

# Variación de los niveles de mercurio en sangre de los habitantes de Puerto Ordaz y Mérida, durante los años 2004-2010

Edyleiba Rojas 1, Carlos E. Rondón 1, Lirey A. Ramírez 2

1Laboratorio de Espectroscopia Molecular, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes

2Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes.

Correo electrónico: edyleiba@ula.ve, Telf. 04147448857

**RESUMEN** Es conocido que el mercurio y sus compuestos son sustancias muy tóxicas para las personas y tiene un alto poder contaminante. Las personas que habitan cerca de áreas con actividad minera e industrial constituyen una población de riesgo toxicológico. El objetivo de este trabajo es determinar el contenido de mercurio total presente en algunos habitantes de dos ciudades de Venezuela con actividad económica distinta como son Puerto Ordaz y Mérida, con el fin de evaluar y comparar el riesgo de toxicidad durante los años 2004-2010. Se colectaron muestras de sangre de personas voluntarias no expuestas al elemento en estudio, en ambas ciudades. El contenido de mercurio fue determinado mediante la generación química de vapor con detección por espectroscopia de absorción atómica. Mediante un análisis estadístico de varianza, se compararon los valores de mercurio entre los grupos estudiados y para los diferentes períodos de muestreo. En Puerto Ordaz, el porcentaje más alto de personas que presentó niveles de mercurio en sangre superiores al permitido ( $10 \mu\text{g/L}$ ), fue en el año 2005: 31%, mientras que en Mérida fue en el año 2010: 2,38%. A excepción del año 2006, se encontraron diferencias significativas en el contenido de mercurio de sangre entre los habitantes de las ciudades en estudio. En Puerto Ordaz, el contenido de mercurio presente en las muestras de sangre del 8% de las personas voluntarias para este estudio en el año 2010, revela que este grupo está en riesgo toxicológico al metal, mientras que en Mérida sólo el 2,38% lo está.

**Palabras clave:** Mercurio, riesgo toxicológico, contaminante, residuos, metilmercurio, afluentes, actividad minera.

## Introducción y objetivos

El mercurio es un metal tóxico que se encuentra presente en ríos y mares, así como en los tejidos de ciertos peces y hasta en la sangre de los bebés recién nacidos. Puede afectar la salud de las personas y se lo considera un contaminante de importancia global. Algunos fenómenos naturales (actividad volcánica, meteorización de rocas, etc.) y actividades humanas (minería, utilización y

procesamiento de productos combustibles, etc.) pueden liberar mercurio al medio ambiente. Una vez liberado, el mercurio puede moverse libremente entre el aire, el agua y la tierra. Fundamentalmente, la exposición al metilmercurio  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ , se hace a través de la alimentación (especialmente el pescado), y los vapores de mercurio elemental  $\text{Hg}^0$ , a través de los empastes amalgamados y en ciertos sitios de trabajo (por ejemplo los mineros) [1]. Habitantes de Ciudad Guayana están expuestos al consumo de diversos agentes contaminantes desechados en los ríos Orinoco y Caroní. Expertos atri-

buyen el problema al incumplimiento de leyes ambientales y al crecimiento desordenado de la ciudad. Los sectores más vulnerables por su proximidad a las empresas básicas, ubicados al oeste de Puerto Ordaz, son Core 8, Las Teodokildas, Villa Bahía, Las Amazonas y Cambalache, entre otros donde habitan más de tres mil personas. En la zona están establecidas Bauxilum, Sidor y Venalum. La geógrafa y profesora de la Universidad Nacional Experimental de Guayana (UNEG), Carol Valeri, explicó que los residuos tóxicos de las estatales son depositados en lagunas y poco a poco se filtran hasta llegar

a los afluentes. Hernán Castellanos, coordinador del Centro de Investigaciones Ecológicas de la UNEG, manifestó que la mayoría de los bolivarenses tiene en su organismo un mínimo de mercurio. El agua contaminada por mercurio metilado proveniente del Alto Caura -utilizado en la minería ilegal- desemboca en el embalse de Macagua, cuyas aguas están destinadas para el consumo de los pobladores de Ciudad Guayana y sus adyacencias [2]. En el año 2005, más del 90% de las personas examinadas en un estudio de contaminación por mercurio en El Callao (Estado Bolívar) presentaron este metal en la orina por encima del nivel de alerta, lo cual es considerado uno de los niveles de intoxicación más altos en el mundo [3].

