

INFORMACIÓN

científica y tecnológica

Toxicología Acuática: retos y perspectivas en México

Israel Osuna-Flores

La toxicología es la ciencia que estudia los efectos adversos de sustancias químicas en organismos vivos; mientras que la ecotoxicología, o toxicología ambiental, estudia los efectos causados por exposición accidental de organismos vivos a sustancias nocivas presentes en el medio (agua, aire, suelo, alimentos, etcétera).

Cuando nos referimos al estudio de “los efectos adversos de sustancias químicas en organismos vivos en el medio ambiente acuático”, nos adentramos a un campo interesante de la rama de la toxicología que es la toxicología acuática. En esta suelen utilizarse ensayos para evaluar, predecir y controlar, el vertido de sustancias nocivas para las especies acuáticas; al tiempo de determinar y dar seguimiento a sus efectos en el medio receptor (agua, sedimento, organismos) (Riva, 1997).

En los ensayos de toxicidad acuática, los organismos utilizados pueden ser peces, invertebrados, bacterias y algas. El efecto observado (respuesta, punto final) puede ser: la letalidad u otro efecto subletal (Riva, 1997).

Un ensayo único no puede proporcionar una evaluación completa de los efectos de sustancias nocivas sobre el medio ambiente. Esto es, cada ensayo determina un efecto tóxico diferente, cada muestra representa una parte del medio ambiente y cada organismo representa un nivel biológico diferente (Riva, 1997).

La expresión de la toxicidad será entonces la denominada CE50: concentración necesaria para causar el efecto tóxico en el 50 % de la población de ensayo; la CL50, o concentración letal para el 50 % de la población, y Ci50, concentración que inhibe una función biológica en el 50%, son todas ellas expresiones que, aunque similares en la búsqueda de una respuesta de tipo letal causada por alguna sustancia química sintética o xenobiótica, se eligen para su utilización dependiendo de las características propias de cada ensayo, así como el tipo de organismos que se utilicen (Riva, 1997).

Los ensayos subletales suelen realizarse con el objeto de evaluar el posible efecto tóxico; es decir, el cambio biológico producido en un organismo como resultado de la exposición a un agente. Para ello se utilizan como respuestas parámetros bioquímicos, fisiológicos, características morfológicas, conductuales, sobrevivencia, crecimiento, y reproducción, entre otros.

Los ensayos de tipo crónico, se utilizan para encontrar respuestas de tipo carcinogénico, mutagénico y teratogénico, fundamentalmente. En los últimos años, se han descrito más de 11 millones de sustancias químicas, la gran mayoría no tienen ningún uso después de su descubrimiento. A este respecto, la Agencia para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA), y la Organización Mundial de la Salud (OMS), mencionan que en los países industrializados se produjeron comercialmente cerca de 80 000 sustancias químicas en 1980 (Albert, 1997).

En fechas recientes se calculó que a este número se sumarían anualmente de 1 000 a 2 000 adicionales. En 1990 el Registro Internacional de Sustancias Químicas Potencialmente Tóxicas (IRPTC) calculó que en los países desarrollados

había aproximadamente 100 000 de estas en uso comercial; y que en países con menor desarrollo, este número sería de unas 25 000. En 1991 el Inventario Europeo sobre Sustancias en Uso (EINECS), incluía aproximadamente 110 000 diferentes. Basados en la información anterior, se concluye que no se tiene una cifra exacta de la cantidad de sustancias que se usan comercialmente en el mundo, ya que existe una considerable variación entre países (Albert, 1997).

Los estudios sobre las características ambientales y toxicológicas del elevado número de sustancias químicas en uso no han tenido un aumento paralelo con el de las mismas sustancias. Así por ejemplo, el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (National Research Council), en 1984 informó que sólo se disponen de datos completos para el 10 % de los plaguicidas, menos del 10 % de los aditivos alimentarios y menos del 5 % de los cosméticos (Albert, 1997).

Aunque no se disponga de datos completos sobre la toxicología y el comportamiento ambiental de las sustancias, numerosos gobiernos, varios organismos internacionales, y todas las agencias de las Naciones Unidas que trabajan en estos temas, han reconocido el potencial de un número importante de sustancias para contaminar el ambiente o causar daños diversos a los ecosistemas y a la salud (Albert, 1997).

Bajo esta perspectiva, en México son aún escasos los estudios de sustancias xenobióticas que puedan tener un potencial tóxico para la biota dentro de los sistemas acuícolas, sobre todo en sistemas costeros. Por su parte, La Carta Nacional Pesquera establece que 85 por ciento de las pesquerías marinas ya llegaron al límite de su crecimiento, y que el estado de la salud de la quinta parte de los ecosistemas lagunares y de las aguas continentales del país está en condiciones críticas.

En este sentido, y a manera de conclusión, es necesario que México incremente la formación de recursos humanos en áreas como la toxicología ambiental y la toxicología acuática, así como brindar mayor apoyo a este tipo de investigaciones toxicológicas.

