

Etrace Express: manual de programa para análisis de riesgo de elementos traza en fertilizantes inorgánicos



Embrapa

UFPA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Etrace Express

© 2010. Todos los derechos reservados.

*Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria
Embrapa Cerrados
Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento*

Documentos 291

Etrace Express: manual de programa para análisis de riesgo de elementos traza en fertilizantes inorgánicos

Giuliano Marchi

Luiz Roberto Guimarães Guilherme

Alexandre Beserra da Silva

Veridiana Cardozo Gonçalves

Paulo Jorge de Pinho

Maria Aparecida Pereira Pierangeli

Ozanival Dario Dantas

Sandro Manuel Carmelino Hurtado

Los ejemplares de esta publicación pueden ser comprados en:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Junta de publicaciones de La Unidad

Presidente: *Fernando Antônio Macena da Silva*

Secretaria-Ejecutiva: *Marina de Fátima Vilela*

Secretaria: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisión editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbués*

Normalización bibliográfica: *Paloma Guimarães Correa de Oliveira*

Normalización electrónica: *Wellington Cavalcanti*

Portada: *Wellington Cavalcanti*

Foto(s) de la portada: *Arquivo Embrapa Cerrados*

Impresión y diseño: *Divino Batista de Sousa*

Alexandre Moreira Veloso

1 edición

1 impresión (2010): 100 ejemplares

Edición online (2010)

Todos los derechos reservados

La reproducción no autorizada de esta publicación, en lo todo u en parte, constituye violación de los derechos autorales (Lei nr 9.610).

Dados internacionales de catalogación en publicaciones (CIP)

Embrapa Cerrados

E85 Etrace Express: manual de programa para análisis de riesgo de elementos traza en fertilizantes inorgánicos / Giuliano Marchi [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2010.

31 p.— (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, ISSN online 2176-5081 ; 291).

1. Suelo – contaminación. 2. Metal pesado. 3. Agricultura. I. Marchi, Giuliano. II. Serie.

631.4 - CDD 21

© Embrapa 2010

Autores

Giuliano Marchi

Ingeniero Agrónomo, D.Sc.

Investigador de la Embrapa Cerrados

Doctor en Suelos y Nutrición de Plantas

giuliano.marchi@cpac.embrapa.br

Luiz Roberto Guimarães Guilherme

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Profesor Asociado del Departamento de Ciencia del Suelo (DCS), Universidade Federal de Lavras (UFLA), PhD. en Química del Suelo y Toxicología Ambiental. Campus UFLA, Apartado Postal 3037, 37200-000, Lavras, MG

guilherm@dcs.ufla.br

Alexandre Beserra da Silva

Becario del programa de iniciación científica de CNPq, Embrapa Cerrados

Graduando de la União Pioneira de Integração Social (UPIS)

ale.beserra@gmail.com.br

Veridiana Cardozo Gonçalves

Ingeniera Agrónoma, D.Sc.

Becaria de FAPEMIG

Universidade Federal de Lavras

Campus Universitário da UFLA – Departamento de
Ciencia del Suelo

vericg79@yahoo.com.br

Paulo Jorge de Pinho

Ingeniero Agrónomo, D.Sc.

Becario de FAPEMIG

Universidade Federal de Lavras

Campus Universitário da UFLA

pinhopj@yahoo.com.br

Maria Aparecida Pereira Pierangeli

Profesora Adjunta de la Universidade do Estado
de Mato Grosso-UNEMAT, Departamento de

Zootecnia/Mestrado em Ciências Ambientais,

Doctora en Suelos y Nutrición de Plantas

BR 174, KM 209, Pontes e Lacerda-MT

mappierangeli@gmail.com

Ozanival Dario Dantas

Cientista de Computación, M.Sc.

Analista de la Embrapa Cerrados

Magister en Ingeniería Eléctrica y de Computación,

Especialización en Banco de Datos

dario@cpac.embrapa.br

Sandro Manuel Carmelino Hurtado

Doctor en Ciencia del Suelo, Universidade Federal

de Lavras (UFLA), becario de CNPq / Embrapa

Cerrados

sandroelbat@gmail.com

Presentación

Los elementos traza están presentes en suelos, sedimentos y sistemas acuáticos normalmente en bajas concentraciones. Algunos insumos agrícolas o subproductos utilizados con la finalidad correctiva o nutricional en la agricultura son fuente de esos elementos y pueden llevar, con el pasar del tiempo, a una elevación de la concentración de elementos traza en el ambiente, que puede llegar a niveles tóxicos. A pesar que los tenores de esos elementos en los suelos no alcancen valores alarmantes, pueden permanecer en formas biodisponibles por muchos años. De esta forma, alimentos producidos en áreas con tenores elevados de elementos traza pueden contener tenores de cadmio, cromo, zinc, entre otros, superiores a los recomendados para la alimentación humana. Muchos de los efectos toxicológicos a la ingestión de alimentos conteniendo elementos traza en humanos son conocidos. Así, para evitar la contaminación de áreas de producción de alimentos por la aplicación de dosis sucesivas de insumos agropecuarios con tenores elevados de elementos traza, es necesario que sean seguidas normas sustentadas en análisis de riesgo en lo que concierne a los límites aceptables de contaminantes en esos insumos.

La metodología usada por Guilherme y Marchi (2007) para desarrollar concentraciones con base en el riesgo (RBCs) es sustentada por el cálculo inverso de los riesgos a la salud, que es el modelo para

evaluaciones de niveles orientadores de riesgo. El cálculo inverso de riesgo a la salud busca estimar la concentración límite del elemento traza en el fertilizante para el cual los riesgos a la salud son aceptables. El programa Etrace Express, desarrollado por el equipo de la Embrapa Cerrados y de la Universidad Federal de Lavras, realiza el cálculo de riesgo a la salud para doce elementos traza en fertilizantes fosfatados y fuentes de zinc posterior a su aplicación en diversos escenarios de exposición. La agilidad de cálculo y la posibilidad de personalización del programa tornan esta herramienta de gran utilidad para técnicos relacionados con la problemática del contenido de elementos traza en fertilizantes.

