



RESUMEN

El hidrocarburo (HC) infiltrado al subsuelo puede encontrarse en 4 formas: líquido de menor densidad que el agua y flotando sobre el nivel freático ó estático; volátil en la zona no saturada; disuelto en agua y; líquido de mayor densidad que el agua, el cual puede encontrarse absorbido por el material del medio o sedimentado en la base del acuífero (Lyman et al., 1992). Los métodos apropiados para el saneamiento del subsuelo contaminado por HC, depende de varios aspectos. Entre ellos, la fase en que el HC se encuentre, su distribución y las características del subsuelo. El saneamiento del subsuelo puede iniciarse con la extracción del HC líquido y el volátil, lo cual permite disminuir el grado de contaminación y de riesgo.

Como segundo paso se puede considerar la limpieza del suelo y acuífero contaminados, los cuales tienen una mayor complejidad.

Para la extracción inicial de los productos líquido y volátil, el diseño y operación es «relativamente» sencillo. La remediación o saneamiento total del suelo y acuífero incluye técnicas sofisticadas, de alto costo y largo tiempo de ejecución. Existen diversos métodos, destacando entre ellos la extracción del contaminante y la biodegradación. La extracción por bombeo del producto líquido, es común, la cual se extrae junto con el agua del acuífero; una vez en la superficie el producto es almacenado en tanques y el agua extraída es tratada a fin de eliminar los volátiles que contenga. El volátil puede extraerse a través de pozos y, una vez en la superficie, puede ser incorporado a la atmósfera, incinerado o capturado mediante filtros de carbón activado.

ABSTRACT

Infiltrated hydrocarbons (HC) underground are found in 4 phases: (1) Liquid of lower density than water, floating over the water level; (2) volatile in the vadose zone; (3) dissolved in water; (4) liquid of higher density than water, found absorbed by the environment or accumulated at the base of the aquifer.

The appropriate methods to clean underground polluted by HC depends of various factors. Some of them are: the phase in which the HC is found, its distribution and soil characteristics. Remediation usually begin with liquid and volatile extraction to reduce the risk. As a second step soil and aquifer cleaning is performed. To start extraction of HC, both liquid and volatile phases, is relatively simple. Total remediation of soil and aquifer includes sophisticated and expensive techniques performed for a long period of time. A common remediation method consists in extraction of liquid product and water by pumping. Once at the surface the product (liquid HC) is stored in tanks and water is treated to eliminate possible volatiles. The volatile phase can

SANEAMIENTO DE ACUÍFEROS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS

be extracted through wells. Once in surface those volatiles can be incorporated to the atmosphere, incinerated or captured by activated carbon filters.

INTRODUCCIÓN

El hidrocarburo (HC) infiltrado al subsuelo puede encontrarse en varias formas tales como: (1) líquido de menor densidad que el agua y flotando sobre el nivel freático ó estático; (2) volátil en la zona no saturada; (3) disuelto en agua y; (4) líquido de mayor densidad que el agua, el cual puede encontrarse absorbido por las partículas del suelo o sedimentado en la base del acuífero (Nielsen, 1991). Una vez conocida su presencia en el subsuelo, (en extensión, concentración, tipo de hidrocarburos y fase en que se encuentra), junto con el conocimiento de la geología y geohidrología del lugar, se pueden establecer las políticas de saneamiento.

El o los métodos más apropiados para el saneamiento de un subsuelo contaminado por HC, depende de varios aspectos. Entre ellos, la fase en que el HC se encuentre, su distribución y las características del subsuelo.

En México, se puede dividir el saneamiento en 2 partes. La primera considera la extracción inicial del HC líquido y volátil, lo cual permite disminuir el grado de contaminación y de riesgo. La segunda parte se puede denominar la «limpieza total», del suelo y acuífero, la cual incluye técnicas sofisticadas de alto costo y largo tiempo de ejecución.

MÉTODOS DE SANEAMIENTO

Los principales métodos para el saneamiento del subsuelo y acuífero por hidrocarburos son: (1) extracción del HC líquido y volátil; (2) biodegradación *in situ* (Nyer, 1993).