Bibliografía

Albert L. A., 1997. Contaminantes ambientales y criterios de evaluación. En Albert. L.A. (Ed.): Introducción a la Toxicología Ambiental. 101-120. Ed. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.

Riva M. C., 1997. 2º Curso de Ecotoxicología Básica y Aplicada 25-28, feb. de 1997. Lab. De Toxicología Ambiental (INTEXTER UPC) Terrassa, Barcelona, España.

Listado de Ensayos, Artículos y Notas Científicas publicados en los 4 primeros volúmenes de Ciencia y Mar

La revista Ciencia y Mar ha entrado en su quinto año de existencia con el presente Número. Durante los 4 años precedentes han aparecido 12 Números que compilan un importante acervo de información, en el área de las ciencias y el mar.

Con la finalidad de poner a disposición de los lectores de esta revista los títulos de los trabajos publicados hasta ahora, se enlistan estos de manera cronológica.

Ciencia y Mar,

Volumen I (1997)

Número 1

Biotechnología de Artemia en la Laguna "La Colorada" Oaxaca, México. Demetrio Porrás Díaz, Laura Castrejón Ocampo, Christine J. Band Schmidt y Alejandro Mendoza Maravillas.

Generación Biotechnológica para la producción de microalgas. Christine J. Band Schmidt.

La relación Ciencia-Educación y la búsqueda de un nuevo perfil académico. Walter Ritter Ortiz y Ricardo Klimek Gamas.

Sistema cerrado de recirculación de agua marina de bajo costo para bioensayos. Denis Ricque Marie, Arturo Martínez Vega y Gabriel Aguirre Guzmán.

Número 2

La colección de corales de la Universidad del Mar. Gerardo Leyte Morales.

Una nota sobre los Filópodos de México. Laura Castrejón Ocampo.

Datos de capacidad reproductiva de *Artemia franciscana*. S. A. Malpica, M. J. Castro, B. T. Castro, A. R. De Lara y M. G. Castro.

El uso de nauplios y quistes de la población de *Artemia* de Oaxaca. S. A. Malpica, M. J. Castro, B. T. Castro, A. R. De Lara y M. G. Castro.

Contaminación biológica en la Bahía de Puerto Angel. Yolanda Huante González.

Ecosistemas y biodiversidad en la costa oaxaqueña. Raúl Rodarte García.

Número 3

Flora de las Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. Gonzalo Castillo Campos, Patricia Moreno Casasola, Ma. Elena Medina Abreu y Pedro Zamora Crescencio.

Avifauna de los humedales costeros de Chiapas y Oaxaca. Alejandro Meléndez Herrada y Gilberto S. Binnqüist Cervantes.

La avifauna acuática, un recurso potencial para el desarrollo del ecoturismo en la costa de Oaxaca. Gilberto S. Binnqüist Cervantes, Alejandro Meléndez Herrada y Luis A. Rodríguez Miranda.

Volumen II (1998)

Número 4

Reproducción de la trucha arcoiris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) de 1985 a 1988 en la piscifactoría Apulco, Puebla, México. H. Reyes Bustamante y A. A. Ortega Salas.

Avance de un estudio sobre las macroalgas marinas de Guerrero y Oaxaca, México. A. Catalina Mendoza González y Luz Elena Mateo Cid.

Estudio sobre la remoción de metales pesados en aguas de desecho bajo la técnica de aglomeración esférica. J. B. Proal Nájera, L. Martínez Tabche y M. Mueller.

Comportamiento post captura de músculos de barrilete negro *Euthynnus lineatus*, bajo condiciones óptimas de conservación. M. A. Mazorra Manzano, R. Pacheco Aguilar, E. J. Díaz Rojas y M. E. Lugo Sánchez.

La gestión de desechos radiactivos y la contaminación del medio marino. Juan Lartigue G.

Número 5

El impacto del fenómeno El Niño Oscilación del Sur en la generación de ciclones tropicales alrededor de México. Sergio Reyes Coca y Ricardo Troncoso Gaytán.

Aspectos termodinámicos de la estructuración de los ecosistemas. José F. Díaz.

El reclutamiento de postlarvas de camarón blanco (*Penaeus vannamei*) en el Golfo de Tehuantepec: una revisión. Carlos E. Medina Reyna, Oswaldo Morales Pacheco y Héctor T. Salinas Orta.

El hombre y el viaje, hacia una reflexión ontológica del turismo. Ma. José Fernández Aldecua.

Chaperonas moleculares. Beatriz Flores Samaniego.

Número 6

Cultivo de organismos acuáticos. *Daphnia magna* Strauss. A. A. Ortega Salas y H. Reyes Bustamante.

Crecimiento y composición bioquímica de la diatomea *Chaetoceros muelleri* Lemerman,

mantenida en cultivo estático con un medio comercial. Carlos Enrique Medina Reyna y Beatriz Cordero Esquivel.