En vista de la potencialidad tóxica que representa el mercurio, se han realizado numerosos estudios en diferentes poblaciones y países para establecer límites de concentración máxima permitida. En Gaceta Oficial de la República de Venezuela [4], los límites máximos admisibles de este elemento en sangre completa son: 15 µg/L como mercurio inorgánico para personal expuesto, <1 µg/L como mercurio inorgánico para personal no expuesto; 100 µg/L como mercurio orgánico para personal expuesto, y <10 µg/L como mercurio orgánico para personal no expuesto. En este trabajo se propone determinar el contenido de mercurio total presente en algunos habitantes de dos ciudades de Venezuela con actividad económica distinta como son Puerto Ordaz y Mérida, con el fin de evaluar y comparar el riesgo de toxicidad durante los años 2004-2010. Para ello se colectaron muestras de sangre de personas voluntarias no expuestas al elemento en estudio, en ambas ciudades.

Dado que los niveles de mercurio presentes en fluidos biológicos se encuentran en el orden de las trazas, se hace necesario que la determinación del mismo se realice a través de técnicas que posean alta sensibilidad y bajos límites de detección. La generación química de vapor utilizando borohidruro de sodio (NaBH<sub>4</sub>) en medio ácido como agente reductor y detección por espectroscopia de absorción atómica (CVG-AAS), es la técnica preferiblemente empleada para la determinación de mercurio en diferentes matrices [5]. El contenido de mercurio fue determinado mediante CVG-AAS, empleando las condiciones óptimas encontradas en el trabajo de investigación desarrollado en el Laboratorio de

Espectroscopia Molecular de la Universidad de Los Andes y presentado en el IX Congreso Venezolano de Química [6].

Para el tratamiento de los datos se utilizó un análisis estadístico de varianza (ANOVA de dos vías) con  $P < 0,05$ ; esto permitió comparar los valores de mercurio entre los grupos estudiados para los diferentes períodos de muestreo.

## Metodología

### Tipo de investigación

De acuerdo con el objetivo planteado se realizó un estudio de tipo exploratorio [7].

### Universo

Está conformado por todas las personas que asistieron tanto a un laboratorio de análisis clínico en la ciudad de Puerto Ordaz, como al Laboratorio de Espectroscopia Molecular de la Universidad de Los Andes en la ciudad de Mérida durante los años 2004-2010.

### Muestra

La muestra está constituida por personas mayores de 21 años, no expuestas al mercurio y sin distinción de sexo, que acudieron tanto a un laboratorio de análisis clínico en la ciudad de Puerto Ordaz, como al Laboratorio de Espectroscopia Molecular de la Universidad de Los Andes en la ciudad de Mérida durante los años 2004-2010.

### Procedimiento

Previo información y pleno conocimiento de este estudio por parte de los integrantes de cada laboratorio involucrado, se procedió de la siguiente manera:

A todas las personas que asistieron tanto a un laboratorio de análisis clínico en la ciudad de Puerto Ordaz, como al Laboratorio de Espectroscopia Molecular de la Universidad de Los Andes en la ciudad de Mérida durante los años 2004-2010, se les informó sobre el estudio y aquellas personas que decidieron participar, dejaron su autorización por escrito, de acuerdo al protocolo de bioética para estudios clínicos.

Luego se les extrajo la muestra sanguínea para realizar la determinación de mercurio total,

asumiendo como valor máximo permitido, para este elemento: 10 µg/L. La determinación de mercurio total en las muestras de sangre, se llevó a cabo en el Laboratorio de Espectroscopia Molecular, Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes en la ciudad de Mérida.

### Reactivos

Todas las soluciones fueron preparadas con reactivos de la más alta pureza disponible y de grado analítico. El agua empleada para la preparación de soluciones y lavado de material de laboratorio, fue doblemente destilada y desionizada con resistividad específica de 18 MΩ/cm, obtenida en un sistema Millipore Milli-Q plus.

