

Por favor citar fuente de la siguiente manera:

Pérez, A.G. 2014. *Calidad del Aire en la Sede Central Rodrigo Facio*. (Informe Proyecto UCR-802-B4-713). Montes de Oca, Universidad de Costa Rica. pp. 19.

CALIDAD DEL AIRE EN LA SEDE CENTRAL RODRIGO FACIO DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Enero de 2012 a diciembre de 2014

La calidad del aire y su deterioro incide en una mayor manifestación de enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Esto daña la calidad de vida de la población, a la vez que ocasiona costos en el sistema de salud y pérdidas de productividad por los días de incapacidad.

Por lo anterior, este estudio de seguimiento de la calidad del aire en la Sede Universitaria Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica buscó mantener informadas a las autoridades universitarias, cantonales, del Ministerio de Ambiente y Energía y del Ministerio de Salud, sobre cómo el desarrollo de infraestructura, el actual crecimiento urbano, particularmente aquel asociado a una débil planificación urbana y, los patrones de movilización en el cantón de Montes de Oca y circunvecinos, afectaron la calidad del aire en esta zona en los últimos tres años.

Metodología

Sitios de muestreo

- a. **UCR-1.** Jardín del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) de la Ciudad de la Investigación, coordenadas norte 9°56'6.0", oeste 89°02'42,8". Altura 2 m.
- b. **UCR-2.** Azotea del edificio de Fisicomatemática de la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, coordenadas norte 9°56'11.81", oeste 84°2'42.5". Altura 15 m.

Métodos de muestreo y análisis

El muestreo de partículas respirables PM-10 se efectuó con muestreadores de aire de alto volumen marca Thermo Andersen modelo 1200 uno con controlador de flujo máscico y otro con controlador de flujo volumétrico durante (24 ± 1) h a un flujo de $(1,13 \pm 0,113)$ m³min⁻¹. Se empleó el método gravimétrico CICA-MACA-07 *Determinación de la concentración de partículas respirables (PM-10) en inmisiones*, el cual corresponde a una modificación del método descrito por la EPA en el documento e-CFR título 40, parte 50, apéndice J.

La determinación de partículas respirables PM-2.5 se llevó a cabo mediante un analizador óptico de partículas de TSI, modelo Dust Trak II, que opera por difracción de la luz.

La concentración de NO₂ en aire ambiente se determinó por muestreo activo de 1 h, basado en el método ISO 6768 *Determinación de la concentración máscica de dióxido de nitrógeno. Método modificado de Griess-Saltzman*.

La concentración de SO₂ en aire ambiente se cuantificó basado en el método *OSHA ID-104*, método activo de burbujeo sobre H₂O₂ y cuantificación por cromatografía iónica, modificado para prolongar el muestreo activo por 24 h.

Resultados

I. Partículas respirables

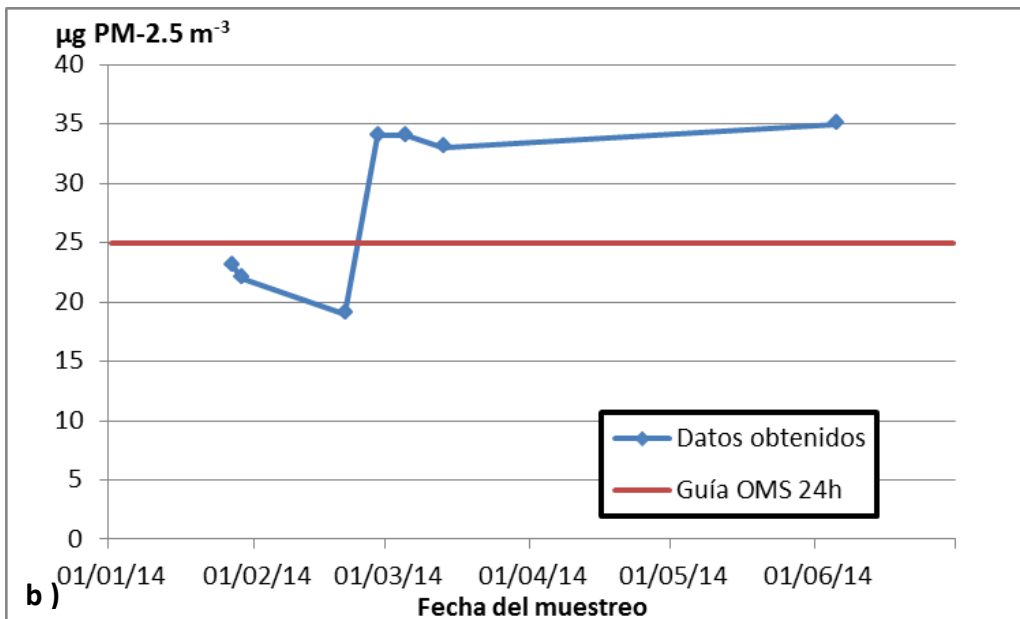
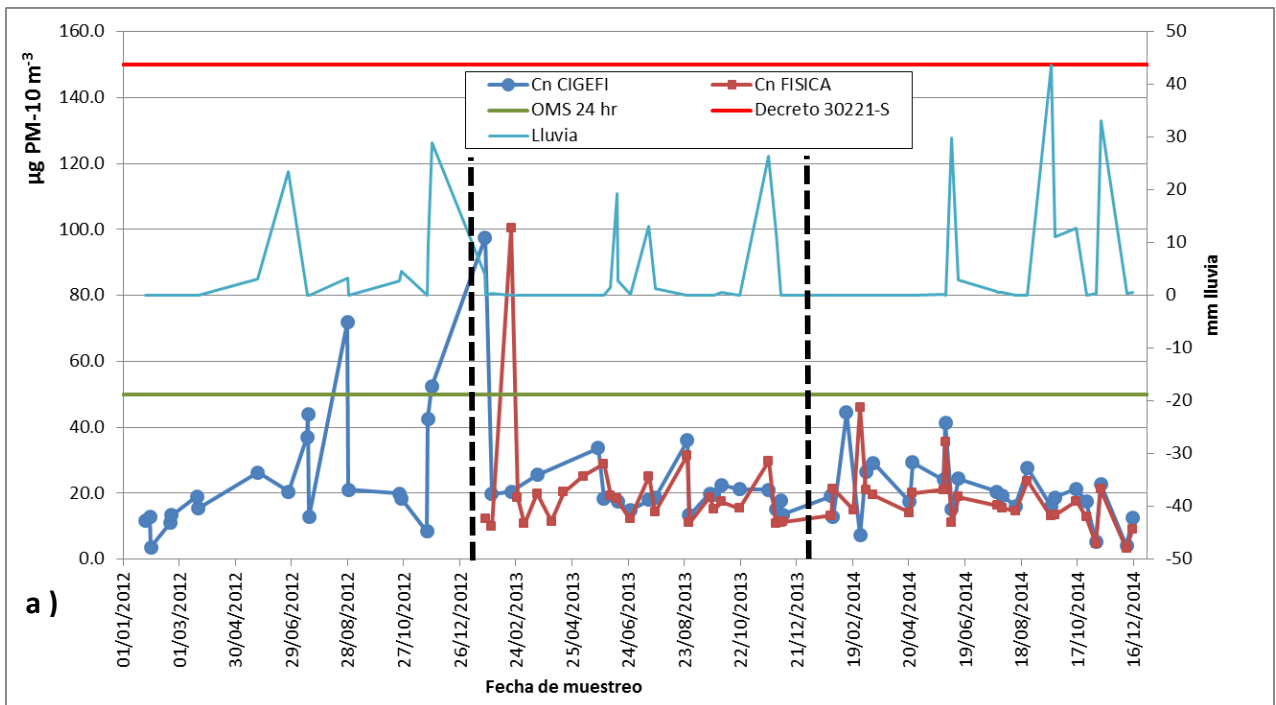


Figura 1 a) Promedio diario de la concentración de partículas PM-10 en aire ambiente, en los sitios UCR-1 y UCR-2, desde el 2012 al 2014, junto con los mm de lluvia para cada día de muestreo b) Promedio diario de la concentración de partículas PM-2.5 en aire ambiente en el sitio UCR-2 de enero a junio del 2014. Valores comparados contra el límite establecido por el *Reglamento sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos* y las Guías de calidad de aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS 2006).

