

# INVESTIGACIÓN EN MARCHA

TESIS DOCTORAL  
CURSO 2017-18

**DOCTORADO EN  
MEDIO AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD**

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE



# Material particulado en suspensión en el aire urbano del sur del Perú



Doctorando: **CARLOS MANUEL RODRÍGUEZ SAN ROMÁN**

Director: JOSÉ ANTONIO GARCÍA ORZA

Tutor: MANUEL MIGUEL JORDÁN VIDAL

Departamento/Centro/Instituto: Dpto. de Física y AC/Facultad de Ciencias Experimentales

## Objetivos:



El *objetivo general* es el estudio de la calidad del aire, y en particular de la materia particulada en suspensión, en la ciudad de Arequipa. Es la segunda ciudad en importancia del Perú y está situada entre los 2041 y 2810 m de altitud en la parte occidental de los Andes a 86 km del Pacífico, en el sur del Perú.

Los *objetivos específicos* son:

- La caracterización de los niveles de concentración de partículas en suspensión y de gases.
- La identificación de las causas que conducen a episodios con valores extremos, así como tomar conocimiento de la relación entre los niveles registrados y las principales fuentes de emisión y la meteorología local.
- La determinación de la relación entre los niveles registrados y los patrones de transporte atmosférico y meteorología a escala sinóptica, que permitirán la identificación de fuentes remotas.



## Metodología:

Revisión bibliográfica y de normativa

Selección y acopio de datos

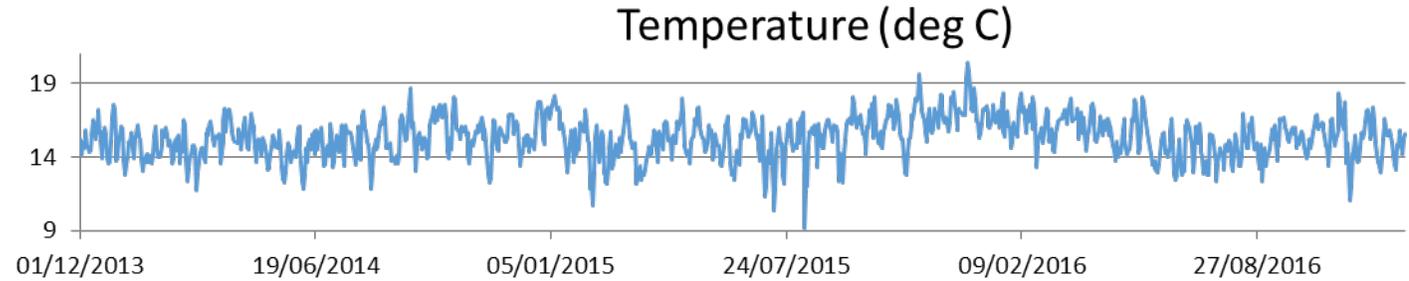
- Estaciones de calidad del aire del Gobierno Regional de Arequipa
- Estaciones del Servicio Meteorológico e Hidrológico del Perú
- Datos del reanálisis del ECMWF (Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo), ERA-Interim
- Datos satelitales de precipitación, nubosidad, incendios, episodios volcánicos, concentraciones de gases

Análisis de factores antropogénicos y naturales

- Datos agregados (análisis estadístico)
- Análisis de casos

- Variabilidad según: (1) patrones de advección sinópticos, (2) horas del día, (3) días de la semana, (4) estaciones del año.
- Análisis del transporte atmosférico a escala sinóptica realizado con retro-trayectorias calculadas con el modelo HYSPLIT de la NOAA, utilizando datos ERA-Interim de 0.75°. Esta base de datos también fue utilizada para mapas y secciones verticales meteorológicas.
- Análisis de la presencia y las propiedades de aerosoles atmosféricos, ozono, ocurrencia de incendios e influencia de actividad volcánica a partir de medidas de instrumentos embarcados en satélites como Terra, Aqua y GOES-R.