### Toma y tratamiento de las muestras

Para la determinación de mercurio total, las muestras de sangre se recolectaron en tubos de ensayos de vidrio, limpios y secos con capacidad de 20 mL, a los que se les añadió dos gotas de anticoagulante heparina sódica, previa toma de la muestra. La muestra se tomó de la vena del antebrazo de cada paciente utilizando jeringas desechables. Una vez trasvasada la muestra de sangre al tubo de ensayo, se procedió a mezclar por inversión el anticoagulante y la muestra. Seguidamente, las muestras se almacenaron y refrigeraron debidamente a una temperatura de 4 °C hasta el momento de su análisis.

### Determinación de mercurio total

Para llevar a cabo los experimentos, se utilizó el sistema de flujo continuo mostrado en la Figura 1. Las soluciones de ácido (HCl 1 mol/L) y analito (canales 1 y 2, flujo 6,0 mL/min, se mezclan en el serpentín L1, luego por el tercer canal se introduce la solución de NaBH<sub>4</sub> 0,2%, la cual se mezcla y reacciona en el serpentín de reacción (L2) con el flujo proveniente de L1. En L2 se generan las especies volátiles de mercurio MeHgH y Hg<sub>0</sub>, las cuales son separadas de la fase líquida y transportadas con la ayuda del gas de arrastre (N<sub>2</sub>, 150 mL/min) hacia la celda de cuarzo donde son atomizadas a 700 °C. Las mediciones se realizaron a de 253,7 nm en un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 3100. Para la propulsión de los diferentes reactivos y soluciones se empleó una bomba peristáltica Gilson Minipuls-3 de cuatro canales y tuberías de Tygon

de diferentes diámetros. Para minimizar la formación de espuma y facilitar la separación del analito se adicionó antiespumante Foamkill al 0,4% v/v.

### Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa Sigma Plot versión 11.0. Las concentraciones de mercurio, se expresaron en medias + desviación estándar (X ± DE). Se tomó como índice de confiabilidad estadística el 95 % (P<0.05). Asimismo, se realizó un análisis de varianza como lo es ANOVA de dos vías para evaluar las diferencias entre las medias.}

### Resultados y discusiones

En la Tabla 1 se puede observar el número de muestras de sangre de las personas que participaron en este estudio, colectadas cada año desde 2004 hasta 2010, tanto en Puerto Ordaz como en Mérida.

En las Tablas 2 y 3 se muestran las concentraciones mínimas y máximas de mercurio encontradas en sangre de las personas involucradas en este estudio durante los años 2004-2010, para Puerto Ordaz y Mérida respectivamente.

Se puede notar que el valor mínimo cuantificado de mercurio en sangre de las personas involucradas en el estudio para ambas ciudades en estudio es de 0,310 ± 0,009 µg/L, mientras que el valor máximo cuantificado de mercurio es de 199,93 ± 6,00 µg/L para Puerto Ordaz en el año 2005, y 20,30 ± 0,61 µg/L para Mérida en el año 2010. Es interesante resaltar el hecho de que en Puerto Ordaz el valor máximo es veinte (20) veces mayor al valor permitido por la legislación venezolana, mientras que en Mérida el valor máximo es dos (2) veces mayor al valor permitido por la legislación venezolana.

Por otra parte, en el Gráfico 1 se puede observar la variación de la concentración de mercurio total en (µg/L) en las muestras de sangre de las personas involucradas en el estudio, tanto en la ciudad de Puerto Ordaz como en la ciudad de Mérida, durante los años 2004-2010. A excepción del año 2006, mediante de la Tabla 4 se puede notar que existen diferencias significativas entre las concentraciones de mercurio de cada ciudad en estudio y para cada año.

Este mismo análisis estadístico (ANOVA) se realizó para verificar si existían diferencias significativas entre las concentraciones de mercurio para

cada ciudad en estudio, pero interanual. En los Gráficos 2 y 3, y las Tablas 5 y 6 se puede observar los resultados encontrados. En ellos se demuestra que existen diferencias significativas en el contenido de mercurio interanual en los habitantes de Puerto Ordaz en el año 2005, así como también en el año 2004 (excepto 2004-2010) y 2006 (excepto 2006-2010). En Mérida no se encontraron diferencias significativas en el contenido de mercurio interanual.