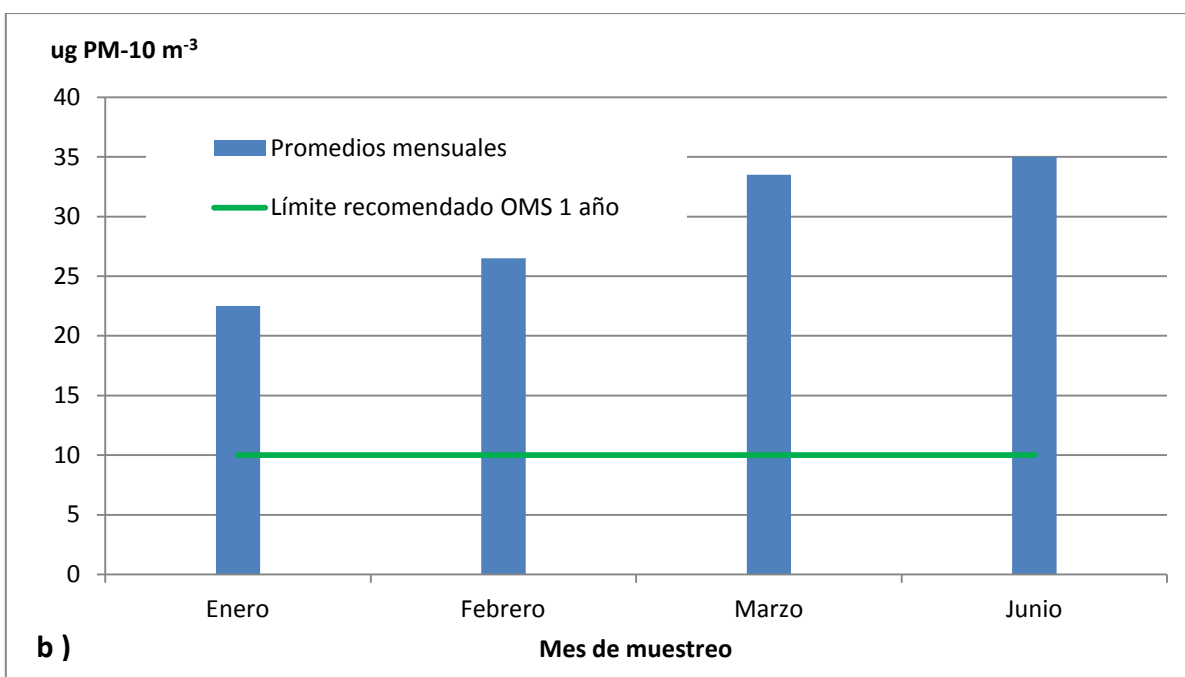
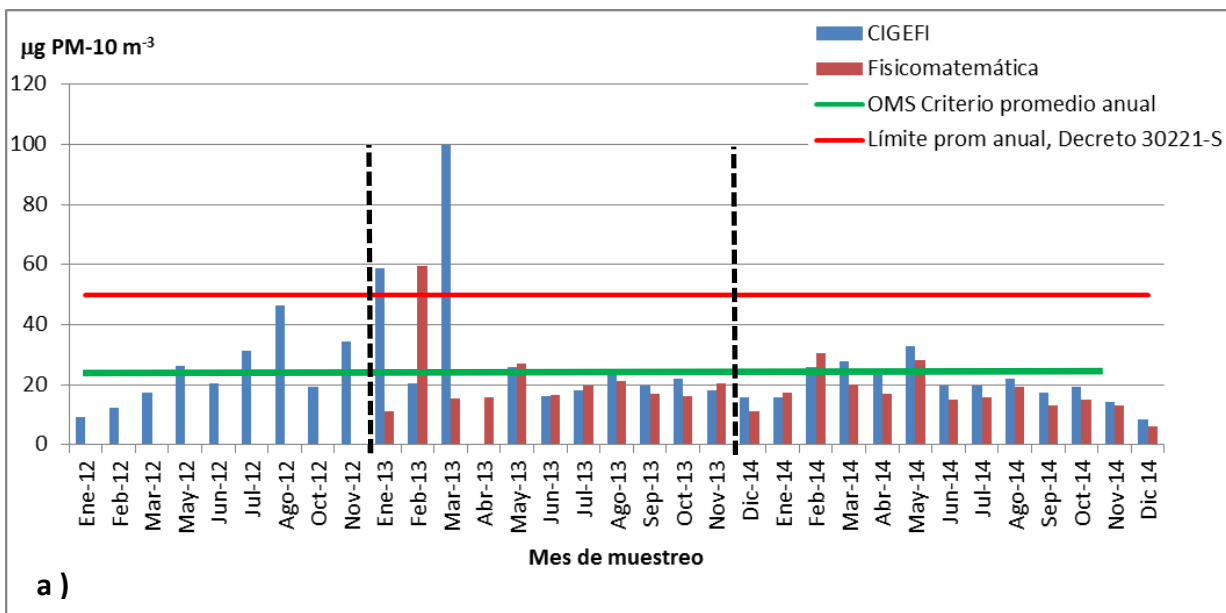


Figura 2 a) Promedio *mensual* de la concentración de partículas PM-10 suspendidas en aire ambiente, en los sitios UCR-1 y UCR-2, durante el período 2012-2014. b) Promedio mensual de la concentración de partículas PM-2.5 suspendidas en aire ambiente en enero, febrero, marzo y junio del 2014. Valores comparados contra el límite *anual* establecido por el *Reglamento sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos* y las Guías de calidad de aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS 2006).

Cuadro I. Promedios anuales obtenidos para el muestreo de partículas PM-10 y PM-2.5, junto con su desviación estándar.

Contaminante	Año	UCR-1 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	UCR-2 ($\mu\text{g m}^{-3}$)
PM-10	2012	24,32 \pm 17,5	No hay registros
	2013	27,41 \pm 18,2	20,75 \pm 17,8
	2014	20,51 \pm 9,7	17,55 \pm 8,9
PM-2.5	I sem 2014	No hay registros	28,6 \pm 6,9

II. Concentración de NO₂

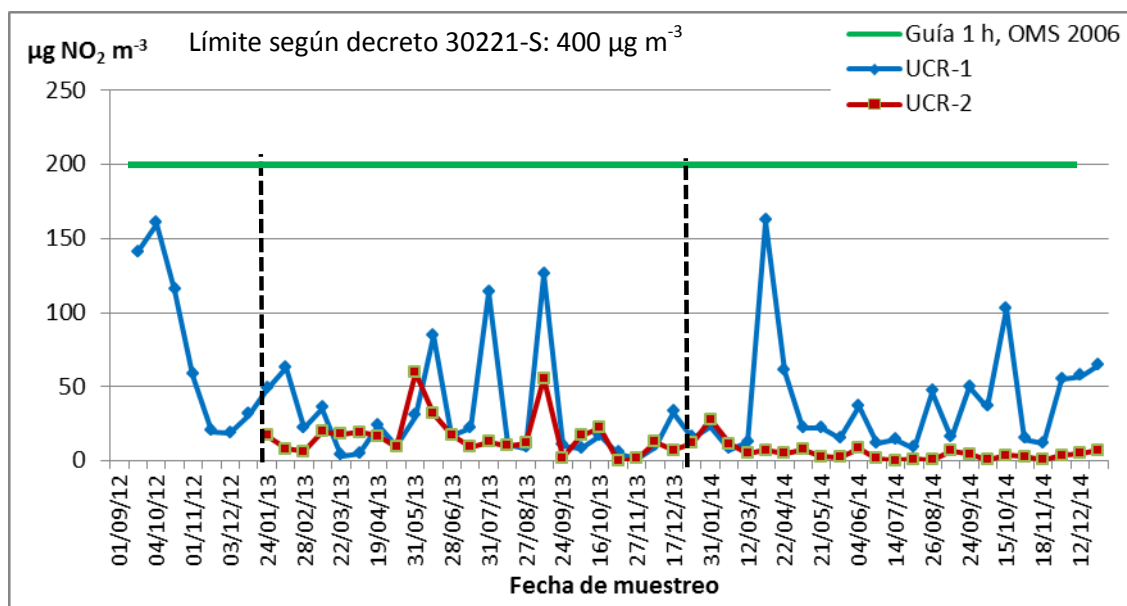


Figura 3. Concentración de una hora de NO₂ en aire ambiente, determinada por muestreo activo en sitios UCR-1 y UCR-2, durante el período 2012-2014 contra el límite establecido por el Reglamento sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos y las Guías de calidad de aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS 2006).

Cuadro II. Promedios anuales obtenidos para el muestreo de NO₂ y su desviación estándar.

Año	UCR-1 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	UCR-2 ($\mu\text{g m}^{-3}$)
2012	77,53 \pm 60,0	No hay registros
2013	30,68 \pm 34,7	16,88 \pm 14,7
2014	36,46 \pm 35,8	5,64 \pm 5,8

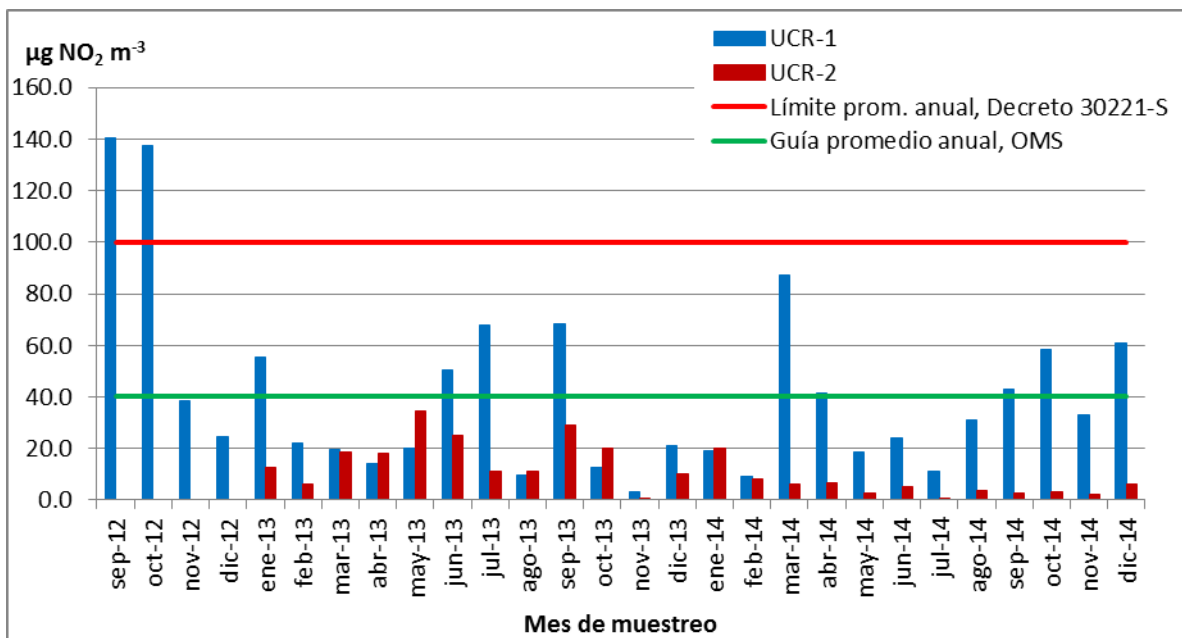


Figura 4. Promedio *mensual* de NO₂ en aire ambiente, determinada por muestreo activo en los sitios UCR-1 y UCR-2, durante el período 2012-2014, contra el límite *anual* establecido por el *Reglamento sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos* y las Guías de calidad de aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS 2006).

III. Concentración de SO₂

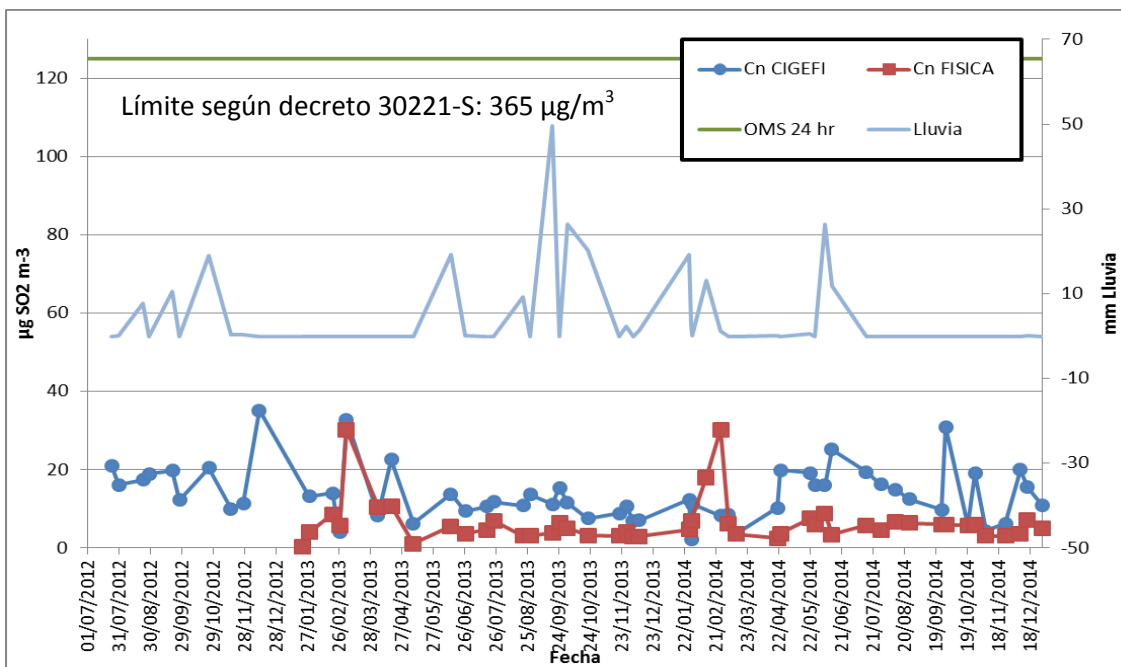


Figura 5. Concentración promedio de 24 h de SO₂ determinada por muestreo activo, en los sitios UCR-1 y UCR-2, durante el período 2012-2014, contra la Guía recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS 2004) y mm de lluvia correspondiente a cada día de muestreo (Fuente Estación Meteorológica CIGEFI UCR).