La dimensión ambiental en la formación profesional. Una reflexión sobre la pertinencia social de la universidad pública. Mario E. Fuente Carrasco.

Patrimonio cultural y turismo, reflexiones y dudas de un anfitrión. Agustín Santana.

La familia Pinnidae (callo de hacha) de Oaxaca, México. Miguel A. Ahumada Sempoal.

Técnicas de incubación de huevos de iguana (Reptilia: Iguanidae) en México. Francisco Villegas Zurita.

Volumen III (1999)

Número 7

Los cambios en la eficiencia técnica en el uso de nutrientes en la agricultura, y sus posibles efectos sobre el medio ambiente: un nuevo marco conceptual. Beatriz Avalos Sartorio.

La retención de las artes de pesca de camarón como indicador de la estrategia pesquera en la Laguna Mar Muerto de Oaxaca. Carlos Enrique Medina Reyna.

La política industrial. Raúl García Franco.

Corales ahermatípicos del Pacífico tropical mexicano (Guerrero, Oaxaca y Chiapas). Gabriela Cruz Piñón y Héctor Reyes Bonilla.

Visualizando en el campo la distribución libre ideal de los individuos. Juan Meraz.

Abundancia anual de *Gymnodinium catenatum* Graham, dinoflagelado tóxico de la costa este del Golfo de California. Roberto Cortés Altamirano, A. Núñez Pasten y N. Pasten Miranda.

Número 8

Abundancia y diversidad del fitoplancton

en estanques con policultivo de peces, utilizando fertilizantes orgánicos, inorgánicos y combinados. Héctor Quiróz Castelán, Francisca Isela Molina Astudillo y A. A. Ortega salas.

Uso del barrilete negro (*Euthynnus lineatus*) en la elaboración de un alimento infantil. I. S. Santiago Morales y M. M. Cortés Noh.

La Laguna El Quelele, Nayarit, México, como hábitat de aves acuáticas. Fabio Germán Cupul Magaña.

La Economía de la producción y comercialización del café en la Sierra Sur, Costa e Istmo del Estado de Oaxaca: Resultados preliminares. Beatriz Avalos Sartorio y María del Rosario Becerra Ortiz.

Comportamiento de cortejo y evento de cópula de iguana negra (*Ctenosaura pectinata*). Francisco Villegas Zurita.

Número 9

La predicción de la respuesta temporal del perfil de playa como elemento fundamental en la gestión costera. Isaac Azuz Adeath.

Calidad bacteriológica del sistema lagunar de San Ignacio-Navachiste, Sinaloa. Diana Escobedo Urías, Ma. Teresa Hernández Real, Nancy Herrera Moreno, Ana E. Ulloa Pérez y Yuri Chiquete Ozono.

¿Meta... qué? ¡Metapoblación!. R. A. López Pérez y F. Becerril Morales.

Distribución y abundancia de la población desovante de camarones del norte del Golfo de California durante el verano de 1996. Eugenio A. Aragón Noriega, Celio Cervantes Valle, Alma R. García Juárez y Luis E. Calderón Aguilera.

Análisis retrospectivo y posibles causas de las mareas rojas tóxicas en el litoral del sureste mexicano (Guerrero, Oaxaca, Chiapas). José Ángel Ronsón Paulín.

Adaptación al uso del alcohol. Beatriz Flo-

res Samaniego.
Volumen IV (2000)
Número 10

Los métodos de la Antropología. Agustín Santana Talavera.

Una visión estadística no-lineal de El Niño; simulación y posible pronóstico. Walter Ritter Ortiz, Pedro A. Mosiño y Ricardo Klimek Gamas.

Aspectos sobre la abundancia y distribución de los principales grupos de la fauna bentónica en el Lago "Zempoala", Morelos, México. Héctor Quiroz Castelán, Migdalia Díaz Vargas, Roberto Trejo Albarrán y Edgar Eduardo Elizalde Arriaga.

Elección de conchas, por parte de cangrejos ermitaños *Coenobita compressus*, de dos géneros diferentes de gasterópodos. Eduardo Rendón Salinas.

Sobre la equivalencia de dos ecuaciones de dependencia entre la clorofila y la profundidad. Oleg Makarov.

Número 11

Efecto de alimentos con diferente contenido proteico en la reproducción del pez ángel *Pterophyllum scalare* variedad perlada (Pisces: Cichlidae). Jorge Luna Figueroa, José Figueroa Torres y Laura Patricia Hernández de la Rosa.

Evaluación de las diferentes partes corporales del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en forma de harina, en dietas balanceadas para camarón (*Litopenaeus vannamei*). J. Arturo Martínez Vega, L. Elizabeth Cruz Suárez y Denis Rique Marie.

Efecto del proceso de transportación sobre el estrés en delfines nariz de botella *Tursiops truncatus*. Luz María Hernández Ballesteros y Omar Hernández Pérez.

Uso de ficocoloides en la nebulización de microdietas para larvicultura marina. Ruth Pedroza Islas, Carlos E. Medina Reyna y Ma-

nuel J. Acosta Ruíz.