Finalmente, se determinó el porcentaje de personas con niveles de mercurio superiores a los permitidos por la legislación venezolana (10 µg/L). A saber, en Puerto Ordaz: año 2004: 17%, 2005: 31%, 2006:0%, 2007: 6%, 2008: 5%, 2009: 7% y 2010: 8%; y en Mérida: año 2004: 1%, 2005: 0%, 2006:0%, 2007: 0,28%, 2008: 0%, 2009: 0,38% y 2010: 2,38%.

## Conclusiones

En Puerto Ordaz, el porcentaje más alto de personas que presentó niveles de mercurio en sangre superiores al permitido (10 µg/L), fue en el año 2005: 31%, mientras que en Mérida fue en el año 2010: 2,38%. A excepción del año 2006, se encontraron diferencias significativas en el contenido de mercurio de sangre entre los habitantes de las ciudades en estudio, siendo mayor el valor en los habitantes de Puerto Ordaz. En Mérida, el contenido de mercurio presente en las muestras de sangre del 2,38% de las personas voluntarias para este estudio en el año 2010, revela que este grupo estaba en riesgo toxicológico al metal, mientras que en Puerto Ordaz para el año 2010, el 8% lo estaba.

## Referencias bibliográficas

- Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 35.916, decreto N° 5.382 Extraordinario del 28 de septiembre de 1999.
- <http://www.somosvivalau.com/enterate/destacan-filtracion-toxica-en-el-orinoco-y-el-caroni/>.18 DE AGOSTO DE 2011.
- LA VISIÓN DE LA RED-ARA. 2011. Aportes para un diagnóstico de la problemática ambiental de Venezuela. Embajada de Finlandia en Venezuela. Disponible en internet desde: <http://red-ara-venezuela.blogspot.com>.
- Kagaya S., Y. Kuroda, Y. Srikawa y K. Hasegawa. 2004. Talanta 64: 554.
- PNUMA (UNEP) 2002, Resumen Detalles: Green Facts (2004). Basado en 'Global Assessment report on Mercury'.
- Rojas E., P. Carrero\*, L. Gutiérrez, C. Rondón, M. Valero, Y. Petit, M. Alarcón. 2009. Determinación de mercurio total en sangre mediante generación química de vapor en medio ácido. IX Congreso Venezolano de Química.
- Sellriz. 3 tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa. Disponible en internet desde: <http://manuelgross.bligoo.com/conozca-3-tipos-de-investigacion-descriptiva-exploratoria-y-explicativa>

