



# **SIMULACIÓN DE LA RESPUESTA DE LA INTERACCIÓN DE LOS RAYOS CÓSMICOS CON LOS DISPOSITIVOS EXPLOSIVOS IMPROVISADOS EN COLOMBIA.**

**Autores:**

Marcos Carrillo Moreno.

Ariza-Gómez M ., Baldovino V ., Núñez L.A ., Vásquez-Ramírez A.

Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

marcos\_09-12@hotmail.com



## ¿QUÉ SON LOS IEDs?



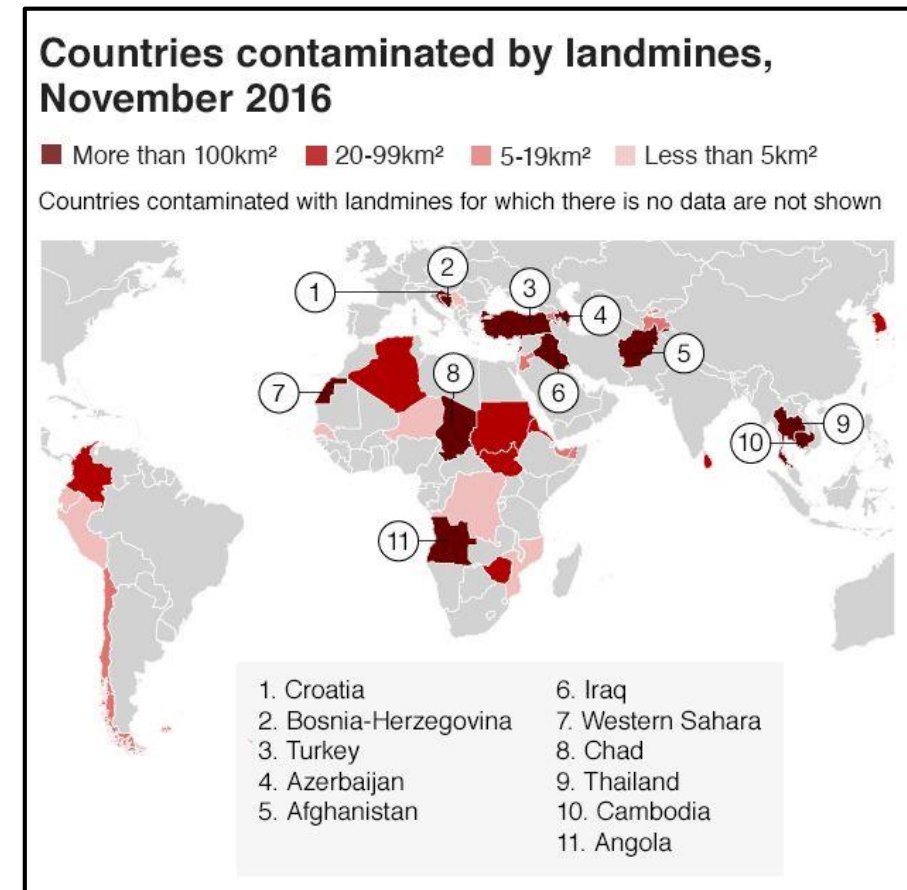
**Figura 1:** IED – Dispositivo explosivo improvisado hecho de botella de plástico, teléfono móvil, batería de 9V, detonador y explosivos a base de fertilizante (18) (PDF) *Designing for Violence. And its undoing*. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/319559857\\_Designing\\_for\\_Violence\\_And\\_its\\_undoing](https://www.researchgate.net/publication/319559857_Designing_for_Violence_And_its_undoing).

## ¿QUÉ SON LOS IEDs?



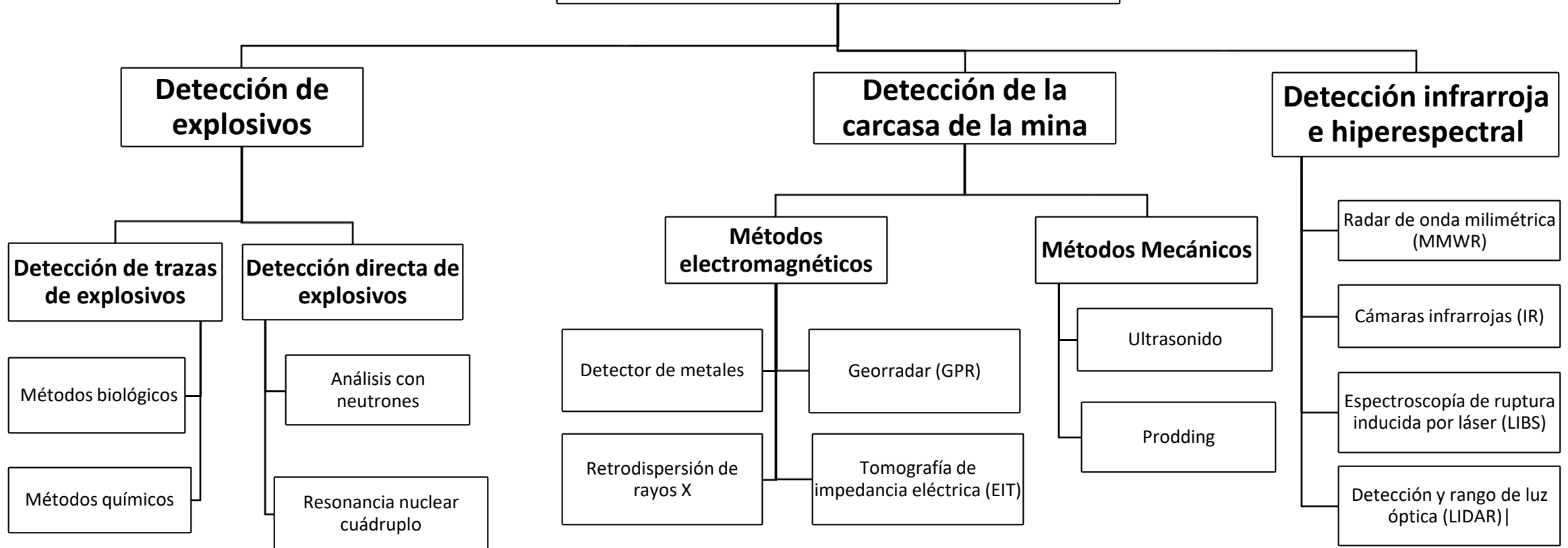
**Figura 1:** IED – Dispositivo explosivo improvisado hecho de botella de plástico, teléfono móvil, batería de 9V, detonador y explosivos a base de fertilizante (18) (PDF) *Designing for Violence. And its undoing*. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/319559857\\_Designing\\_for\\_Violence\\_And\\_its\\_undoing](https://www.researchgate.net/publication/319559857_Designing_for_Violence_And_its_undoing).

## IMPACTO EN EL MUNDO

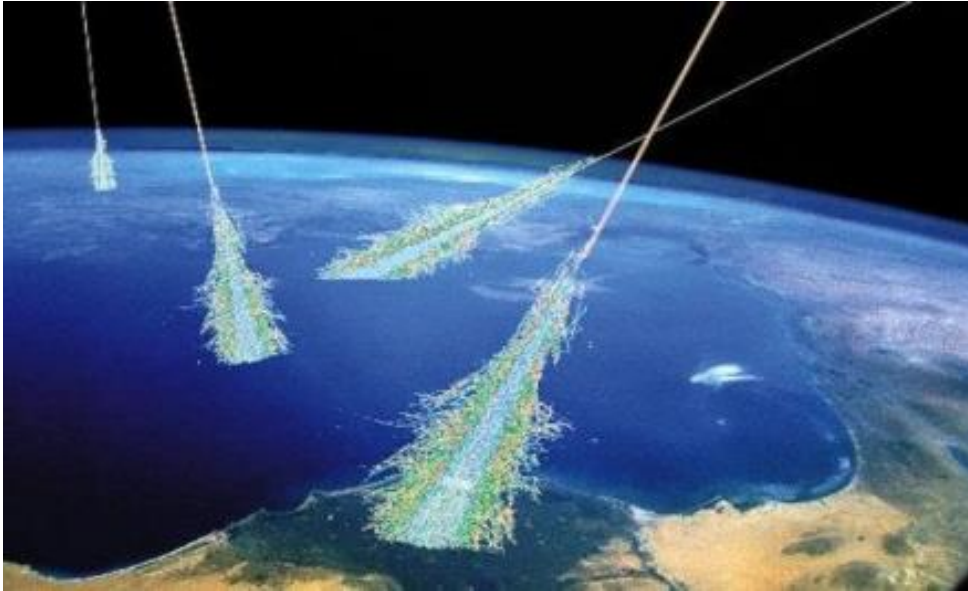


**Figura 2.** Países afectados por minas las minas antipersona, Fuente Landmine and Cluster Munition Monitor, y la BBC

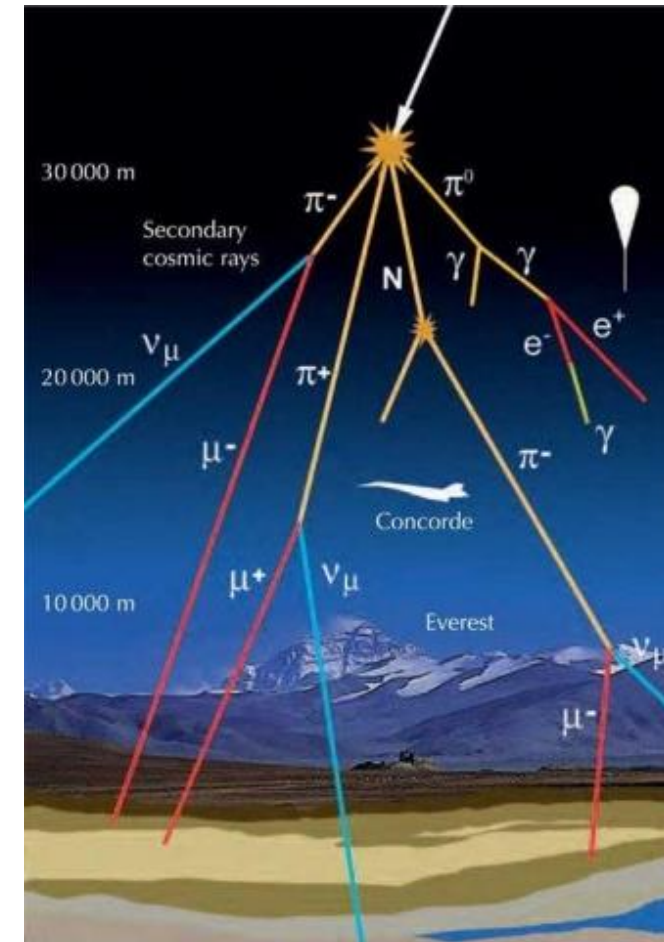
# Técnicas para la detección de minas antipersona



# RAYOS CÓSMICOS



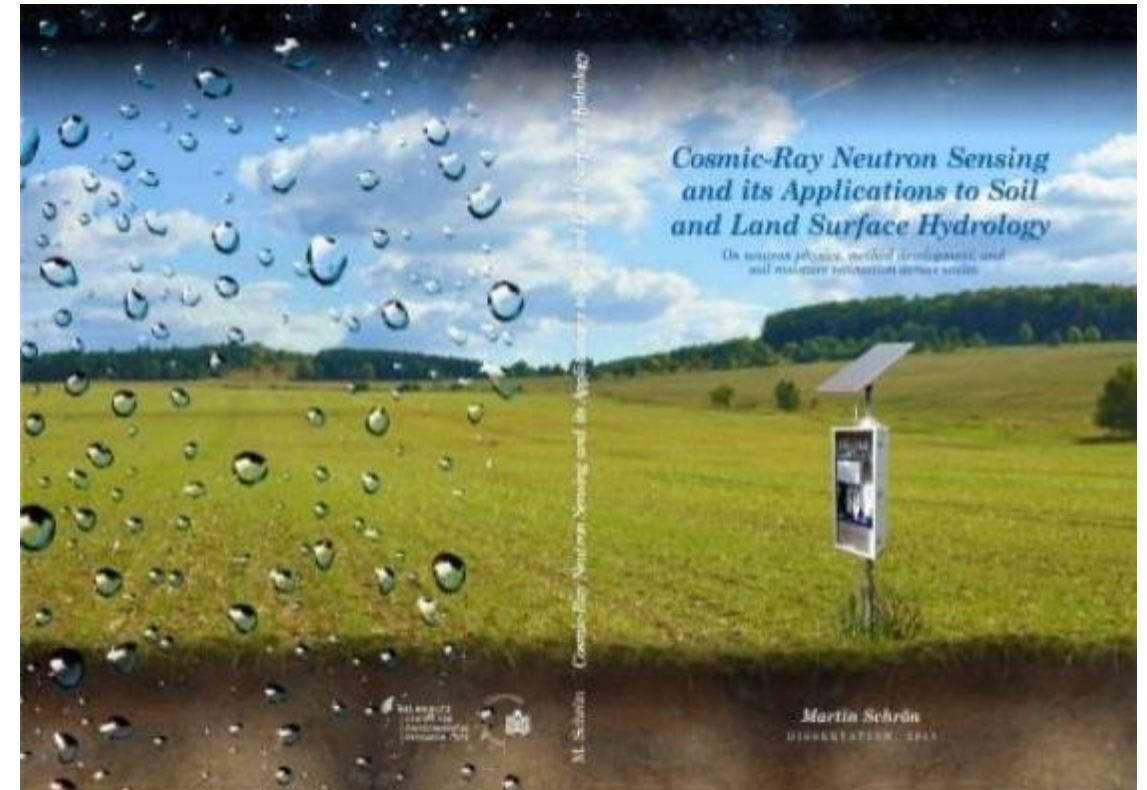
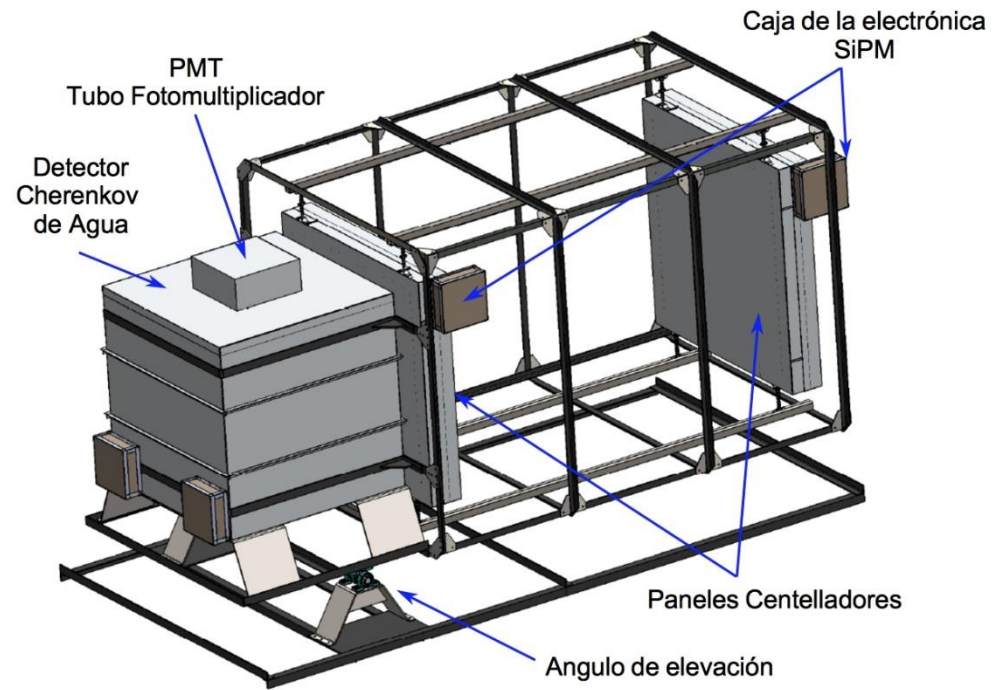
**Figura 9.** Otra representación visual de la interacción de los rayos cósmicos con la atmosfera terrestre generando una gran cantidad de partículas denominadas secundarias. Tomado de <https://startswithabang.tumblr.com/post/187206080441/cosmic-rays-are-more-energetic-than-lhc-particles>



**Figura 10.** Esquema que muestra como se generan las partículas secundarias al interactuar con la atmosfera, la cantidad de partículas secundarias que se generan depende de la altura y de otros factores. tomado de [http://wiki.stoa.usp.br/O\\_que\\_é\\_o\\_Observatório\\_Auger\\_na\\_Argentina%3F](http://wiki.stoa.usp.br/O_que_é_o_Observatório_Auger_na_Argentina%3F)



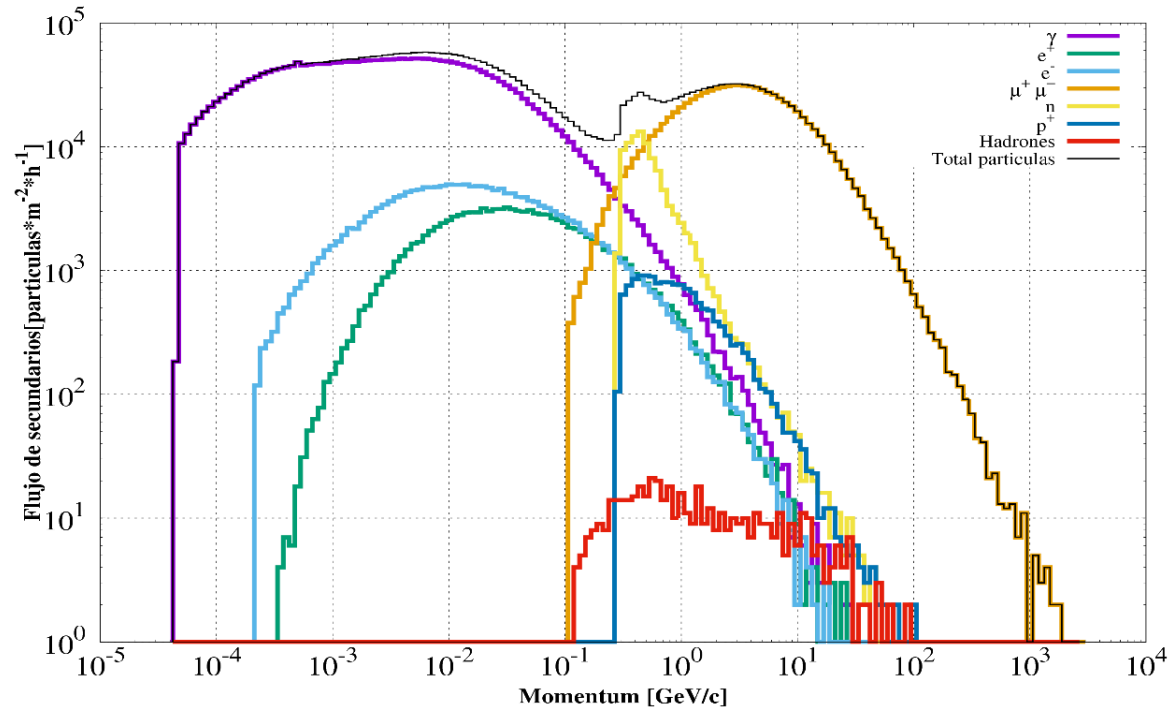
# ¿CUALES APLICACIONES TIENEN ACTUALMENTE LOS RAYOS CÓSMICOS?



