson D., P. Stringer y A. R. Ennos. 2013. The effect of Street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry and Urban Greening*, en prensa.
- Borgmann K. L. y A. D. Rodewald. 2004. Nest predation in an urbanizing landscape: the role of exotic shrubs. *Ecological Applications* 14: 1757-1765.
- Calver, M. C., J. Grayson, M. Liliith, C. R. Dickman. 2011. Applying the precautionary principle to the issue of impacts by pet cats on urban wildlife. *Biological Conservation* 144: 1895-1901.
- Carbó-Ramírez P. e I. Zuria. 2011. The value of small urban green spaces for birds in a Mexican city. *Landscape and Urban Planning* 100: 213-222.
- Cornelis J. y M. Hermy. 2004. Biodiversity relationships in urban and suburban parks in Flanders. *Landscape and Urban Planning* 69: 385-401.
- Chiesura A. 2004. The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning* 68: 129-138.
- Fontana S., T. Sattler, F. Bontadina y M. Moretti. 2011. How to manage the urban Green to improve bird diversity and community structure. *Landscape and Urban Planning* 101: 278-285.
- Franco R. M. 1994. Áreas verdes: creación y manutención: Programa de gestão Ambiental Con-partilhada Estado/Municipio Plano Director de Desarrollo Urbano (en apoio à gestão ambiental) IBAM. SIMA, Porto Alegre.
- Goddard M. A., A. J. Dougill y T. G. Benton. 2010. Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology and Evolution* 25: 90-98.
- Guevara-Escobar A., E. Gonzalez-Sosa, M. Ramos Salinas y G.D. Hernandez-Delgado. 2007a. Experimental analysis of drainage and water storage of litter layers. *Hydrology and Earth System Sciences* 11: 1812-2108.
- Guevara-Escobar A., E. Gonzalez-Sosa, C. Véliz-Chávez, E. Ventura-Ramos y M. Ramos-Salinas. 2007b. Rainfall interception and distribution patterns of gross precipitation around an isolated Ficus benjamina tree in an urban area. *Journal of Hydrology* 333: 532-541.
- Hernández Camacho, N. 2011. El perro: amigo del hombre, invasor de los ecosistemas naturales. *Extensión Nuevos Tiempos* 25: 51-54.
- Hernández Miranda K. y R. W. Jones. 2009. Mariposas urbanas de Querétaro. *Extensión Nuevos Tiempos* 14: 23-27.
- Heyman E. 2010. Clearance of understory in urban woodlands: Assessing impact on bird abundance and diversity. *Forest Ecology and Management* 260: 125-131.
- Leston L. F. V. y A. D. Rodewald. 2006. Are urban forest ecological traps for understory birds? An examination using Northern Cardinals. *Biological Conservation* 131: 566-574.
- MacGregor-Fors I. y J. E. Shondube. 2011. Gray vs Green urbanization: Relative importance of urban features for urban bird communities. *Basic and Applied Ecology* 12: 372-381.
- Malagamba-Rubio A., I. MacGregor-Fors y R. Pineda-López. 2013. Riqueza y composición de las comunidades de aves en áreas verdes y urbanas de la ciudad de Santiago de Querétaro, México. *Ornitología Neotropical*, enviado.
- McKinney M. L. 2008. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems* 11: 161-176.
- Nielsen A. B., M. van den Bosch, S. Maruthaveeran y C. K. van den Bosch. 2013. Species richness in urban parks and its drivers: A review of empirical evidence. *Urban Ecosystems*. Publicado en línea: 29 mayo.
- Pimentel, D., R. Zuniga, D. Morrison. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* 52: 273-288.
- Pineda-López R., C. G. López y P. B. Aguilar. 2008. Informe final del proyecto FNB- 2003-06 "Avifauna de las áreas protegidas del Municipio de Querétaro". Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Pineda-López R., N. Febvre y M. Martínez. 2010. Importancia de proteger áreas pequeñas periurbanas por su riqueza avifaunística: el caso de Mompaní, Querétaro, México. *Huitzil* 11:69-80.
- Pineda-López R. 2011a. Aves acuáticas urbanas y exurbanas en Querétaro, México. *El Canto del Centzonle* 2:165-189.
- Pineda-López R. 2011b. Factores que determinan la riqueza de la avifauna de la zona urbana y periurbana de la ciudad de Querétaro. Informe Final del Proyecto FNB-2008- 05. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro. México. 25 págs.
- Pineda-López R. y A. R. Malagamba. 2011. Nuevos registros de aves exóticas en la ciudad de Querétaro. *Huitzil* 12:22-27.
- Pineda-López R., A. Malagamba, I. Arce-Acosta y J. A. Ojeda-Orranti. 2013. Detección de aves exóticas en parques urbanos del centro de México. *Huitzil* 14:56-67.
- Shwartz A., S. Shiley y S. Kark. 2008. How do habitat variability and management regime shape the spatial heterogeneity of birds within a large Mediterranean urban park? *Landscape and Urban Planning* 84: 219-229.
- Sorensen, M. 1996. Introducción a la Creación de Áreas Verdes Urbanas. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Washington. van Heezik Y., A. Smyth, A. Adams y J. Gordon. 2010. Do domestic cats impose an unsustainable harvest on urban bird populations? *Biological Conservation* 143: 121-130.
- Xiao Q. 2002. Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. *Urban Ecosystems* 6: 291-302.



