

Enrique Calderón Alzati

El agua de los bosques

Para la enseñanza de las ciencias se requiere despertar la curiosidad intelectual, saber para resolver problemas o comprender con mayor precisión, abrir nuevas oportunidades de conocimiento y beneficio para las personas. En este artículo se muestra un ejemplo concreto y sencillo de investigación multidisciplinaria, que parte de la necesidad de mostrar el valor de la enseñanza de las ciencias a un grupo de estudiantes de la Maestría en comunicación y tecnología educativas del ILCE.

Una experiencia de investigación multidisciplinaria

Cuando vivimos cerca de montañas, pobladas de bosques, frecuentemente nos detenemos a admirar el paisaje, haciéndonos algunas preguntas relacionadas con su origen y magnitud: ¿por qué la mayor parte de las montañas tienen bosques?, ¿por qué los bosques de las montañas son generalmente de coníferas?, o ¿por qué los bosques son más húmedos que las llanuras? En mi caso, viviendo en el municipio de Coatepec, en el Estado de Veracruz, la montaña que tenía más cerca era la octava más alta de la República Mexicana, conocida como "Cofre de Perote", así llamada por su forma y porque el poblado más cercano a ella es la ciudad de Perote.

En algún momento, me percaté que las respuestas a estas dudas tenían que ver con el agua y que ellas me llevaban a nuevas dudas como las siguientes: ¿cuál es el origen de los arroyos que existen en los bosques?, ¿por qué estos llevan agua la mayor parte del año?, ¿era la capacidad de retención de agua, que tenían los árboles, la razón de la existencia de estos arroyos?, ¿cuánta agua puede contener un árbol en su interior?, ¿dependía ello sólo del tamaño del árbol?, ¿había diferencias entre las capacidades de retención del agua entre las diferentes especies de árboles?, ¿los árboles necesitan reciclar el agua como los seres humanos que sudamos y orinamos con frecuencia una parte de la que bebemos cada día?