Composición corporal y proceso de secado del calamar gigante *Dosidicus gigas*. J. Arturo Martínez Vega, L. Elizabeth Cruz Suárez y Denis Rique Marie.

Sinergia le dijo a Holística... .Raúl García Franco.

Determinación de los principales decápodos asociados a vegetación sumergida, en una laguna costera, empleando una prueba sencilla. Juan Meraz.

Número 12

Estimación de abundancia y mortalidad por pesca de erizo de mar (*Strongylocentrotus* sp.) en la costa noroccidental de Baja California, México. Alfredo Cota, David Aguilar, Manuel Romero y Francisco Uribe.

El apoyo empírico en la investigación de cetáceos. Juan Meraz.

Florística de las Islas Marietas, Municipio de Bahía de Banderas, Nayarit. Raymundo Ramírez Delgadillo, Fabio Cupul Magaña, Helios Hernández Hurtado, Jorge Fonseca Madrigal, Fabián Rodríguez Zaragoza y Salvador Rodríguez Graciano.

Inmigración de postlarvas de camarón *Litopenaeus* sp. y *Farfantepenaeus* sp. a través de la Boca el Oro del sistema lagunar Corralero-Alotengo, Oaxaca. Blanca Sánchez Meraz y J. Arturo Martínez Vega.

La planeación turística en los parques nacionales: el caso del Parque Nacional Isla Isabel. C. Alicia Ibarra Contreras.

Listado taxonómico de las especies de moluscos en la zona central del litoral oaxaqueño. Marte Gil de León Herrera.

La nueva eugenesia

Samantha Karam

Las poblaciones humanas, al igual que las de cualquier especie con reproducción sexual, presentan una enorme carga de defectos genéticos. Esta carga, denominada lastre génico, se va haciendo más pesada al ir transcurriendo el tiempo. El progreso de las ciencias biológicas y de la medicina, permite que cada vez se "curen" más enfermedades hereditarias. Tradicionalmente se corrigen sólo los síntomas, que son la manifestación de genes defectuosos y no los mismos genes, a este tratamiento que trata de manejar el acervo genético mediante la manipulación del ambiente se le conoce como eufenesia (Dobzhansky *et al.* 1977). El uso de la insulina por parte de diabéticos o el control en la dieta de los fenilcetonúricos, son ejemplos de eufenesia (Klug y Cummings, 1997). Dobzhansky y sus colaboradores (1977) se preguntaron si la eufenesia sería algún día suficiente para curar a largo plazo todas las enfermedades hereditarias y si entonces sería necesario rehabilitar o mejorar la misma dotación de genes de los individuos. Esto constituye el dominio de la eugenesia.

El término eugenesia fue introducido por Francis Galton en 1883 para referirse al mejoramiento de la especie humana a través de apareamientos selectivos. Los eugenistas creían que la conducta, la inteligencia y la moral de los seres humanos eran características heredables y que a través de una eugenesia positiva y negativa se obtendría una raza humana con mayor capacidad intelectual y carácter moral. Durante varias décadas se mantuvo, bajo esta concepción, todo un movimiento en búsqueda del mejoramiento de la especie humana (Klug y Cummings, 1997).

Alrededor de los años 1930s se reconoció que las metas del movimiento de la eugenesia tenían que ver más con racismo y con prejuicios de clase, que con salud genética. El movimiento terminó con la reacción que se produjo cuando

se conoció hacia qué terribles extremos había sido llevada la eugenesia por los Nazis en Europa (Klug y Cummings, 1997).

En la actualidad, con la aplicación de novedosas tecnologías genéticas es posible una "nueva eugenesia", con un alcance y un poder que Francis Galton nunca hubiera imaginado (Klug y Cummings, 1997). El catalizador de este nuevo movimiento se llama Proyecto Genoma Humano (revisado en Información Científica y Tecnológica del número anterior de Ciencia y Mar). Al poseer mapas detallados del genoma humano, será posible encontrar genes asociados con enfermedades y proporcionar terapia génica. La terapia génica es el tratamiento y alivio de enfermedades genéticas humanas, por la adición de genes exógenos normales con el fin de corregir la función defectuosa de los genes mutantes. Esta técnica es de gran relevancia para los humanos ya que ofrece la esperanza de corregir enfermedades hereditarias (Griffiths *et al.* 1996). En la actualidad, ya se lleva al cabo terapia génica somática, la cual consiste en la modificación del genoma de células somáticas, transfiriendo copias normales de genes que producirán cantidades adecuadas del producto del gen normal, lo cual corregirá el desorden genético. Hoy en día se tratan a través de terapia génica somática desórdenes genéticos tales como la inmunodeficiencia combinada severa (SCID, por sus siglas en inglés), la hipercolesterolemia familiar, la fibrosis quística y la distrofia muscular. Además, se continúan haciendo ensayos para el tratamiento de otros desórdenes genéticos (Klug y Cummings, 1997).