Extracción de HC Líquido Y Volátil

Una vez delimitada la zona invadida por HC y cuantificada su concentración, se procede a extraerlo. El producto líquido es bombeado a través de pozos. Este, puede ser extraído junto con el agua del acuífero y una vez en la superficie, es separado (Fetter, 1993). En otros casos, el HC líquido que se encuentra en una capa flotando sobre el agua, de donde puede ser extraído mediante bombas especiales. Para acelerar la acumulación del HC en el entorno del pozo, puede bombearse agua y formarse un cono de abatimiento, cuya pendiente facilita el movimiento de la capa de HC que flota sobre el nivel estático, hacia el pozo. El HC y agua extraídos son procesados en la superficie. (Figura 1)

La extracción de volátiles se puede realizar a través de pozos ubicados en la zona vadosa, donde se colocan extractores de aire (Kostecki, 1991, 1992). Pueden perforarse pozos para inyección de aire, que «empujen al volátil hacia su salida». La remoción de volátiles al inicio de la extracción es alta y va disminuyendo con el tiempo.

Biodegradación *IN SITU*

Un método para el saneamiento de zonas afectadas por hidrocarburos es la biodegradación (Riser-Roberts, 1992; Calabrese, 1989; Hinchey, et al., 1992). Consiste en utilizar las bacterias que existen en todo

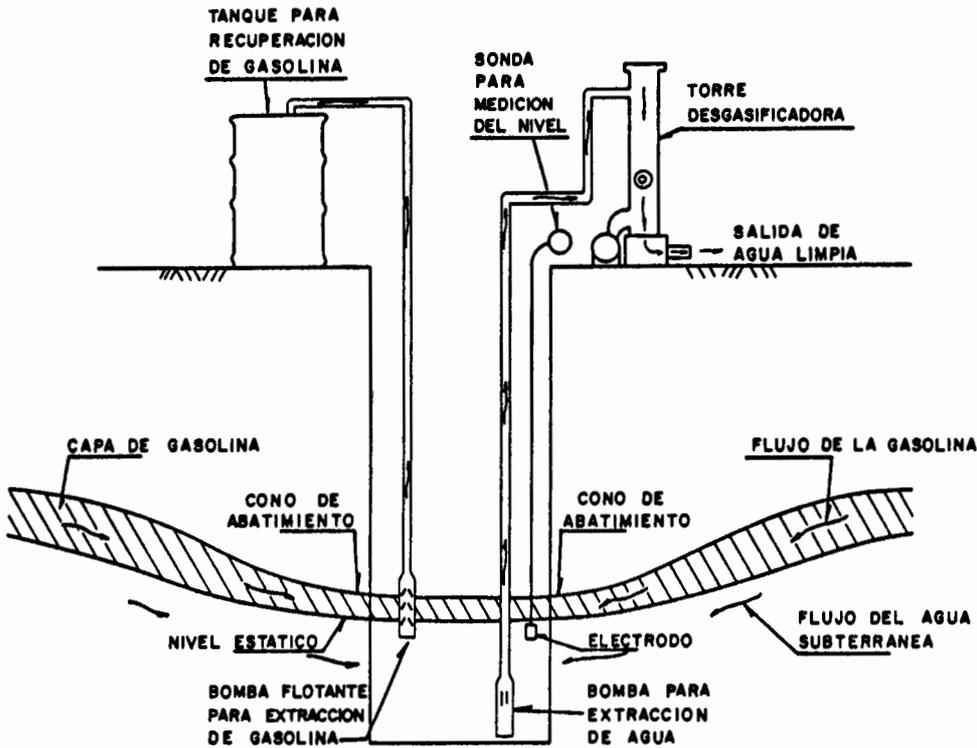


Figura 1.
Extracción de Hidrocarburos por bombeo y
tratamiento en superficie.

suelo y que se alimentan de HC y oxígeno, formando bióxido de carbono y agua (Chapelle, 1993). Para acelerar este proceso, se pueden añadir nutrientes que aceleren la acción bacteriana, principalmente oxígeno, el cual se inyecta como gas o mediante agua. Debido al proceso de biodegradación mencionado, una zona invadida por hidrocarburos se caracteriza también por ausencia de oxígeno y abundancia de bióxido de carbono, parámetros que pueden monitorearse durante el saneamiento para determinar el grado de limpieza alcanzado.