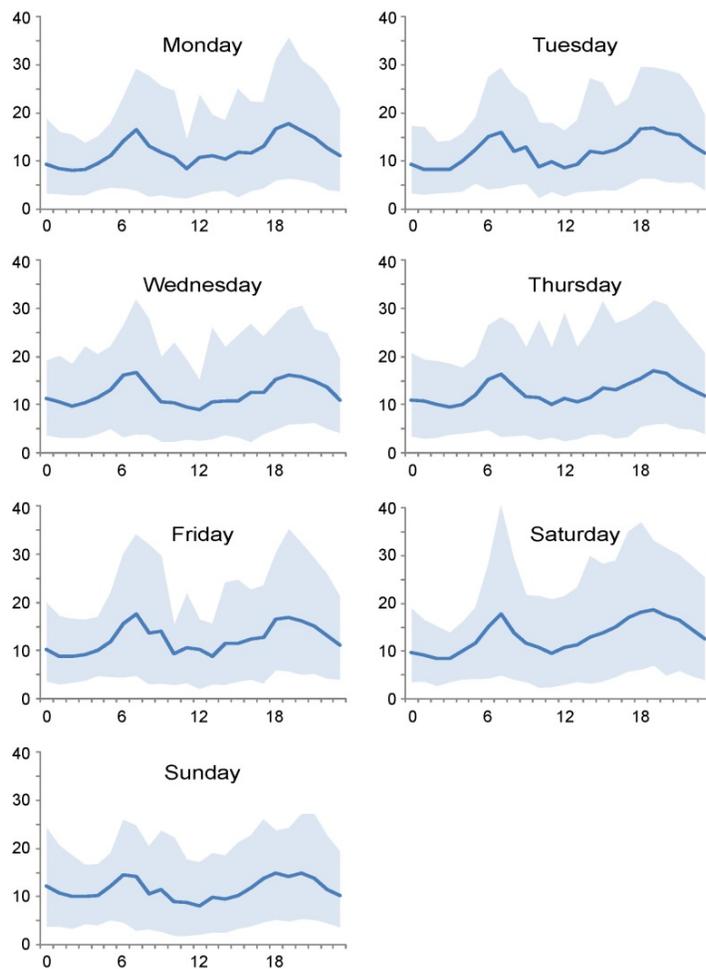
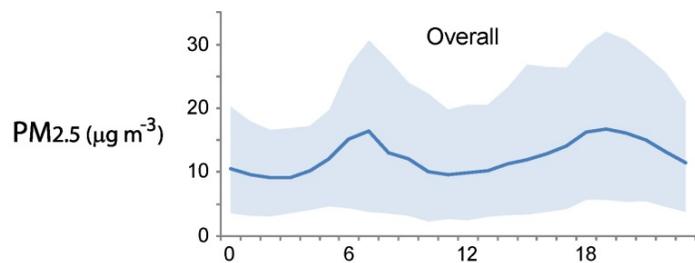
## Trabajo realizado:



- Revisión bibliográfica
- Revisión de las normas en calidad del aire y sus modificaciones en el tiempo.
- Recopilación de datos de contaminantes atmosféricos y meteorología en Arequipa
- Identificación de los principales patrones de advección
- Relación entre contaminantes y meteorología con los principales patrones de transporte atmosférico.
- Análisis de la interrelación de las direcciones de viento local y los patrones a escala sinóptica
- Se han presentado en los Iberian Meeting of Aerosol Science and Technology de 2017 y 2018 comunicaciones tipo póster con los resultados.
- Ponente en la V Jornada por el día mundial del medio ambiente en la Universidad Nacional de Juliaca.
- Ponente en el aniversario de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial en la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