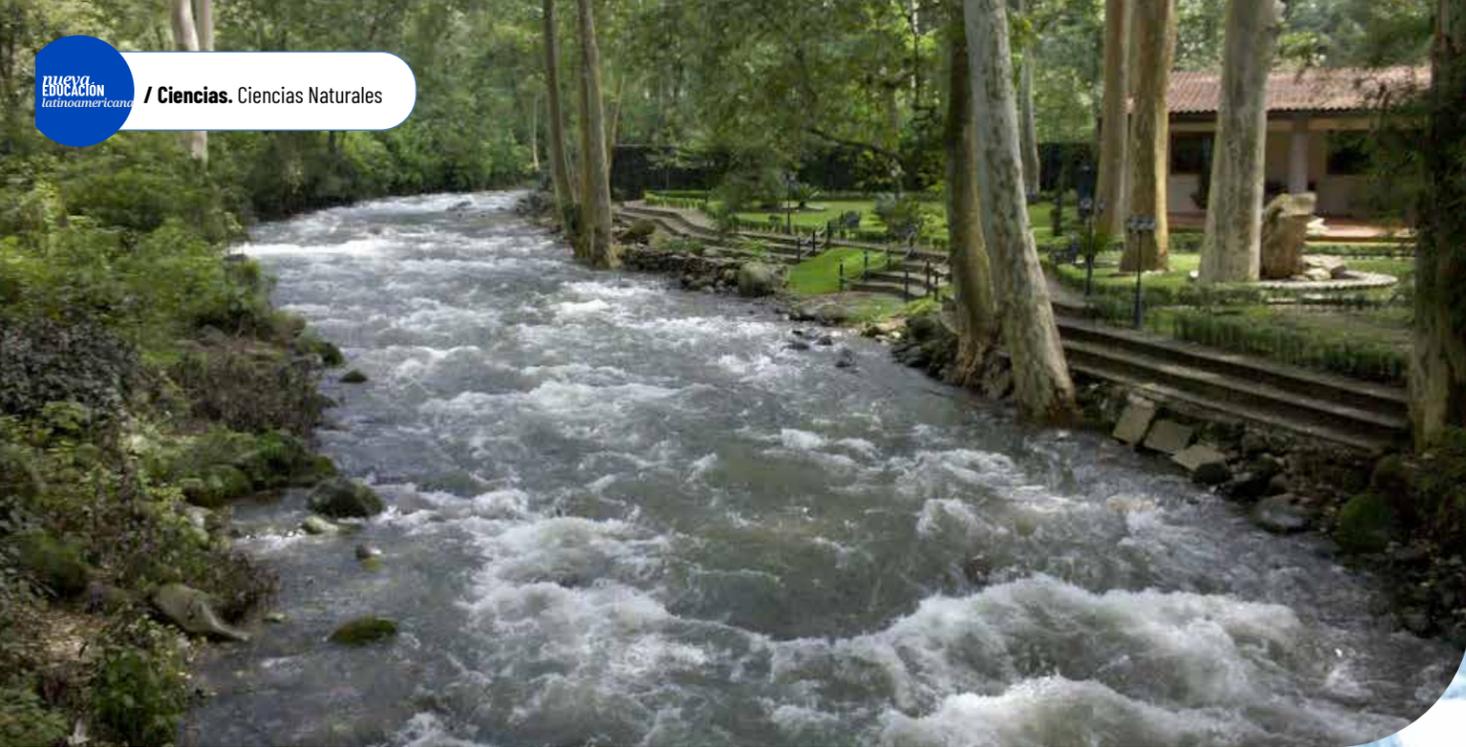


Figura 1. Imagen del Río Consolapa en las faldas de la montaña

Agua y biomasa: a la búsqueda de respuestas

Para lograr respuestas a todas estas preguntas, me percaté que necesitaba algunos conocimientos tanto de matemáticas como de biología. Las matemáticas me servirían para estimar los volúmenes de agua y la biología para comprender los procesos de captación y retención del agua en troncos, raíces y follaje de los árboles.

Todo esto me sucedía cuando impartía una materia a cerca de 30 estudiantes de la Maestría en comunicación y tecnología educativas relacionada con el estudio y la enseñanza de la ciencia, pensando que se trataba de un tema interesante de investigación, por lo que decidí exponerles mi proyecto y la metodología que se requería para encontrar las respuestas, con el propósito de que ellos aprendieran a realizar este tipo de investigaciones en torno a la naturaleza. Así también al hacerlo, los estudiantes me ayudarían a realizar la investigación y encontrar las respuestas a mis dudas, aunque aún no comprendían la importancia de lo que estábamos investigando.

Las matemáticas eran desde luego necesarias, porque de lo que se trataba era de determinar las canti-

dades de agua, en los volúmenes (del tronco, ramas, follaje y raíz de los árboles) pero también lo era la biología y en particular la botánica, en la medida que era necesario conocer las diferencias entre las principales especies de árboles de los bosques, así como para comprender los mecanismos que hacen posible la distribución del agua desde las raíces al follaje y además algo de física para conocer los mecanismos que permiten a los líquidos subir de la raíz que absorbe el agua del suelo y la distribuye por todo el follaje del árbol.

Por otra parte, era posible que también se requiriesen algunos conocimientos de química, para comprender los procesos de crecimiento de la biomasa vegetal que se realizan a partir de la energía del sol. De esta manera me quedaba claro que eran varias las ciencias que necesitaríamos utilizar para encontrar la respuesta a la pregunta inicial: ¿cuánta agua hay en un árbol? Y de ahí: ¿cuánta agua hay guardada en todos los árboles de la reserva del Cofre de Perote?

Gracias a algunas lecturas anteriores sabía que la forma más sencilla para obtener una respuesta era cortar una rama de un árbol y seccionar un pedazo de ésta, pesándola primero y luego quemándola,

para pesar después sus cenizas, la diferencia entre ambas medidas nos indicaba el agua que se había perdido en el proceso y con ello, la proporción de agua contenida en la madera de ese árbol.



Figura 2. Imagen de un leño en el fuego

Conociendo esta proporción, podíamos saber qué tanta agua había en todo el tronco del árbol, una vez conocida su altura y el diámetro del tronco en su base; sin embargo aquí se presentaba un nuevo problema: el diámetro del tronco disminuye a mayor altura. Después de observar diferentes fotografías de pinos, llegamos a la conclusión que el motivo de la reducción de su diámetro se debía a las ramas que salían de este y que lo mismo sucedía de las ramas al dividirse en ramas secundarias y finalmente en el follaje verde (hojas), por lo que llegamos a la conclusión de que la biomasa del árbol era la misma para toda su altura.