José Robson Bezerra Sereno
Director General Embrapa Cerrados

Sumario

Introducción	9
Evaluación del Riesgo a la Salud.....	10
Entrada de Datos.....	11
Ecuación de Concentración con Base en el Riesgo (RBC)	23
Etrace Express	24
Referencias	29
Abstract.....	30
Resumo	31

Etrace Express: manual de programa para análisis de riesgo de elementos traza en fertilizantes inorgánicos¹

*Giuliaño Marchi; Luiz Roberto Guimarães
Guilherme; Alexandre Beserra da Silva; Veridiana
Cardozo Gonçalves; Paulo Jorge de Pinho; Maria
Aparecida Pereira Pierangeli; Ozanival Dario
Dantas; Sandro Manuel Carmelino Hurtado*

Introducción

Elementos traza están presentes como contaminantes en fertilizantes orgánicos. Entretanto, algunos elementos traza (e.g., Zn, Cu, Fe y Mn) son nutrientes de plantas y son incluidos intencionalmente en formulaciones de fertilizantes. Se sabe que la exposición a altos niveles de elementos traza (nutrientes o no) puede colocar a la salud humana en riesgo. Este riesgo puede ser estimado por modelos de evaluación. El presente trabajo presenta el programa Etrace Express, que es una herramienta para calcular Concentraciones con Base en el Riesgo (RBCs) de elementos traza en fertilizantes y sugiere límites seguros para su uso agrícola. Este programa usa el modelo de cálculo presentado en el documento intitulado *Health Risk Evaluation of Selected Elemento-traços in Inorganic Fertilizers Post Application*, preparado por *The Fertilizer Institute* (TFI) para el escenario Norte Americano. El programa Etrace Express es la segunda generación entre las versiones de un paquete que aún está en desarrollo. Fue desarrollado con uso de la plataforma DELPHI 2007 para su programación, lo que le atribuye una interface amigable y comandos sencillos de entender. La principal propuesta de este programa es la de calcular valores para la concentración de elementos traza en fertilizantes inorgánicos que

¹ Resultados de los proyectos 578674/2008-4 y 578647/2008-7, CNPq.

puedan, con flexibilidad, sugerir límites que puedan ser considerados por los órganos reguladores con enfoque en la protección de la salud humana en la realidad actual de uso de fertilizantes, tanto en el Brasil como en el extranjero.

Para validar los cálculos realizados por el Etrace Express, fueron realizadas pruebas a partir de datos publicados en el documento del TFI. Los resultados fueron idénticos a los originalmente publicados en aquel documento, siendo que el programa consigue realizar los cálculos correctamente. Para el escenario brasileño, el programa calculó el RBCs con datos levantados por Guilherme y Marchi (2007), cuyos resultados indicaron que los elementos traza no representan riesgos a la salud cuando se considera el aporte al suelo por medio de la adición de fertilizantes. Este manual trae informaciones de uso y datos organizados que objetivan facilitar la operación del programa. Adicionalmente, fueron incluidos en el manual datos recientes de una nueva revisión (actualizados en 2010) sobre los Factores de Absorción por Plantas (PUF) para los diversos grupos de vegetales y de coeficientes de partición suelo-agua (Kd) para varios elementos traza abordados en este manual. Cabe destacar que el presente documento no tiene como objetivo explicar detalladamente los fundamentos y variables relacionadas en el análisis de riesgo, de forma que el lector/usuario debe buscar la publicación de Guilherme y Marchi (2007) para esa finalidad.

Evaluación del Riesgo a la Salud

La evaluación del riesgo a la salud está relacionada a la última parte del ciclo de vida de los fertilizantes, i.e., después de su aplicación (Figura 1). Por tanto, esta evaluación considera la exposición vía suelo (absorción por la piel e ingestión no intencional) e ingestión de alimentos producidos en suelos fertilizados (ingestión, absorción por la piel e inhalación) durante su manoseo (Figura 2). El cuerpo de la evaluación tiene foco en los fertilizantes, elementos traza y escenarios de exposición de mayor preocupación (Figura 3). La evaluación considera como blanco un residente rural, no un residente urbano, pues

los primeros están en mayor riesgo (más vías de exposición: ingestión no intencional de suelo y contacto dérmico), además de la ingestión de productos cosechados en suelos fertilizados. La comparación de la más baja RBC en la máxima concentración de un elemento traza ofrece una estimativa más protectora de la salud. Si la concentración de un elemento traza en el fertilizante encuéntrase inferior a la RBC, no hay riesgo a la salud. Si la concentración de un elemento traza muestra niveles superiores a la RBC, entonces una evaluación más detallada se hace necesaria.

Entrada de Datos

Para la correcta entrada de estos datos en el programa, es necesario que el operador entienda con claridad lo que significan las siglas que aparecen en las pestañas, cuáles son sus unidades y cómo acrecentar conjuntos de datos (Tabla 1). Los conjuntos de datos se refieren a valores de masa corporal, razón de ingestión del suelo, factor de absorción por la planta y coeficiente de partición suelo-agua, que tienen su entrada como promedio y medianas y con límites de confianza superiores a 95%, a partir de resultados compilados de la literatura internacional y nacional. La descripción del significado de cada parámetro es presentada por Guilherme y Marchi (2007).

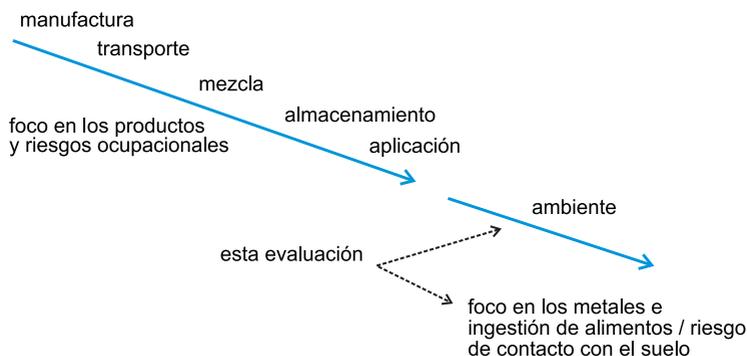


Figura 1. Evaluación del riesgo para el ciclo de vida de un fertilizante inorgánico (TFI, 2000).