# Arequipa 16°23'56" S 71°32'6" O





## Caracterización de PM2.5

A partir de datos horarios TEOM en estación urbana

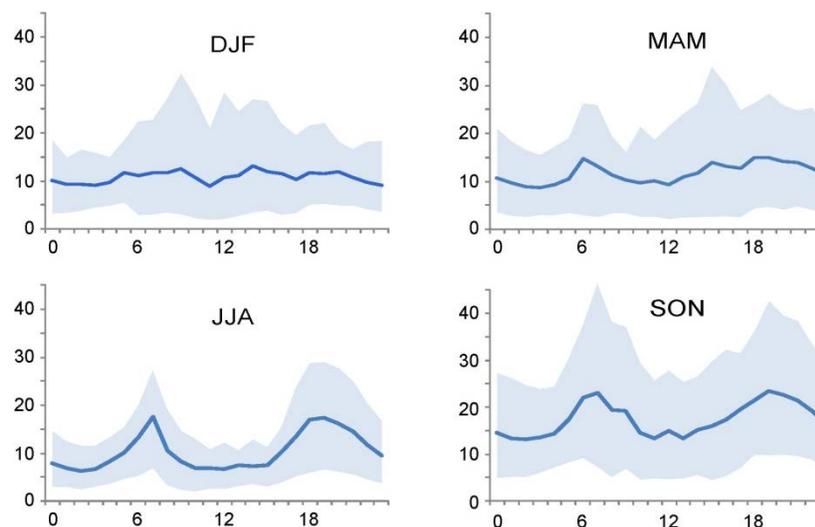
- Límite diario ( $25 \mu\text{g m}^{-3}$ ) superado en 64 días (~10% de días con al menos 75% de datos horarios válidos)

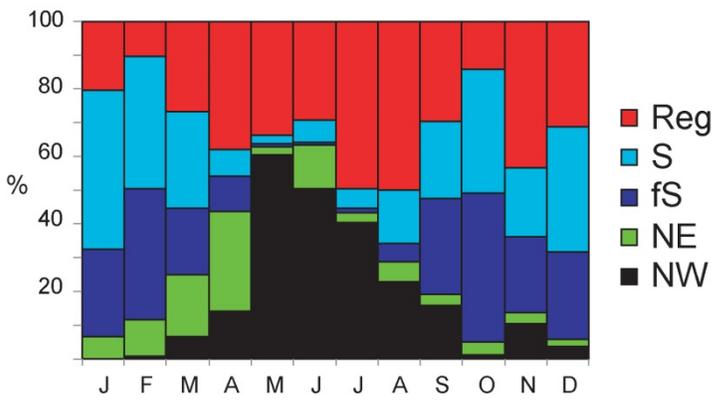
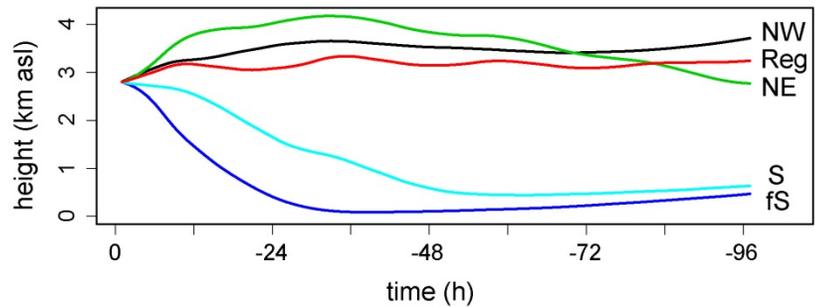
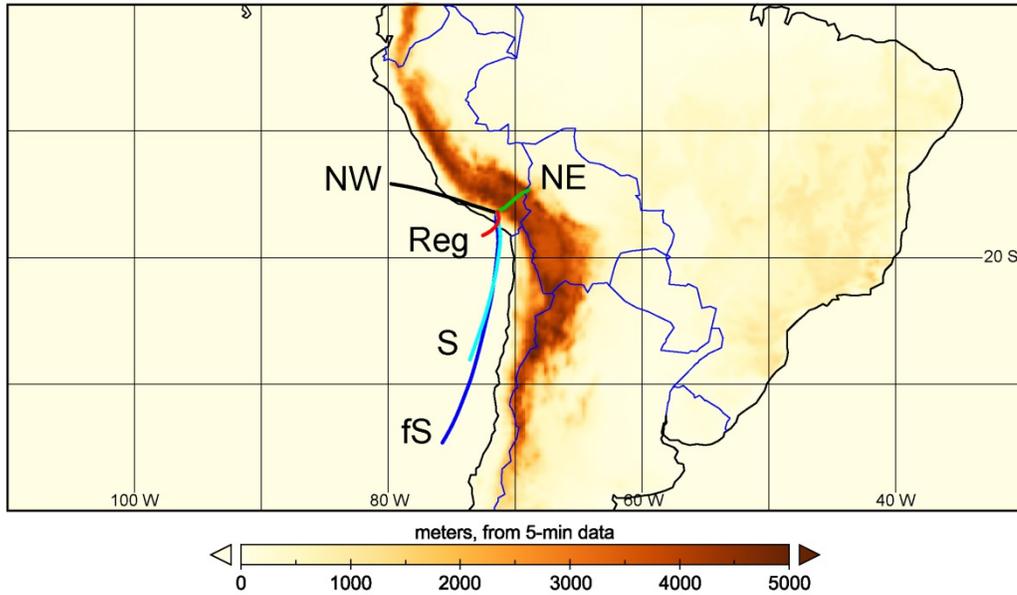
- Promedio de  $12 \mu\text{g m}^{-3}$