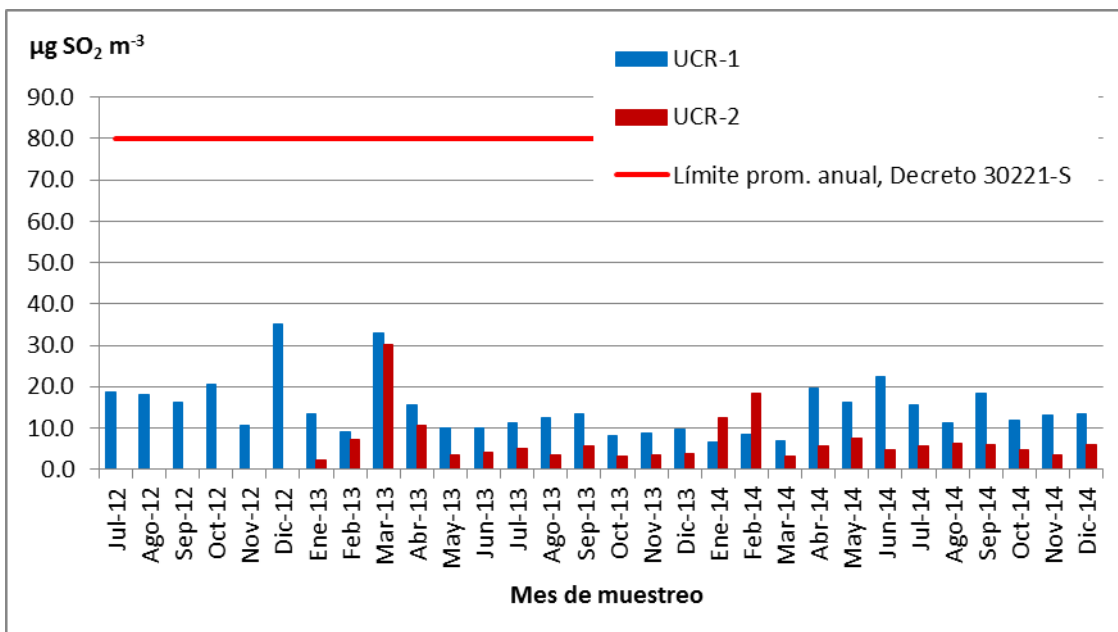
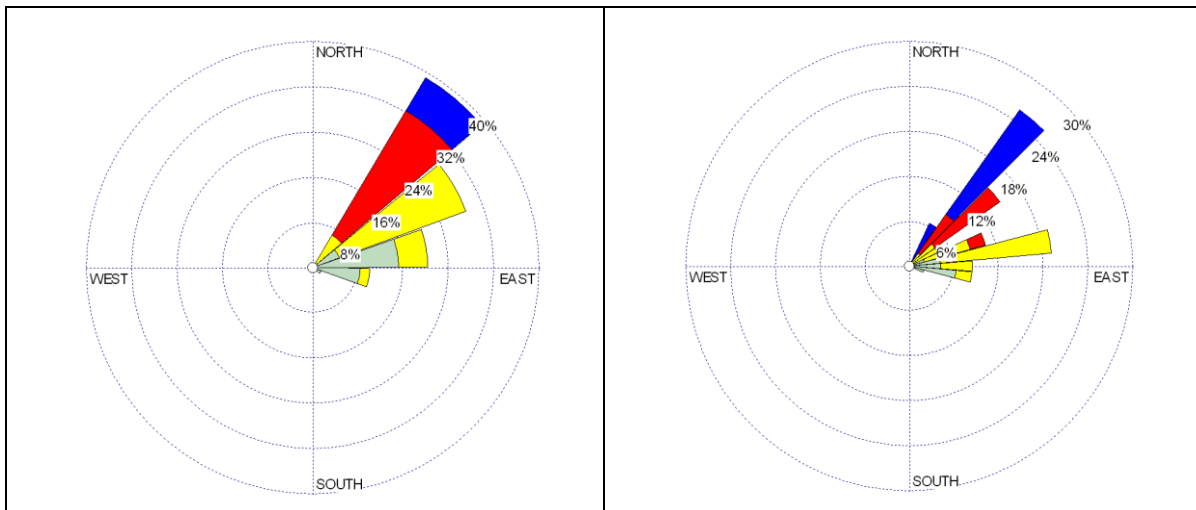


Figura 6. Promedio mensual de SO₂ en aire ambiente, determinada por muestreo activo, en los sitios UCR-1 y UCR-2, durante el período 2012-2014, contra el límite anual establecido por el Reglamento sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos.

Cuadro III. Promedios anuales obtenidos para el muestreo de SO₂ y su desviación estándar.

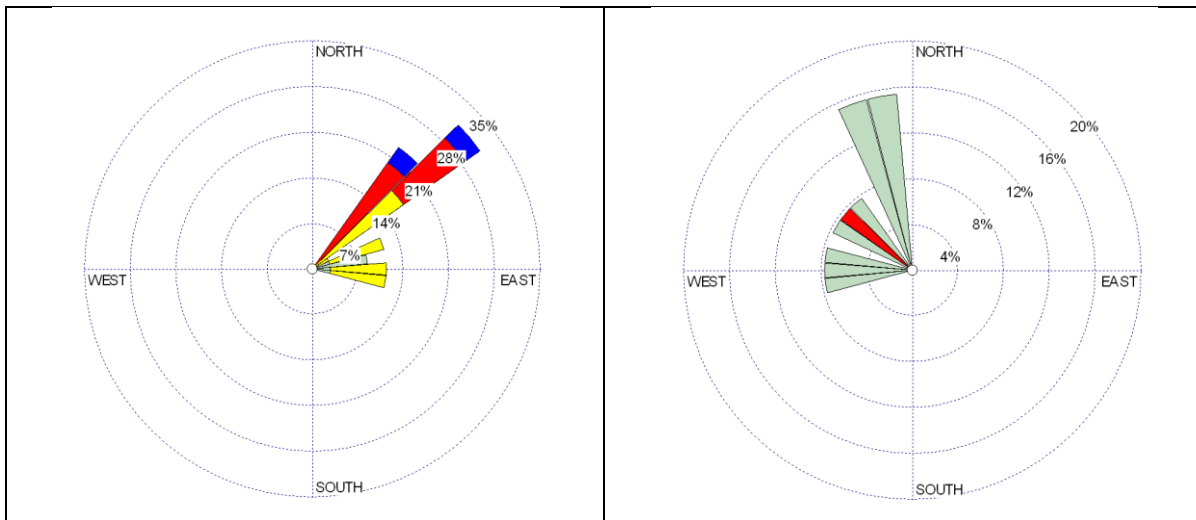
Año	UCR-1 (µg m ⁻³)	UCR-2 (µg m ⁻³)
2012	18,29 ± 7,1	No hay registros
2013	11,99 ± 6,1	5,87 ± 5,9
2014	13,62 ± 7,1	6,93 ± 5,8

IV. Análisis de la velocidad y dirección del viento



A. Enero 2012. Calma 0 %

B. Febrero 2012. Calma



C. Marzo 2012. Calma 0 %

D. Mayo 2012. Calma 12 %

Simbología

Velocidad del viento ms^{-1}

■ $\geq 11,1$

■ 8,8 - 11,1

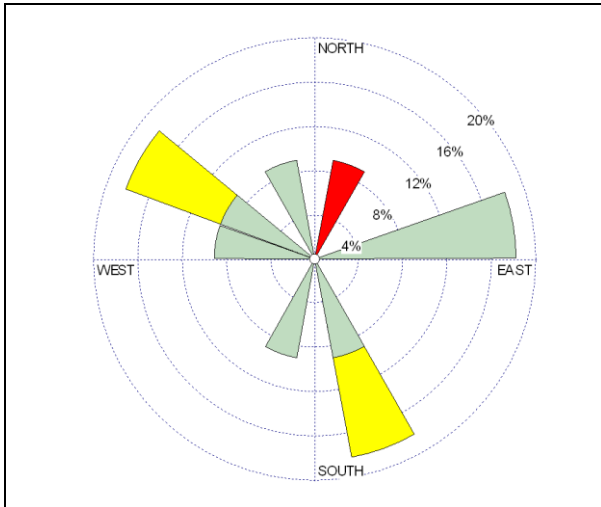
■ 5,7 - 8,8

■ 3,6 - 5,7

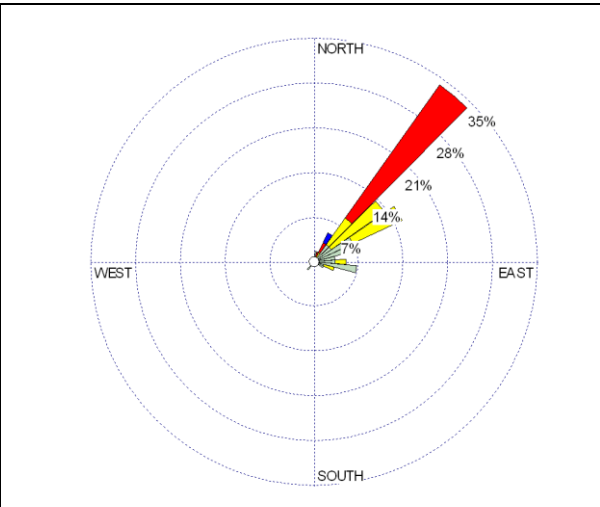
■ 2,1 - 3,6

■ 0,5 - 2,1

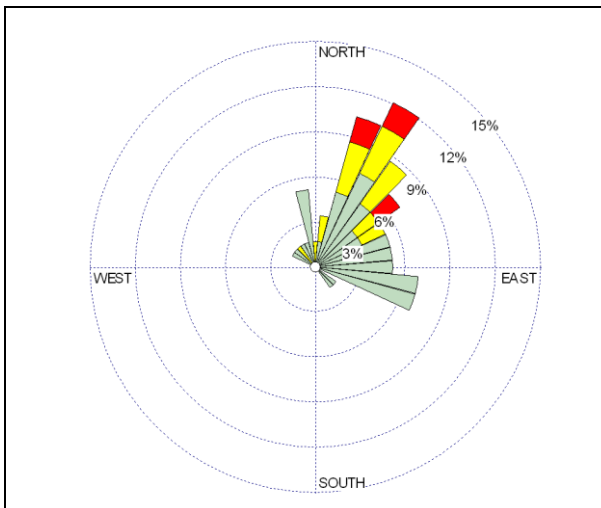
Figura 6a. Rosa de vientos por mes que indica la dirección de donde proviene el viento para los días de muestreo de partículas PM-10 suspendidas en aire. Información Estación Meteorológica CIGEFI, Universidad de Costa Rica. Año 2012.