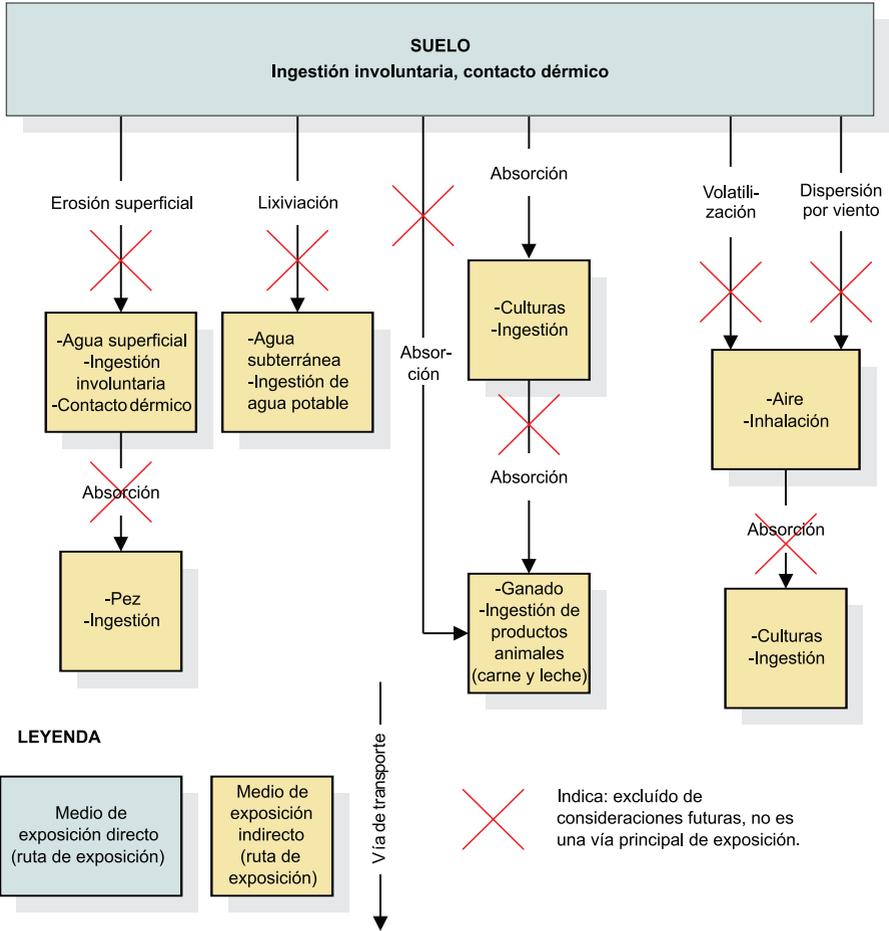


Figura 2. Vías potenciales de exposición a elementos traza en fertilizantes inorgánicos después de la aplicación incluyen: vías de transporte, potenciales medios de exposición y rutas de exposición asociadas (TFI, 2000).

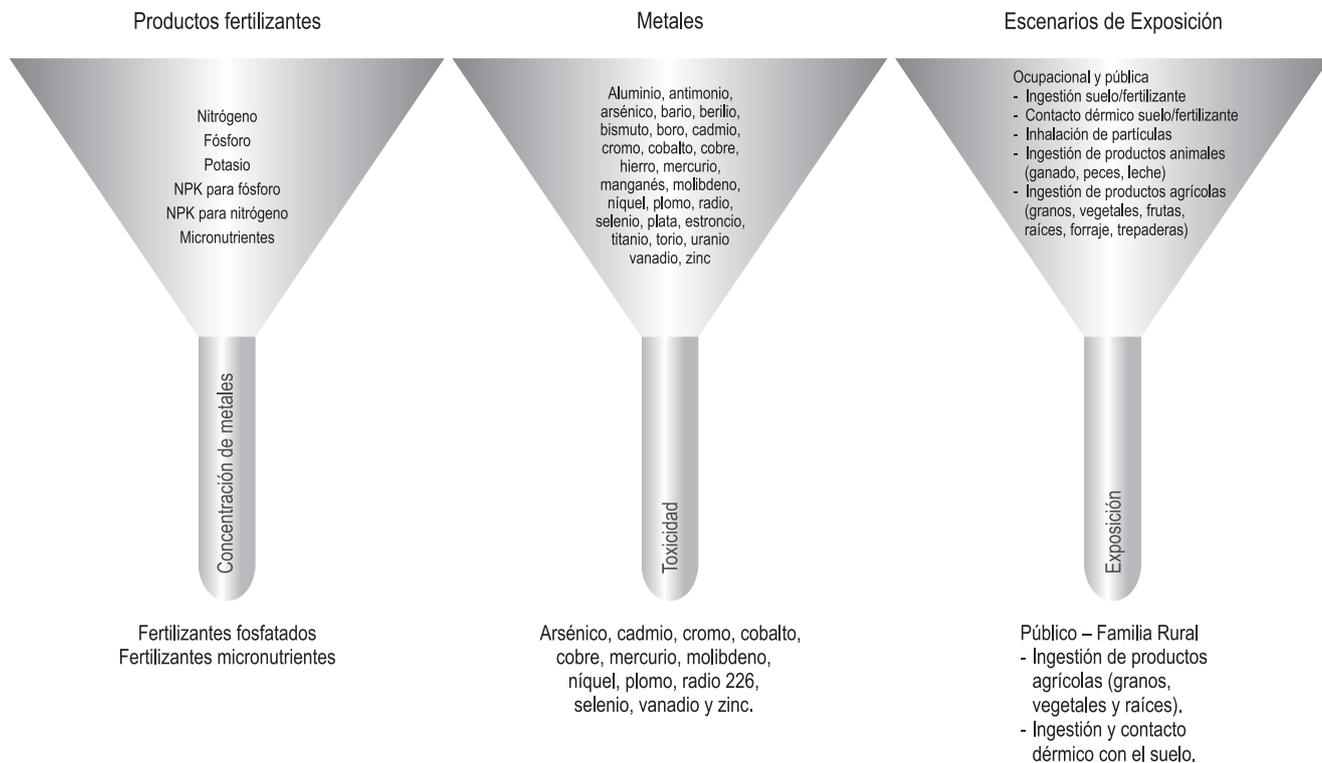


Figura 3. Escopo de esta evaluación con enfoque en los fertilizantes, elementos traza y escenarios de exposición de mayor preocupación considerados en el presente programa (TFI, 2000).