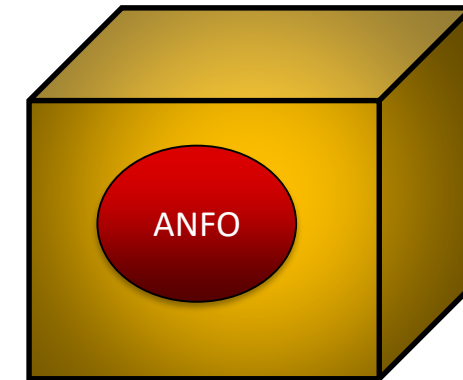
**Figura 11.** Diseño actual del telescopio MuTe, desarrollado por el grupo de investigación HALEY, proyecto que permitirá observar la estructura interna de la zona superior de los volcanes.

**Figura 12.** Portada del libro: Cosmic-Ray Neutron Sensing and its Applications to Soil and Land Surface Hydrology. Disponible en: [https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/39543/file/schroen\\_diss.pdf](https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/39543/file/schroen_diss.pdf)

# FLUJO DE FONDO DE SECUNDARIOS A NIVEL DE BUCARAMANGA



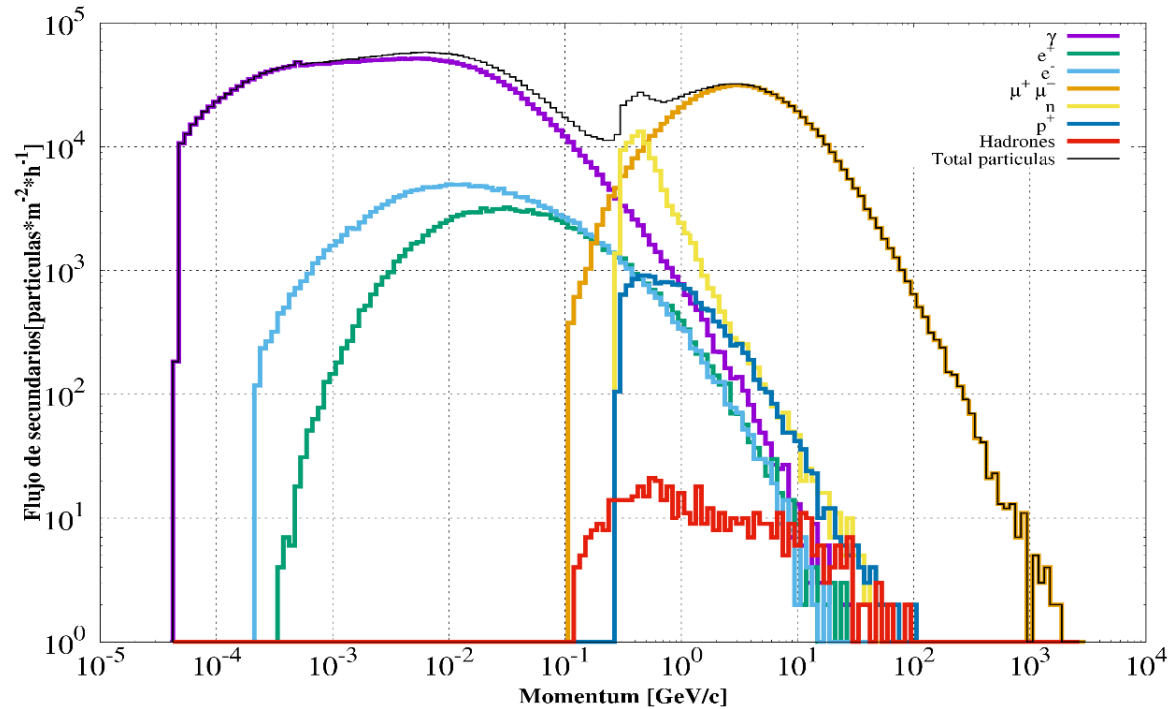
**Gráfico 1.** Espectro de secundarios producidos por una hora de flujo de rayos cósmicos a nivel del suelo de Bucaramanga (956 m s.n.m) tomado de: Jaimes-Motta, A.: *Estimación de la respuesta de un detector Cherenkov de agua al fondo de rayos cósmicos en Bucaramanga (956 m s.n.m)*. Tesis de Pregrado en Física, Universidad Industrial de Santander, 2018..



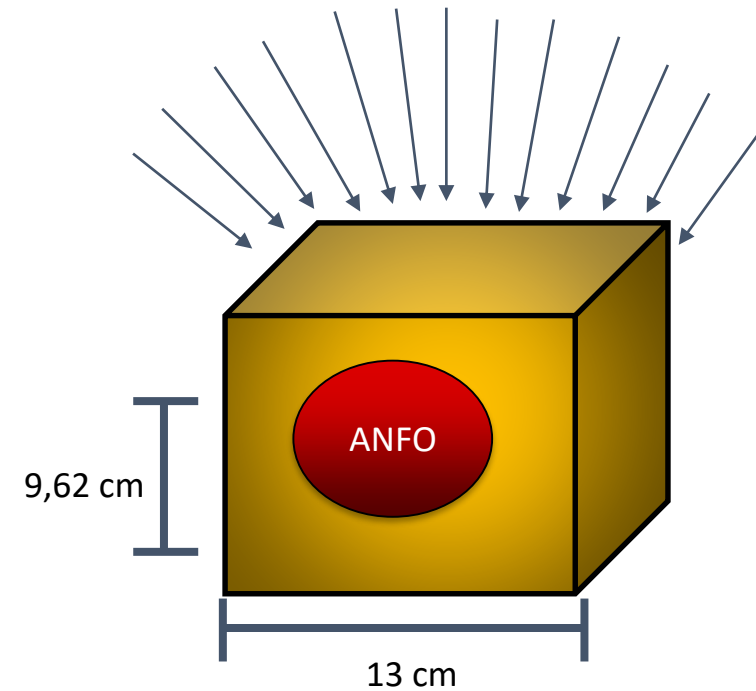
**Figura 13.** Componentes básicos encontrados en una mina antipersona. El flujo de secundarios entra por la parte superior a diferentes ángulos e interactúa con la mina.

Flujo de secundarios a nivel  
de Bucaramanga:  
 $4 \times 10^6 \frac{\text{Partículas}}{m^2 h}$

# FLUJO DE FONDO DE SECUNDARIOS A NIVEL DE BUCARAMANGA



**Gráfico 1.** Espectro de secundarios producidos por una hora de flujo de rayos cósmicos a nivel del suelo de Bucaramanga (956 m s.n.m) tomado de: Jaimes-Motta, A.: *Estimación de la respuesta de un detector Cherenkov de agua al fondo de rayos cósmicos en Bucaramanga (956 m s.n.m)*. Tesis de Pregrado en Física, Universidad Industrial de Santander, 2018..

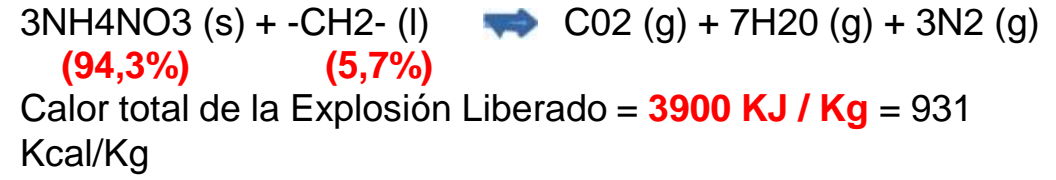
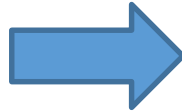


**Figura 13.** Componentes básicos encontrados en una mina antipersona. El flujo de secundarios entra por la parte superior a diferentes ángulos e interactúa con la mina.

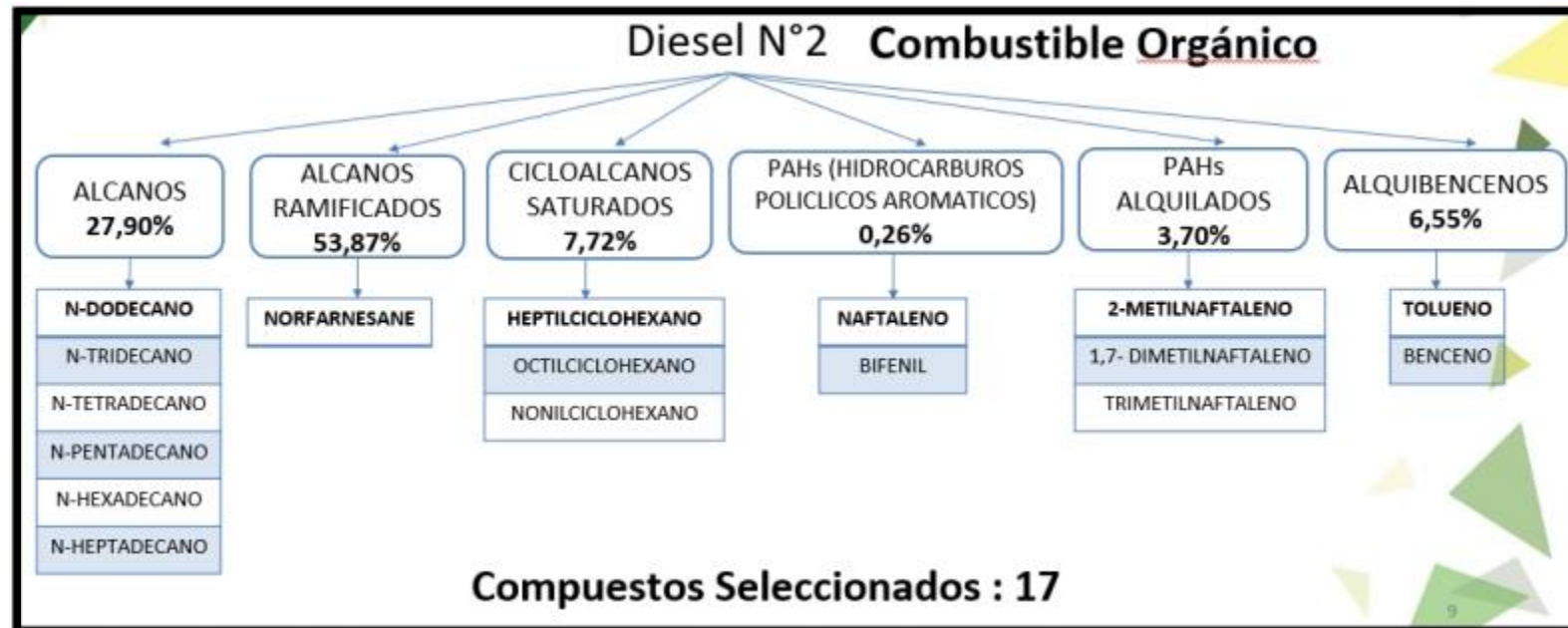
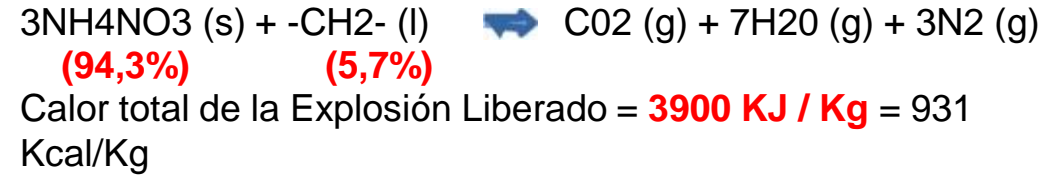
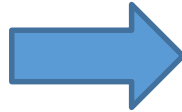
Flujo de secundarios a nivel  
de Bucaramanga:  
 $4 \times 10^6 \frac{\text{Partículas}}{m^2 h}$



# COMPOSICIÓN DE LOS DISPOSITIVOS EXPLOSIVOS IMPROVISADOS



# COMPOSICIÓN DE LOS DISPOSITIVOS EXPLOSIVOS IMPROVISADOS



**Figura 14.** Porcentaje de los grupos funcionales del fuel oil que se tomaron en cuenta para simular el diesel (componente del ANFO). Tomado de Liang, F., Lu, M., Keener, T. C., Liu, Z., & Khang, S. J. (2005). The organic composition of diesel particulate matter, diesel fuel and engine oil of a non-road diesel generator. *Journal of Environmental Monitoring*,

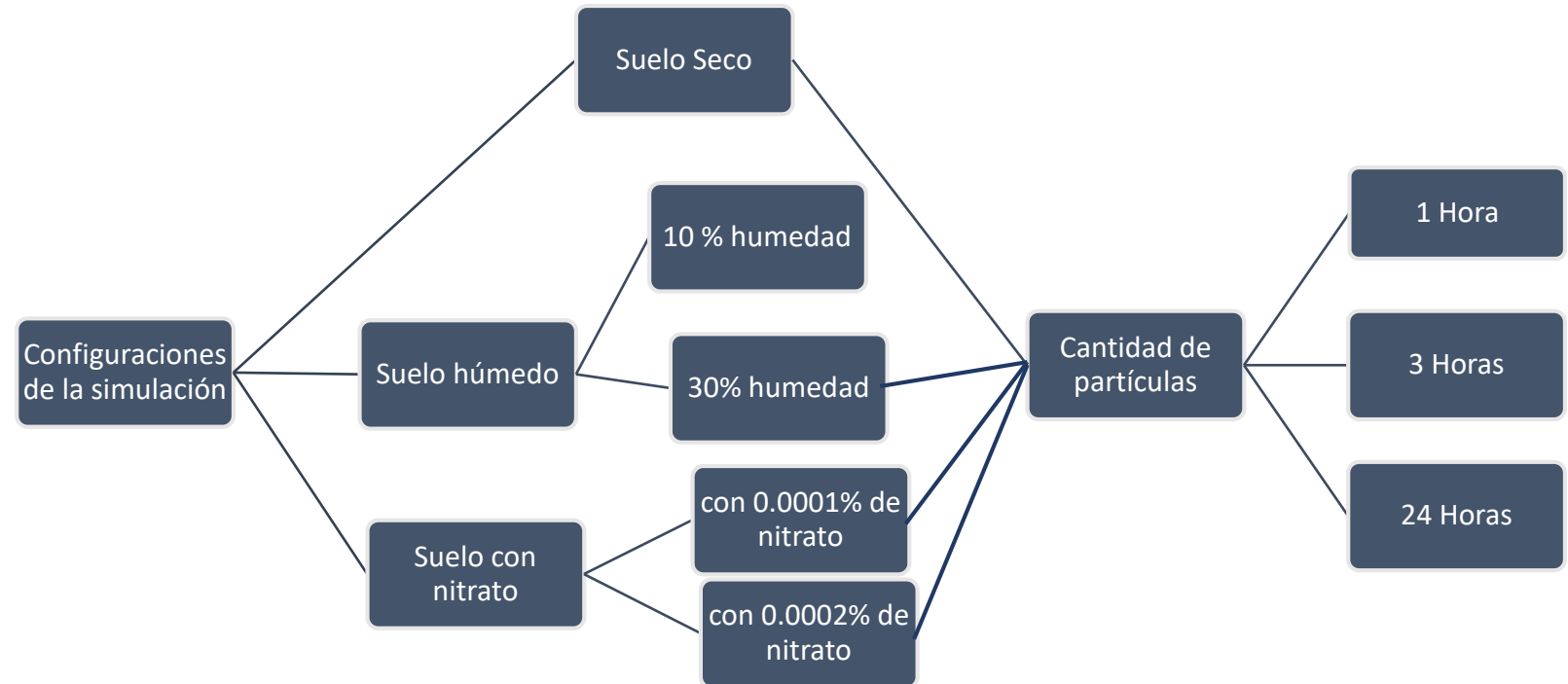
# METODOLOGÍA

## SIMULACIÓN DE LA INTERACCIÓN DEL FLUJO CON LA MINA

Elemento	Porcentaje en peso (%)
Oxigeno (O)	49
Silicio (Si)	33
Aluminio (Al)	7.13
Sodio (Na)	0.63
Potasio (K)	1.36
Calcio (Ca)	1.37
Hierro (Fe)	3.8
Magnesio (Mg)	0.6
Carbono (C)	2
Azufre (S)	0.08
Nitrógeno (N)	0.1
Fosforo (P)	0.09
Titanio (Ti)	0.46
Hidrogeno (H)	0.38

**Tabla 1.** Composición elemental del suelo simulado. Tomado de Juárez Sanz, M., Sánchez Andreu, J., & Sánchez Sánchez, A. (2006). *Química del suelo y medio ambiente* . San Vicente del Raspeig: Digitalia

Elemento	Porcentaje en peso (%)
Oxigeno (O)	49
Silicio (Si)	33
Aluminio (Al)	7.13
Sodio (Na)	0.63
Potasio (K)	1.36
Calcio (Ca)	1.37
Hierro (Fe)	3.8
Magnesio (Mg)	0.6
Carbono (C)	2
Azufre (S)	0.08
Nitrógeno (N)	0.1
Fosforo (P)	0.09
Titanio (Ti)	0.46
Hidrogeno (H)	0.38