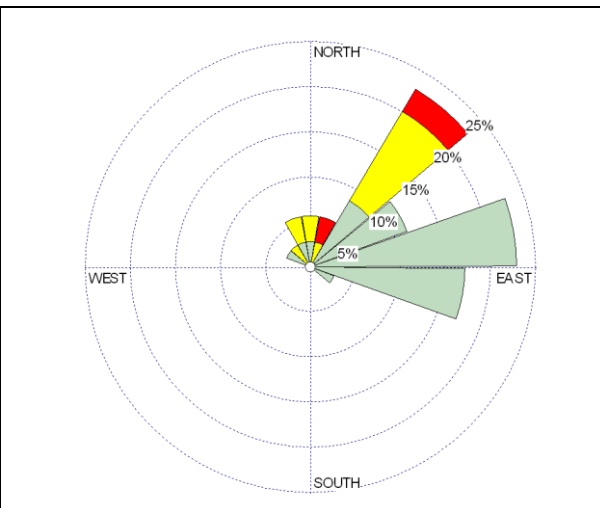
E. Junio 2012. Calma 4,4 %



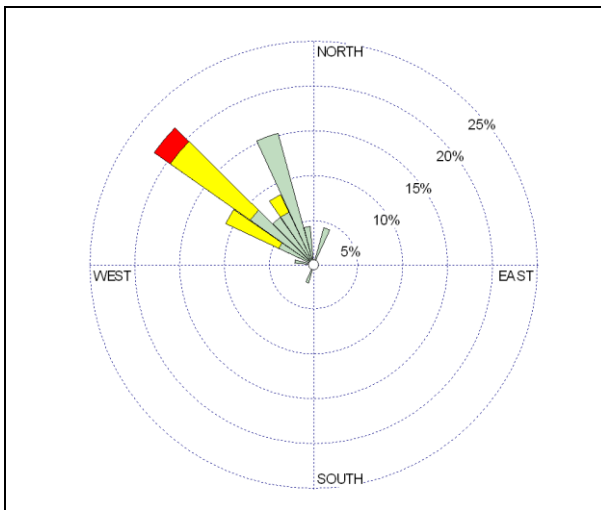
F. Julio 2012. Calma 0 %



G. Agosto 2012. Calma 4,3 %



H. Setiembre 2012. Calma 0 %



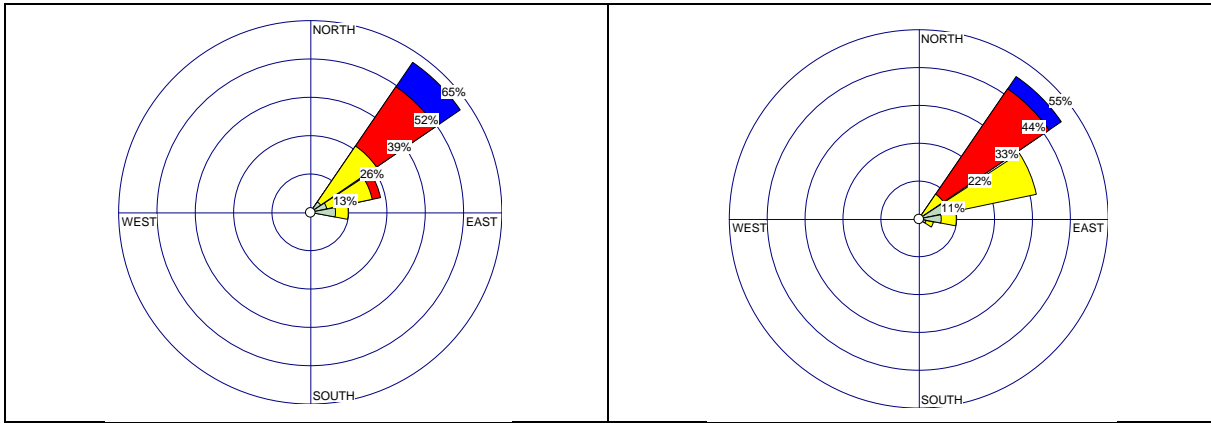
I. Octubre 2012. Calma 23,4 %

Simbología

Velocidad del viento ms⁻¹

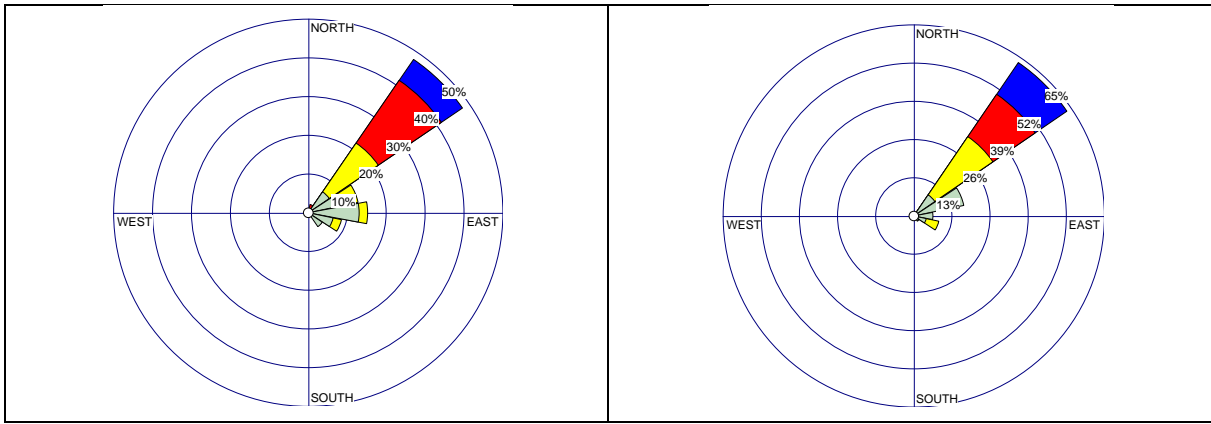
■	≥ 11,1	■	3,6 - 5,7
■	8,8 - 11,1	■	2,1 - 3,6
■	5,7 - 8,8	■	0,5 - 2,1

Figura 6b. Rosa de vientos por mes que indica la dirección de donde proviene el viento para los días de muestreo de partículas PM-10 suspendidas en aire. Información Estación Meteorológica CIGEFI, Universidad de Costa Rica. Año 2012.