EQUIPOS USUALES PARA EL SANEAMIENTO

Con el objeto de ilustrar tanto la forma en que se encuentra el HC en el subsuelo, así como las técnicas más comunes para su extracción o saneamiento, a continuación se describen varios productos comunes en el mercado.

En la figura No. 2 se muestra un equipo Westinghouse para el tratamiento de hidrocarburos y agua subterránea extraídos del subsuelo. En él se observa un tanque separador de agua-hidrocarburos, un tanque para el almacenamiento del producto

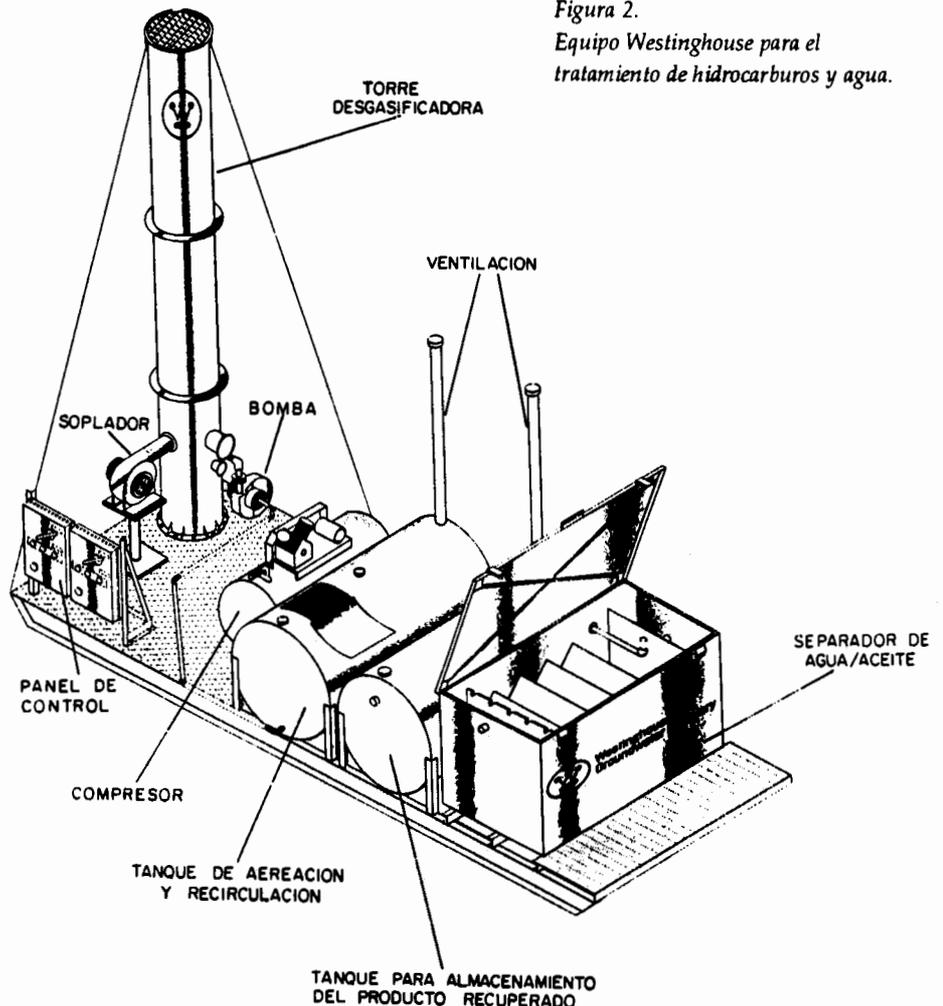


Figura 2.
Equipo Westinghouse para el
tratamiento de hidrocarburos y agua.