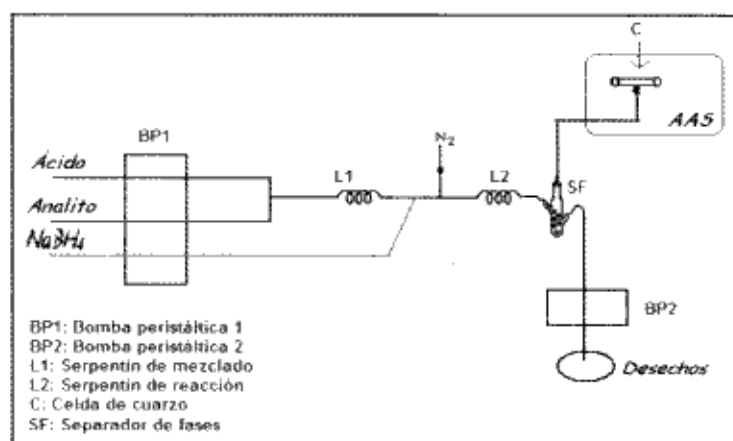


Figura 1. Diagrama esquemático del sistema utilizado

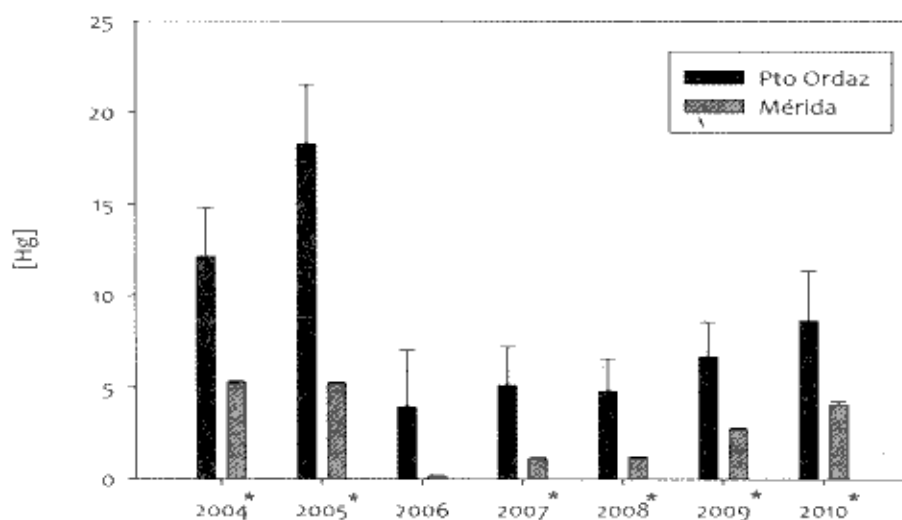
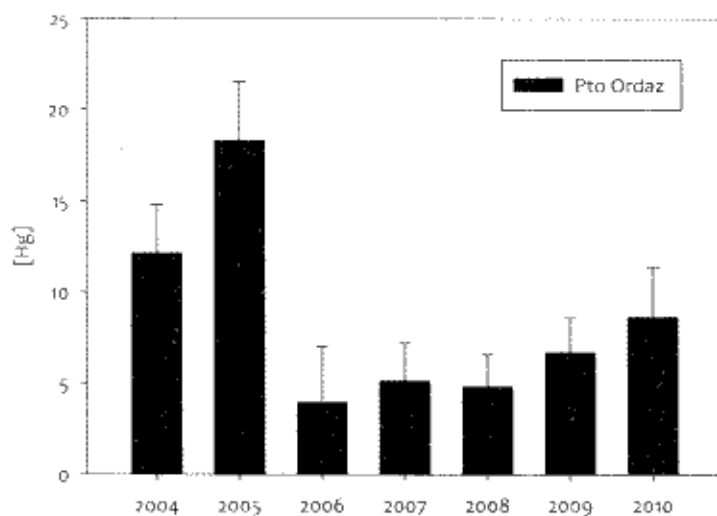
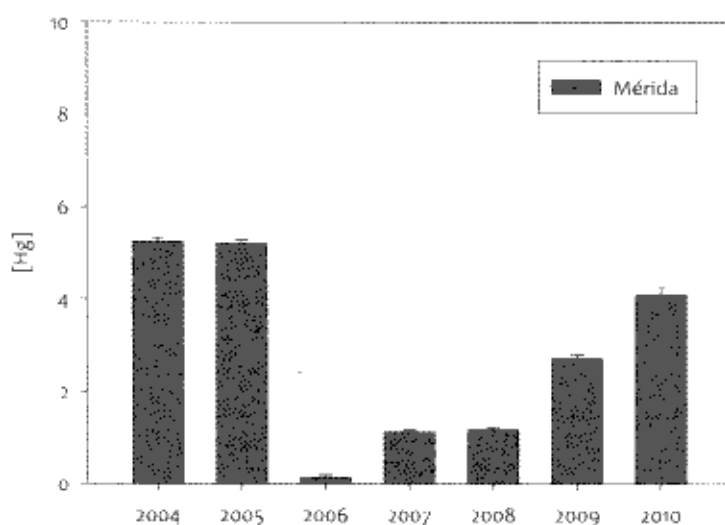


Gráfico 1. Variación de la concentración de mercurio ( $\mu\text{g/L}$ ) en Puerto Ordaz y Mérida, durante los años 2004-2010. \*: Existen diferencias significativas entre las medias.