Ello nos llevó a concluir, que era suficiente conocer el diámetro de la base del tronco y su altura total, para conocer la biomasa aproximada del árbol, la cual debía ser proporcional al volumen del tronco y conociendo la proporción de agua que tiene el tronco podemos estimar la cantidad de agua que hay en todo el árbol.

En este punto surgieron otras dudas: ¿cuánta agua más podía existir en los tejidos de las raíces del árbol?, ¿la relación entre el agua contenida y el volumen del tronco era la misma en árboles de las diferentes especies de coníferas?, ¿había diferencias entre los árboles de diferentes edades? En la medida que el problema se hacía más complejo por la diversidad de especies, edades y tamaños, pensamos que en una primera aproximación podíamos suponer que la proporción era la misma en todas las especies y que en todos los casos la multiplicación de la superficie del tronco en su base por su altura nos daría su volumen y con ello la cantidad aproximada de agua almacenada.

En cuanto a la proporción del volumen de la raíz respecto al volumen del tronco y su follaje, encontramos que esta podía variar entre el 50% y el 74%, optando por un término medio del 62%. Una vez tomadas estas decisiones, pudimos llegar a la conclusión que la cantidad de agua almacenada en un árbol podía ser de entre 800 y 1,200 litros. Admitiendo que las cifras podían tener un error, pero que aun así nos daría una buena idea de la **cantidad total de agua que existe en este bosque**, a condición de que supiésemos dos cosas más:



Figura 3. Tronco y raíces de árbol

Primera, el número promedio de árboles que podían crecer en una hectárea, y la segunda, ¿cuál era el área boscosa que cubría al Cofre de Perote? Siendo ésta la montaña más alta en las cercanías de Xalapa, donde tanto yo, como la mayor parte de mis estudiantes radicábamos, y quienes organizados en equipos podían realizar una investigación de campo, en torno a estos temas.

Resultados de los estudiantes

Algunos resultados que estos equipos obtuvieron fueron los siguientes:

- a) La relación entre el trozo de madera quemado con respecto al mismo trozo en su estado original = 32%, de manera que la cantidad de agua que se había vaporizado en el proceso era el 68%.
- b) El diámetro medio de las coníferas que habían sido medidas = 0.38 m. Altura media de los árboles de coníferas y encinos es de 28 metros. Promedio de árboles (pinos, encinos y algunas hayas) por hectárea = 480.

Adicionalmente uno de los equipos, encontró que la información y los mapas generados a partir de las fotos tomadas por satélites de la NASA, se estimaba que la superficie total del área boscosa de la montaña era de poco más de 11,000 hectáreas, de manera que el total aproximado de árboles del bosque debía ser de $11,000 \times 480 = 5,280,000$ árboles aproximadamente.