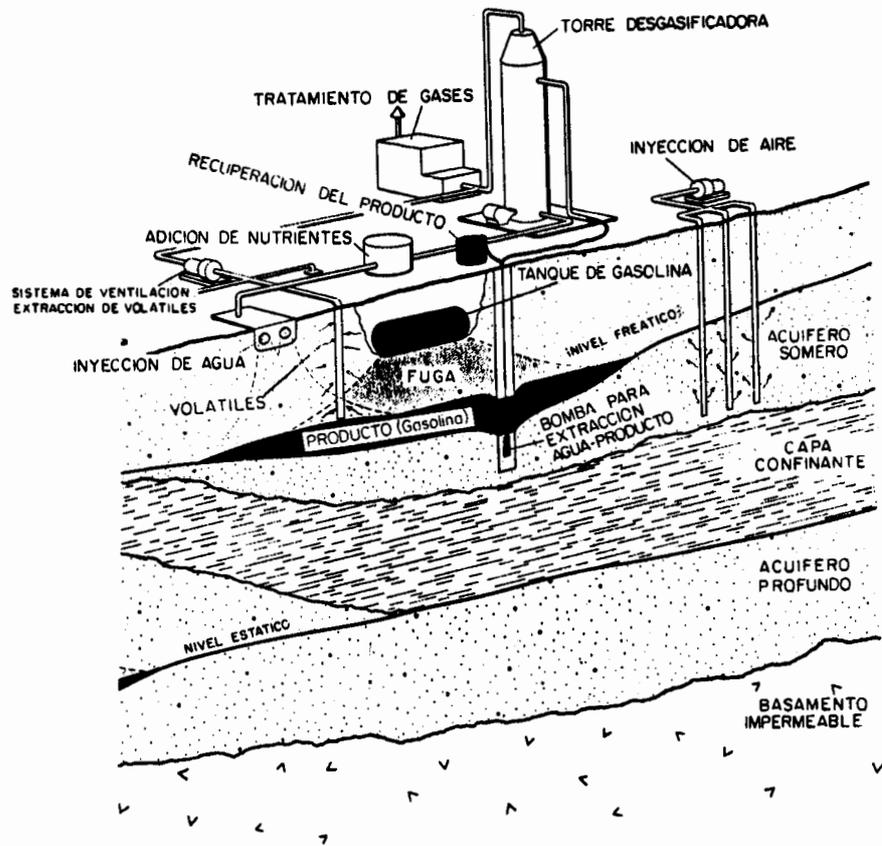
recuperado, un tanque de aireación, un compresor, un soplador acoplado a una torre desgasificadora y un panel de control.

En la figura No. 3 se incluye el sistema de ORS Environmental Equipment, para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátiles. En esta figura, se observa la presencia de un acuífero somero que es contaminado por fugas de un tanque de gasolina. El producto líquido se encuentra flotando sobre el nivel freático. También existen volátiles entre la superficie del terreno y el nivel freático. La extracción del hidrocarburo líquido se realiza mediante un sistema de bombas para la extracción, tanto del producto (HC líquido) como del agua. El producto es almacenado en un tanque y el agua es pasada por una torre desgasificadora. El gas obtenido es tratado por oxidación catalítica o incinerado. En la misma figura, se ilustra la inyección de agua y nutrientes al subsuelo, lo que provoca biodegradación, además de «empujar» al producto hacia el pozo. Cuenta también con un sistema de extracción de volátiles, los que son conducidos a la planta de tratamiento de gases.

En la figura No. 4 se muestra la perforación de pozos direccionales para el saneamiento del subsuelo bajo infraestructura como edificios y tanques de almacenamiento.

En la figura No. 5 se incluye el sistema Environmental Instruments para la extracción y tratamiento del producto líquido y del volátil. Los volátiles son extraídos a través de un pozo y pueden ser conducidos a un filtro de carbón activado o bien a un oxidador catalítico. Un sistema de inyección de aire al subsuelo separa el volátil del agua, para posteriormente ser captado por un pozo. Mediante otro pozo, se extrae agua y producto (HC) líquido. El producto es almacenado en un tanque y el agua es pasada a través de un separador de agua/producto. Posteriormente el agua pasa a un proceso de aireación, donde el volátil es separado y conducido hacia un filtro de carbón activado o bien a un oxidador catalítico.

En la figura No. 6 se muestra un esquema del sistema SENECA para la extracción y tratamiento del producto líquido y volátil del subsuelo. En dicha figura se ilustran pozos de extracción, tanto de volátiles como de producto líquido. Por lo que respecta al



DE: ORS ENVIRONMENTAL EQUIPMENT CATALOG

Figura 3.
Sistema ORS/ENVIRONMENTAL EQUIPMENT para extracción y tratamiento de producto líquido y volátil.