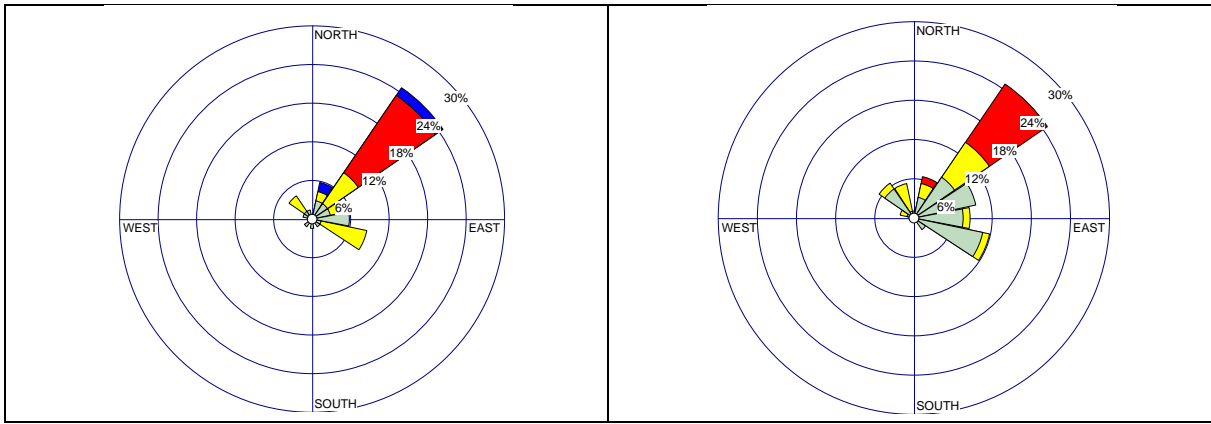
A. Enero. Calma 0 %

B. Febrero. Calma 0 %



C. Marzo. Calma 0 %

D. Abril. Calma 2,13 %



E. Mayo. Calma 38,57 %

F. Junio. Calma 21,28 %

Simbología

Velocidad del viento ms^{-1}

■ $\geq 11,1$

■ 8,8 - 11,1

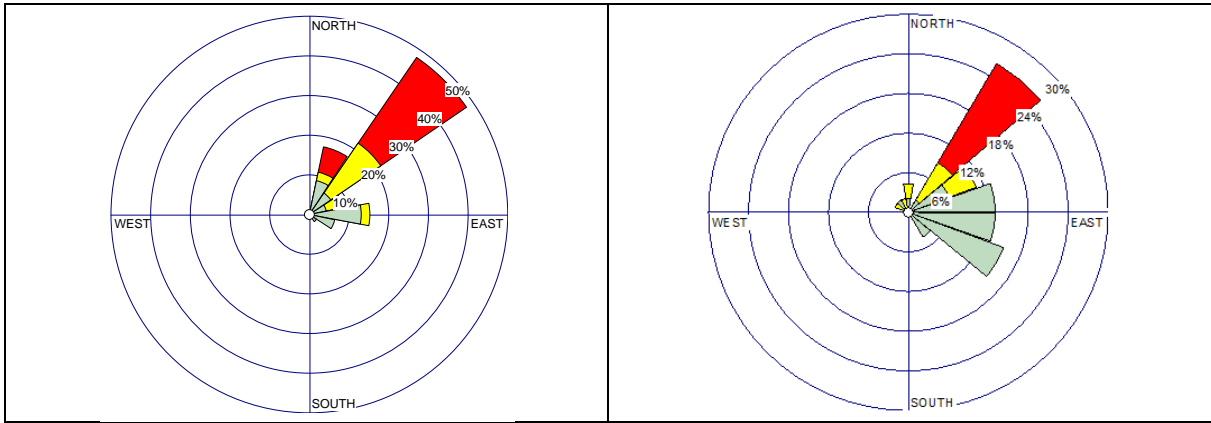
■ 5,7 - 8,8

■ 3,6 - 5,7

■ 2,1 - 3,6

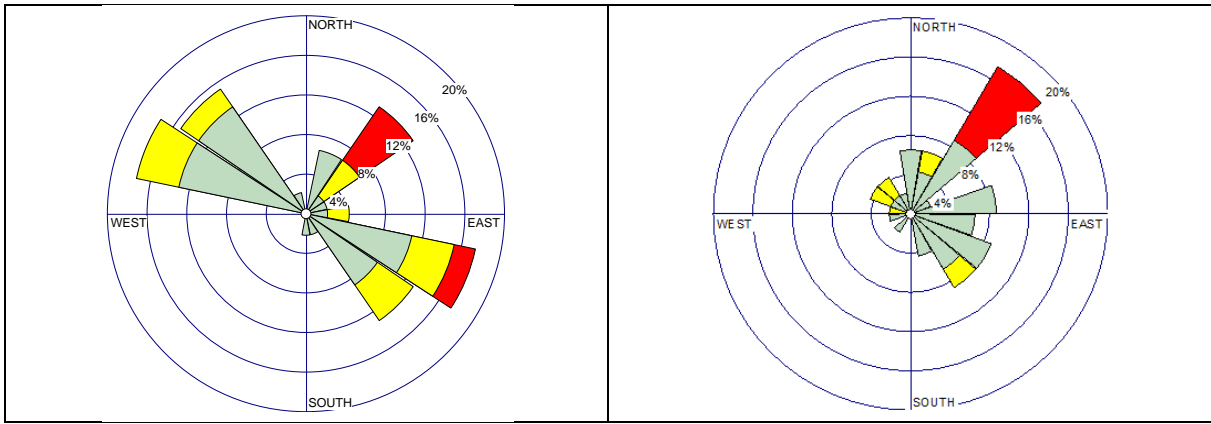
■ 0,5 - 2,1

Figura 7a. Rosa de vientos por mes que indica la dirección de donde proviene el viento para los días de muestreo de partículas PM-10 suspendidas en aire. Información Estación Meteorológica CIGEFI, Universidad de Costa Rica. I semestre 2013.



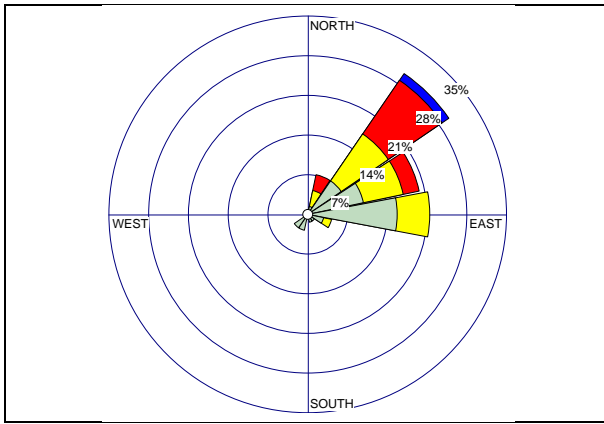
A. Julio. Calma 2,13 %

B. Agosto. Calma 6,38 %



C. Setiembre. Calma 4,26 %

D. Octubre. Calma 12,77 %



E. Noviembre. Calma 8,45 %

Simbología

Velocidad del viento ms^{-1}

■ $\geq 11,1$

■ 8,8 - 11,1

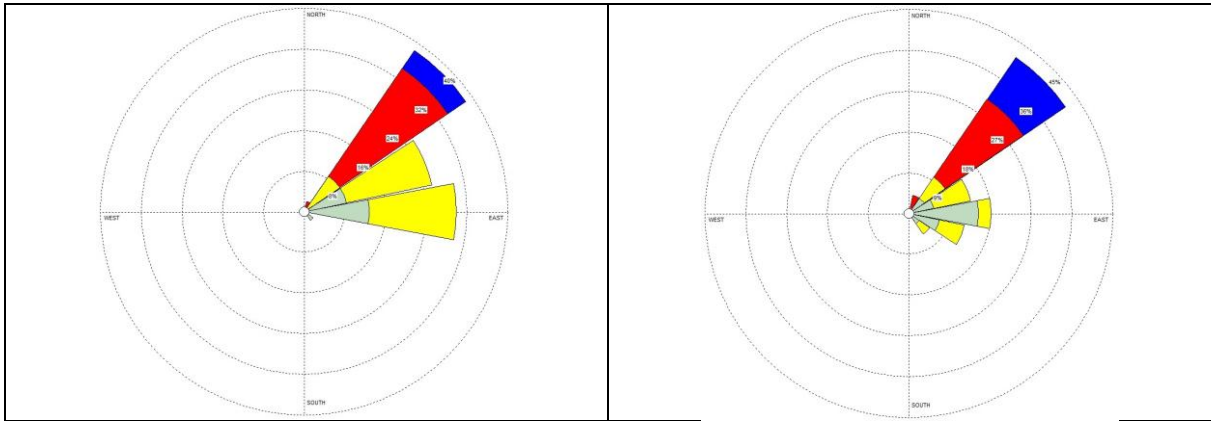
■ 5,7 - 8,8

■ 3,6 - 5,7

■ 2,1 - 3,6

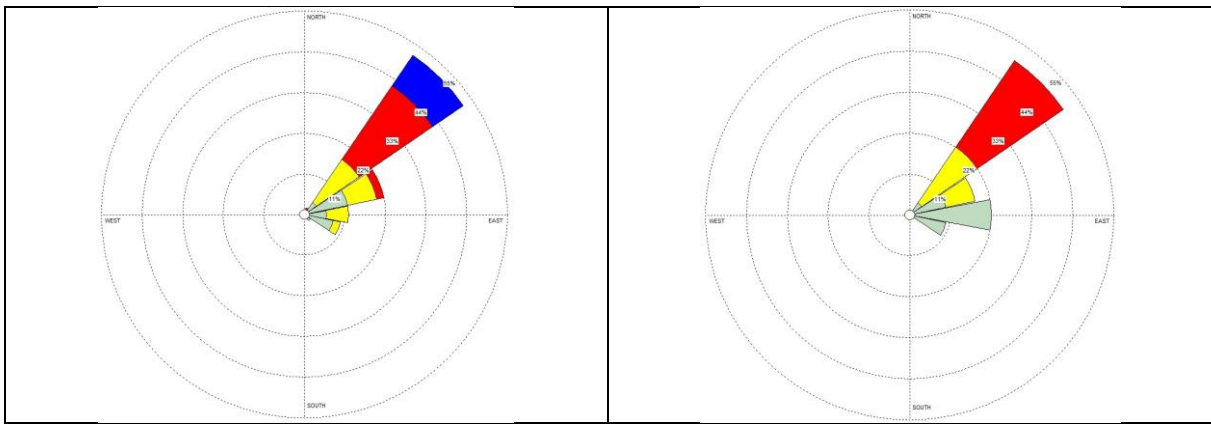
■ 0,5 - 2,1

Figura 7b. Rosa de vientos por mes que indica la dirección de donde proviene el viento para los días de muestreo de partículas PM-10 suspendidas en aire. Información Estación Meteorológica CIGEFI, Universidad de Costa Rica. II semestre 2013.



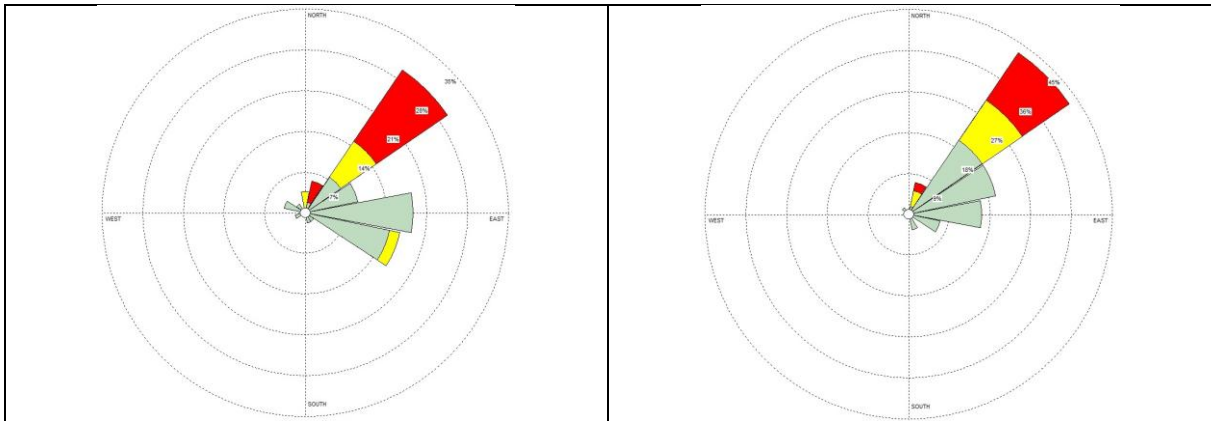
A. Enero. Calma 2,08 %

B. Febrero. Calma 4,11 %



C. Marzo. Calma 0 %

D. Abril. Calma 0 %





E. Mayo. Calma 5,45 %


F. Junio. Calma 1,75 %


Simbología


Velocidad del viento ms^{-1}

 $\geq 11,1$

 8,8 - 11,1

 5,7 - 8,8

 3,6 - 5,7

 2,1 - 3,6


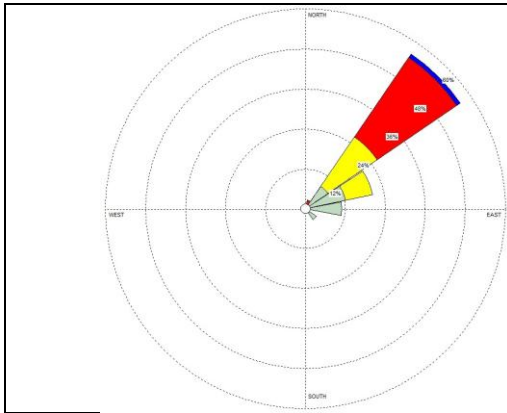
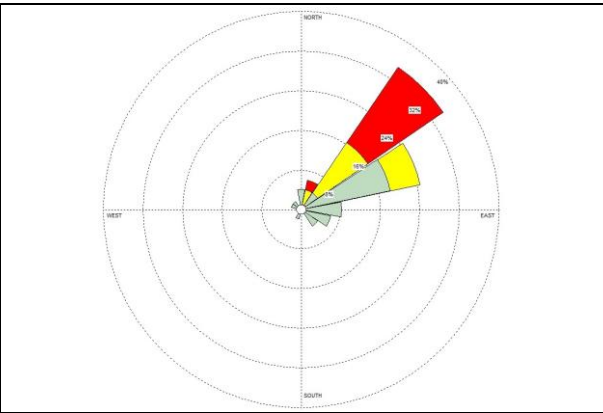
 0,5 - 2,1