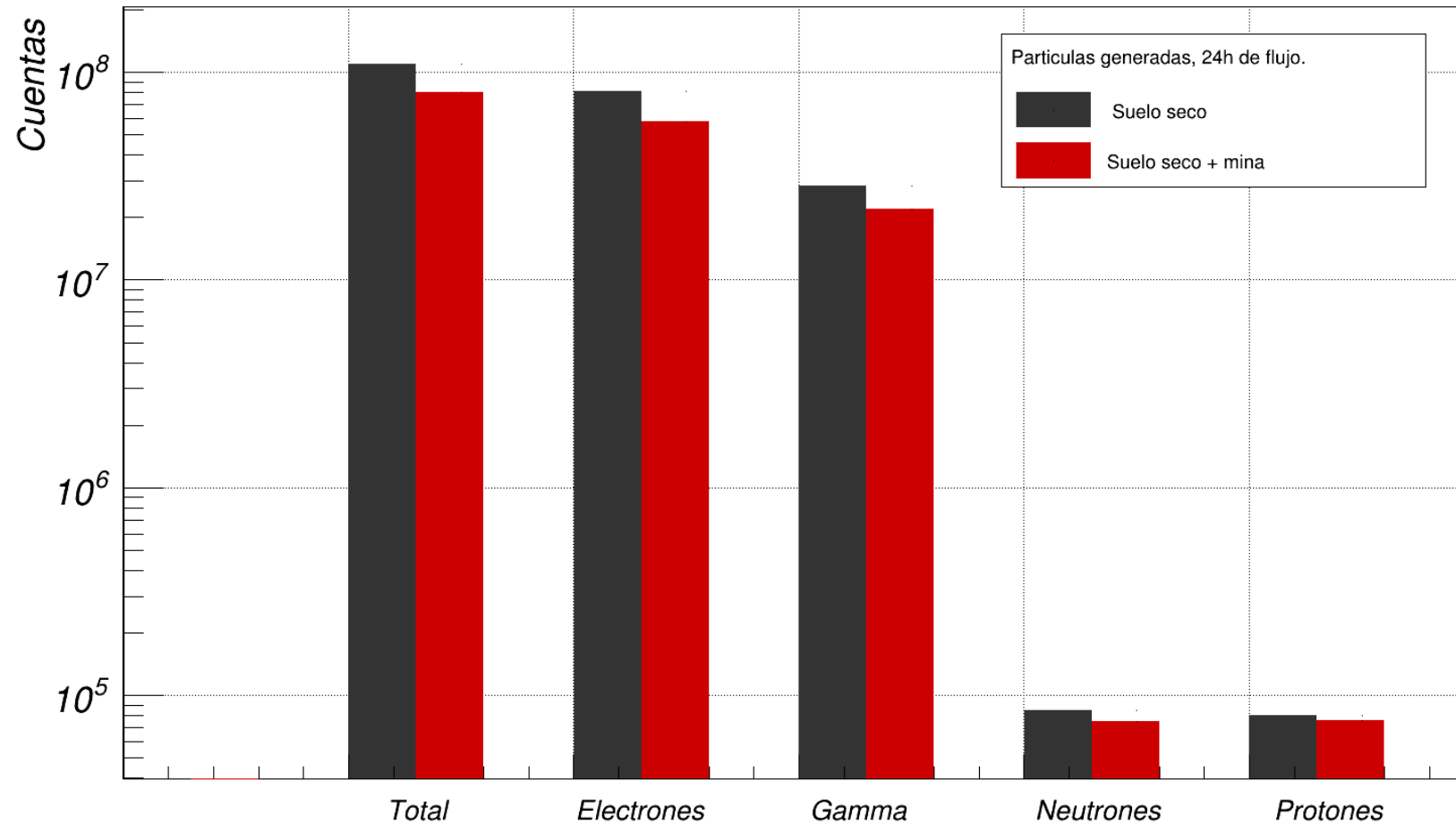
**Tabla 1.** Composición elemental del suelo simulado. Tomado de Juárez Sanz, M., Sánchez Andreu, J., & Sánchez Sánchez, A. (2006). *Química del suelo y medio ambiente*. San Vicente del Raspeig: Digitalia

# RESULTADOS Y ANÁLISIS

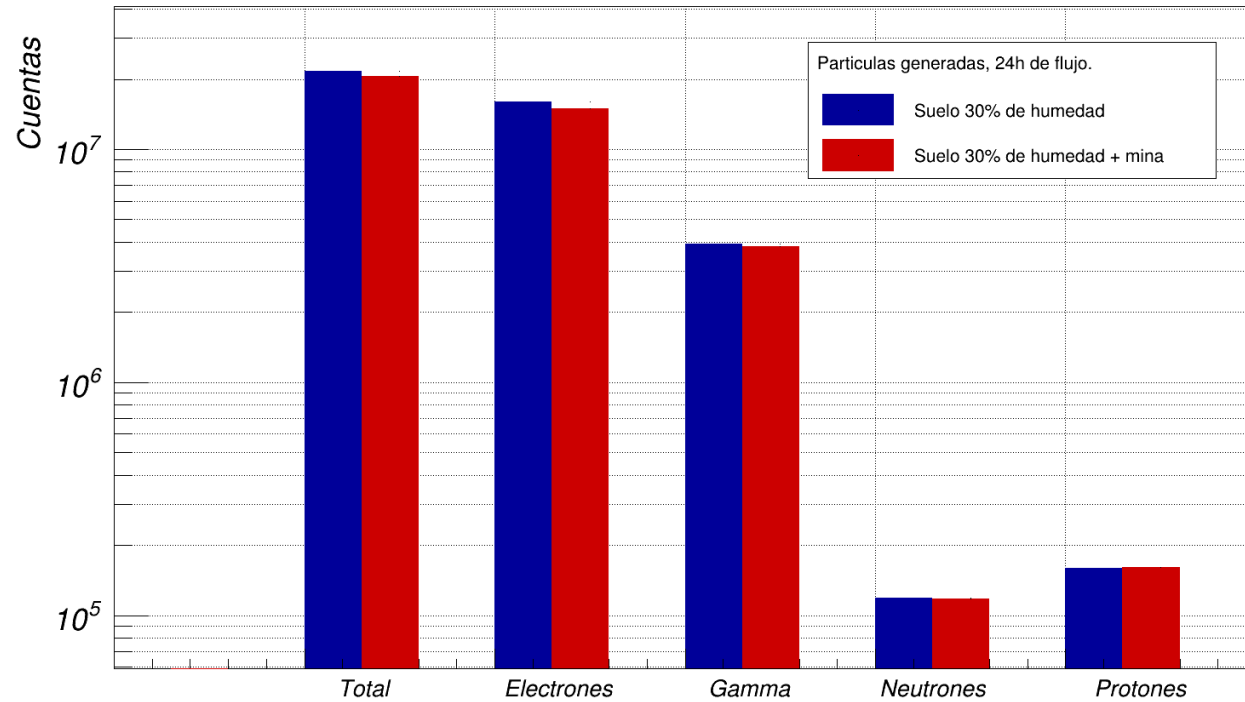
1. Partículas generadas por la interacción de los rayos cósmicos con la mina
2. Espectro de energía de las partículas generadas en la interacción.



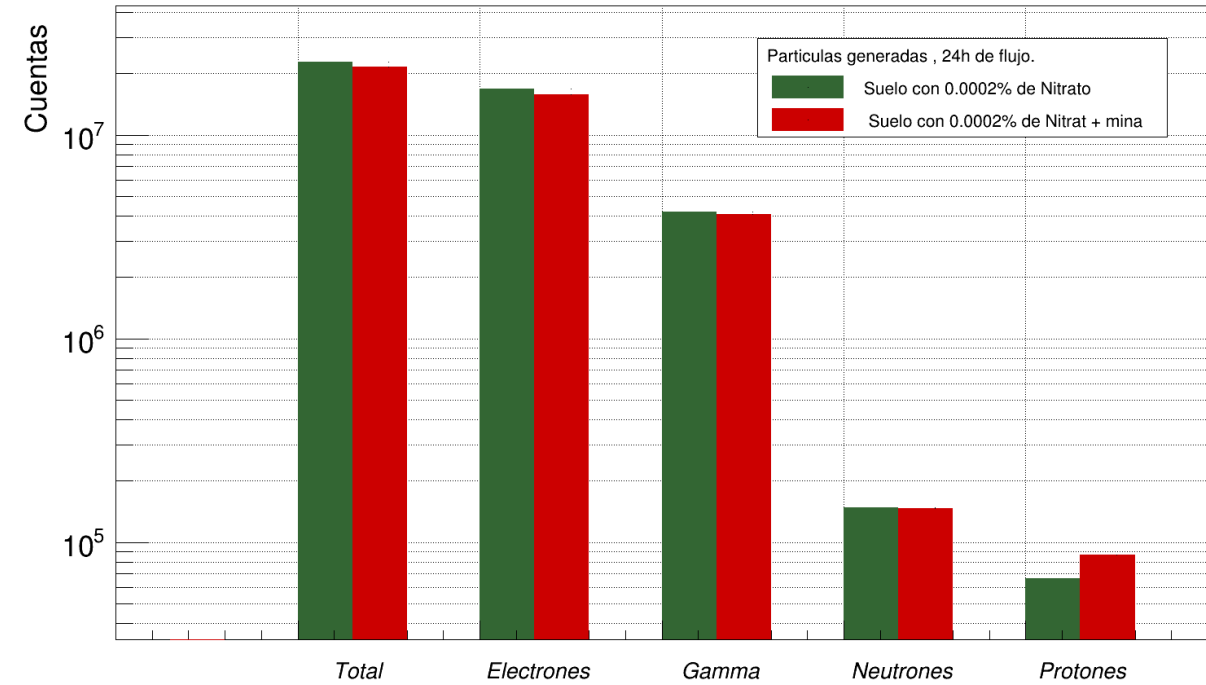
# 1. Partículas generadas por la interacción de los rayos cósmicos con la mina



**Grafico 2.** Comparación entre la cantidad de partículas generadas en la simulación usando suelo seco como suelo base. Se generaron 107.808.000 para el suelo seco y 78.561.000 partículas para el suelo seco con mina; el porcentaje de electrones es de 73.83% y 73.02%, el porcentaje de gamma es de 25.84% y 27.19%, de protones es de 0.077% y 0.093%, y de neutrones es de 0.072% y 0.094%.



**Grafico 3.** Comparación entre la cantidad de partículas generadas en la simulación usando suelo con 30% de humedad. Se generaron 21.475.500 para el suelo húmedo y 20.222.600 partículas para el suelo con mina; el porcentaje de electrones es de 73.42% y 73.54, el porcentaje de gamma es de 17.95% y 18.74%, el porcentaje de protones es de 0.54% y 0.58%, el porcentaje de neutrones es de 0.73% y 0.78%.



**Grafico 4.** Comparación entre la cantidad de partículas generadas en la simulación usando suelo con un 0.002%(P/P) de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  como suelo base. Se generaron 22.372.100 para el suelo con  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y 21.72.300 partículas para el suelo con mina; el porcentaje de electrones es de 73.95% y 73.27%, el porcentaje de gamma es de 18.25% y 18.76%, el porcentaje de protones es de 0.65% y 0.67%, el porcentaje de neutrones es de 0.29% y 0.39%.

## 2. Espectro de energía de las partículas generadas por la interacción.

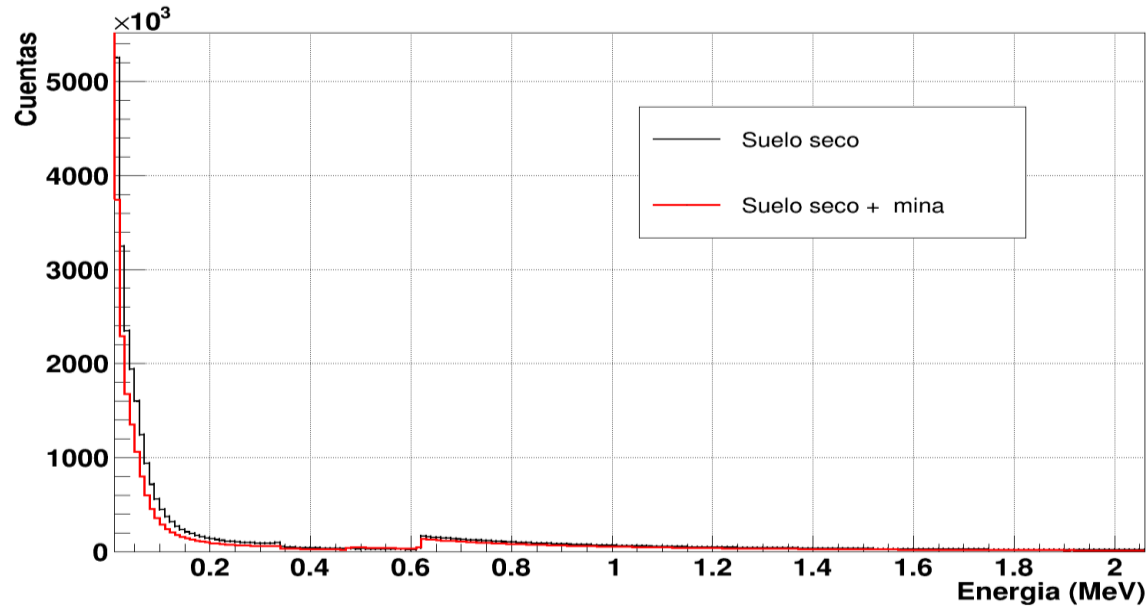


Gráfico 5. Energía de los electrones generados en la interacción después de 24h para el suelo seco

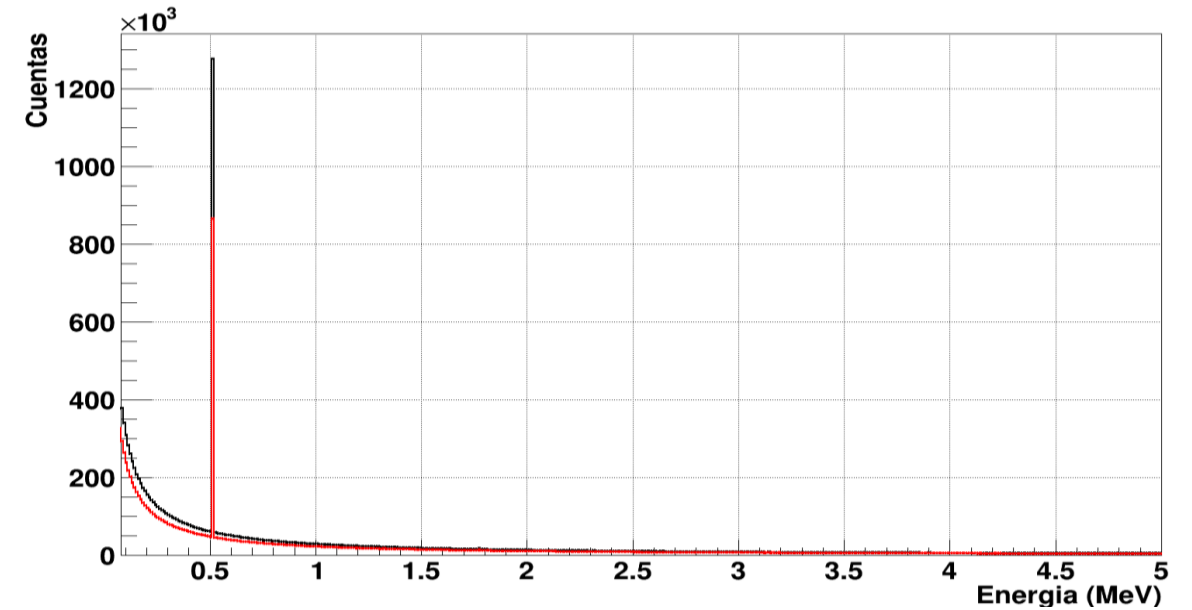


Gráfico 6. Energía de los gamma generados en la interacción después de 24h para el suelo seco

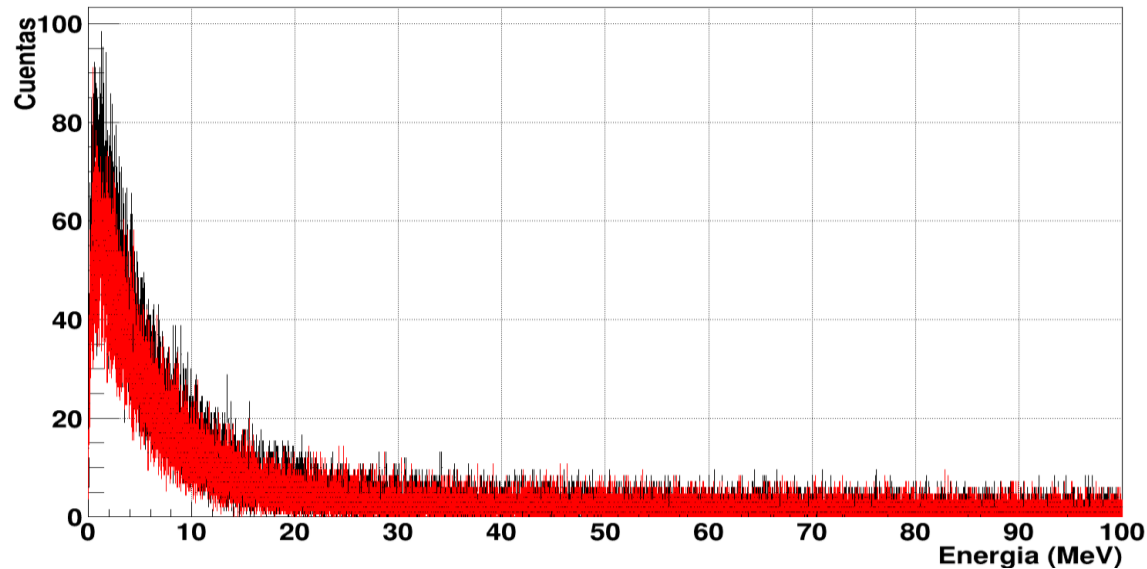


Gráfico 7. Energía de los neutrones generados en la interacción después de 24h para el suelo seco