**Gráfico 2. Variación de la concentración de mercurio ( $\mu\text{g/L}$ ) en sangre de habitantes de Puerto Ordaz, durante los años 2004-2010.**



**Gráfico 3. Variación de la concentración de mercurio ( $\mu\text{g/L}$ ) en sangre de habitantes de Mérida, durante los años 2004-2010.**

**Tabla 1. Número de muestras colectadas desde 2004 hasta 2010**

Año	Número de Muestras	
	Puerto Ordaz	Mérida
2004	41	424
2005	52	373
2006	67	457
2007	125	705
2008	56	385
2009	71	260
2010	49	168

**Tabla 2. Concentraciones mínimas de mercurio total ( $\mu\text{g/L}$ )**

Año	Valor mínimo cuantificado ( $\mu\text{g/L}$ )	
	Puerto Ordaz	Mérida
2004	0,40 $\pm$ 0,01	0,43 $\pm$ 0,01
2005	0,80 $\pm$ 0,02	0,43 $\pm$ 0,01
2006	1,95 $\pm$ 0,06	0,52 $\pm$ 0,01
2007	0,43 $\pm$ 0,01	0,43 $\pm$ 0,01
2008	<b>0,310<math>\pm</math>0,009</b>	<b>0,310<math>\pm</math>0,009</b>
2009	0,46 $\pm$ 0,01	0,43 $\pm$ 0,01
2010	0,90 $\pm$ 0,03	0,43 $\pm$ 0,01

**Tabla 3. Concentraciones máximas de mercurio total ( $\mu\text{g/L}$ )**

Año	Valor máximo cuantificado ( $\mu\text{g/L}$ )	
	Puerto Ordaz	Mérida
2004	177,63 $\pm$ 5,33	12,56 $\pm$ 0,38
2005	<b>199,93<math>\pm</math>6,00</b>	9,93 $\pm$ 0,30
2006	8,00 $\pm$ 0,24	8,47 $\pm$ 0,25
2007	84,00 $\pm$ 2,52	15,76 $\pm$ 0,47
2008	58,98 $\pm$ 1,77	6,67 $\pm$ 0,20
2009	192,25 $\pm$ 5,77	16,19 $\pm$ 0,49
2010	191,70 $\pm$ 5,75	<b>20,30<math>\pm</math>0,61</b>

**Tabla 4. Análisis de varianza ANOVA de dos vías para comparar las concentraciones de mercurio entre Puerto Ordaz y Mérida para cada año desde 2004 hasta 2010**

Puerto Ordaz vs. Mérida	q	P	Significativo ( P<0,05)
2004	9,822	<0,001	Si
2005	17,294	<0,001	Si
2006	1,117	0,43	No
2007	5,289	<0,001	Si
2008	3,604	0,011	Si
2009	6,057	<0,001	Si
2010	6,175	<0,001	Si

**Tabla 5. Análisis de varianza ANOVA de dos vías para comparar las concentraciones de mercurio en los habitantes de Puerto Ordaz entre años**

Localidad: Puerto Ordaz Año Vs Año		q	P	Significativo (P<0,05)
2004	2005	5,02	0,007	Si
	2006	7,022	<0,001	Si
	2007	6,629	<0,001	Si
	2008	6,063	<0,001	Si
	2009	4,731	0,014	Si
	2010	2,812	0,422	No
	2005	2006	13,207	<0,001
2007		13,584	<0,001	Si
2008		11,916	<0,001	Si
2009		10,829	<0,001	Si
2010		8,256	<0,001	Si
2006	2007	1,316	0,968	No
	2008	0,807	0,998	No
	2009	2,727	0,461	No
	2010	4,241	0,043	Si
2007	2008	0,331	1	No
	2009	1,784	0,869	No
	2010	3,547	0,156	No
2008	2009	1,781	0,87	No
	2010	3,328	0,219	No
2009	2010	1,792	0,867	No



**Tabla 6. Análisis de varianza ANOVA de dos vías para comparar las concentraciones de mercurio en los habitantes de Mérida entre años**

Localidad: Mérida Año Vs Año		q	P	Significativo (P<0,05)
2004	2005	1,339	0,965	No
	2006	1,007	0,992	No
	2007	1,628	0,912	No
	2008	2,207	0,708	No
	2009	1,683	0,898	No
	2010	0,0938	1	No
2005	2006	0,389	1	No
	2007	3,047	0,321	No
	2008	3,446	0,183	No
	2009	2,817	0,42	No
	2010	0,931	0,995	No
2006	2007	2,797	0,429	No
	2008	3,227	0,253	No
	2009	2,581	0,531	No
	2010	0,658	0,999	No
2007	2008	0,873	0,996	No
	2009	0,448	1	No
	2010	1,265	0,974	No
2008	2009	0,284	1	No
	2010	1,773	0,873	No
2009	2010	1,426	0,952	No