- Patrón diurno de PM2.5:

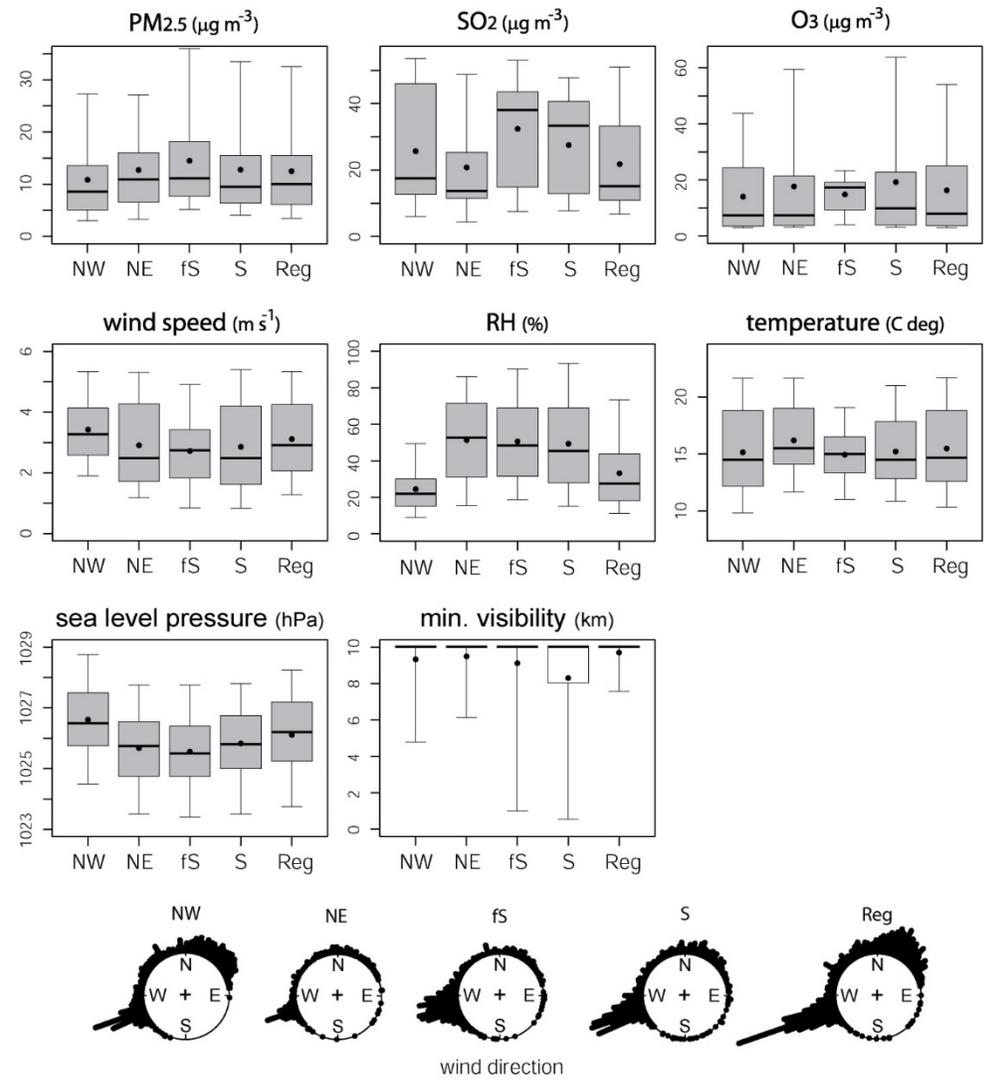
La evolución horaria presenta los típicos dos picos, de la mañana y de última hora de la tarde, ligados al tráfico y a la meteorología. En el verano y el otoño austral están poco marcados.