Tabla 1. Parámetros, respectivas siglas, unidades y origen de los datos utilizados para los cálculos.

Nombre del parámetro	Sigla	Unidad	Origen
Razón de aplicación del nutriente	AR	$\text{g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$	UCL 95% ⁽¹⁾
Fracción del nutriente en el fertilizante	FON	Adimensional	-
Duración de la exposición	ED	años	-
Frecuencia de la exposición	EF	días año^{-1}	-
Masa corporal	BW	kg	Promedio
Razón de ingestión del suelo	IRs	mg día^{-1}	Promedio
Factor de absorción relativa vía suelo	RAFs	Adimensional	-
Área de piel expuesta	AS	$\text{cm}^2 \text{ evento}^{-1} \text{ día}^{-1}$	-
Factor de adhesión	AF	$\text{mg cm}^2 \text{ evento}^{-1}$	-
Razón de ingestión de plantas	IR	kg día^{-1}	-
Factor de absorción relativa	RAF	Adimensional	-
Factor de absorción dermal	ABS	Adimensional	-
Factor de absorción por la planta	PUF	Adimensional	UCL 95% ⁽¹⁾
Valor de toxidez oral	TOXo	$\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ou $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}$	-
Valor de toxidez dermal	TOXd	$\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ou $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}$	-
Fracción de tierra	FOL	Adimensional	-
Tiempo de aplicación	T	años	-
Profundidad de mezcla con el suelo	Z	cm	-
Densidad global del suelo	BD	g cm^{-3}	-
Precipitación promedio anual	P	cm año^{-1}	-
Irrigación promedio anual	I	cm año^{-1}	-
Evapotranspiración promedio anual	EV	cm año^{-1}	-
Coefficiente de partición suelo-agua	Kd	mL g^{-1}	Mediana

⁽¹⁾ Límite de confianza superior (UCL) 95%: son los límites de confianza superiores a 95% del promedio geométrico, los cuales son considerados una estimativa en el límite superior.

Datos comunes a todos los elementos traza

La presentación de datos de entrada común a todos los elementos traza (Tablas 2 y 3) objetiva facilitar el llenado de los parámetros y el uso del programa. Algunos de estos datos considerados no específicos de la población brasileña o del escenario brasileño, como Riesgo de Cáncer Aceptable o Índice de Peligro Aceptable; Duración de la Exposición; Frecuencia de Exposición; Factor de Absorción Relativa;

Factor de Absorción Dermal a partir de suelo contaminado; Tiempo Promedio de Exposición; Razón de Ingestión de Suelo; Factor Relativo de Absorción vía Suelo; Área de Piel Expuesta y Factor de Adhesión de suelo contaminado, fueron derivados de trabajos clásicos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América sobre Evaluación del Riesgo a la Salud Humana (GUILHERME y MARCHI, 2007). No obstante, el operador podrá personalizar la entrada de datos de acuerdo a sus necesidades.

Tabla 2. Datos de entrada común a todos los elementos traza conforme TFI (2000) y Guilherme y Marchi (2007).

Parámetro	Adulto	Niño
ED (años)	30	6
IRs (mg día ⁻¹)	50	200
AS (cm ² evento ⁻¹ día ⁻¹)	5700	2900
AF (mg cm ⁻² evento ⁻¹)	0,08	0,3
FON	0,01	0,01
EF (días año ⁻¹)	350	350
RAFs ⁽¹⁾	1	1
RAF ⁽²⁾	1	1
ABS ⁽³⁾	0,01	0,01
FOLg ⁽⁴⁾	0,5	0,5
FOLv	0,4	0,4
FOLr	0,1	0,1
T (años)	50	50
Z (cm)	20	20
BD (g cm ⁻³)	1,5	1,5
I (cm año ⁻¹)	0	0
EV (cm año ⁻¹)	0	0

⁽¹⁾ RAFs para arsénico considerar 0,42 para adulto y niño, para plomo considerar 0,41 para adulto y niño.

⁽²⁾ RAF para plomo considerar 0,5 para adulto y niño.

⁽³⁾ ABS para arsénico considerar 0,03 para adulto y niño, para plomo considerar 1 para adulto y niño.

⁽⁴⁾ Las letras “g”, “v” y “r” que aparecen después de FOL significan granos, vegetales y raíces, respectivamente.

Tabla 3. Datos de entrada común a todos los elementos traza conforme TFI (2000) y Guilherme y Marchi (2007) divididos entre fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc.

Parámetros	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
ARg (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) ⁽¹⁾	69	72	11	2
ARv (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	130	133	11	2
ARr (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	170	429	11	2
BW adulto (kg)	71,8	66,6	71,8	66,6
BW criança (kg)	15,5	15,4	15,5	15,4
IRg (kg día ⁻¹)	0,244	0,149	0,244	0,149
IRv (kg día ⁻¹)	0,122	0,012	0,122	0,012
IRr (kg día ⁻¹)	0,079	0,025	0,079	0,025
P (cm año ⁻¹)	28	150	28	150

⁽¹⁾ Las letras "g", "v" y "r" que aparecen después de AR e IR significan granos, vegetales y raíces, respectivamente.

Datos individuales para cada elemento traza

La presentación de los datos que difieren para cada elemento traza también busca facilitar la entrada de datos por el usuario (Tablas 4 a 15). Para cada uno de los parámetros fueron atribuidos valores específicos de acuerdo con informaciones existentes o compiladas a partir de datos de literatura nacional e internacional, conforme descrito por Guilherme y Marchi (2007). Detalles adicionales a cerca de la obtención de cada uno de esos parámetros pueden ser obtenidos en el trabajo de los autores, disponible para consulta en el sitio <http://www.anda.org.br/publicacoes.aspx>.