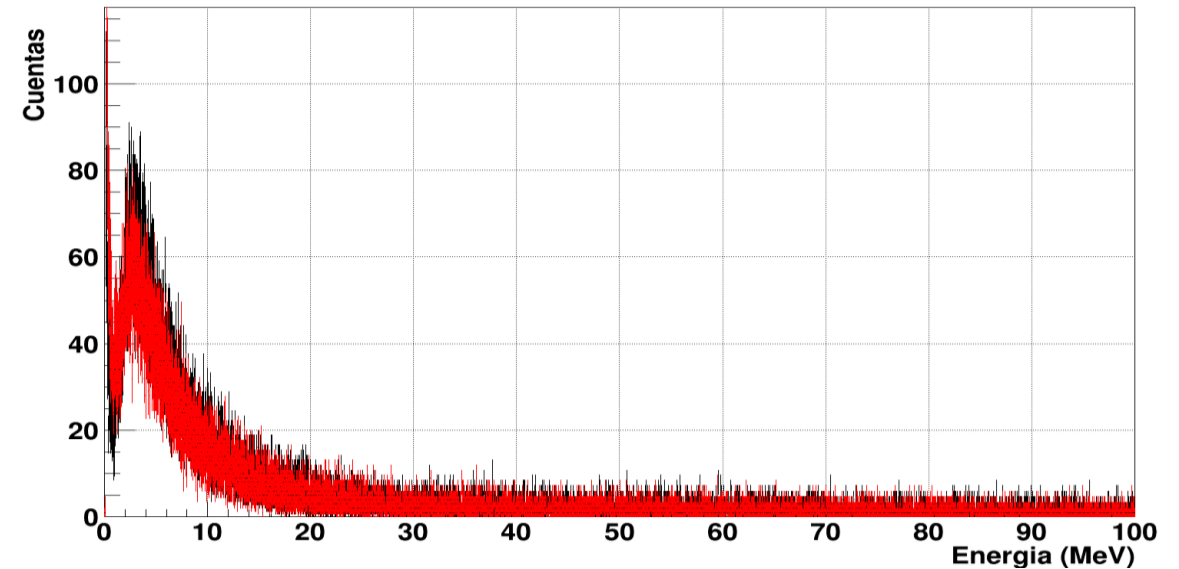


Gráfico 8. Energía de los electrones generados en la interacción después de 24h para el suelo seco

## 2. Espectro de energía de las partículas generadas por la interacción.

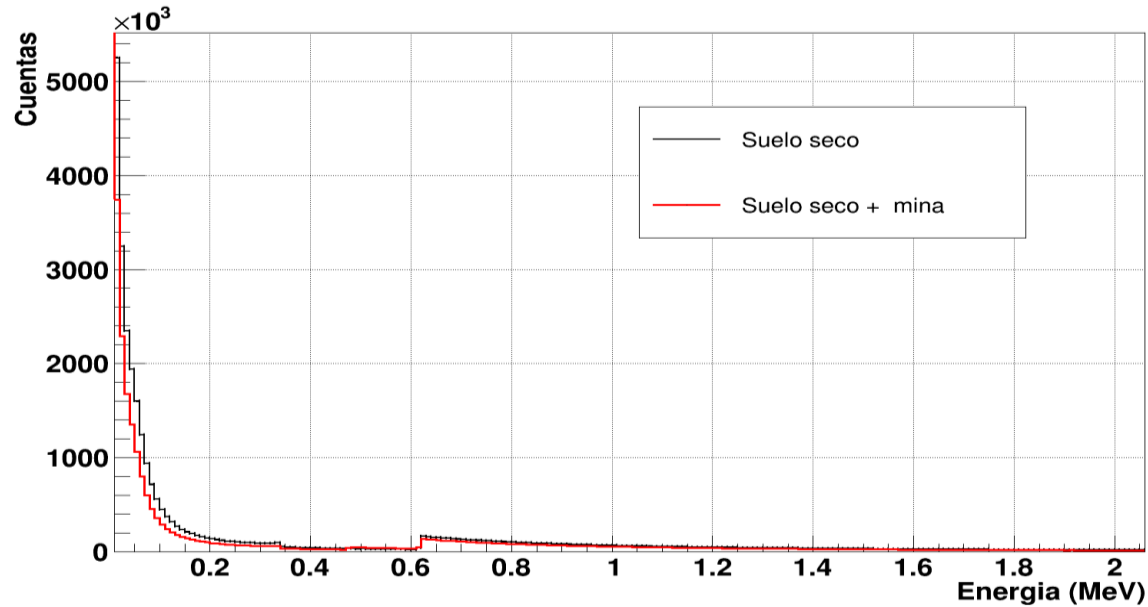


Gráfico 5. Energía de los electrones generados en la interacción después de 24h para el suelo seco

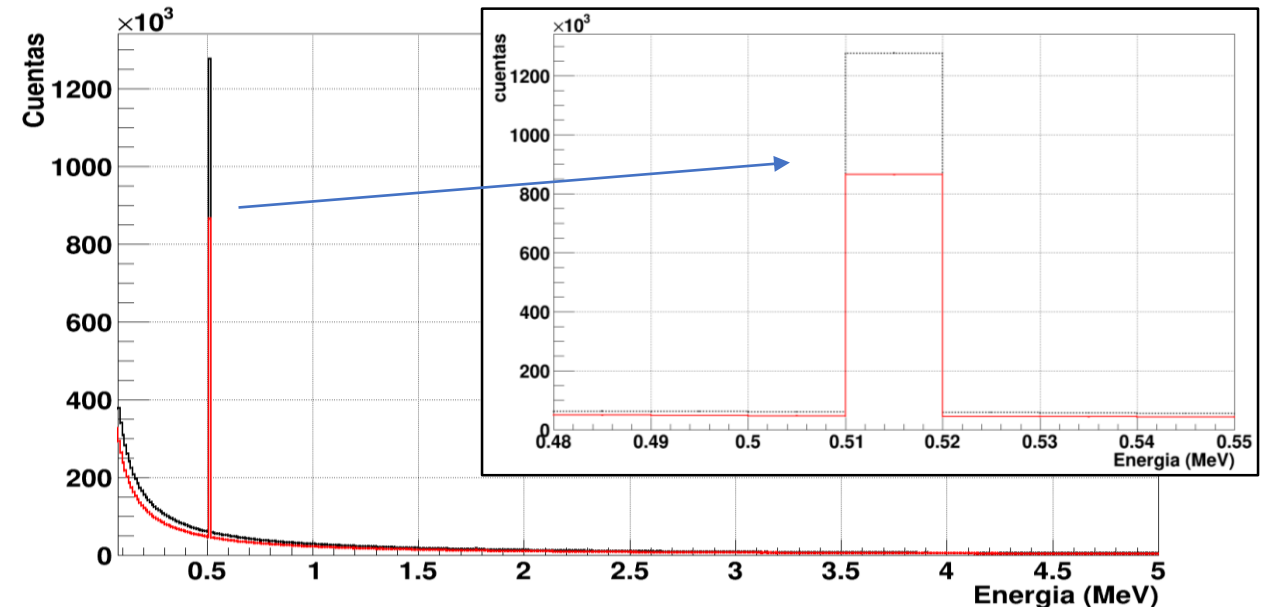


Gráfico 6. Energía de los gamma generados en la interacción después de 24h para el suelo seco

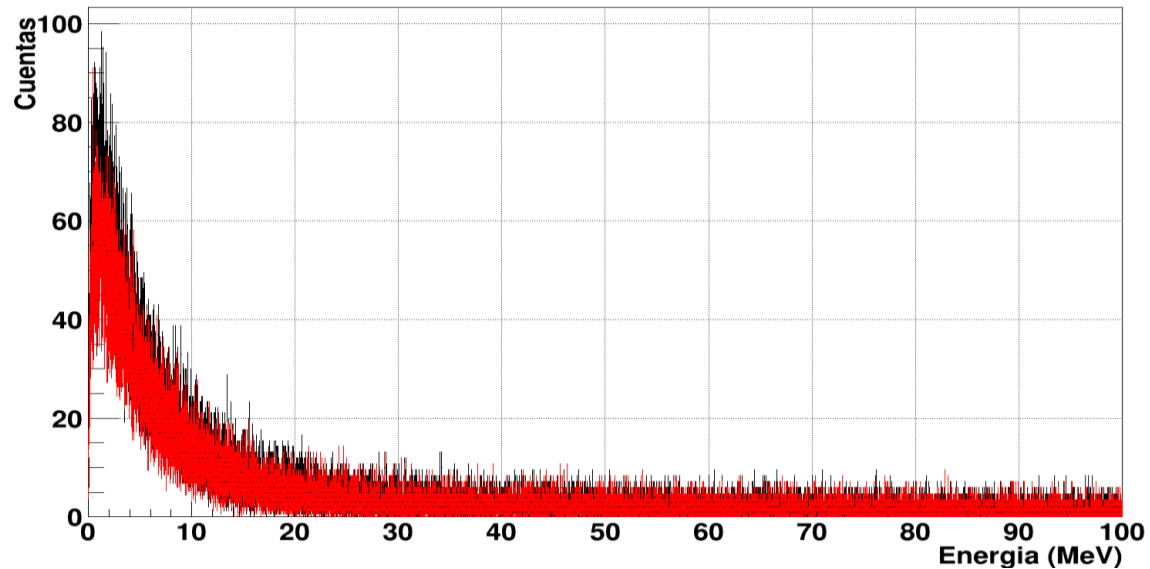


Gráfico 7. Energía de los neutrones generados en la interacción después de 24h para el suelo seco

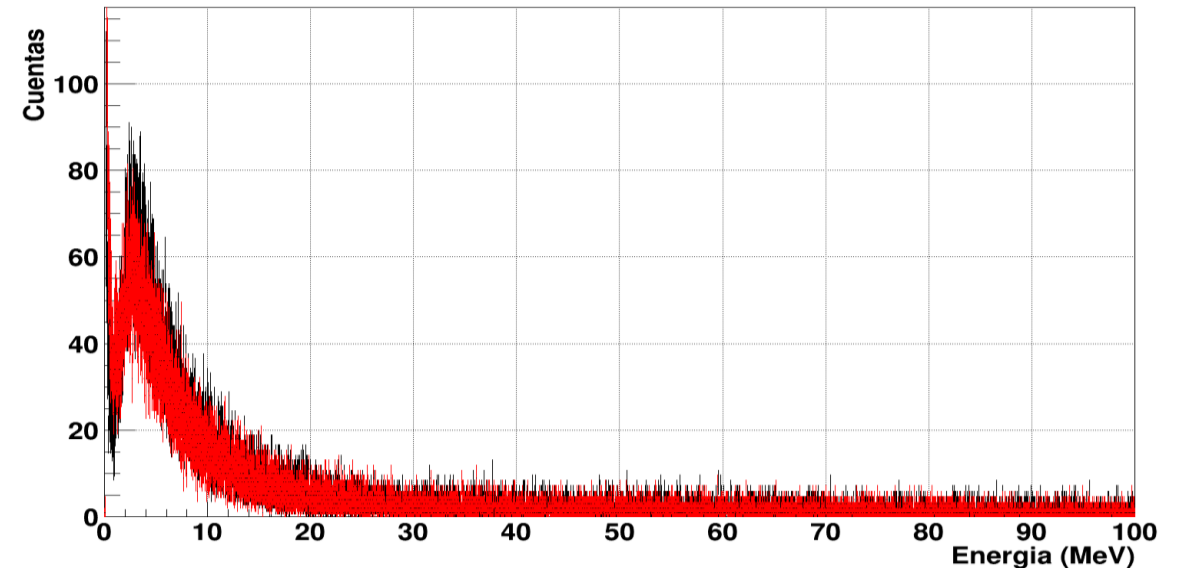
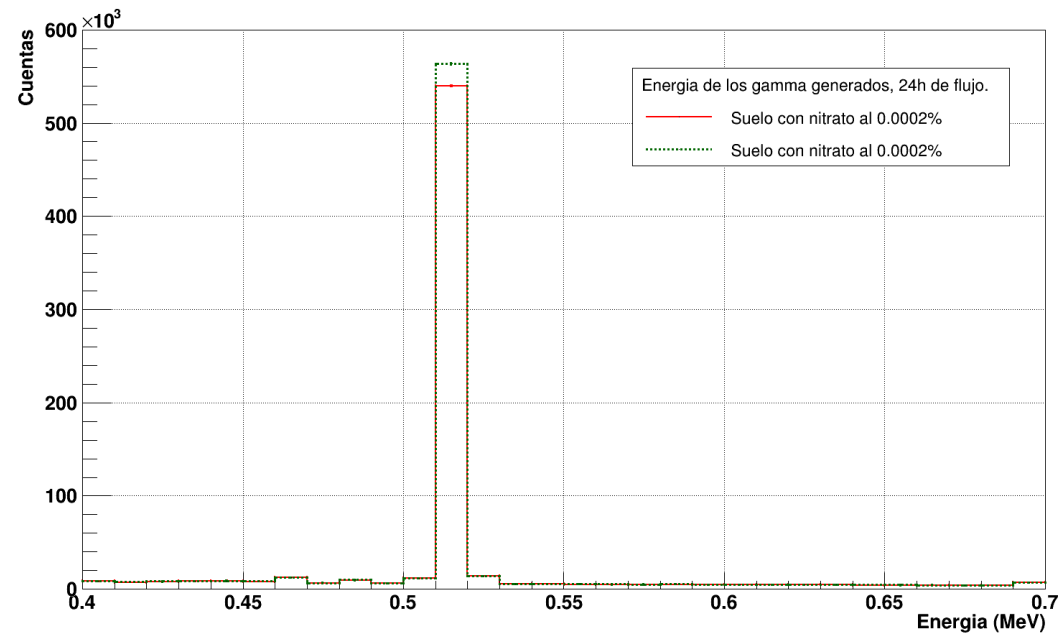
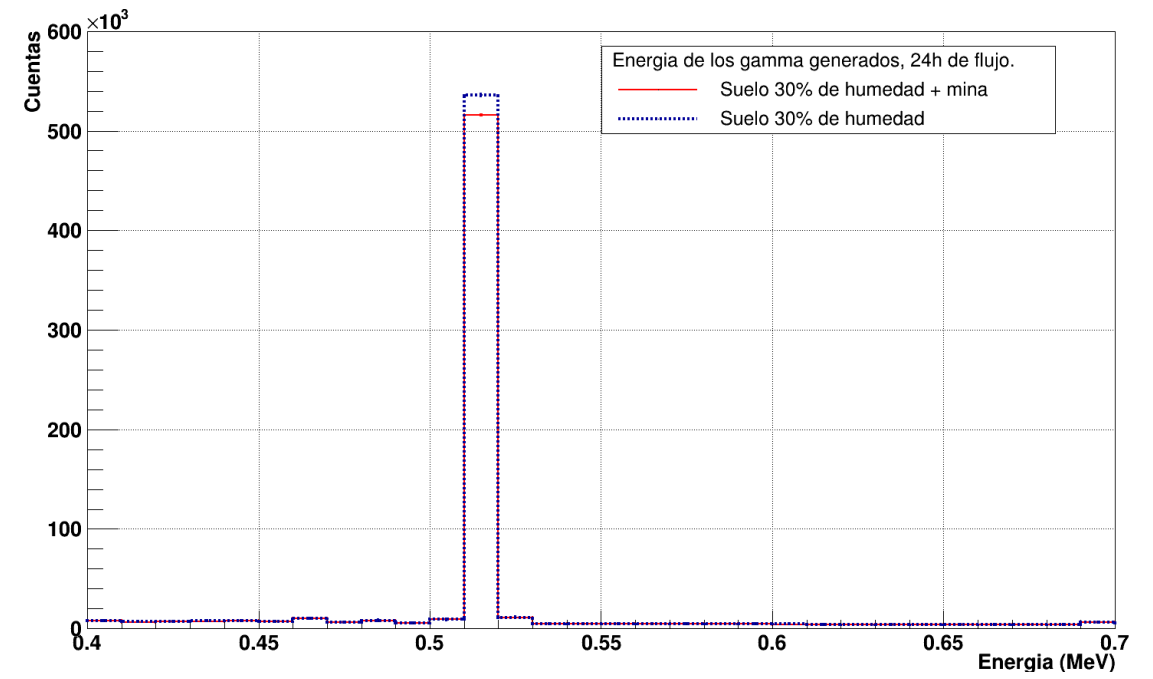
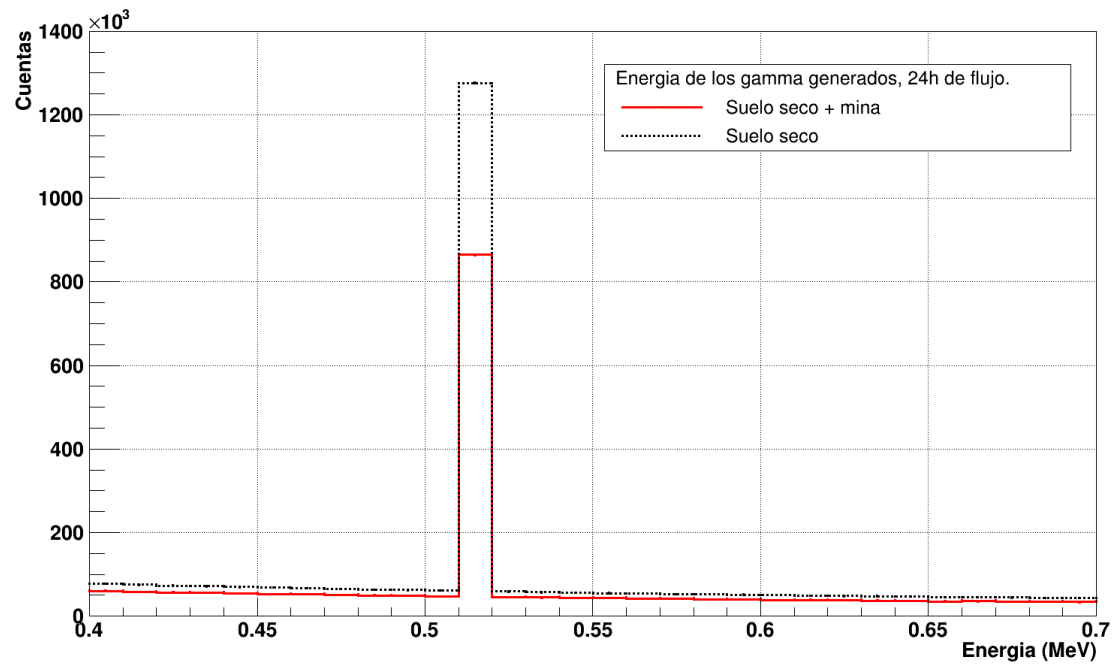


Gráfico 8. Energía de los electrones generados en la interacción después de 24h para el suelo seco



**Grafico 9** Espectros de energía de los gamma generados en la simulaciones después de 24 horas de interacción con: suelo seco (arriba izquierda) , suelo con 30% de humedad (abajo) y suelo con 0.002%  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (arriba derecha) con el flujo de fondo de rayos cósmicos.