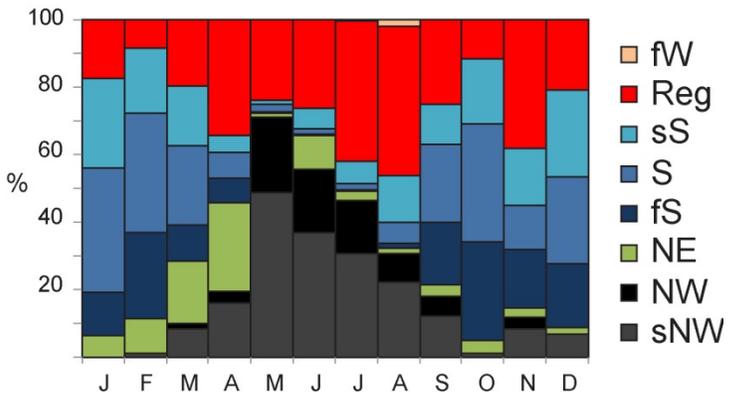
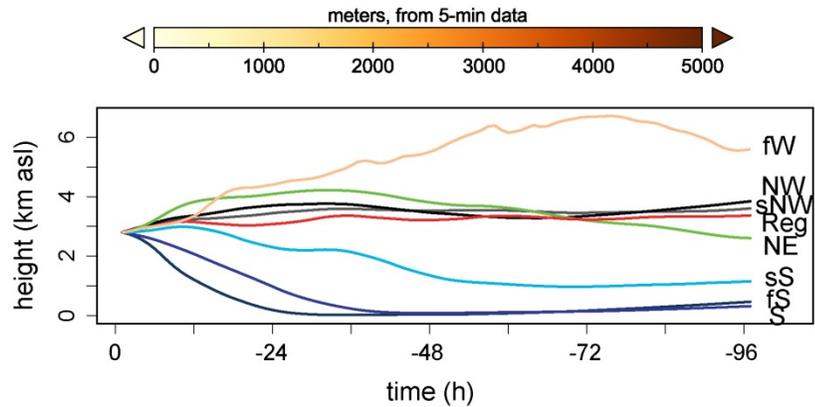
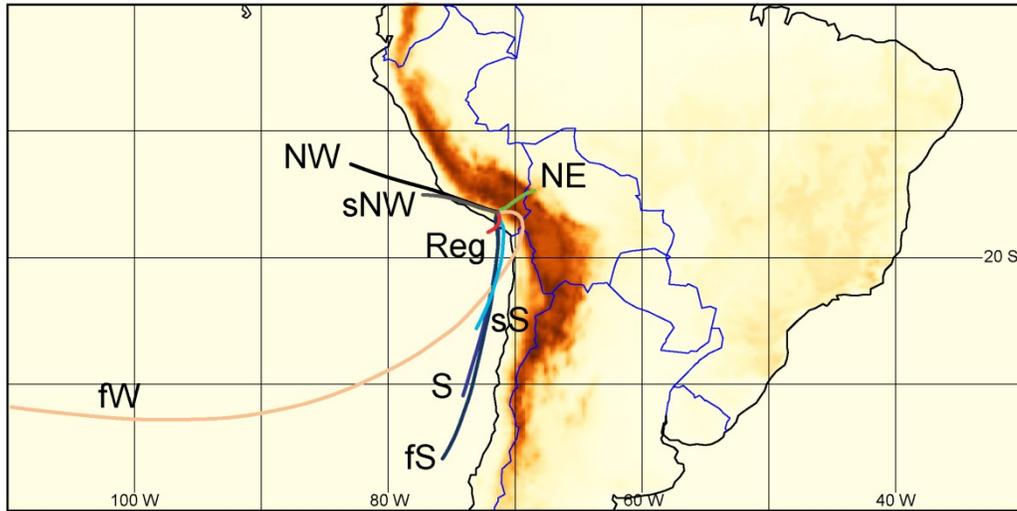
El sábado los valores son máximos, el domingo mínimos. La primavera presenta valores superiores y el verano inferiores.