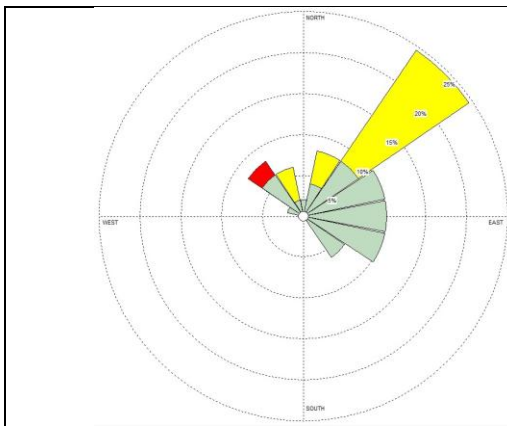
Figura 8a. Rosa de vientos por mes que indica la dirección de donde proviene el viento para los días de muestreo de partículas PM-10 suspendidas en aire. Información Estación Meteorológica CIGEFI, Universidad de Costa Rica. I semestre 2014.



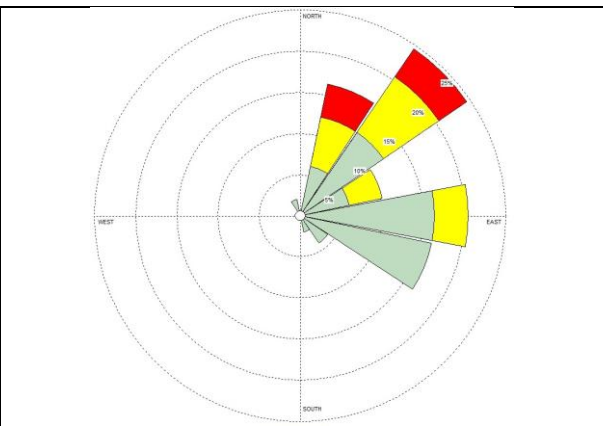
A. Julio. Calma 2,70 %



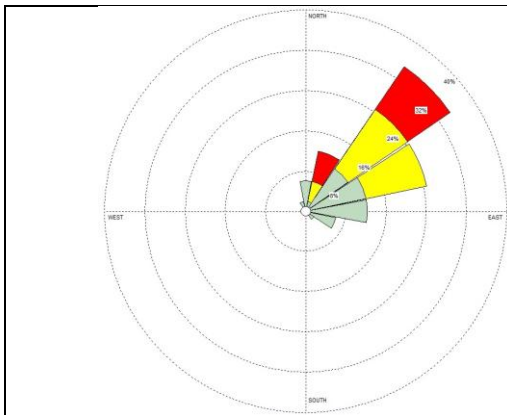
B. Agosto. Calma 6 %



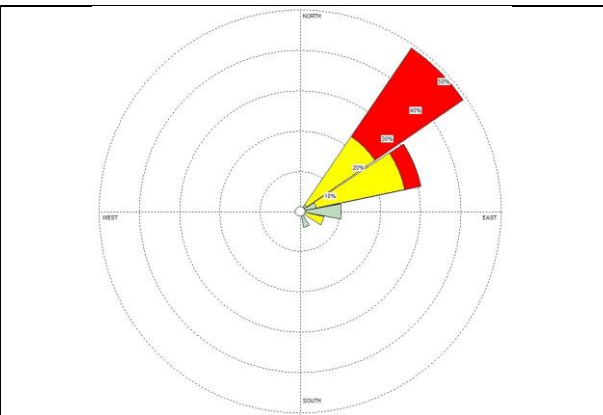
C. Setiembre. Calma 12 %



D. Octubre. Calma 4 %




E. Noviembre. Calma 0 %





F. Diciembre. Calma 0 %


Simbología


Velocidad del viento ms^{-1}

 $\geq 11,1$

 8,8 - 11,1

 5,7 - 8,8

 3,6 - 5,7

 2,1 - 3,6


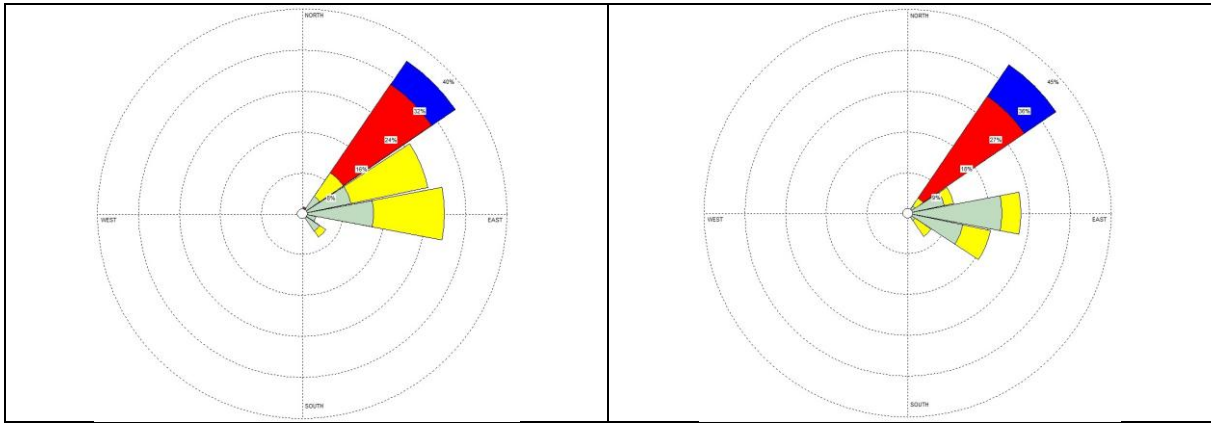
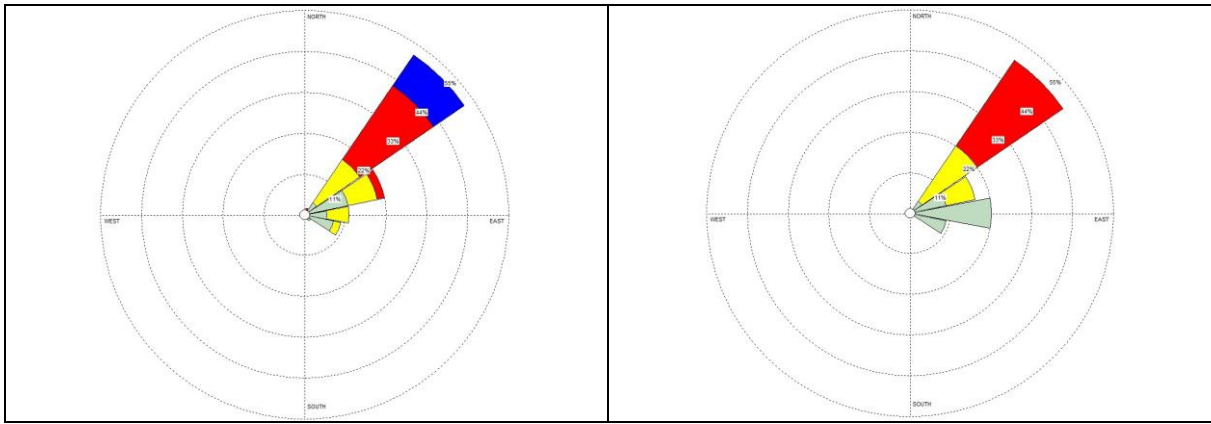
 0,5 - 2,1

Figura 8b. Rosa de vientos por mes que indica la dirección de donde proviene el viento para los días de muestreo de partículas PM-10 suspendidas en aire. Información Estación Meteorológica CIGEFI, Universidad de Costa Rica. II semestre 2014.



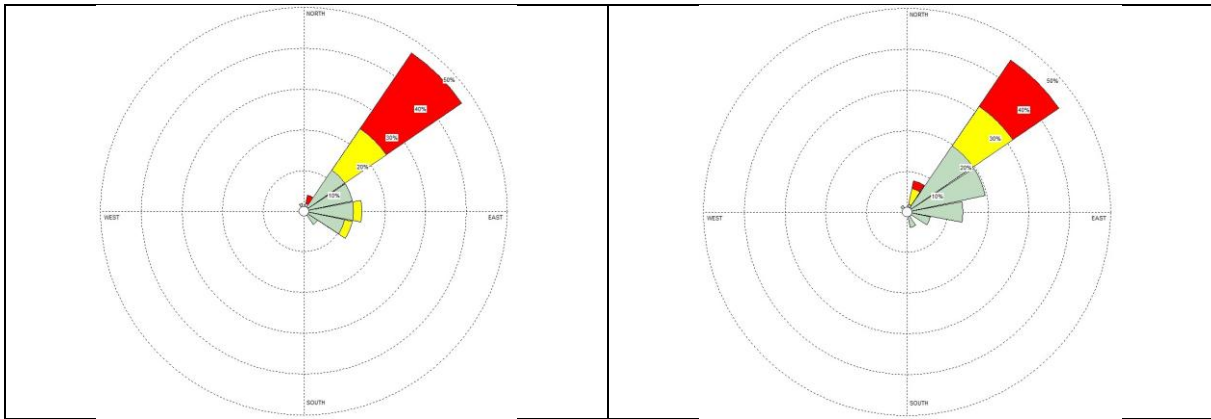
A. Enero. Calma 1,37 %

B. Febrero. Calma 0 %



C. Marzo. Calma 0 %

D. Abril. Calma 0 %



E. Mayo. Calma 4 %

F. Junio. Calma 1,92 %

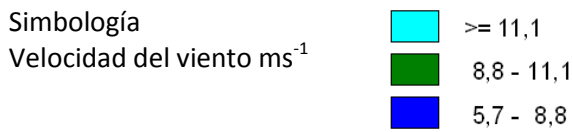
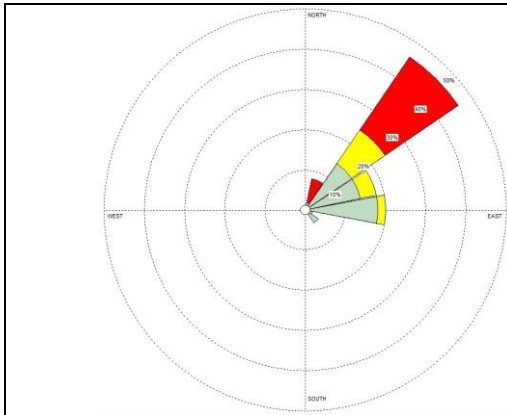
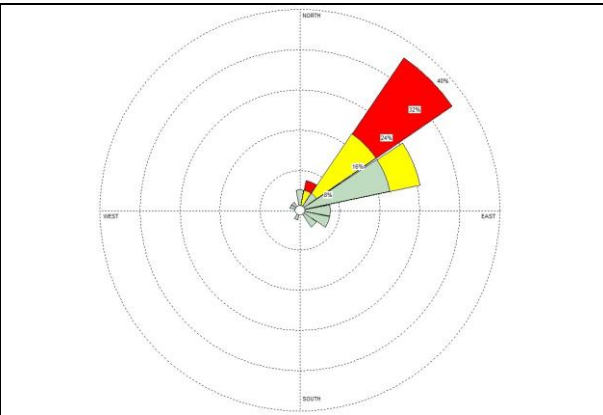