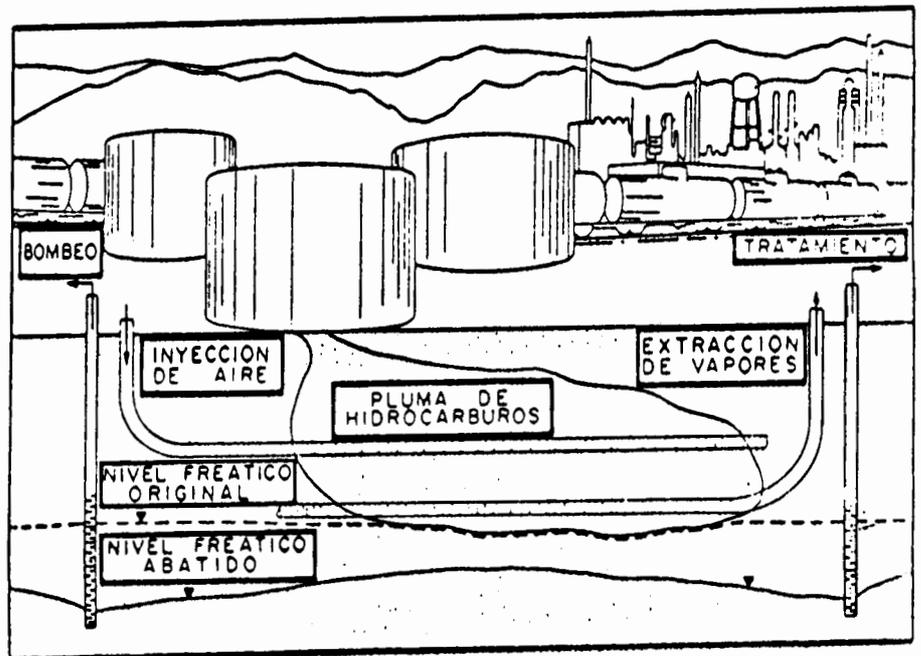


Figura 4.
Saneamiento de hidrocarburos del suelo mediante pozos direccionales (De Engineering-Science, Inc.)

producto líquido, éste es extraído por un sistema múltiple de pozos y conducido a un tanque. Posteriormente pasa por un tanque de separación agua/producto. El agua obtenida es conducida a través de un desgasificador, en el que, por medio de un soplador, se produce un burbujeo que permite la separación del volátil del agua.

CONCLUSIONES

El HC en el subsuelo y acuífero puede encontrarse en forma líquida, volátil o disuelta en agua. El saneamiento puede consistir en la extracción del HC (líquido o volátil), la cual puede realizarse a través de pozos. La biodegradación *in situ* es un método eficaz para la remoción de HC hasta niveles bajos, tanto en suelo como en el acuífero. Los principios en que se basa el saneamiento es aplicado en forma comercial por un gran número de compañías productoras de equipo.

REFERENCIAS

CHAPELLE, F. 1993. *Ground-Water Microbiology and Geochemistry*. John Wiley and Sons, Inc.

FETTER, W. C., 1993. *Contaminant Hidrology*. Macmillan Publishing Company.

HINCHEE, R. E. et al., 1981. *Enhanced Bioreclamation, Soil Venting and Ground Water Extraction*. NWWA/API

Conference on Petroleum Hydrocarbons
KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1991. *Hydrocarbon Contaminated Soils and Ground-water*, Lewis Publishers.

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1992. *Contaminated Soils, Diesel Fuel Contamination*. Lewis Publishers.

LYMAN, W.S., P.S. REIDY AND B. LEVY. 1992. *Mobility and Degradation of Organic Contaminants in Subsurface Environments*. C. K. Shoely, Inc.

NYER, E. K. 1993. *Practical Techniques for Groundwater and Soil Remediation*. Letors Publishers.

NIELSEN, D. M. 1991. *Practical Handbook of Ground-Water Monitoring* Water Well Association.

RISER-ROBERTS, E. 1992. *Bioremediation of Petroleum Contaminated Sites*, C. K. Smoley, Inc.