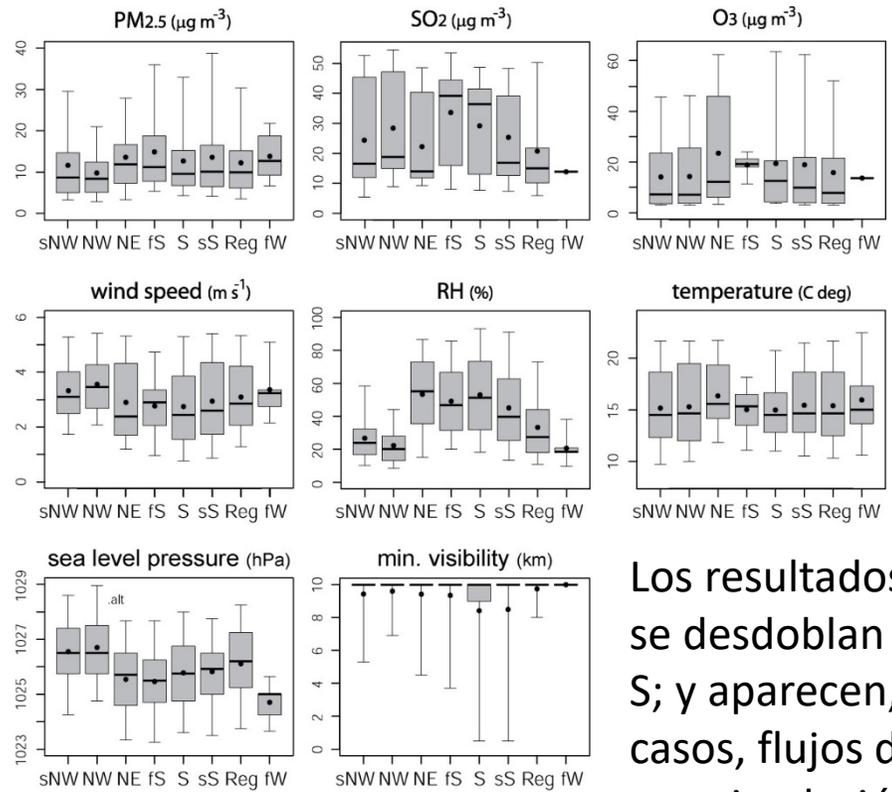
Principales patrones de advección en Arequipa y su relación con los contaminantes y la meteorología local  
Obtenidos del clustering de retro-trayectorias con 5 grupos