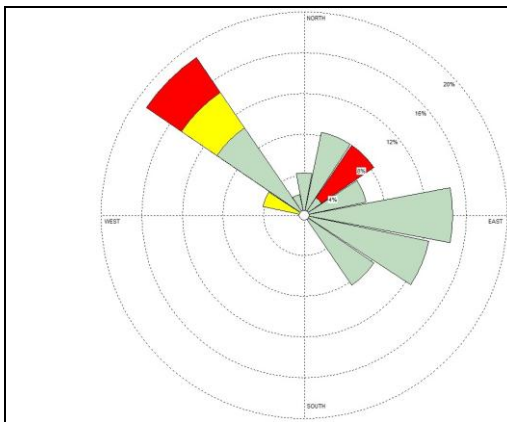
Figura 9a. Rosa de vientos por mes que indica la dirección de donde proviene el viento para los días de muestreo de SO_2 suspendidas en aire. Información Estación Meteorológica CIGEFI, Universidad de Costa Rica. I semestre 2014.



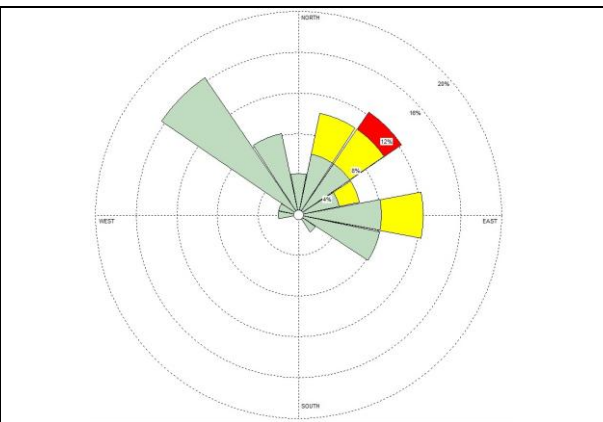
A. Julio. Calma 1,96 %



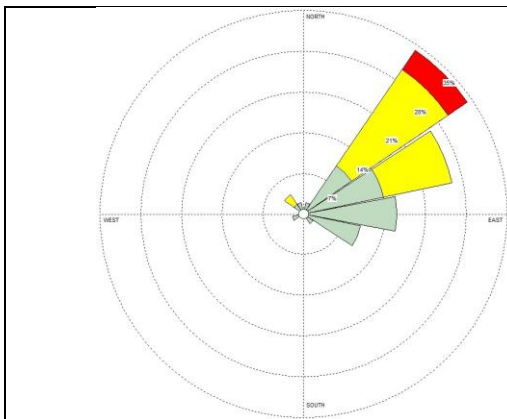
B. Agosto. Calma 6 %



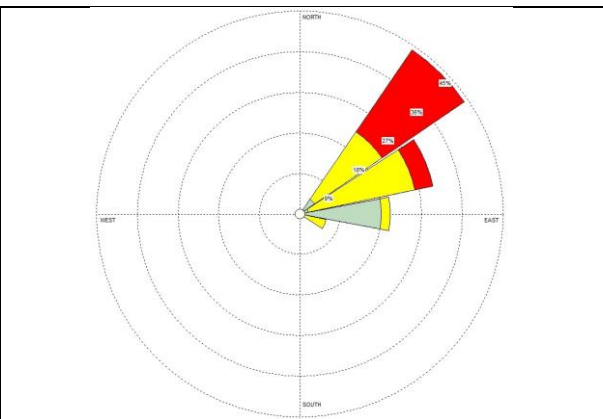
C. Setiembre. Calma 12,24 %



D. Octubre. Calma 16 %



E. Noviembre. Calma 1,96 %



F. Diciembre. Calma 0%

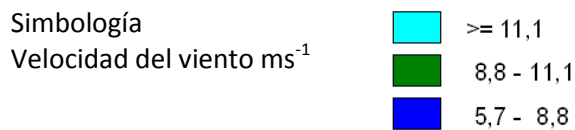


Figura 9b. Rosa de vientos por mes que indica la dirección de donde proviene el viento para los días de muestreo de SO_2 suspendidas en aire. Información Estación Meteorológica CIGEFI, Universidad de Costa Rica. II semestre 2014.

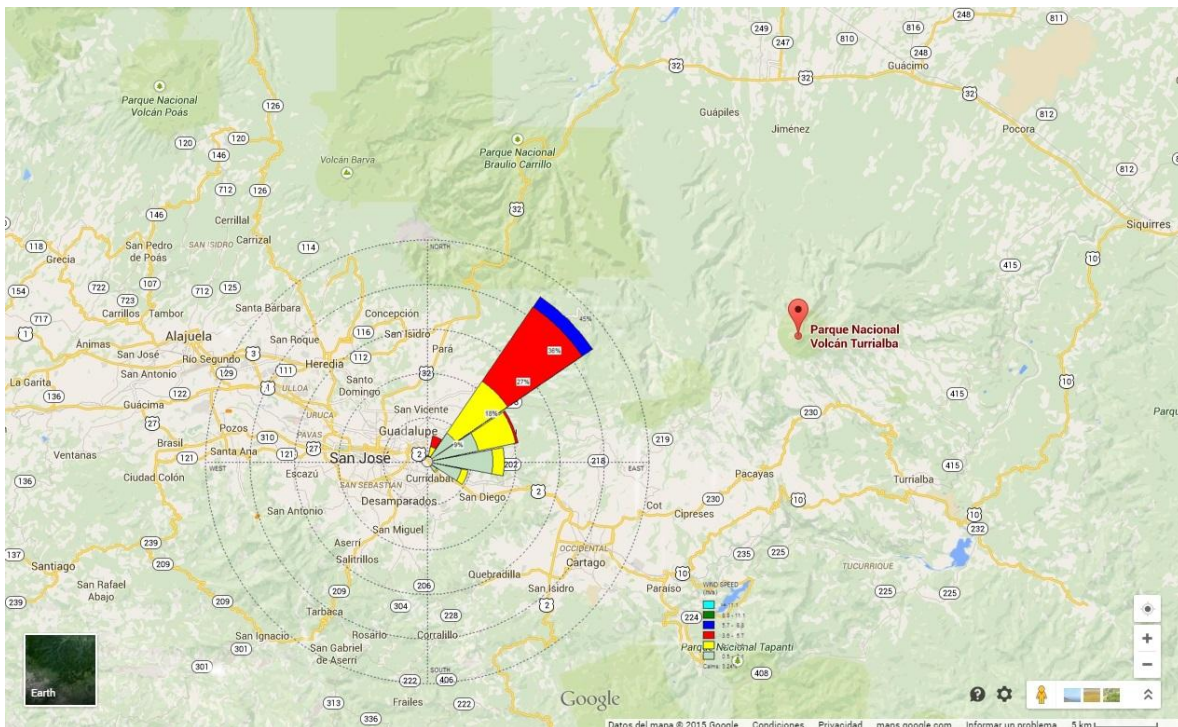


Figura 10. Dirección promedio de los vientos durante el 2014 en la zona muestreada, en relación a la posición del volcán Turrialba (Mapa tomado de Google Earth).

Discusión de resultados

La calidad del aire está influenciada por la generación de contaminantes in situ, su transporte desde otras zonas, las condiciones de estabilidad atmosférica, la radiación solar y los procesos atmosféricos de formación y destrucción de contaminantes (Herrera 2011).

La concentración de los contaminantes primarios PM-10, PM-2.5, dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂), integra predominantemente las emisiones de diversas fuentes (emisiones vehiculares, domiciliarias e industriales) ubicadas en el sector noreste a la Ciudad de San Pedro, según se deduce de las figuras de la velocidad y dirección del viento durante los días de muestreo. Sin embargo, esta condición (vientos dominantes del noreste) no se cumple en los meses de mayo y octubre de 2012, cuando los vientos provenían del noroeste (Figuras 5a y 5b); en mayo y junio de 2013, cuando se suman vientos del suroeste a los vientos predominantes del noreste; en setiembre y octubre de 2013, particularmente en el primero, cuando también hay vientos del noroeste y suroeste (Figuras 6a y 6b) y, en el mes de setiembre del 2014, cuando además de las ráfagas de viento del noreste existen ráfagas provenientes del noroeste (Figura 8b).

Durante el 2012 y 2013, un aumento en la concentración de los contaminantes estudiados, podría deberse a la actividad del Volcán Turrialba, cuyas emisiones de partículas y gases serían arrastradas a los sitios de muestreo por la dirección predominante del viento hacia el este y sureste del volcán. Esto se muestra en la figura 10, en la cual se superpone la ubicación del volcán en relación a los sitios de muestreo, y la dirección predominante de los vientos en la zona de San Pedro.

Respecto a lo expresado en el párrafo anterior, las mayores concentraciones de NO₂ que se registraron el 31 de mayo y el 14 de junio de 2013, se asociarían a la erupción de cenizas, gases, y vapor del 21 de mayo de 2013. En esa oportunidad se reportaron caídas de ceniza en San Luis, Ipís y Moravia, Guadalupe, Coronado, Canoas de Alajuela, San Pedro Montes de Oca y aparentemente, Aserrí (González et al. 2013). También, los valores de NO₂ medidos el 17 de setiembre del 2013, estarían incrementados por la actividad exhalativa del 3 de setiembre de ese año que documentó la Red Sismológica Nacional (2014). Esta actividad volcánica se reanudó a partir del 29 de octubre de 2014 y fue persistente durante el resto de dicho año.