Más ambiciosa aún resulta la terapia génica germinal, cuya meta consiste en introducir células transgénicas a la línea germinal así como a las células somáticas, con la finalidad de que las características adquiridas puedan ser transmitidas a la descendencia. Este tipo de terapia génica no se ha llevado al cabo en el hombre todavía (Griffiths *et al.* 1996). Pero existe otra manera de producir seres humanos sin enfermedades hereditarias: el diagnóstico genético.

Cuando los padres pedían a los médicos un consejo genético, éstos evaluaban con base

en el historial familiar, la probabilidad de que la pareja procreara un individuo con defectos genéticos; así, la pareja en cuestión podía abstenerse de tener descendencia o bien, correr el riesgo pensando en la probabilidad de procrear un hijo "normal". La técnica de la amniocentesis, consiste en extraer líquido amniótico del vientre materno, a partir del cual se separan células fetales para realizar análisis de cromosomas, proteínas, reacciones enzimáticas y otras propiedades bioquímicas. De esta manera, los padres pueden saber si el feto presenta algún determinado defecto genético y en su caso podrían elegir el aborto o bien dejar que el niño nazca con el defecto (Dobzhansky *et al.* 1977).

Hoy en día, el uso de las técnicas descritas anteriormente junto con tecnología genética moderna, proveen una herramienta altamente sensible y exacta para la detección de desórdenes genéticos.

En el Instituto de Genética Reproductiva de Chicago, Estados Unidos, ya se llevó al cabo el primer "milagro" que conjuntó fertilización *in vitro*, diagnósticos genéticos sofisticados y terapia génica. El fin era salvar la vida de Molly, una niña de seis años que sufría de una enfermedad genética letal conocida como anemia Fanconi, una deficiencia sanguínea que provoca debilidad de la médula ósea y que afecta al sistema inmunológico. Los padres de la niña produjeron un grupo de embriones mediante fertilización *in vitro*. Tras una serie de diagnósticos genéticos, fue seleccionado el embrión sin el defecto genético de Molly y que tenía la mayor cantidad de sangre compatible con la niña. El embrión fue elegido no sólo porque estaba libre de la mutación genética sino también porque era el mejor donante posible de médula ósea.

El fruto de esta selección genética fue Adam quien nació en el pasado agosto. Los médicos tomaron células base provenientes de su cordón umbilical y las transplantaron en el sistema sanguíneo de su hermana mayor. Se esperaba que las células base, que son las células madres de la sangre y la médula, empezaran a producir una nueva y saludable médula ósea en unos días (Noticiencia, La Jornada, 9 de octubre de 2000).

El ejemplo anterior muestra que la mejora genética de seres humanos es factible, es un hecho. A partir de este momento, estamos expuestos a cometer los mismos errores de los primeros eugenistas. Luis Díaz Müller (2000) opina que la medicina genética no hace más que atisbar los problemas del hombre del siglo XXI y que la jurisprudencia, especialmente en Estados Unidos, se ha quedado corta ante la avalancha de esta "revolución del conocimiento". El gobierno mexicano, previendo las necesidades de legislación alrededor de la biotecnología y la medicina genética, formalizó en el Diario Oficial de la Federación del 23 de octubre de 2000, la creación de las comisiones nacionales de Bioética y del Genoma Humano, bajo el fundamento de que ningún adelanto científico, por importante que sea, debe pasar por encima de los derechos, la libertad y la dignidad esenciales de cada ser humano (Vargas, 2000).

Se dice que el conocimiento hace que el hombre sea libre. No obstante, los conocimientos a menudo traen consigo una serie de problemas y de responsabilidades que no preocupan al ignorante. Algunos científicos están seguros de saber lo que es bueno para la humanidad y no tienen miedo de que los errores pudiesen dar lugar a daños irreversibles en lugar de mejoras. Con anterioridad al hombre, ninguna especie ha podido seleccionar su destino evolutivo. El hombre puede hacerlo debido a su conocimiento. Puede guiar la evolución en la dirección que considere buena y deseable. O puede preferir navegar a la deriva en la corriente evolutiva olvidando las consecuencias. Lo que probablemente no puede hacer es que la evolución se detenga (Dobzhansky *et al.* 1977).

Bibliografía

Díaz-Müller L.T. 2000. Genoma: el error de Descartes. Lunes en la Ciencia, La Jornada, 30 de octubre de 2000.

Dobzhansky T., F. Ayala, G.L. Stebbins y J.W. Valentine. 1977. Evolución. Freeman, New York. 558 pp.

Griffiths A.J.F., J.H. Miller, D.T. Suzuki, R.C. Lewontin y W.M. Gelbart. 1996. An introduction to genetic analysis. 6th edn. Freeman, New York. 916 pp

Klug W.S. y M.R. Cummings. 1997. Concepts of genetics. 5th edn. Prentice Hall, New York. 703 pp

Noticiencia, Lunes en la Ciencia, La Jornada, Lunes 9 de octubre de 2000.