# DIFERENCIAS PORCENTUALES

Diferencias porcentuales entre el número de fotones de 0.5 MeV producidos en la mina respecto a los producidos en el suelo			
Tiempo de exposición Tipo de suelo	1h (%)	3h (%)	24h (%)
Suelo base seca	31.44	31.80	32.25
Suelo 10% humedad	6.43	4.69	4.00
Suelo 30% humedad	3.67	4.68	3.75
Suelo nitrato 1	5.50	3.42	3.85
Suelo nitrato 2	2.30	4.64	4.30

**Tabla 2** Diferencias porcentuales entre el número de fotones de 0.5 MeV producidos en la mina respecto a los producidos en el suelo

# DIFERENCIAS PORCENTUALES

Diferencias porcentuales entre el número de fotones de 0.5 MeV producidos en la mina respecto a los producidos en el suelo			
Tiempo de exposición Tipo de suelo	1h (%)	3h (%)	24h (%)
Suelo base seca	31.44	31.80	32.25
Suelo 10% humedad	6.43	4.69	4.00
Suelo 30% humedad	3.67	4.68	3.75
Suelo nitrato 1	5.50	3.42	3.85
Suelo nitrato 2	2.30	4.64	4.30

**Tabla 2** Diferencias porcentuales entre el número de fotones de 0.5 MeV producidos en la mina respecto a los producidos en el suelo

Diferencias porcentuales de los fotones de 0.5 MeV detectados			
Tiempo de exposición	1h (%)	3h (%)	24h (%)
Tipo de suelo			
Suelo base seca	3.60	6.48	8.81
Suelo 10% humedad	0.71	0.35	0.33
Suelo 30% humedad	2.86	2.30	1.05
Suelo nitrato 1	0.31	0.23	0.79
Suelo nitrato 2	0.49	1.71	0.75

**Tabla 3.** Diferencias porcentuales de los fotones de 0.5 MeV detectados

Estudios preliminares para el diseño de un detector basado en la respuesta a rayos cósmicos de minas antipersona.  
González-Matoma V. Núñez L.A., Vásquez-Ramírez A.

# CONCLUSIONES

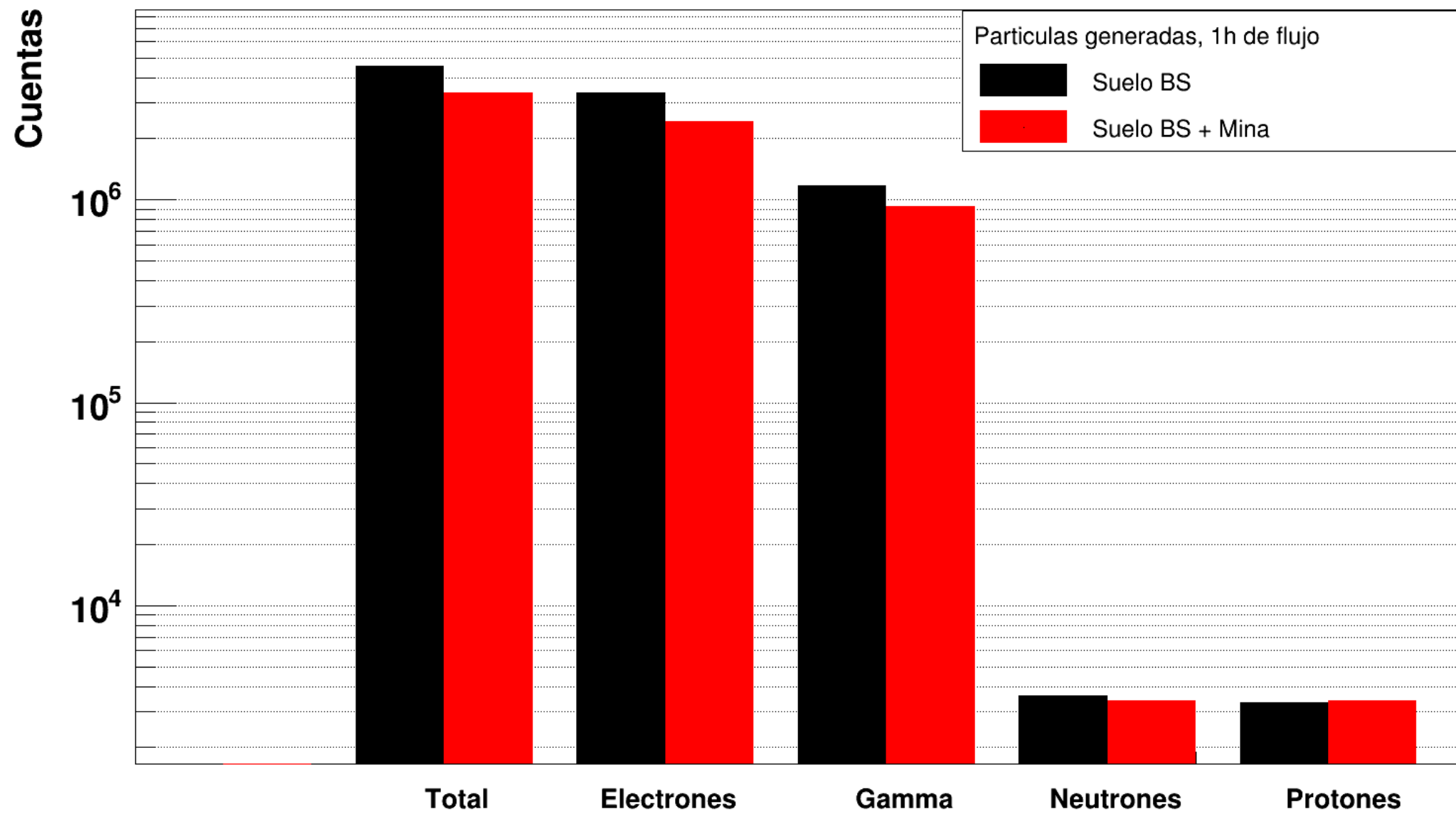
- Se observa que se generaron una **mayor cantidad de partículas** para los **suelos sin mina**, especialmente para los suelos secos; este comportamiento se invierte al observar los **protones generados** para los suelos con nitrato.
- Al analizar los espectros de energía de las partículas generadas **sólo los fotones presentaron una diferencia significativa**. Esta diferencia es más notable alrededor de los **0.51 MeV**, donde la diferencia porcentual para suelo seco es **32.25%**, para suelo con humedad es **3.75%** y para el suelo con nitrato de amonio es **4.30%**.
- El suelo seco presentó **las diferencias porcentuales mas representativas** en todos los tiempos de interacción, lo que indica que estas configuraciones presenta las mejores condiciones para detectar minas antipersona.
- El  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  usado como fertilizante y la humedad del suelo son **inhibidores para poder diferenciar las minas con respecto del suelo**, esto se evidencia al observar las diferencias porcentuales obtenidas para estos suelos y compararlos con los suelos secos.
- Los resultados obtenidos muestran que el uso de esta **técnica es inviable** para la detección de minas en Colombia, esto debido a los **largos tiempos de interacción y a las condiciones de humedad** de los suelos que presentan los campos minados colombianos.

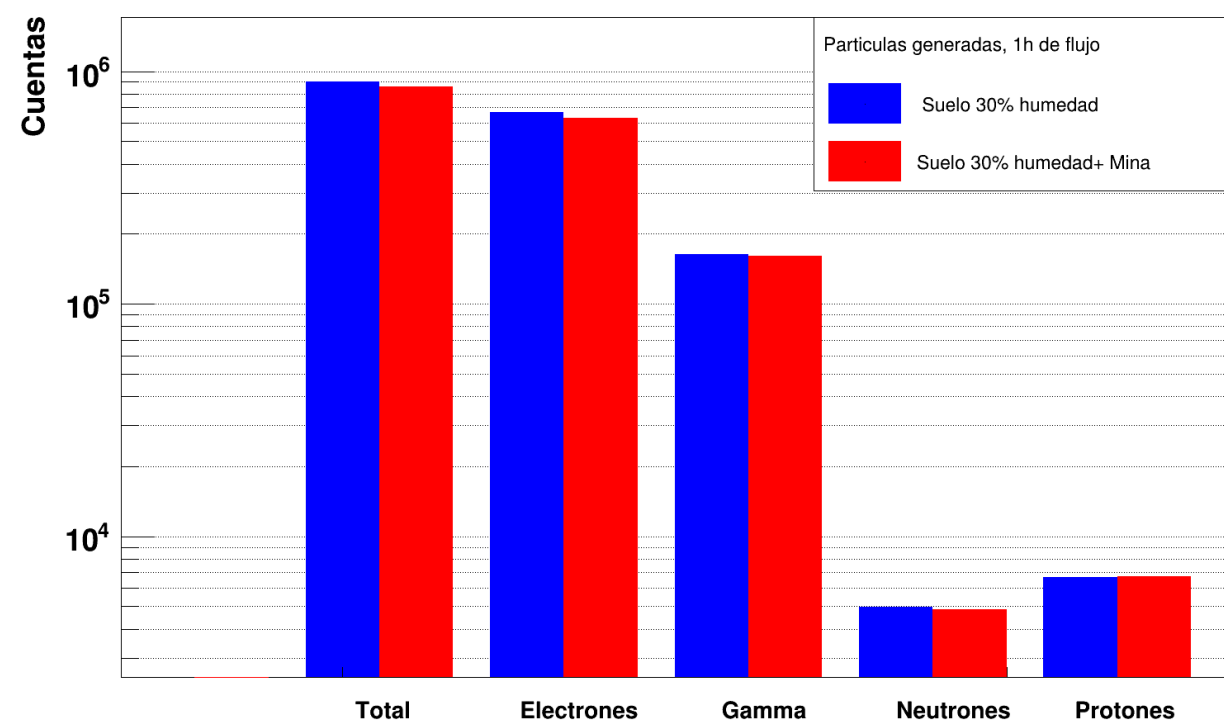
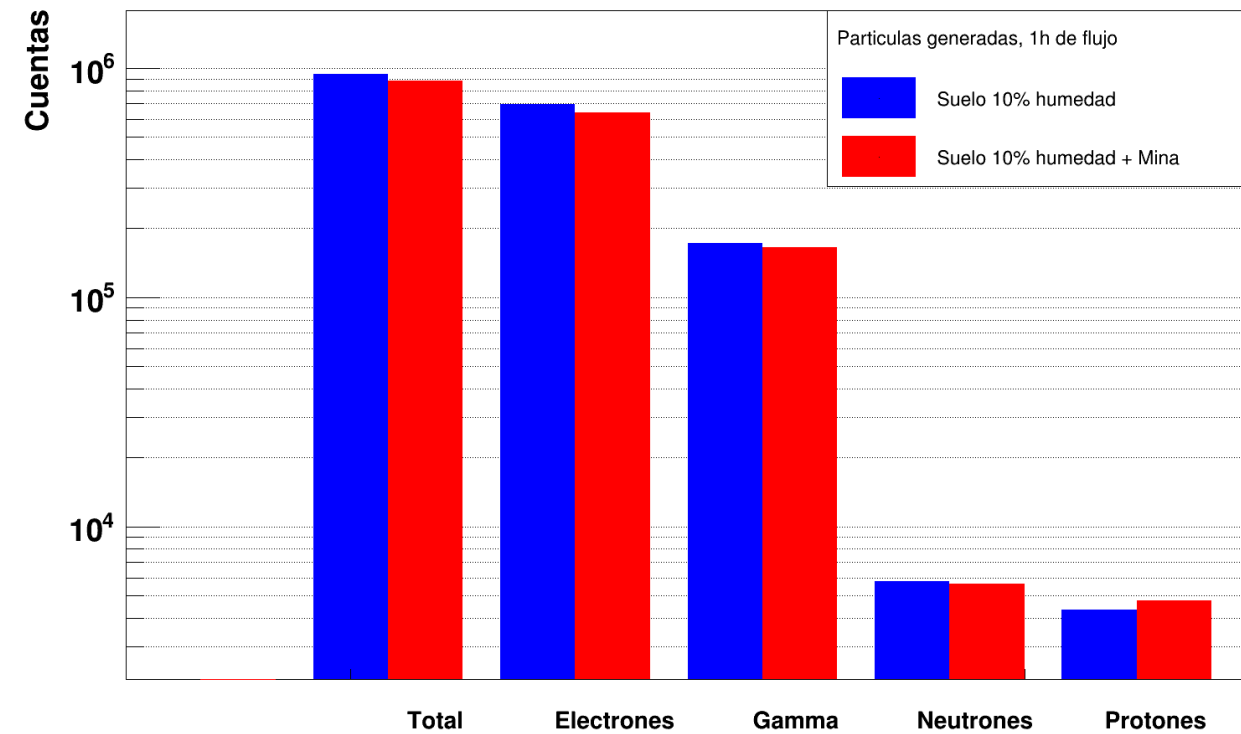
# ¡Gracias!

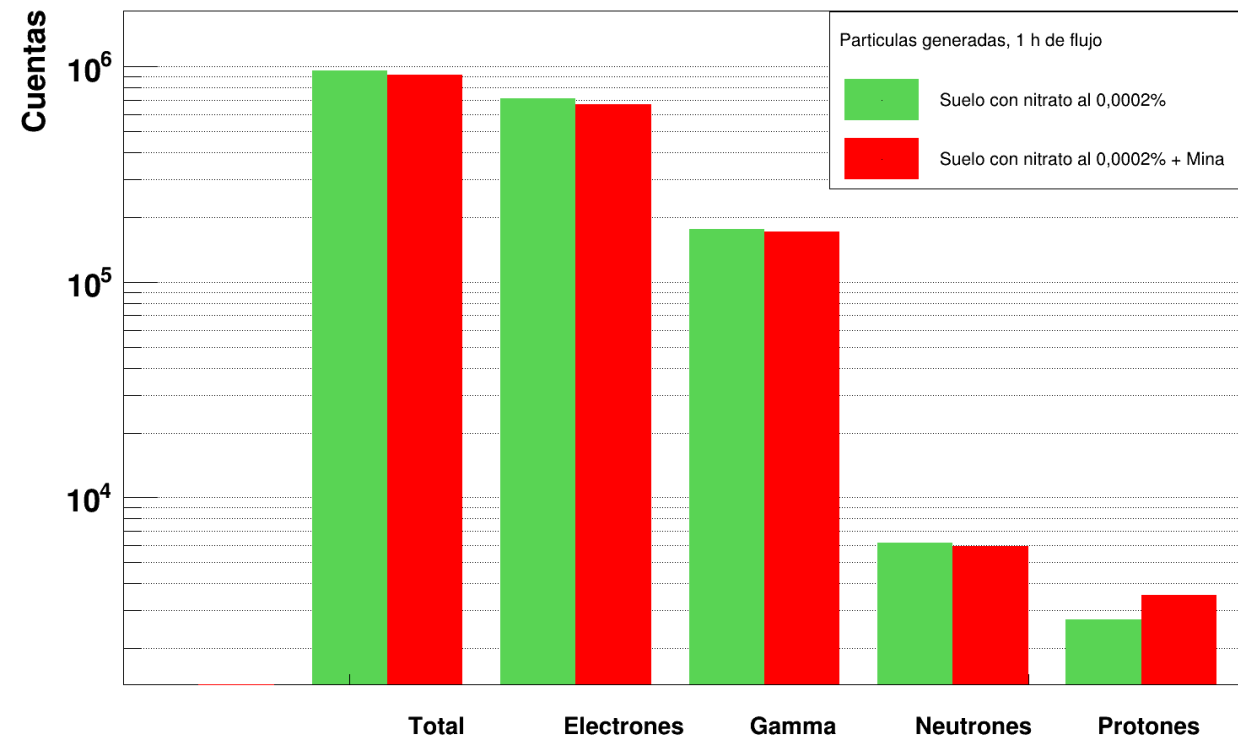
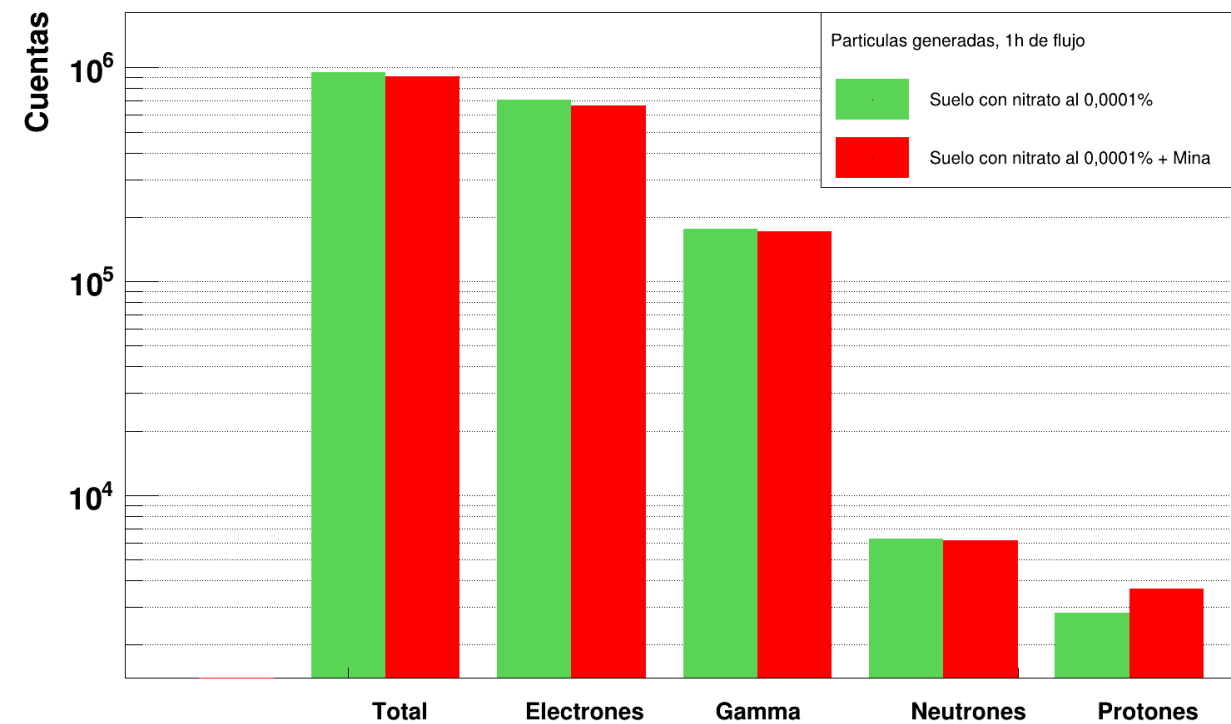