Tabla 4. Parámetros para la entrada de datos en el programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc para el cálculo de la concentración de acuerdo al riesgo por arsénico.

As	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
Parámetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,03	0,03	0,03	0,03
PUFv	0,03	0,03	0,03	0,03
PUFr	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061
TOXo (mg kg ⁻¹ día)	1,5	1,5	1,5	1,5
TOXd (mg kg ⁻¹ día)	1,5	1,5	1,5	1,5
Kd (mL g ⁻¹)	6,7	158	6,7	158
Kd (mL g ⁻¹) ⁽¹⁾		158,5		158,5

⁽¹⁾ Valores de Coeficientes de Partición (Kd) actualizados.

Tabla 5. Parámetros para la entrada de datos en el programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc para el cálculo de la concentración de acuerdo al riesgo por cadmio.

Cd	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
Parámetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,12	0,12	0,12	0,12
PUFg ⁽¹⁾		0,942		0,942
PUFv	0,17	0,17	0,17	0,17
PUFr	0,11	0,11	0,11	0,11
TOXo (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,001	0,001	0,001	0,001
TOXd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,001	0,001	0,001	0,001
Kd (mL g ⁻¹)	6,7	221	6,7	221
Kd (mL g ⁻¹) ⁽¹⁾		142,5		142,5

⁽¹⁾ Valores de Factor de Absorción por Plantas (PUF) y de Coeficientes de Partición (Kd) actualizados.

Tabla 6. Parámetros para la entrada de datos en el programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc para el cálculo de la concentración de acuerdo al riesgo por cromo.

Cr	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
Parámetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,037	0,037	0,037	0,037
PUFr	0,00018	0,00018	0,00018	0,00018
PUFv	0,00014	0,00014	0,00014	0,00014
TOXo (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	1,5	1,5	1,5	1,5
TOXd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,03	0,03	0,03	0,03
Kd (mL g ⁻¹)	2200	100	2200	100
Kd (mL g ⁻¹) ⁽¹⁾		86		86

⁽¹⁾ Valores de Coeficientes de Partición (Kd) actualizados.

Tabla 7. Parámetros para la entrada de datos en el programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc para el cálculo de la concentración de acuerdo al riesgo por cobalto.

Co	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
Parámetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,002	0,002	0,002	0,002
PUFv	0,005	0,005	0,005	0,005
PUFr	0,00037	0,00037	0,00037	0,00037
TOXo (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,06	0,06	0,06	0,06
TOXd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,026	0,026	0,026	0,026
Kd (mL g ⁻¹)	55	81	55	81
Kd (mL g ⁻¹) ⁽¹⁾		85,5		85,5

⁽¹⁾ Valores de Coeficientes de Partición (Kd) actualizados.

Tabla 8. Parámetros para la entrada de datos en el programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc para el cálculo de la concentración de acuerdo al riesgo por cobre.

Cu	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
Parámetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,31	0,226	0,31	0,226
PUFg ⁽¹⁾		0,314		0,314
PUFv	0,0034	0,0043	0,0034	0,0043
PUFv ⁽¹⁾		0,0429		0,0429
PUFr	0,027	0,027	0,027	0,027
TOXo (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,04	0,04	0,04	0,04
TOXd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,039	0,039	0,039	0,039
Kd (mL g ⁻¹)	22	744	22	744
Kd (mL g ⁻¹) ⁽¹⁾		471,5		471,5

⁽¹⁾ Valores de Factor de Absorción por Plantas (PUF) y de Coeficientes de Partición (Kd) actualizados.

Tabla 9. Parámetros para la entrada de datos en el programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc para el cálculo de la concentración de acuerdo al riesgo por plomo.

Pb	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
Parámetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,05	0,05	0,05	0,05
PUFg ⁽¹⁾		0,0357		0,0357
PUFv	0,008	0,00053	0,008	0,00053
PUFv ⁽¹⁾		0,0054		0,0054
PUFr	0,0061	0,0061	0,0061	0,0061
TOXo (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,0036	0,0036	0,0036	0,0036
TOXd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,0036	0,0036	0,0036	0,0036
Kd (mL g ⁻¹)	99	2520	99	2520
Kd (mL g ⁻¹) ⁽¹⁾		1190		1190

⁽¹⁾ Valores de Factor de Absorción por Plantas (PUF) y de Coeficientes de Partición (Kd) actualizados.

Tabla 10. Parámetros para la entrada de datos en el programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc para el cálculo de la concentración de acuerdo al riesgo por mercurio.

Hg	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
Parámetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,26	0,26	0,26	0,26
PUFv	0,061	0,3946	0,061	0,3946
PUFv ⁽¹⁾		3,946		3,946
PUFr	0,082	0,1573	0,082	0,1573
PUFr ⁽¹⁾		1,291		1,291
TOXo (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
TOXd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,000021	0,000021	0,000021	0,000021
Kd (mL g ⁻¹)	330	3300	330	3300
Kd (mL g ⁻¹) ⁽¹⁾		118515		118515

⁽¹⁾ Valores de Factor de Absorción por Plantas (PUF) y de Coeficientes de Partición (Kd) actualizados.

Tabela 11. Parámetros para la entrada de datos en el programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc para el cálculo de la concentración de acuerdo al riesgo por molibdeno.

Mo	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
Parámetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,22	0,22	0,22	0,22
PUFr	0,018	0,018	0,018	0,018
PUFv	0,11	0,11	0,11	0,11
TOXo (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,005	0,005	0,005	0,005
TOXd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,005	0,005	0,005	0,005
Kd (mL g ⁻¹)	20	20	20	20

Tabla 12. Parámetros para la entrada de datos en el programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc para el cálculo de la concentración de acuerdo al riesgo por níquel.