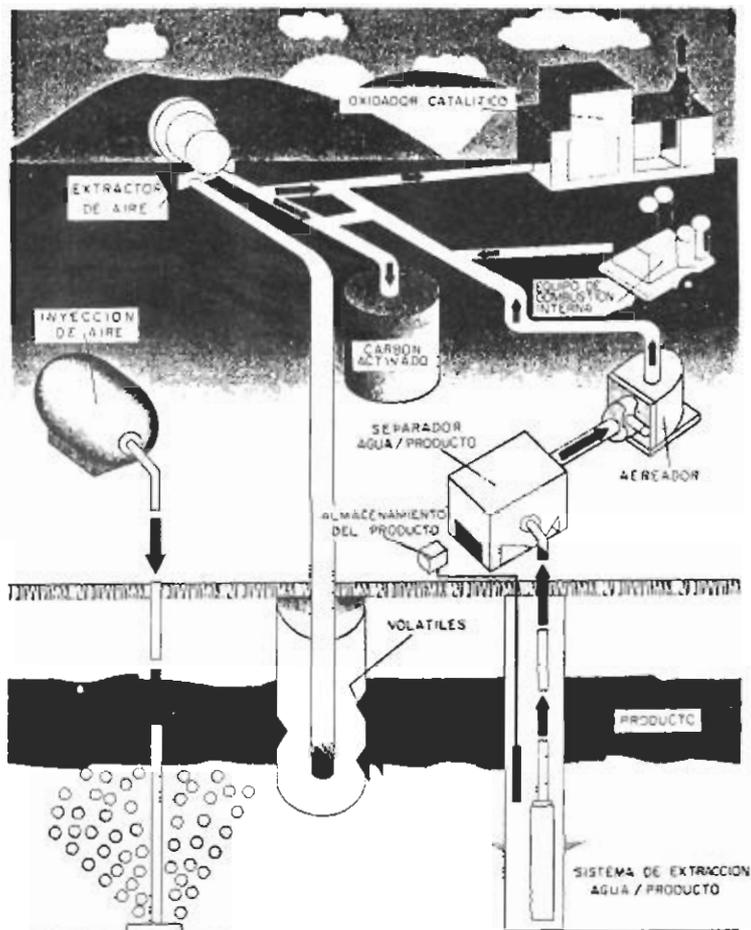


Figura 5. Sistema Enviromental Instruments para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátil.

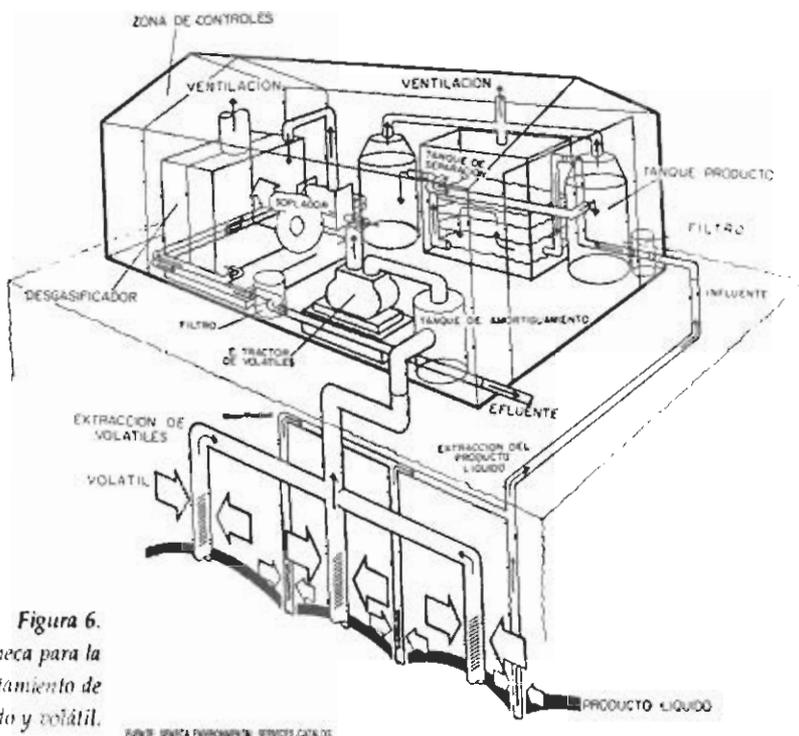


Figura 6. Sistema Seneca para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátil.

FABRIL SENECA ENVIRONMENTAL SERVICES CANADA