Partículas respirables

En el primer trimestre del 2013, las concentraciones de partículas PM-10 superaron el promedio anual del 2012 y 2013. En el sitio UCR-1, el 5 de marzo de 2013, la concentración promedio para 24 h de partículas PM-10 suspendidas en aire superó el límite máximo permitido de **150 µg m⁻³**, según el decreto 30221-S *Reglamento sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos* (Figura 1). Esta situación podría deberse a un efecto local por los movimientos de tierra realizados en la Ciudad de la Investigación durante esos meses, puesto que no hubo un aumento en la concentración de partículas registrada en la estación UCR-2 y fue una única ocasión en que se registró un valor superior a los 150 µg/m³ durante todo el estudio.

El cumplimiento general de los sitios UCR-1 y UCR-2 con el parámetro establecido para PM-10 por el reglamento nacional, concuerda con la situación de las estaciones de vigilancia, *Centro de Reciclaje de la Municipalidad de San José* en Hatillo (**SJ-03**, 2011: 144 µg m⁻³, 2012: 45 µg m⁻³) e *Instalaciones de la empresa Eaton* en Moravia (**MO-01**, 2011: 46 µg m⁻³, 2012: 37 µg m⁻³), ambas integradas al Programa para Mejorar la Calidad del Aire del Gran Área Metropolitana. Estas estaciones, cuyos registros diarios máximos durante el año se indican entre paréntesis, están ubicadas en ambientes similares a los sitios de muestreo bajo estudio (Herrera 2011, Herrera 2013).

Durante estos tres últimos años, el cumplimiento del decreto 30221-S de los sitios UCR-1 y UCR-2 se confirma al comparar el promedio anual de la concentración diaria de partículas PM-10 (Cuadro I) con el límite máximo permitido de **50 µg m⁻³**. Condición que nuevamente concuerda con los datos registrados en **SJ-03** (2011: 32 µg m⁻³, 2012: 27 µg m⁻³) y **MO-01** (2011: 20 µg m⁻³, 2012: 15 µg m⁻³) (Herrera 2011, Herrera 2013).

No obstante lo indicado, el promedio anual de la concentración diaria de partículas PM-10 en la Sede Central de la UCR sí supera el valor de **20 µg m⁻³**, que se establece como máximo sugerido en las guías de calidad de aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS 2006), esta situación se dio en los tres años de estudio para la estación UCR-1, y en el 2013 para la estación UCR-2.

En la estación **UCR-1** durante el 2012, las mayores concentraciones de PM-10 en 24 h de seguimiento se dieron en el mes de agosto, valor seguido por los registros de varios meses de la época lluviosa. Esto concuerda con la tendencia de los informes anuales de calidad de aire de la Gran Área Metropolitana de los años 2008, 2009, 2010 y 2012 (Herrera 2010, Herrera 2011, Herrera 2013).

En contraste, el Informe Anual de calidad de aire de la Gran Área Metropolitana del 2011 marca marzo y abril, en la época seca, como los períodos de máxima concentración de PM-10 similar a lo

obtenido para los registros de 2013 y 2014 (Herrera 2011, Herrera 2013). En el 2013 los picos se dieron en enero, febrero y marzo. Sin embargo, según se señaló, los promedios mensuales superiores a $50 \mu\text{g m}^{-3}$ de PM-10 que se registraron de enero a marzo de 2013 (Figuras 1 y 2), podrían explicarse por el proceso constructivo de varios edificios en la Ciudad de la Investigación.

Durante el 2014, nuevamente los mayores niveles de contaminación por partículas PM-10 se registraron en la época seca, cuando la precipitación asociada a los períodos de muestreo en febrero, marzo y mayo fue de 0 mm (Figuras 1.a). En particular, en el sitio UCR-1 las concentraciones máximas de PM-10 se registraron en mayo, marzo y febrero; mientras que para el sitio UCR-2 el pico estuvo en febrero, valor seguido por los datos de mayo y marzo (Figura 2).

Desde la perspectiva de la salud humana, actualmente se considera más importante la cuantificación de partículas suspendidas en aire con un diámetro máximo de $2,5 \mu\text{m}$ (PM-2,5), por su capacidad de penetración hasta los alveolos pulmonares y su retención en los bronquios. Sin embargo, la reglamentación nacional vigente no contempla límites para este agente contaminante.

En la SURF el menor promedio en la concentración de PM-2.5 se encontró en enero (Figura 2 b), ello podría asociarse a la menor circulación de vehículos, producto del período de vacaciones.

Los datos obtenidos para partículas PM-2.5 dan un promedio anual de $28,6 \mu\text{g m}^{-3}$. Este promedio es similar a los reportados en los informes anuales de calidad de aire del GAM (Herrera 2011, Herrera 2013). En ellos se registra un promedio de $28 \mu\text{g m}^{-3}$ (año 2010) y de $20 \mu\text{g m}^{-3}$ (año 2012) en la estación ubicada en La Uruca, y de $24 \mu\text{g m}^{-3}$ (año 2010) y de $27 \mu\text{g m}^{-3}$ (año 2012) en la estación ubicada en la Municipalidad de San José.

Es importante hacer notar que el promedio anual de concentración de PM-2.5 de $28,6 \pm 6,9 \mu\text{g m}^{-3}$ está por encima de $10 \mu\text{g m}^{-3}$, valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS 2006). Por lo tanto se recomienda que exista un seguimiento más riguroso sobre este agente contaminante.

Dióxido de nitrógeno (NO₂) en aire ambiente

La Figura 3, indica que la concentración registrada para el NO₂ se ha mantenido a menos de $400 \mu\text{g m}^{-3}$, promedio permitido para una hora conforme al decreto 30221-S (Costa Rica 2002) y de $200 \mu\text{g m}^{-3}$, valor establecido como guía recomendada para 1 h por la Organización Mundial de la Salud (OMS 2006).

Además, los promedios anuales que se muestran en el Cuadro II, indican que en ninguna de las dos estaciones de muestreo se ha superado el valor de $100 \mu\text{g/m}^3$ que se establece en el decreto 30221-S como límite de concentración anual de NO₂, durante el período 2012-2014 y que sólo se tuvo un promedio superior al recomendada por la Organización Mundial de la Salud ($40 \mu\text{g/m}^3$) durante el 2012, producto de los niveles encontrados en setiembre y octubre de ese año.

En la Figura 4 se evidencia que el promedio mensual de NO₂ en el aire ambiente de la Sede Central de la UCR, superó la guía de exposición anual recomendada por la Organización Mundial de la Salud, en los meses de setiembre y octubre de 2012; enero, junio, julio y setiembre de 2013; marzo, setiembre, octubre y diciembre de 2014. Sin embargo, como el máximo obtenido para la

concentración de NO₂ fue de 161 µg/m³ y el valor más bajo para el cual se han informado efectos sobre la función pulmonar de asmáticos es 565 µg m⁻³, no se esperaría que la población estudiantil más sensible a la contaminación del aire se vea afectada (OMS 2006), inclusive si estuviera bajo los efectos de un broncoconstrictor. Lo anterior porque el mismo informe de la OMS menciona que se requeriría una exposición superior a 188 µg m⁻³ de NO₂ para producir repercusiones estadísticamente significativas sobre la función pulmonar (OMS 2006).

Dióxido de azufre (SO₂) en aire ambiente

El cuadro III muestra que la concentración registrada para el SO₂ se ha mantenido a menos de **365 µg m⁻³**, promedio aritmético de 24 h definido por el decreto 30221-S (Costa Rica 2002) y de **125 µg m⁻³**, guía recomendada para 24 h por la Organización Mundial de la Salud después de aplicar un factor de incertidumbre de 2 al nivel mínimo de efecto adverso observable (OMS 2006).

De manera semejante, este contaminante no supera el promedio anual establecido por el decreto 30221-S (Costa Rica 2002). Por lo tanto, de momento se estima que no representa un riesgo para la población de la Sede Universitaria Rodrigo Facio.

Conclusiones

De acuerdo al análisis de resultados (Anexo 1), hasta el momento, las partículas suspendidas en aire, particularmente las de menor diámetro (PM-2.5) sería el contaminante que podría generar preocupación por parte de las autoridades, aunque por el momento con lo limitado de los datos no se podría asegurar que se ameriten acciones institucionales para mejorar la calidad del aire en la SURF.

Aunque tres años es un período breve, para identificar las tendencias de los contaminantes estudiados en el tiempo, se intentó aproximar su comportamiento mediante el análisis conjunto de los datos obtenidos con este estudio y la fase llevada a cabo durante 2012 y 2013.

Es de esperar que el seguimiento a futuro de la contaminación del aire por partículas respirables PM-10 y PM-2.5, del dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂) pueda promover y sustentar, en caso de ser necesarias, estrategias para salvaguardar a la población contra los efectos dañinos de estos contaminantes.

Citas bibliográficas

1. Costa Rica. 2002. Decreto 30221-S Reglamento sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos. La Gaceta. 57 (Alcance No. 25).
2. Herrera, J. 2013. Estado de la Calidad del Aire. Área Metropolitana de Costa Rica. V Informe: 2012. Heredia, Costa Rica. UNA, MINAET, Salud, MOPT, Municipalidad San José. 30 p.
3. Herrera, J. 2011. Informe Anual Calidad de Aire. Área Metropolitana de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. UNA, MINAET, Salud, MOPT, Municipalidad San José. 53 p.
4. Herrera, J. 2010. Calidad del aire en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica. Informe de Estado y tendencias: 2010. Heredia, Costa Rica. UNA, MINAET, Salud, Municipalidad San José, MOPT. 36 p.

5. International Organization for Standardization. 1980. ISO 4221. Determination of mass concentration of sulphur dioxide in ambient air. Thorin spectrophotometric method. Switzerland. ISO. 9 p.
6. International Organization for Standardization. 1998. ISO 6768. Determination of mass concentration of nitrogen dioxide. Modified Griess-Saltzman method. ISO. 10 p.
7. González Irama, G.; Mora-Amador, R.; Mora, M.; Ramírez Umaña, C.; Alpízar Segura, Y. 2013. Nota técnica sobre la erupción de ceniza presentada en el volcán Turrialba el día 21 de mayo de 2013. San Pedro, Costa Rica. UCR, Escuela Centroamericana De Geología, RSN, CIGEFI. 15 p.
8. Organización Mundial para la Salud. 2006. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Disponible en: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf, revisado el 14 de enero de 2015.
9. Red Sismológica Nacional. 2014. Disponible en: <http://www.rsn.ucr.ac.cr/index.php/galeria/volcanes/turrialba-3-de-setiembre-de-2013>, Revisado: 31 enero 2014