Ni	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
Parámetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,05	0,05	0,05	0,05
PUFv	0,015	0,00134	0,015	0,00134
PUFv ⁽¹⁾		0,0135		0,0135
PUFr	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086
TOXo (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,02	0,02	0,02	0,02
TOXd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,00014	0,00014	0,00014	0,00014
Kd (mL g ⁻¹)	63	179	63	179
Kd (mL g ⁻¹) ⁽¹⁾		110		110

⁽¹⁾ Valores de Factor de Absorción por Plantas (PUF) y de Coeficientes de Partición (Kd) actualizados.

Tabla 13. Parámetros para la entrada de datos en el programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc para el cálculo de la concentración de acuerdo al riesgo por selenio.

Se	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
Parámetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,57	0,57	0,57	0,57
PUFr	0,093	0,093	0,093	0,093
PUFv	0,088	0,088	0,088	0,088
TOXo (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,005	0,005	0,005	0,005
TOXd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,005	0,005	0,005	0,005
Kd (mL g ⁻¹)	2,7	2,7	2,7	2,7
Kd (mL g ⁻¹) ⁽¹⁾		54,35		54,35

⁽¹⁾ Valores de Coeficientes de Partición (Kd) actualizados.

Tabela 14. Parámetros para la entrada de datos en el programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc para el cálculo de la concentración de acuerdo al riesgo por vanadio.

V	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
Parámetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,007	0,007	0,007	0,007
PUFv	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
PUFr	0,00086	0,00086	0,00086	0,00086
TOXo (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,007	0,007	0,007	0,007
TOXd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,00021	0,00021	0,00021	0,00021
Kd (mL g ⁻¹)	11	11	11	11

Tabela 15. Parámetros para la entrada de datos en el programa Etrace Express para fertilizantes fosfatados y micronutrientes conteniendo zinc para el cálculo de la concentración de acuerdo al riesgo por zinc.

Zn	Fertilizantes			
	Fosfatados		Micronutrientes conteniendo Zinc	
Parámetros	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)	TFI (2000)	Guilherme e Marchi (2007)
PUFg	0,58	1,503	0,58	1,503
PUFg ⁽¹⁾		1,91		1,91
PUFv	0,17	0,028	0,17	0,028
PUFv ⁽¹⁾		0,281		0,281
PUFr	0,056	0,056	0,056	0,056
TOXo (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,3	0,3	0,3	0,3
TOXd (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	0,24	0,24	0,24	0,24
Kd (mL g ⁻¹)	16	129	16	129
Kd (mL g ⁻¹) ⁽¹⁾		105,2		105,2

⁽¹⁾ Valores de Factor de Absorción por Plantas (PUF) y de Coeficientes de Partición (Kd) actualizados.

Ecuación de Concentración con Base en el Riesgo (RBC)

La ecuación de RBC fue establecida a partir de prácticas de riesgo y parámetros de exposición. La ecuación modelo para calcular el riesgo combina 3 factores: la estimativa del contacto por la exposición después de la aplicación, la toxidez del elemento de interés y la concentración del elemento traza en el medio de interés (i.e., fertilizante). En un cálculo inverso de riesgo, la ecuación es reconfigurada para llegar a la RBC usando una estimativa del potencial de exposición, toxidez y un nivel aceptable de riesgo. Con el cálculo inverso del riesgo es posible estimar la concentración límite del elemento traza en el fertilizante para el cual los riesgos a la salud son aceptables. Un nivel aceptable del riesgo es, en este caso, relativo a una concentración de elementos traza límite, cuyo potencial de causar efectos adversos es mínimo.

La ecuación para una propiedad agrícola con un grupo de cultivos (granos, vegetales o raíces) es presentada a seguir. La ecuación integra las 3 rutas potenciales de exposición:

$$RBC = \frac{TR \text{ o } THI}{SACF * \{AR * 1 / FON * [(\frac{ED * EF * IRs * RAFs * CF}{BW * AT} * TOX) + (\frac{ED * EF * SA * AF * ABS}{BW * AT} * TOX)] + \frac{TR \text{ o } THI}{(\frac{ED * EF * IRc * RAFC}{AT} * PUF * TOX)}}}$$

donde:

$$\frac{ED * EF * SA * AF * ABS * CF}{BW * AT} = \text{Factor de contaminación resumen (SIFd) Contacto del Suelo con la Piel / Fertilizante}$$

$$\frac{ED * EF * IRs * RAFs * CF}{BW * AT} = \text{Factor de contaminación resumen (SIFsi) Ingestión Involuntaria del Suelo / Fertilizante}$$

$$\frac{ED * EF * IRc * RAFC}{AT} = \text{Factor de contaminación resumen (SIFc) Ingestión de productos agrícolas}$$

TR o THI es el riesgo de cáncer o índice aceptable de peligro (adimensional). Los otros parámetros fueron definidos en la Tabla 1.

Ecuación 1. RBC de elementos traza en fertilizantes para una propiedad agrícola con un grupo de cultivo.

La ecuación de la RBC para escenarios de propiedades agrícolas con varios grupos de cultivos es más complicada que para aquellas con un grupo de cultivos porque los 3 grupos de cultivos están integrados en una ecuación. Entretanto, cada grupo tiene un AR y un PUF diferente. La ecuación RBC para el escenario de propiedades agrícolas con varios grupos de cultivos es presentada a seguir. Note la presencia de un nuevo factor, Fracción de Área (FOL), en la ecuación. La FOL es usada para fraccionar la adición de MOPC al suelo por las diferentes razones de aplicación para diferentes grupos de cultivos. Note también el uso de SIFs en la ecuación. Los SIFs son factores de aporte que fueron generados para una propiedad agrícola con un grupo de cultivo en la Ecuación 1.

$$RBC = \frac{TR \text{ o } THI}{SACF * \{AR_v * 1 / FON * [(SIF_s * TOX + SIF_d * TOXd) * FOL_v] + PUF_v * SIF_v * TOX\} + \frac{TR \text{ o } THI}{\{AR_r * 1 / FON * [(SIF_s * TOX + SIF_d * TOXd) * FOL_r] + PUF_r * SIF_r * TOX\} + \frac{TR \text{ o } THI}{\{AR_g * 1 / FON * [(SIF_s * TOX + SIF_d * TOXd) * FOL_g] + PUF_g * SIF_g * TOX\}}$$

Ecuación 2. La RBC para propiedades agrícolas con varios grupos de cultivos.