# Anexos

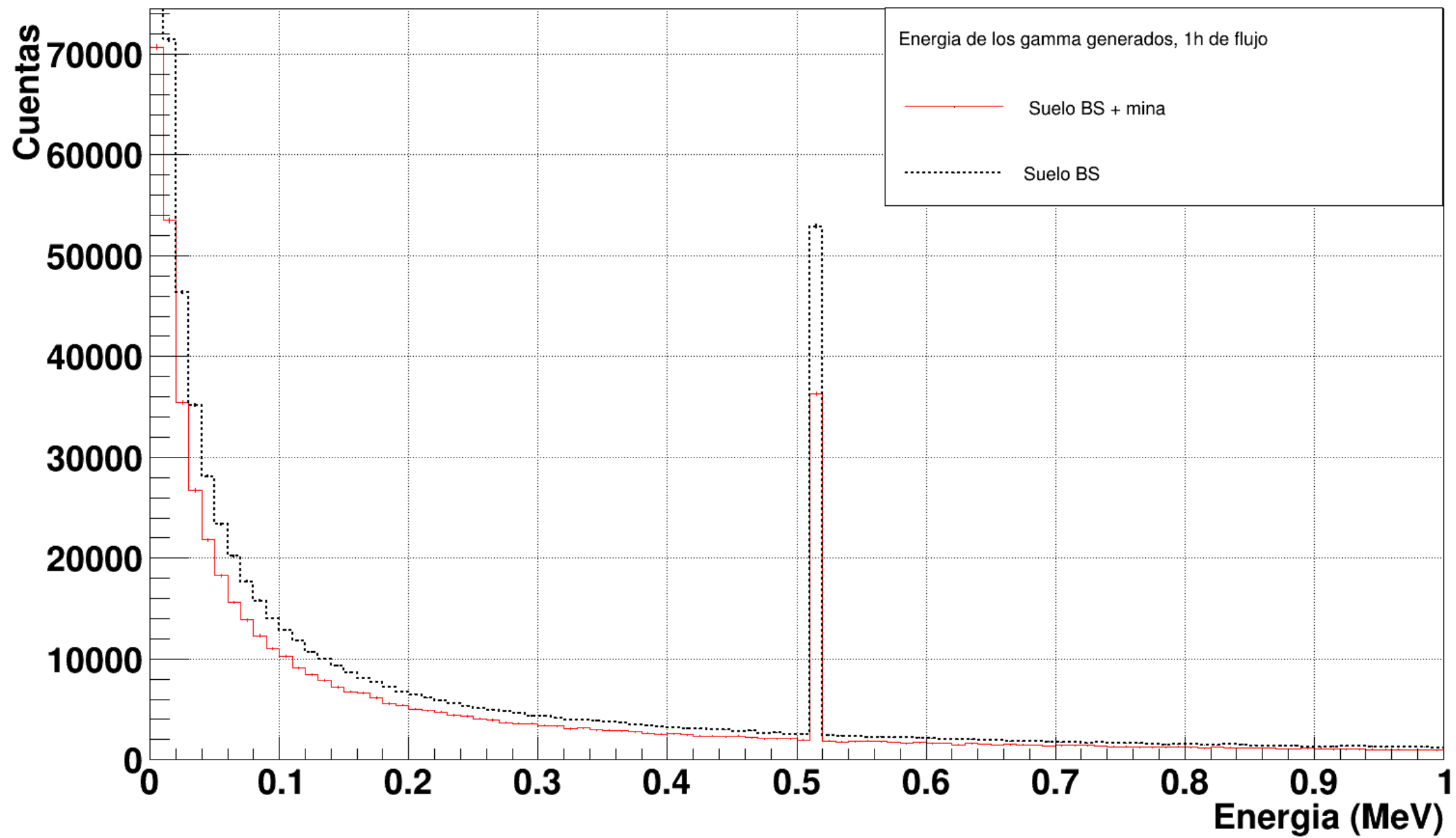
1 Hora de flujo

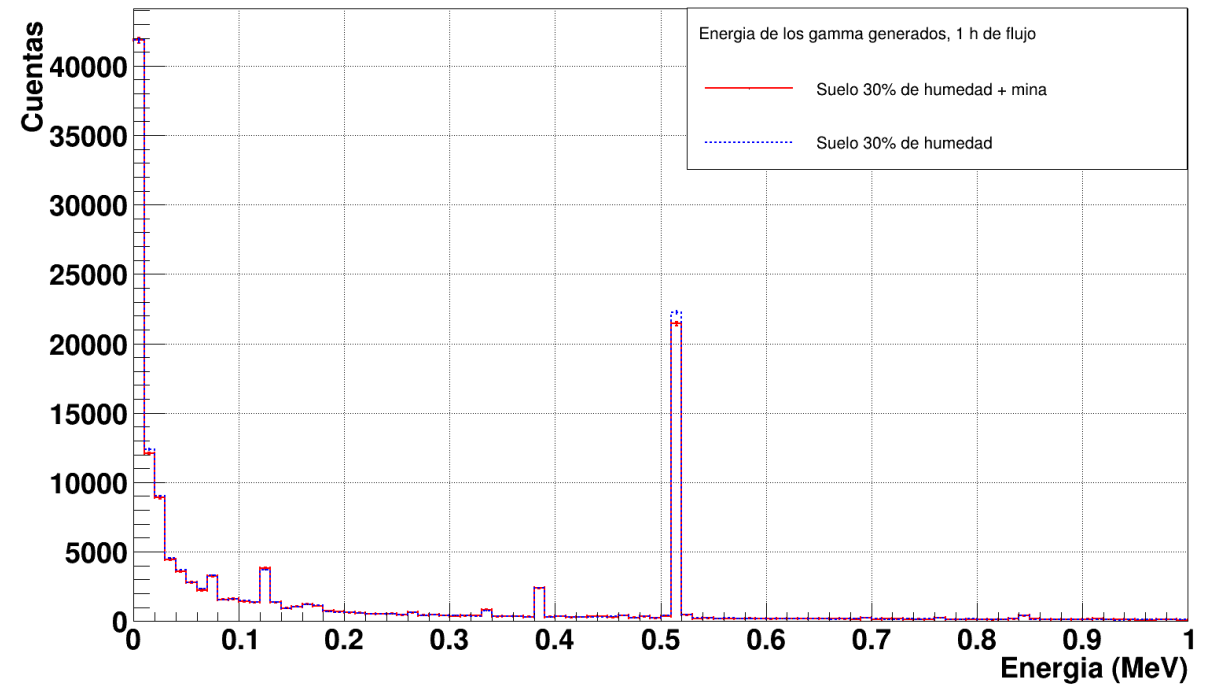
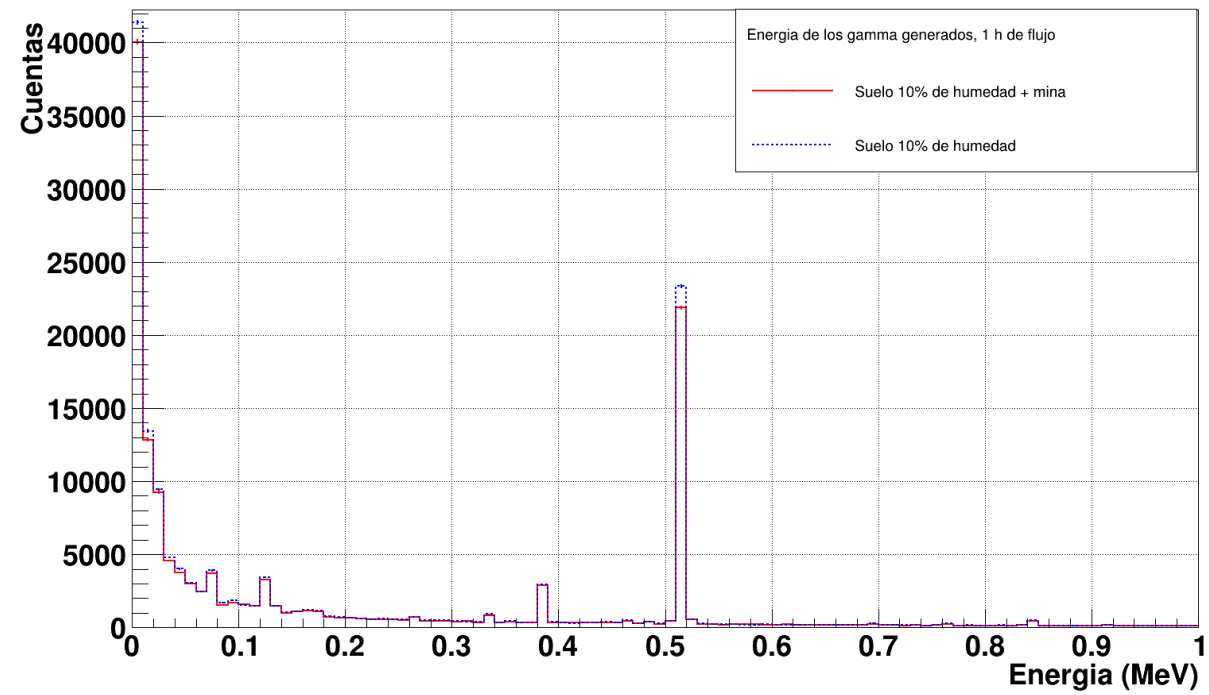


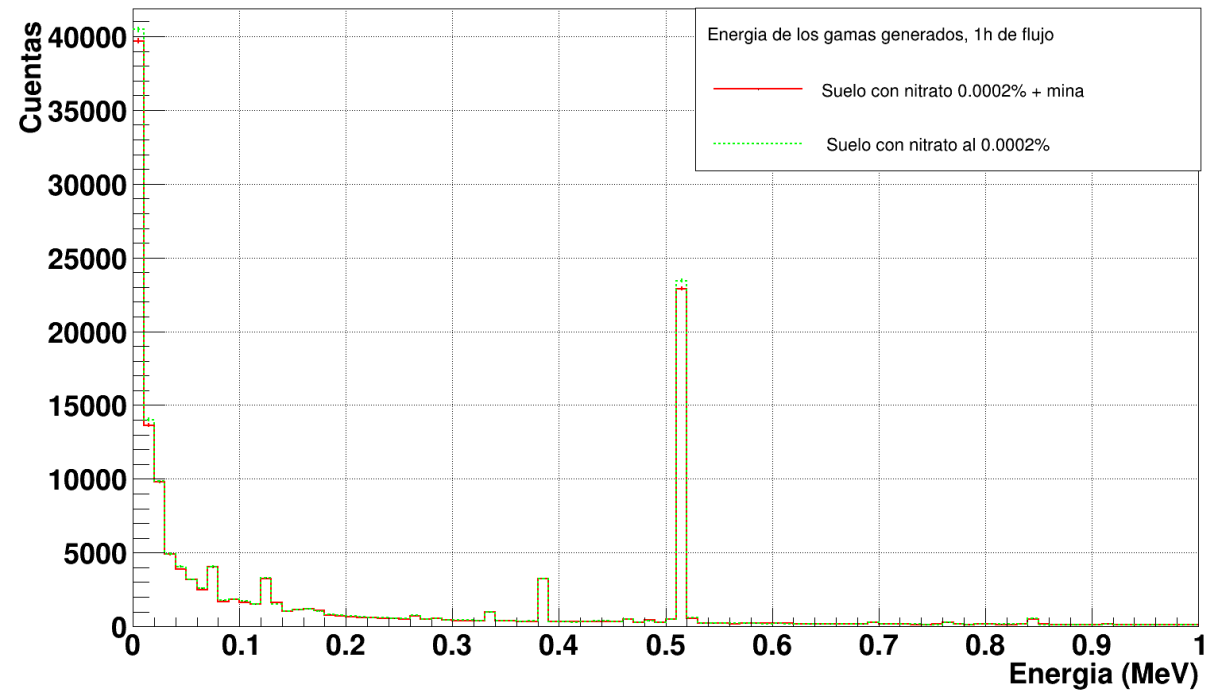
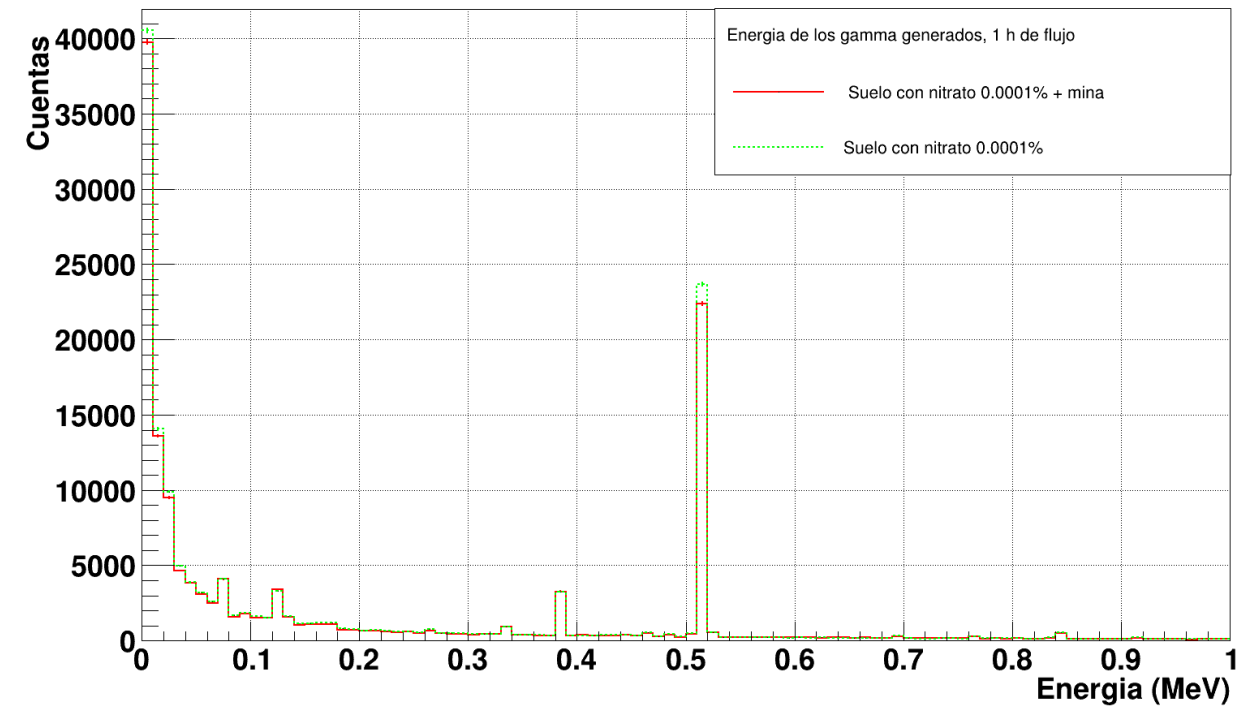