Vargas R.E. La Jornada, Martes 24 de octubre de 2000.

La estación terrena de imágenes satelitales de Puebla

Rogelio Ramos-Aguilar

Alejandro Rivera-Domínguez

El objetivo de la estación terrena de imágenes (ETI) AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla y la Secretaría de Gobernación, está orientado al análisis, identificación e información de los aspectos relacionados a las ciencias Atmosféricas y de la Tierra.

La estación permite obtener información general de los diversos satélites localizados en la vecindad espacial terrestre; mediante software específico, es posible procesar e identificar variables y constantes en la superficie de regiones determinadas.

En la obtención y seguimiento de estudios meteorológicos, geológicos, ecológicos y edafológicos, las imágenes de satélite permiten analizar, en función del tiempo, los cambios que se generan regionalmente: actividad meteorológica, deforestación, fallamientos geológicos, actividad volcánica, rendimiento agrícola y crecimiento urbano, entre otras diversas observaciones sistemáticas (Fig. 1). Una estación tipo AVHRR opera con la vinculación entre el software de obtención de imagen, y la capacidad del radiómetro del satélite, de manera que este "ve" en los diferentes canales que corresponden a distintas longitudes de onda. Es decir, el satélite recoge información y la envía a tierra, en diferentes frecuencias, que corresponden básicamente a las temperaturas de una determinada zona, un tipo de suelo, vegetación o estructura geológica. Los canales que se manejan para la recepción e identificación de imágenes son del 1 al 5; el canal 1 con rango visible y los canales 2 al 5 infrarrojos (térmico).

La estación utiliza el sistema digital HRPT (High Resolution Picture Transmission) con

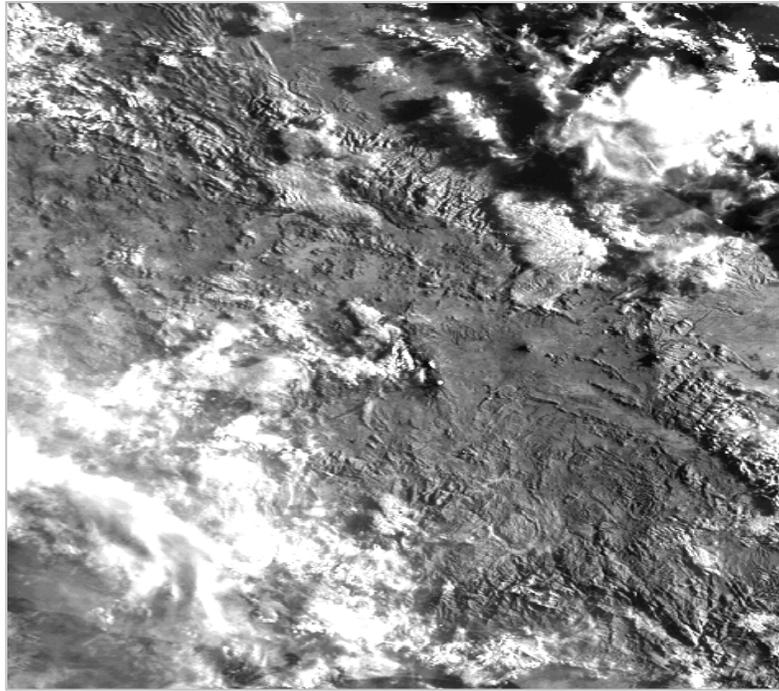


Figura 1. La percepción remota nos ofrece en esta imagen una identificación topográfica de montañas y estructura continental. La utilización de canales 1, 2 y 3 en visible y cercano al infrarrojo, nos determina modelos estructurales geológicos.

resolución de 1.1 kilómetros cuadrados por pixel en el nadir del satélite, es decir, en la línea imaginaria trazada entre el objetivo del radiómetro y un punto en tierra. Para aclarar el concepto, suele decirse que cualquier objeto que mida más o igual que 1.1 km por lado, es registrado por el sistema.

Las imágenes con esta resolución sirven para realizar estudios globales, lo que permite trabajar a una escala regional 1:2,000,000; transmitida por los satélites norteamericanos NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y, con un sistema similar, los satélites rusos de la serie METEOR (Fig. 2).

En particular, la estación terrena capta los satélites NOAA-12, NOAA-14, NOAA-15, y próximamente el NOAA-16, en sus diferentes canales.

Las imágenes son capaces de mostrar la absorción de la radiación visible; dos bandas del espectro, la azul (430 nm) y la roja (60nm), muestran la cantidad de energía absorbida. En contraste, la banda del infrarrojo cercano (750-1100nm) actúa justo de forma inversa. La mayor

absorción del rojo y azul, junto con la fuerte reflexión del infrarrojo cercano, es la diferencia espectral de la respuesta de todo el suelo, y es utilizada como forma de diferenciación de las superficies, con y sin vegetación.