Etrace Express

La presentación del programa es compuesta de cuatro pestañas, donde las dos primeras son dedicadas a la entrada de datos, la tercera a los resultados de los cálculos de las RBCs y la cuarta a los créditos del equipo que desarrollo el programa (Figuras 4 a 6). En la primera guía, intitulada configuración, son escogidos los parámetros que definen los escenarios, los principales fertilizantes y cultivos que serán utilizados en el cálculo de la RBC y uno de entre los 12 elementos traza pasibles de estudio por este programa.

The screenshot shows the 'Configuração' (Configuration) tab of the Etrace Express software. The main title is 'Cálculo da Concentração Baseada em Risco'. The interface is divided into several sections with radio button options:

- Fertilizante:**
 - Fosfatados
 - Com micronutrientes contendo Zinco
- Cenário de propriedades agrícolas:**
 - Um grupo de cultura
 - Vários grupos de culturas
- Categoria:**
 - Adulto
 - Criança
- Culturas:**
 - Grãos
 - Vegetais
 - Raízes
- Metais:**
 - Arsênio
 - Cádmio
 - Cromo
 - Cobalto
 - Cobre
 - Chumbo
 - Mercúrio
 - Molibdênio
 - Níquel
 - Selênio
 - Vanádio
 - Zinco

Figura 4. Guia de configuração del programa Etrace Express.

The screenshot shows the 'Entrada de Dados' (Data Entry) tab of the Etrace Express software. The main title is 'Cálculo da Concentração Baseada em Risco'. The interface contains numerous input fields for various parameters:

- Taxa de Aplicação (kg/ha-ano):
- Fração do Nutriente no Fertilizante (Adimensional):
- Duração da Exposição (anos):
- Frequência da Exposição (dias/ano):
- Massa Corporal (kg):
- Taxa de Ingestão do Solo (mg/dia):
- Área da Pele Exposta (cm²/evento-dia):
- Fator de Aderência (mg/cm²):
- Fator de Absorção Relativa Via Solo (Adimensional):
- Fator de Absorção Relativa (Adimensional):
- Ingestão de Produtos Agrícolas (kg/dia):
- Fator de Absorção Dermal (Adimensional):
- Fator de Absorção pela Planta (Adimensional):
- Toxicidade Oral (mg/kg-dia):
- Toxicidade Dermal (mg/kg-dia ou mg/kg-dia⁻¹):
- Profundidade de Cultivo do Solo (cm):
- Densidade Global do Solo (g/cm³):
- Irrigação Média Anual (cm/ano):
- Precipitação (cm/ano):
- Evapotranspiração Média Anual (cm/ano):
- Tempo de Aplicação (anos):
- Coefficiente de Partição solo-água (mL/g):

A 'Calcular' button is located at the bottom right of the form.

Figura 5. Guia de Entrada de Dados del programa Etrace Express.

The screenshot shows the 'Etrace Express' application window titled 'Cálculo da Concentração Baseada em Risco'. The interface includes a menu bar with 'Configuração', 'Entrada de Dados', 'Resultado', and 'Créditos'. The main content area displays the following configuration details:

- Fertilizante : Fosfatados
- Cenário de Propriedade Agrícola : Um grupo de cultura
- Categoria : Adulto
- Metal : Arsénio
- Cultura: Grãos
- RBC (mg do Metal/kg do Produto) : [Empty field]

Figura 6. Guía de resultados del programa Etrace Express.

En la guía entrada de datos (Figura 5) son adicionados los valores que fueron presentados en las tablas 2 a 14, y que serán utilizados en el cálculo de la concentración con base en el riesgo, conforme las ecuaciones 1 ó 2.

La guía de resultados (Figura 6) presenta un resumen de las configuraciones escogidas y el resultado del cálculo de la RBC relacionado a los datos aportados en las guías configuración y entrada de datos.

Después del llenado de las guías, caso fuesen seguidas las sugerencias de valores conforme las Tablas 2 a 15, que son los valores utilizados en los estudios de caso presentados por el TFI (2000) o por el caso brasileño (GUILHERME; MARCHI, 2007), las RBCs unitarias para fertilizantes fosfatados o micronutrientes conteniendo zinc deben ser los presentados en la Tabla 16, para fertilizantes fosfatados, y Tabla 17, para micronutrientes.

Tabla 16. Concentraciones a partir del riesgo unitario⁽¹⁾ para fertilizantes fosfatados considerando aplicaciones anuales durante 30 años y las dosis de fósforo presentadas en la Tabla 3.

Escenario	Arsénico, carcinogénico	Cadmio	Cromo	Cobalto	Cobre	Plomo	Mercurio	Molibdenio	Níquel	Selenio	Vanadio	Zinc
	Adulto	Niño										
Brasil ⁽²⁾	2,9	5,8	81470	6389	165	85	0,6	216	435	582	10064	388
Brasil ⁽³⁾	2,9	1,8	91602	6105	132	110	0,1	216	579	31	10064	350
TFI	4,5	23	34000	3100	280	73	0,9	42	350	120	2200	1200

⁽¹⁾ RBCs unitarias (mg kg⁻¹).

⁽²⁾ Datos provenientes de Guilherme y Marchi (2007).

⁽³⁾ Datos actualizados.

Tabla 17. Concentraciones a partir del riesgo unitarias⁽¹⁾ para fertilizantes conteniendo zinc como micronutriente considerando aplicaciones anuales durante 30 años y las dosis de zinc presentadas en la Tabla 3.

Escenario	Arsénico, carcinogénico	Cadmio	Cromo	Cobalto	Cobre	Plomo	Mercurio	Molibdenio	Níquel	Selenio	Vanadio	Zinc
	Adulto	Niño										
Brasil ⁽²⁾	128	351	3195903 ⁽³⁾	277481	6531	3818	31	8575	19556	23919	483249	14418
Brasil ⁽⁴⁾	128	70	3593365	265141	5133	5194	12	8575	26231	1257	483249	13013
TFI	38	210	220000	23000	1800	500	6,5	300	2600	800	17000	8600

⁽¹⁾ RBCs unitarios (mg kg⁻¹).