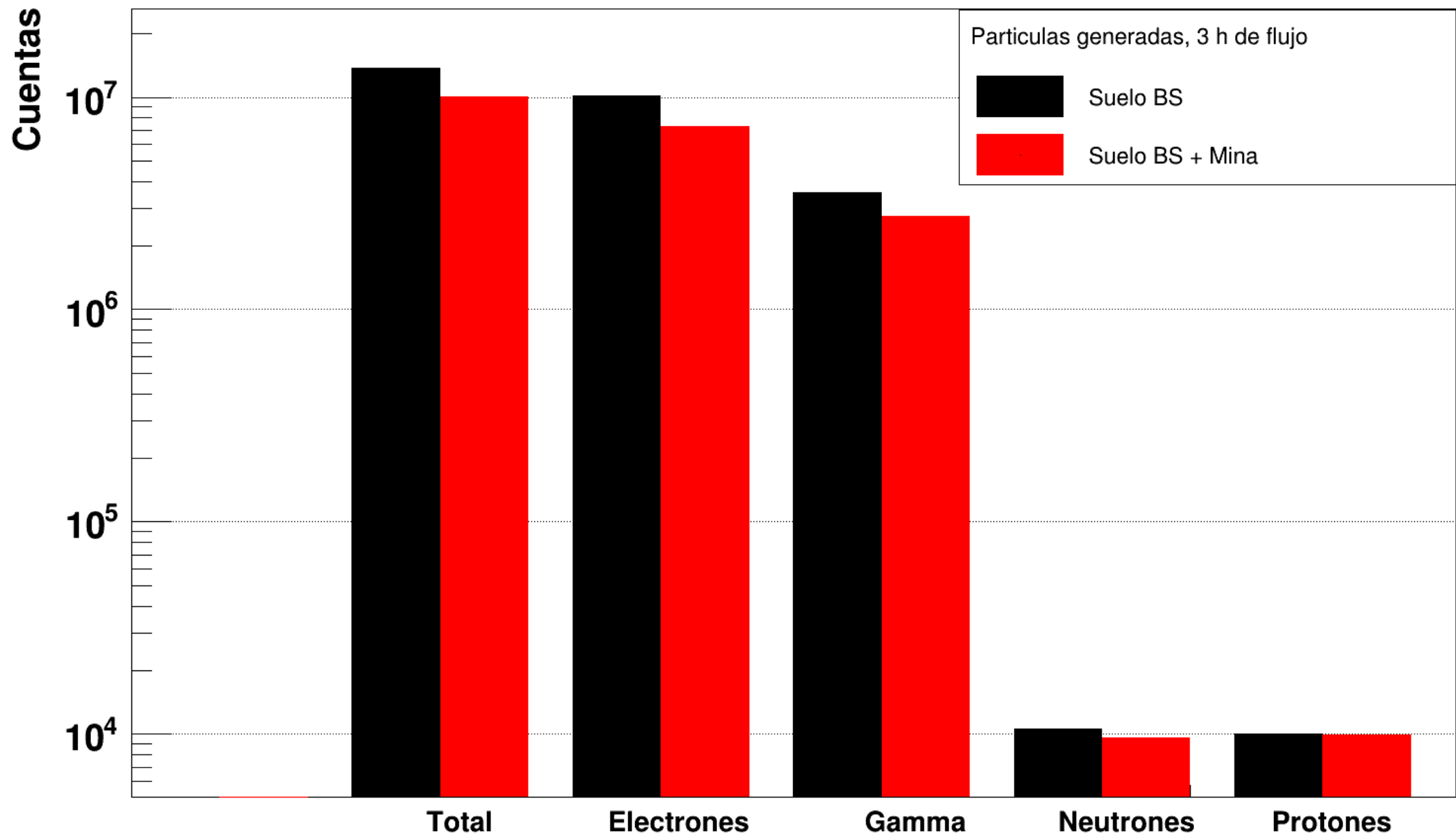


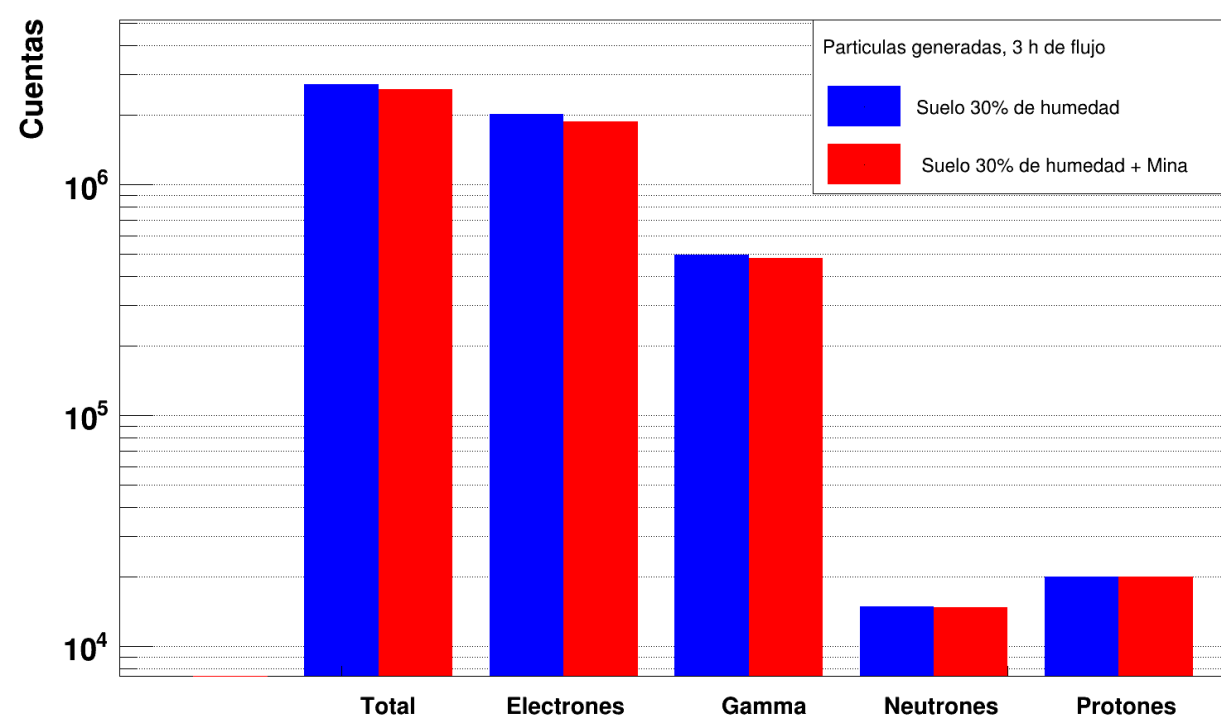
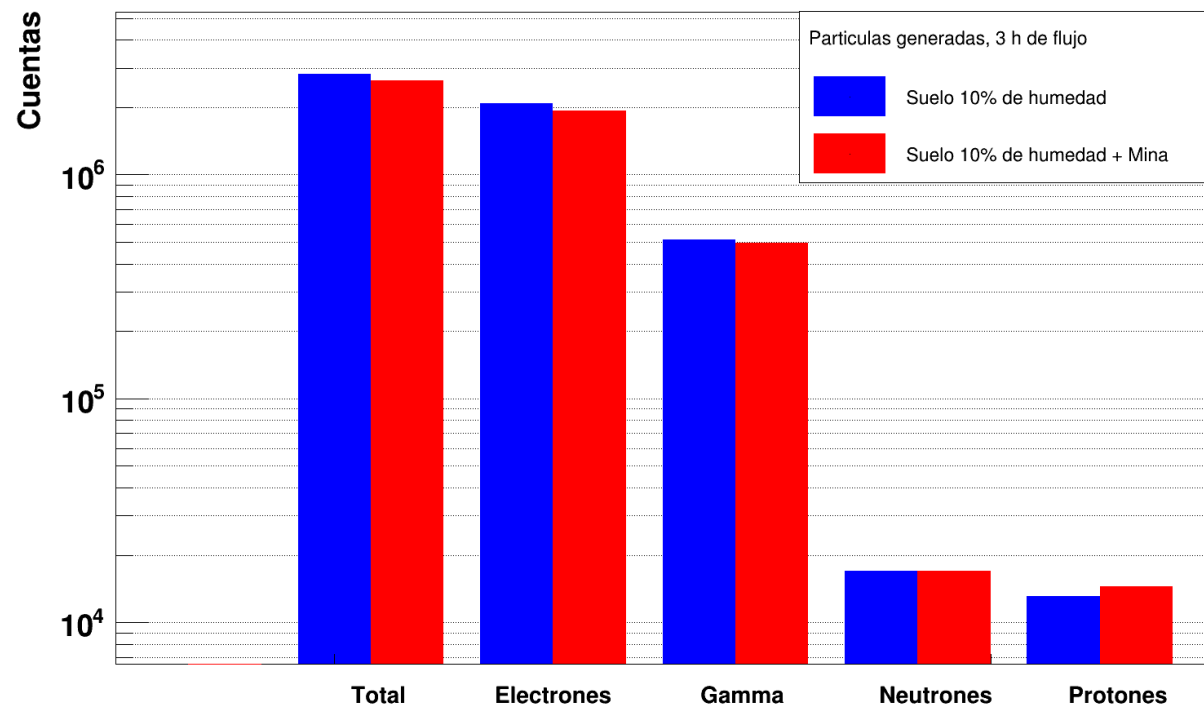


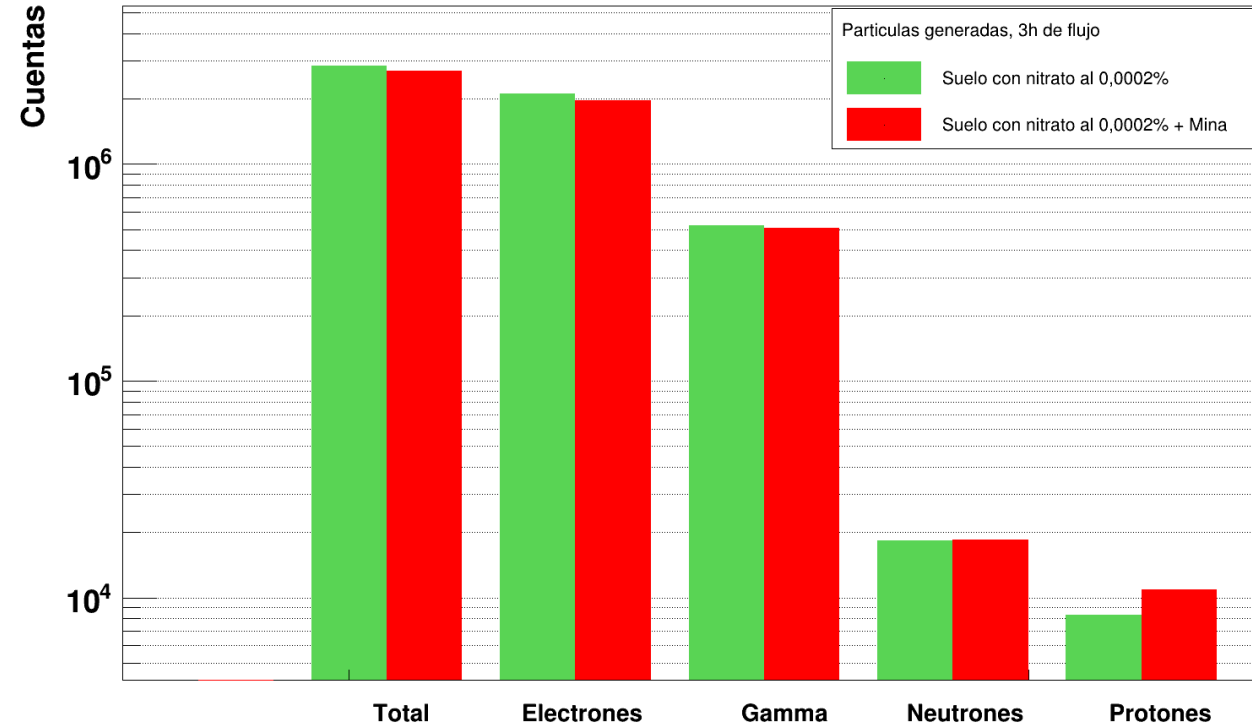
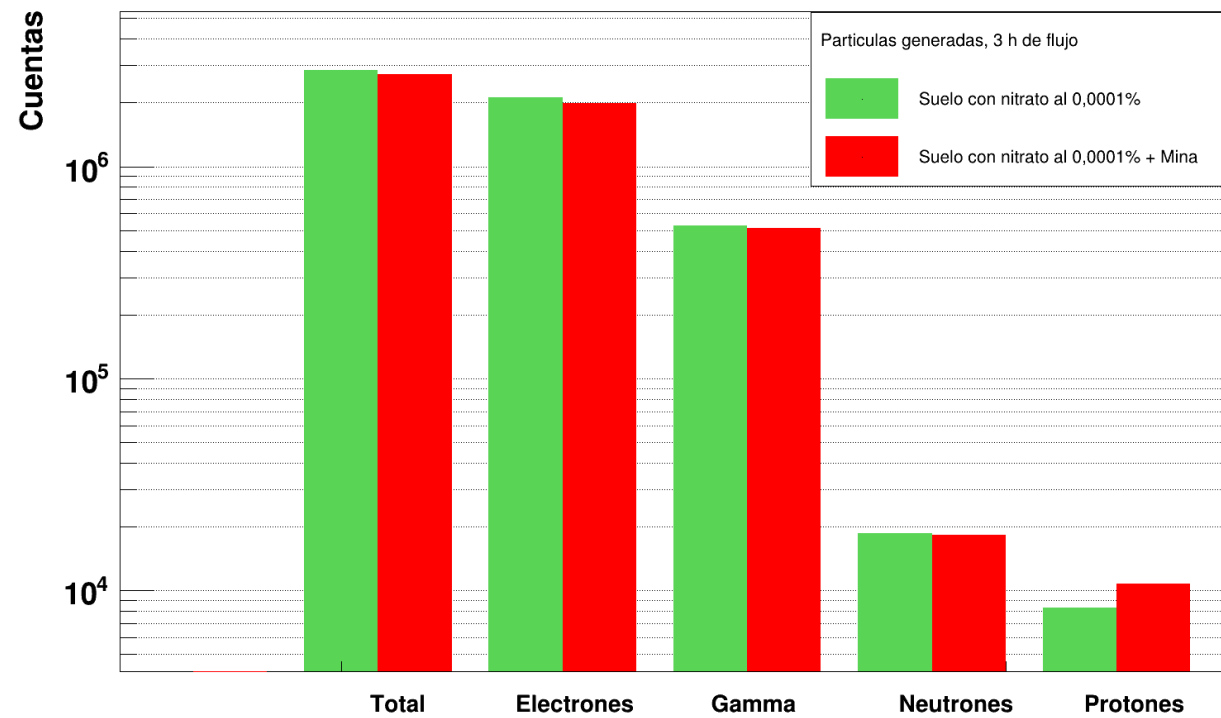