Los satélites NOAA y METEOR están establecidos en órbitas intermedias, y pasan por un mismo punto cada 14 días. Sus puntos orbitales fijos son ambos polos, recorriendo una órbita completa cada 90 minutos; sin embargo, recorren áreas diferentes en cada paso. La imagen de estos satélites polares son captadas a una altura media de unos 840 km, por encima de la superficie terrestre. El arreglo óptico, y la relación con la altitud del satélite, proporcionan imágenes que barren áreas de 2,700 km por lado.

Las imágenes pueden procesarse en una banda en la región espectral visible (rojo, 0.55-0.90 μm), una en la infrarroja cercana (0.72-1.0 μm), una en la infrarroja media (3.55-3.93 μm) y una, o dos, en la infrarroja térmica (10.5-11.5/12.5).

Con esta información es posible realizar estudios, en el área de geología, desplegando

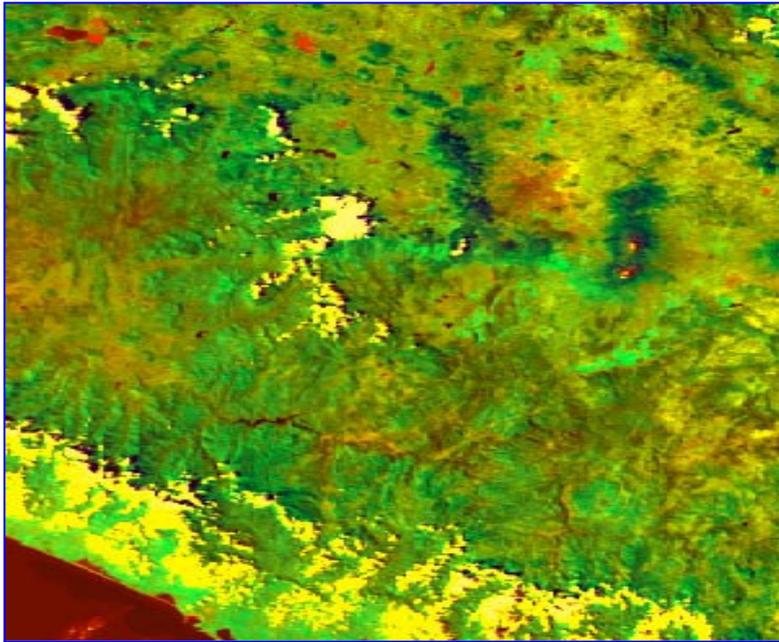


Figura 2. Características de la imagen: satélite NOAA-14, escala 1:2,000,000, canal 3 infrarrojo (IR), longitud de la imagen 2,700 km aproximadamente, fecha 27 de septiembre de 2000, altura media de recepción entre 840 y

1,000 km, hora 17:35 hrs. Imagen captada entre los 90° y 115° longitud oeste y 15° y 30° latitud norte. Rango de temperatura entre 18° C y 39° C, longitud de onda 3.55-3.39 micrómetros (μm).

imágenes de satélite en perspectiva. Esta es la base para inferir las relaciones geométricas que guardan diferentes unidades litoestratigráficas, así como discriminar la litología con ayuda de las características multispectrales de las imágenes de satélite.

Las técnicas, y criterios interpretativos utilizados, no difieren sustancialmente de aquellos utilizados en la fotointerpretación tradicional de fotografías aéreas; método que es comúnmente aceptado, y que también es considerado, al igual que la interpretación de imágenes de satélite, una técnica de percepción remota.

Bajo condiciones de estudio normal, se utilizan dos opciones para extraer la información: el método fotogramétrico y el método espectral.

Por ejemplo, las imágenes infrarrojas deben entenderse como un mapa de temperaturas, en el que cada color, relacionado con un rango de altitudes de los topes de las nubes, ángulo de incidencia de los rayos solares, tipo de terreno y cubierta vegetal, indica una variable térmica.

El radiómetro del satélite mide los niveles de radiación, los cuales dependen de la temperatura del objeto radiante (nubes, suelo u océano), asignándoles un color para ser posteriormente clasificados por rangos.

Un procedimiento rutinario es observar los diferentes colores y las formas de los contornos, así es posible inferir los tipos de nubes y su extensión vertical y horizontal, de manera que es posible establecer con poco rango de error el comportamiento de la precipitación en una región determinada. En este sentido, los contornos de color blanco indican nubes más altas que los contornos de color amarillo, que corresponden a nubes bajas, siendo más frías las primeras que las segundas. Hay que tomar en cuenta que en la atmósfera, hasta la tropopausa, la temperatura disminuye con el aumento en la altura. Si se observa un contorno blanco, de forma redonda, probablemente debajo del mismo se hallen nubes que producen lluvias fuertes y tormentas eléctricas.