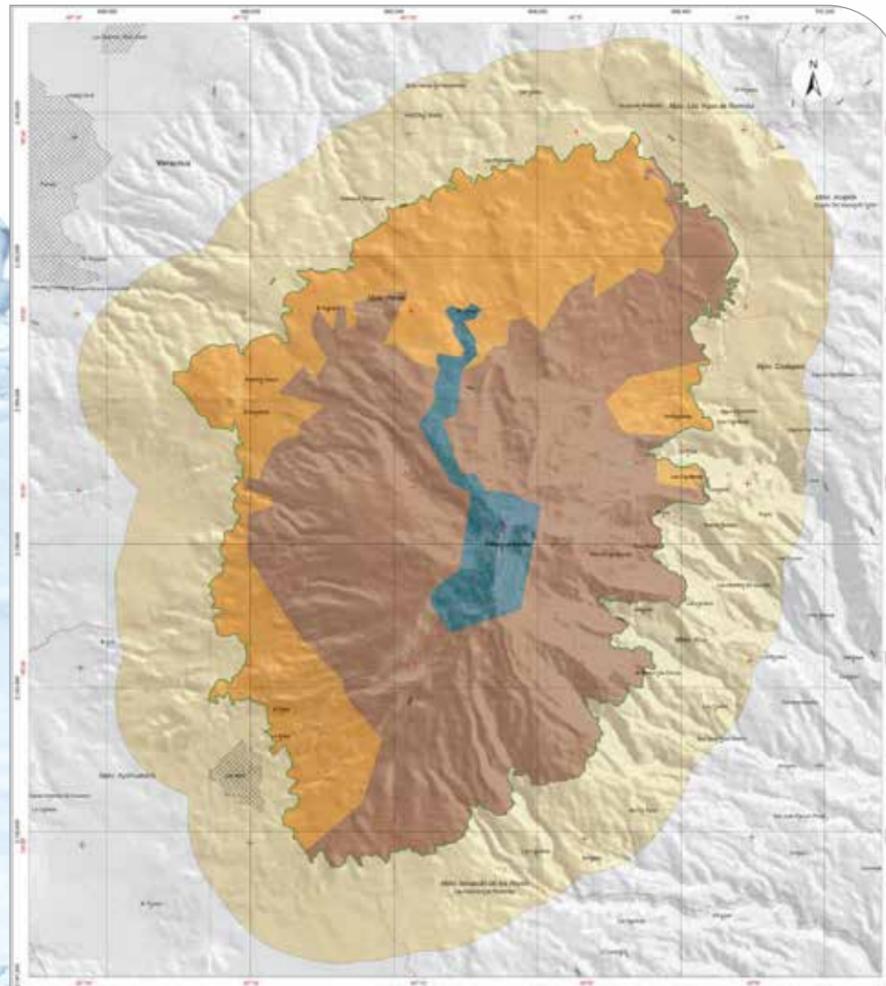


Figura 4. Mapa satelital del Cofre de Perote, Veracruz, México.

Una vez que recabamos toda esta información a partir de los reportes de los equipos de estudiantes, lo que me quedaba era utilizar las matemáticas (aritmética y geometría) para obtener los datos que estaba buscando, sabiendo desde luego que dicha estimación podría tener cierto grado de imprecisión, en virtud de las hipótesis simplificadoras utilizadas, pero al mismo tiempo estábamos satisfechos, ya que más que una cifra, nos interesaba más poder estimar la magnitud del volumen de agua que esta región almacenaba, lo que nos permitiría calcular posteriormente, a cuántas familias se podía dotar de agua en la región de Xalapa y poblaciones aledañas.

A continuación aparecen en este documento los datos estimados a partir de la información que mis estudiantes me habían entregado:



¿Qué tanta agua es ésta? Para tener una idea, pensemos en el agua almacenada en una piscina Olímpica es de $50 \times 15 \times 1.7 = 1125 \text{ m}^3$, lo cual nos lleva a pensar que el volumen de agua existente en estos bosques es equivalente a 5552.2 albercas de este tipo.

Comparativamente el agua de los árboles del bosque del Cofre de Perote cabe 92 y 88 veces en los lagos de Pátzcuaro en Michoacán o de Catemaco en Veracruz respectivamente. En la figura siguiente aparece una imagen del Lago de Pátzcuaro.