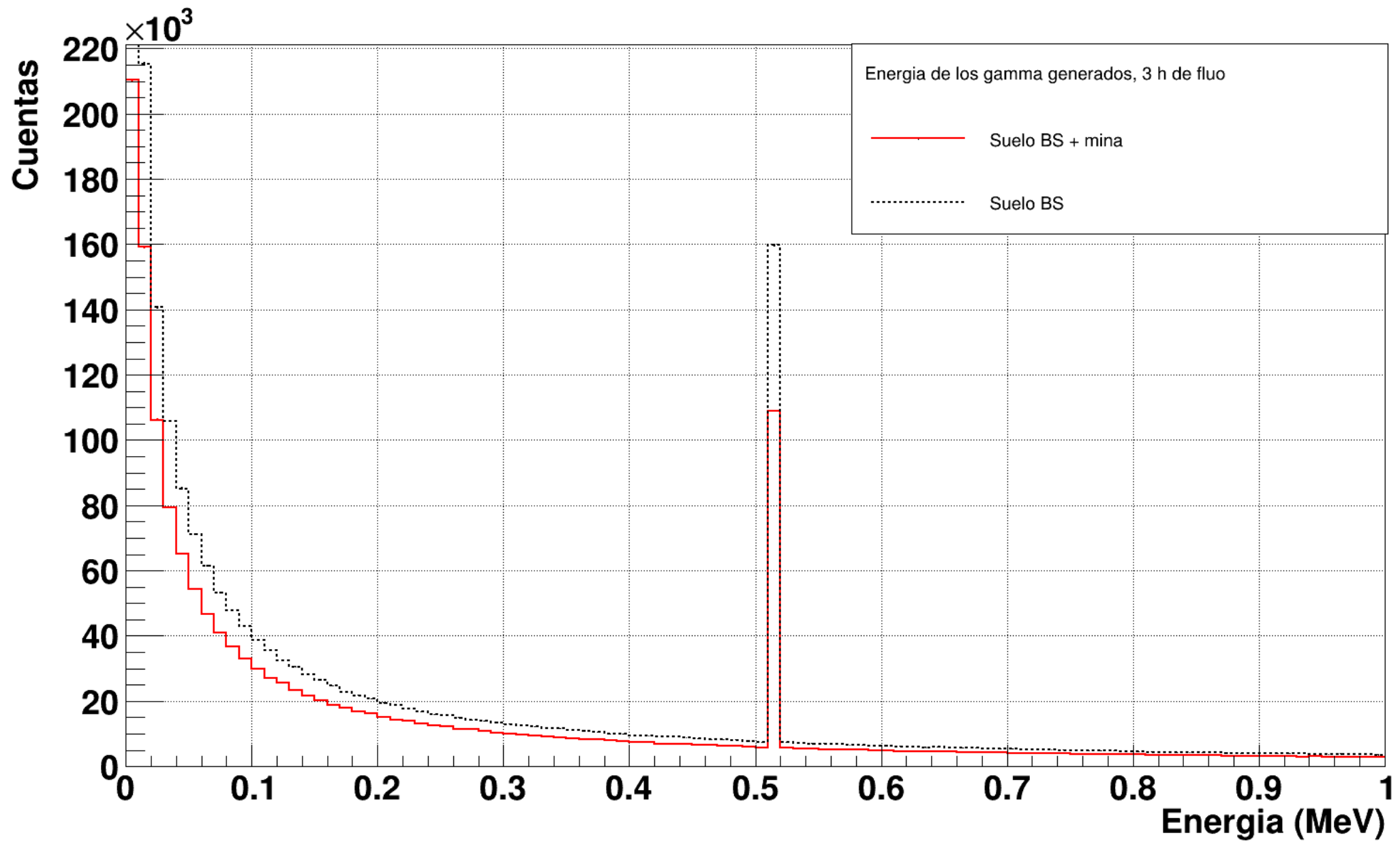
3 Hora de flujo

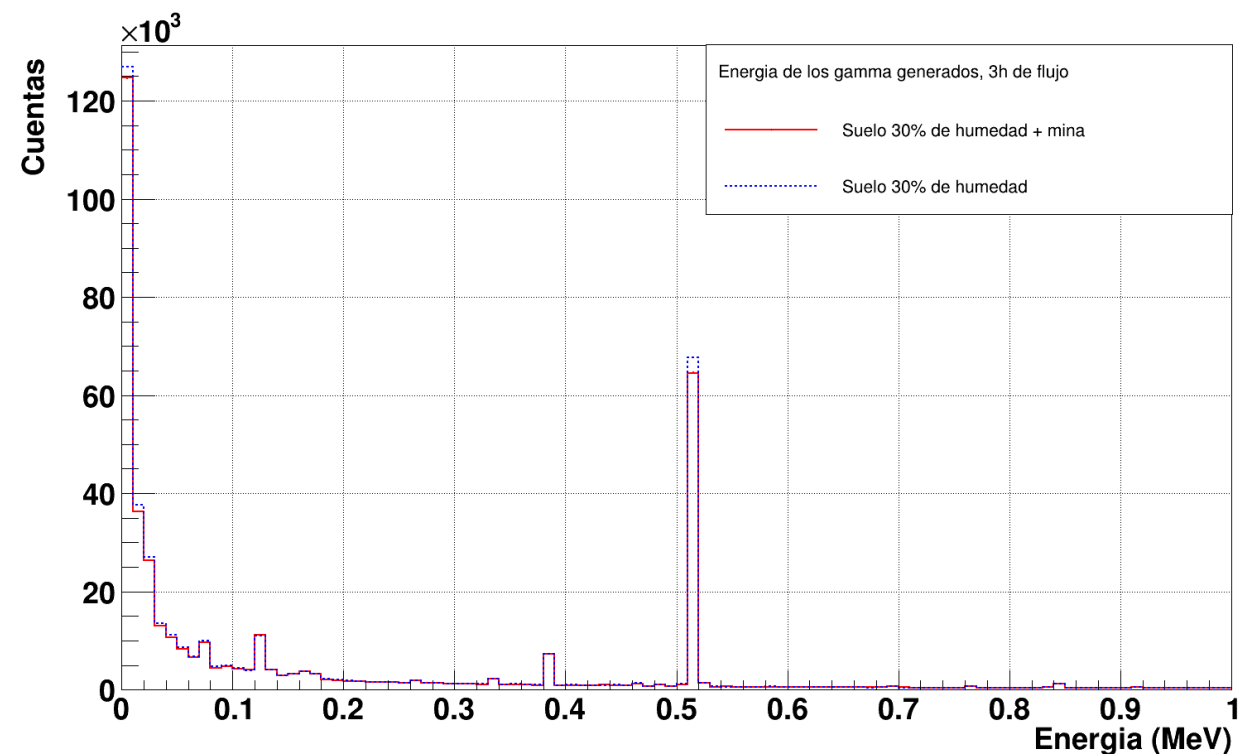
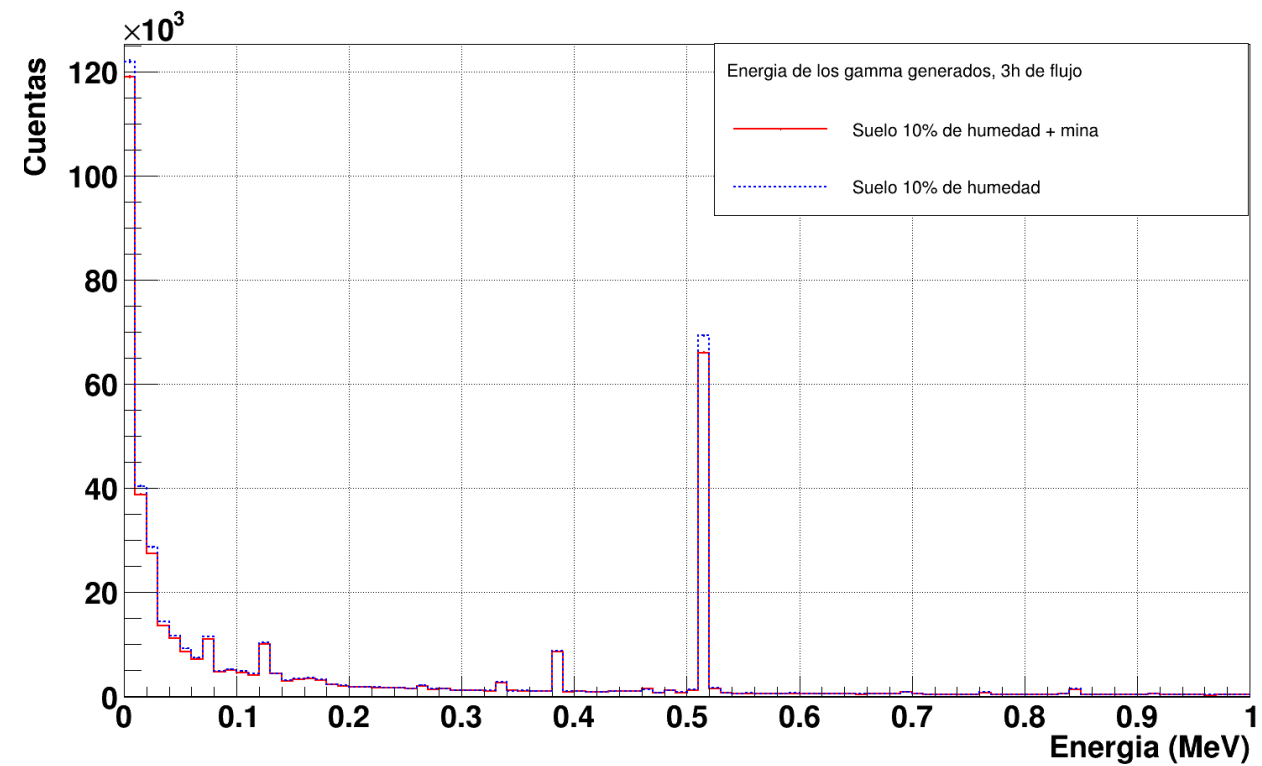


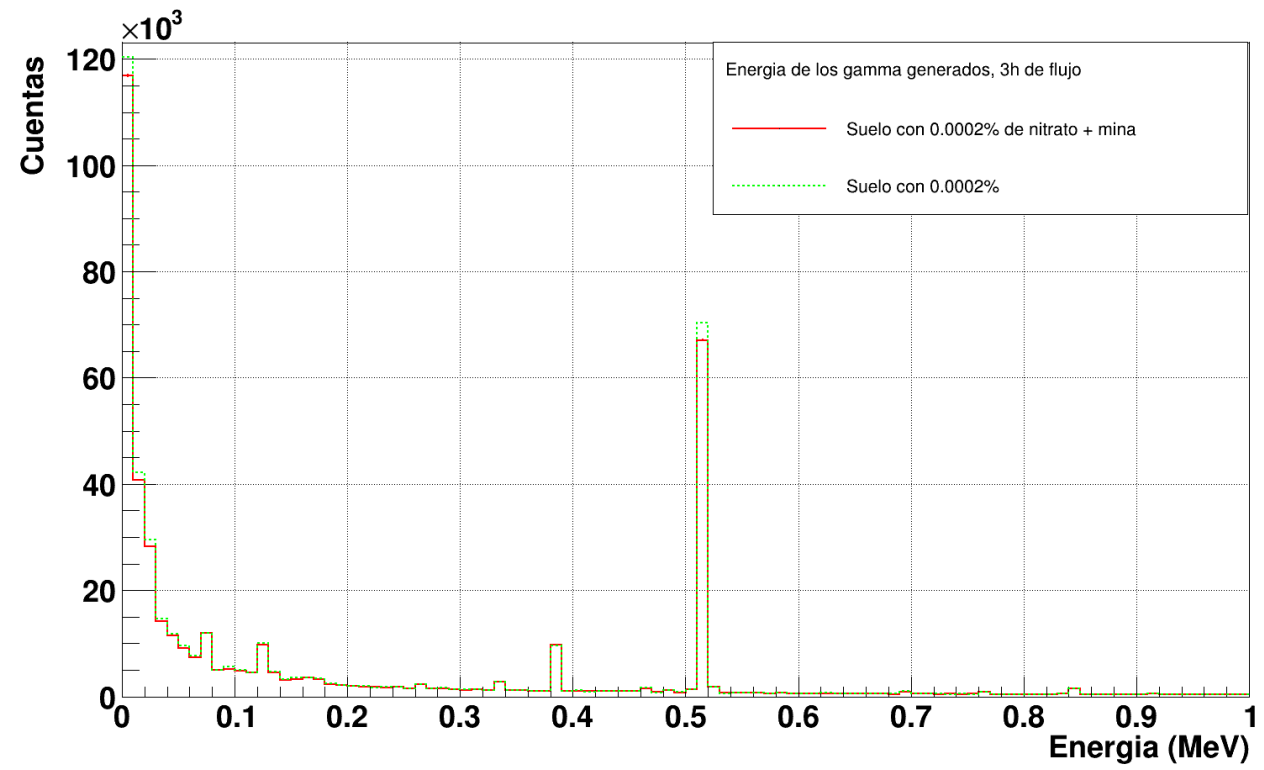
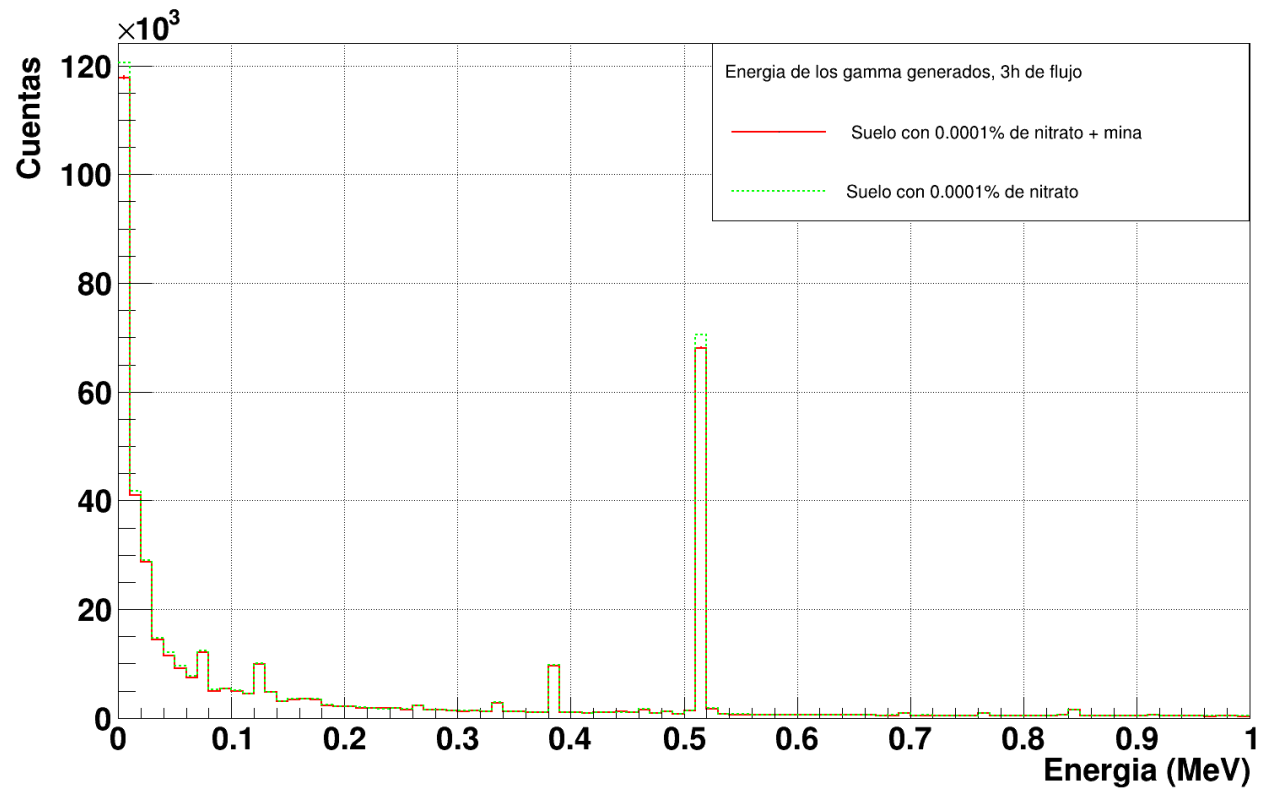




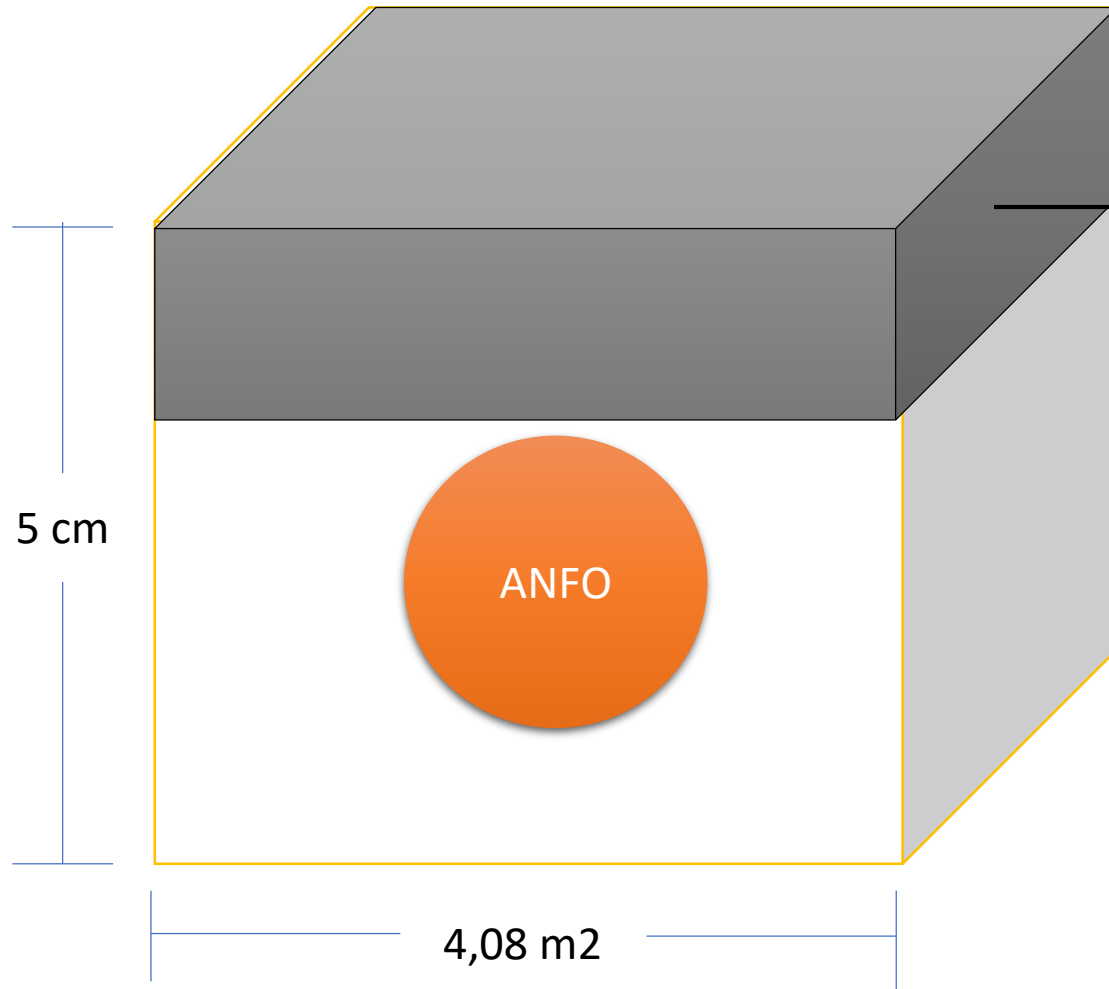








# Porcentaje de Nitrato de Amonio a utilizar



Nitrato de Amonio

*Volumen de control = Area \* profundidad*

*Volumen = 4,13 m³*

$150 \frac{\text{Kg NH}_4\text{NO}_3}{1 \text{ hectárea}}$



### Masa de Nitrato en el volumen de control

$$\begin{array}{ccc} 150 \text{ kg } NH_4NO_3 & \rightarrow & 10000 \text{ m}^2 \\ m & \leftarrow & 4,08 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$m = 0,0612 \text{ kg}$$

### Masa de Suelo en el volumen de control

$$\rho = 2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 10944,5 \text{ kg}$$

$$v = 4,13 \text{ m}^3$$

Obteniendo las dos masas de cada componente se puede hallar la cantidad de fracción de suelo y nitrato de amonio que se encuentra en el volumen de control

Masa total = Masa de  $NH_4NO_3$  + Masa de Suelo

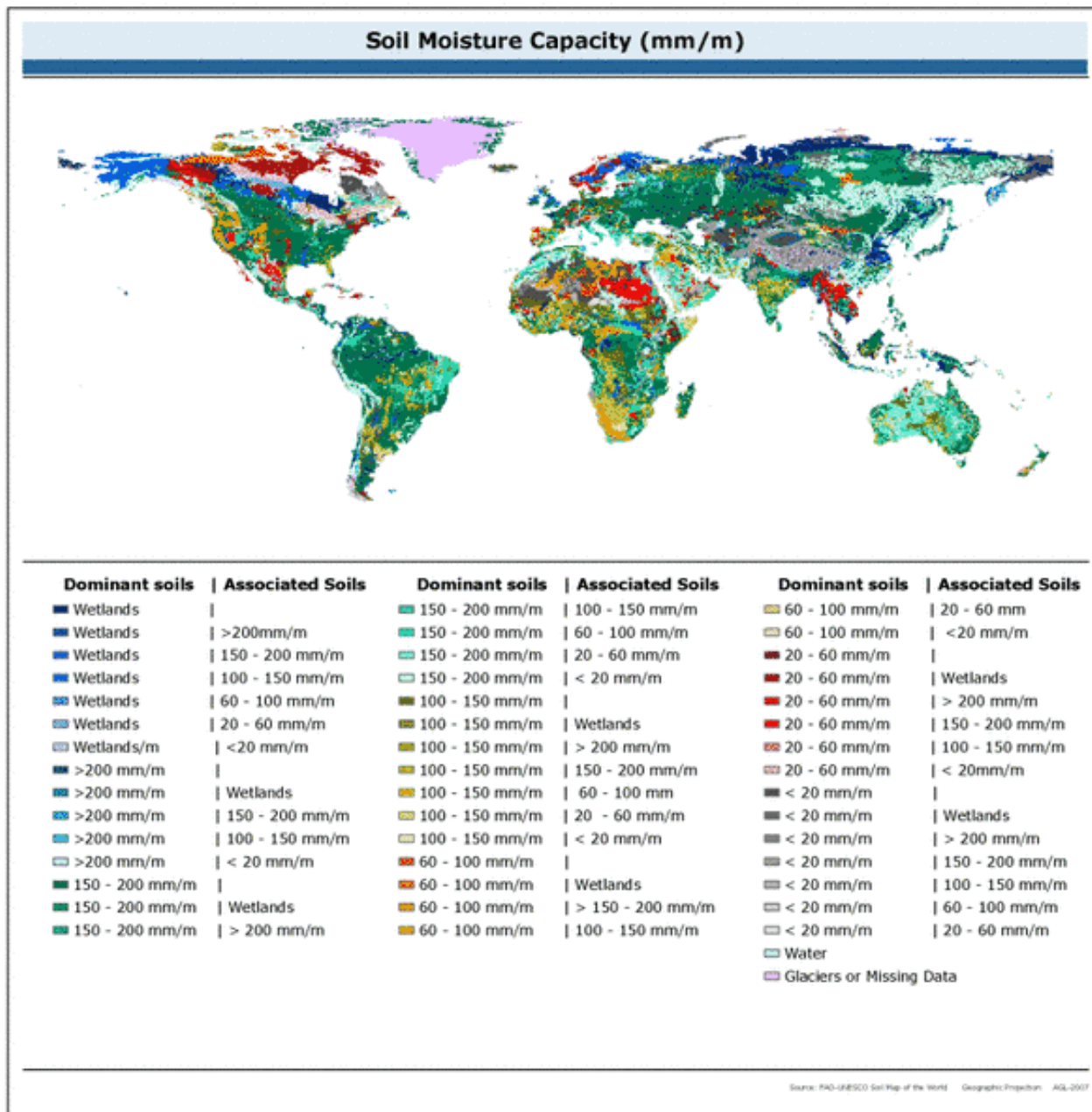
$$Masa \text{ total} = 10944,5612 \text{ kg}$$

$$x = \frac{\text{Fraccion a hallar}}{\text{Masa total}}$$

$$x_{\text{fracción de Nitrato}} = \frac{0,0612 \text{ kg}}{10944,5612 \text{ kg}} = 0,00001$$

$$x_{\text{fracción de suelo}} = \frac{10944,5 \text{ kg}}{10944,5612 \text{ kg}} = 0,99999$$

# HUMEDAD DEL SUELO



## HUMEDAD DEL SUELO

10%

20%

30%



Food and Agriculture  
Organization of the  
United Nations

Tomado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>