En esta gama de colores las nubes más frías, y más altas, corresponden al color blanco;

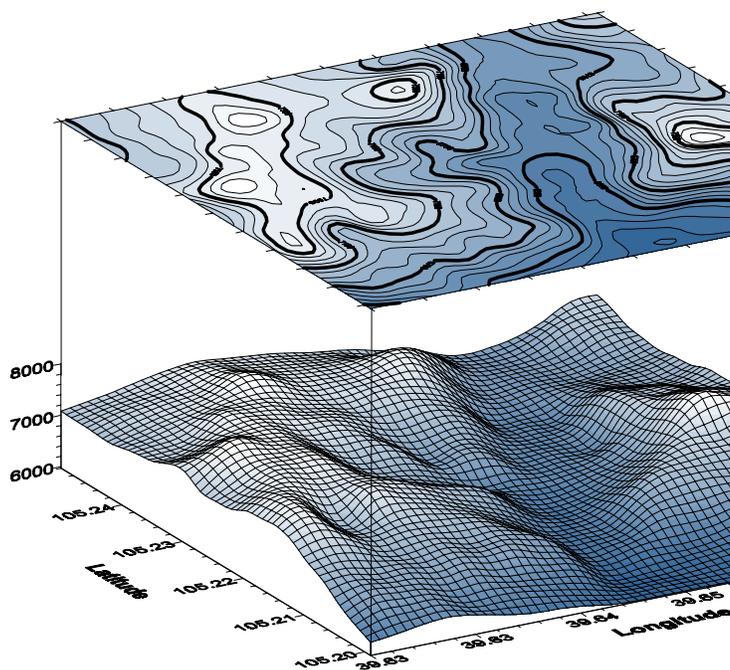


Figura 3. La utilización de modelos estructurales, por medio de fractales, es importante para la identificación de coordenadas geodésicas en la aplicación de estudios específicos.

por su parte, las nubes más calientes y más bajas corresponden al color lila claro.

Las zonas que aparecen en tono gris claro corresponden a nubes muy bajas, en algunos casos niebla, o contaminantes (como el caso de algunos incendios forestales muy grandes).

Las imágenes procesadas, con la estación de recepción HRPT, han sido calculadas a partir de un modelo estructural del software SURFER. El índice de vegetación normalizado (IVN) se calcula a partir de las bandas 1 y 2 (rojo e infrarrojo reflejado) de las imágenes obtenidas por el sensor AVHRR, de los satélites NOAA.

Con el fin de reducir el número de dimensiones, propias de las medidas multispectrales, a una sola dimensión (cobertura edafológica y geológica), se han definido los índices de vegetación. Es decir, combinaciones de bandas espectrales cuya función es realzar la contribución de la vegetación, en función de la respuesta espectral de una superficie, y atenuar la de otros factores como suelo, iluminación, atmósfera, etcétera.

Basándose en la diferencia de reflectancia del suelo, que nos muestra un 20% en la banda visible, y un 60% en el infrarrojo cercano (correspondiendo la banda 2 al infrarrojo cercano y la banda 1 al visible), de la región del espectro de las imágenes, el intervalo de valores obtenidos para identificar las imágenes varía entre (-1) y (+1). De ellos, sólo los valores positivos corresponden a zonas de vegetación. Por su parte, los valores negativos, generados por una mayor reflectancia en el visible que en el infrarrojo, pertenecen a nubes, nieve, agua, suelo desnudo y rocas.

Las imágenes procesadas, nos permiten detectar y seguir condiciones meteorológicas, geológicas, topográficas, análisis de usos de suelo, efectos urbanos y riesgos naturales (volcanes, terremotos, inundaciones e incendios), entre otros.

La digitalización por medio de fractales, y el mapa base del contorno topográfico, se obtiene mediante el procesamiento de las imágenes recibidas y procesadas por el programa SURFER. Ello permite teselar (modelar estructuralmente) las características del terreno y los fenómenos

sociales o naturales que ocurren en la superficie, utilizando coordenadas UTM (en metros) y coordenadas geodésicas (longitud, latitud y altitud), con aproximadamente 24,000 pares de coordenadas (Fig. 3).

Con estas herramientas, la Secretaría de Gobernación incorpora tecnología espacial para tener referencias del medio físico, y adoptar estrategias en casos de fenómenos tropicales que afecten al Estado de Puebla, en particular las Sierras Norte y Negra. El sistema permite el seguimiento preciso de depresiones, tormentas y huracanes, así también examinar las regiones boscosas. El desarrollo de estas tecnologías, a corto plazo, permitirá evaluar algunos parámetros agrícolas. También será de gran ayuda en la vigilancia de fallamientos geológicos de interés, así como en la observación, en la banda infrarroja, del comportamiento de pequeños flujos de lava en el interior del cráter del Popocatepetl (o algunos de los volcanes activos en el centro del país). Las imágenes AVHRR pueden ser aplicadas a múltiples propósitos, donde el territorio sea el tema central con todas sus variables.

Con esta, son ya tres estaciones HRPT en el país. Una en Colima, otra en la UNAM y la del gobierno de Puebla. Las dos primeras se dedican a la investigación, y la poblana a la aplicación casi inmediata en la solución de problemas sociales.