⁽²⁾ Datos provenientes de Guilherme y Marchi (2007).

⁽³⁾ Un valor de RBC unitario mayor que 1.000.000 mg de Cr kg⁻¹ de fertilizante es, en la práctica, imposible. Este valor revela, entretanto, que el límite de seguridad para Cr (III) es bastante elevado.

⁽⁴⁾ Datos actualizados.

Concentraciones con base en el riesgo unitario representan 1% de la fracción de nutrientes (FON). Las concentraciones de los elementos traza en los fertilizantes deben estar en la misma unidad de las RBCs para que pueda hacerse una comparación directa. Las RBCs y la base de datos de metales en fertilizantes son relatadas en mg de elemento

traza por kg de fertilizante (i.e., parte por millón o ppm). No obstante, antes que se pueda comparar la concentración de un elemento traza en un fertilizante a una RBC unitaria, la concentración de elementos traza en el fertilizante debe ser ajustada para la misma fracción de nutrientes (FON) de la RBC (1%). La concentración de elementos traza en fertilizantes es ajustada por su división por la concentración porcentual de P_2O_5 , para fertilizantes fosfatados o de Zn, para fuentes de Zn.

Como ejemplo, tómate el análisis de un fertilizante fosfatado (4-14-8) publicado por Alcarde y Vale (2003), en que su tenor total de Zn y de Cu eran, respectivamente 4616 y 253 mg kg^{-1} . Como el fertilizante (4-14-8) posee 14% de P_2O_5 , dividiéndose las concentraciones de Zn y de Cu por 14, tenemos 329,71 y 18,07 mg kg^{-1} a cada 1% de P_2O_5 . Comparándose los valores del fertilizante 4-14-8 ajustado para 1% de P_2O_5 a las RBCs unitarias para Zn y Cu para el caso brasileño 388 y 165 mg kg^{-1} a cada 1% de P_2O_5 para Zn y Cu, respectivamente (Tabla 16) (GUILHERME; MARCHI, 2007), verificase que los valores presentes en el fertilizante son menores que la RBC unitaria, por tanto, el fertilizante es seguro para utilización agrícola.

Requisitos del sistema

Microsoft Windows a partir de la versión 98.

Dónde encontrar el programa?

www.cpac.embrapa.br/publico/usuarios/uploads/Downloads/Softwares/Etrace/Etrace.zip

Referencias

ALCARDE, J.C. VALE, F. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:363-372, 2003.

GUILHERME, L.R.G. ; MARCHI, G. **Metais em fertilizantes inorgânicos**: Avaliação de risco à saúde após a aplicação. São Paulo: ANDA, 2007. 154 p. Disponível em <http://www.anda.org.br/publicacoes.aspx>. Acesso em 02 de fevereiro de 2010.

THE FERTILIZER INSTITUTE – TFI. **Health risk evaluation of select metals in inorganic fertilizers post application**, Prepared for The Fertilizer Institute, The Weinberg Group, January 16, 2000. Disponível em: <http://aapfco.org/tfiRiskStd.pdf>. Acesso em 02 de fevereiro de 2010.

Etrace Express: software for risk analysis of trace elements in inorganic fertilizers – user’s manual and reference guide

Abstract

Trace Elements are generally present in inorganic fertilizers as contaminants. There are however some trace elements that are plant nutrients and are intentionally included in fertilizer formulations. It is acknowledged that exposure to high levels of trace elements (nutrients or not) might pose a health risk to humans. This risk may be estimated by assessment models. Thus, this work presents a tool, the software Etrace Express, for easy calculation of Risk Based Concentrations of trace elements in inorganic fertilizers, which suggest safe limits for agricultural use. The main purpose of this software was to calculate values of trace element concentrations in inorganic fertilizers that may, flexibly, be used by regulators aiming to protect the human health. Etrace Express follows the same approach shown in the document prepared by The Fertilizer Institute (TFI, United States) for the US scenario, entitled “Health Risk Evaluation of Selected Metals in Inorganic Fertilizers Post Application”. RBCs calculated by Etrace Express using data from the TFI and from a Brazilian scenario reports were identical to the original. Additionally, the software allows customization of parameters for specific scenarios, very rapidly.

Index terms: heavy metals, soil contamination, food safety.

Etrace Express: programa para análise de risco de elementos-traço em fertilizantes inorgânicos – manual e guia de referência

Resumo

Elementos-traço estão presentes geralmente em fertilizantes inorgânicos como produtos secundários ou contaminantes. Há, entretanto, alguns elementos-traço que são nutrientes de plantas e são incluídos em formulações de fertilizantes intencionalmente. Sabe-se que a exposição a altos níveis de elementos-traço (nutrientes ou não) podem causar risco à saúde para humanos. Este risco pode ser estimado por modelos de avaliação. Desta forma, este trabalho apresenta uma ferramenta, o programa Etrace Express, para fácil cálculo de Concentrações Baseadas em Risco de elementos-traço em fertilizantes inorgânicos, os quais sugerem limites seguros para uso agrícola. A principal proposta desta versão é a de calcular valores de concentrações de elementos-traço em fertilizantes inorgânicos que possam, com flexibilidade, ser usadas por órgãos reguladores com objetivo de proteger a saúde humana. O programa Etrace Express segue a mesma metodologia do documento preparado para o The Fertilizer Institute (TFI, United States) para o cenário norte-americano, intitulado “Health Risk Evaluation of Selected Metals in Inorganic Fertilizers Post Application”. Concentrações baseadas em risco calculadas pelo Etrace Express usando dados provindos dos documentos do TFI e do cenário brasileiro foram idênticos aos originalmente publicados. Adicionalmente, o programa permite personalizar parâmetros para cenários específicos com muita rapidez.

Termos de indexação: metais pesados, contaminação do solo, segurança alimentar, plataforma Delphi.

Embrapa

Cerrados

Ministerio de
Agricultura, Ganadería
y Abastecimiento