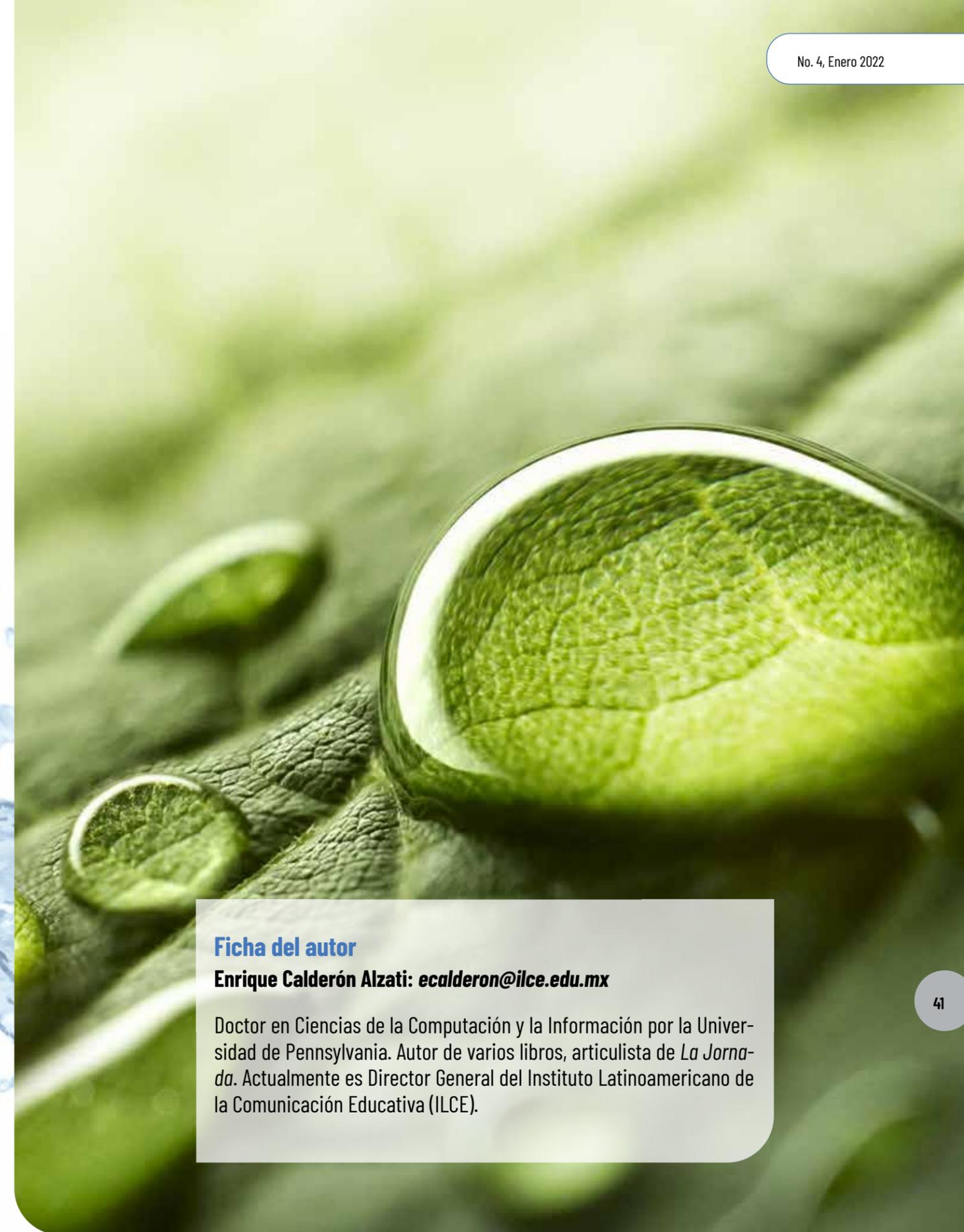
Figura 5. Lago de Pátzcuaro con la isla de Janitzio

El problema que hemos tratado aquí de resolver es importante en virtud de que tanto la Ciudad de Xalapa como la de Coatepec, se surten del agua que baja de estos bosques por los arroyos que surten al Río Pixquiac.

Una riqueza por conocer y defender

Con este ejemplo, queremos mostrar cómo un problema de la vida real, requiere de la confluencia de conocimientos y habilidades que se adquieren mediante el estudio de varias áreas del conocimiento, que en este caso incluyen a las matemáticas, la botánica, la química, la geografía e incluso la historia, en tanto que al igual que el área boscosa, la población de Xalapa y Coatepec, se ha modificado a través del tiempo, en virtud de diferentes procesos de carácter económico y demográfico. Y cuando pensamos cómo transportar y aprovechar esa agua, es necesario contar también con conocimientos de ingeniería y de tecnología.

Finalmente, se requiere de la capacidad literaria y artística que permita comunicar a la mayor parte de la población la importancia de realizar investigación y con ello hacer consciencia de las riquezas que están tomando de los bosques, los cuales deben cuidar con responsabilidad para que sus descendientes puedan seguir sirviéndose de estos maravillosos recursos.



Ficha del autor

Enrique Calderón Alzati: ecalderon@ilce.edu.mx

Doctor en Ciencias de la Computación y la Información por la Universidad de Pennsylvania. Autor de varios libros, articulista de *La Jornada*. Actualmente es Director General del Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (ILCE).