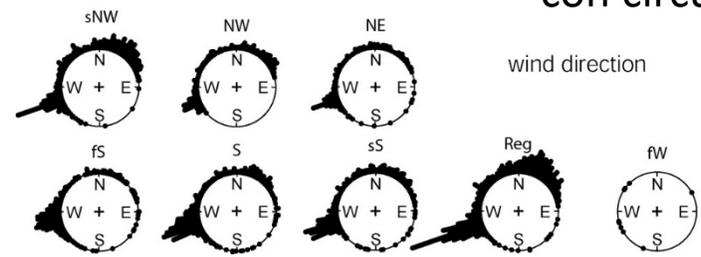


# Principales patrones de advección en Arequipa y su relación con los contaminantes y la meteorología local

## Obtenidos del clustering de retro-trayectorias con 8 grupos

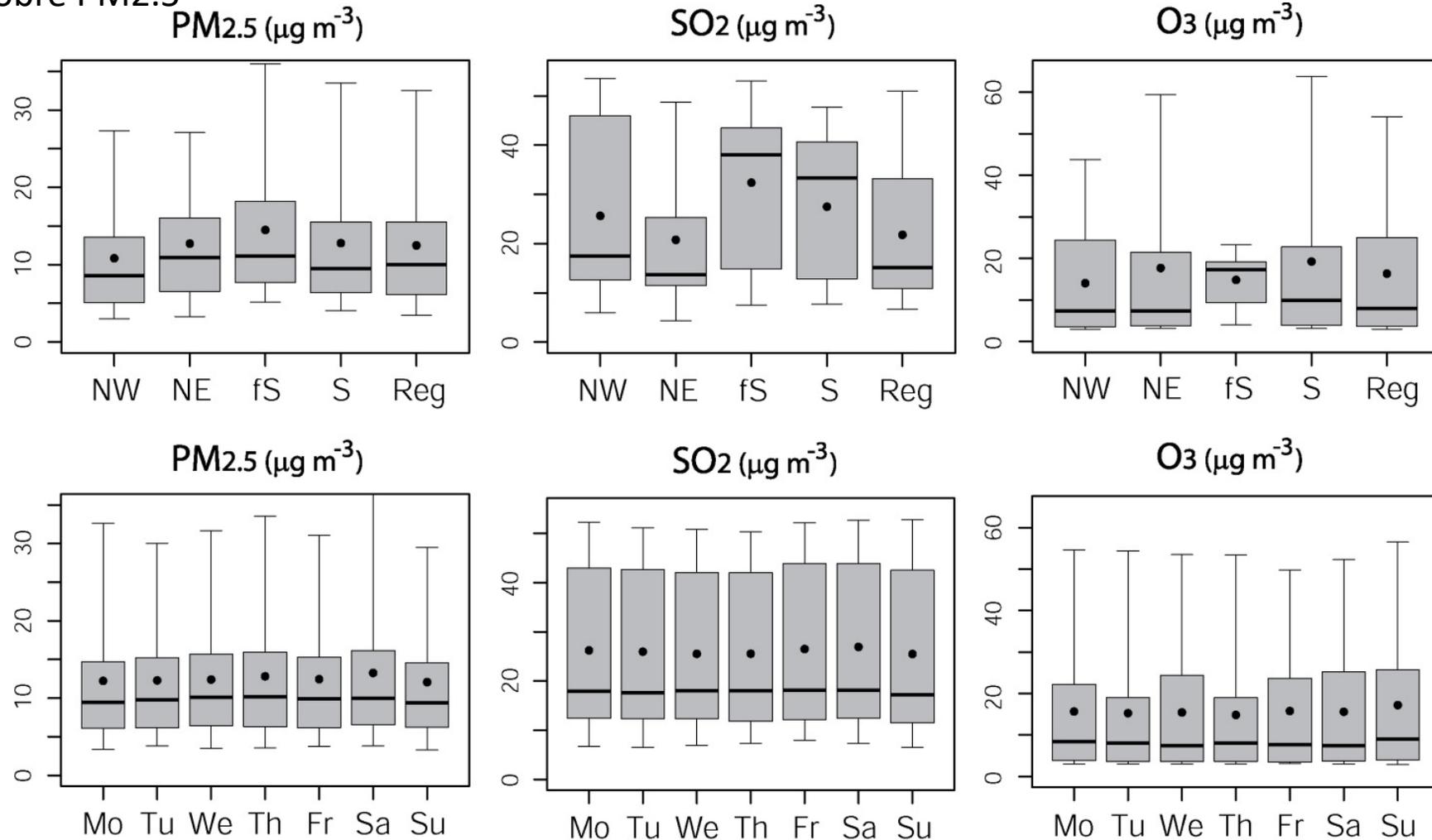


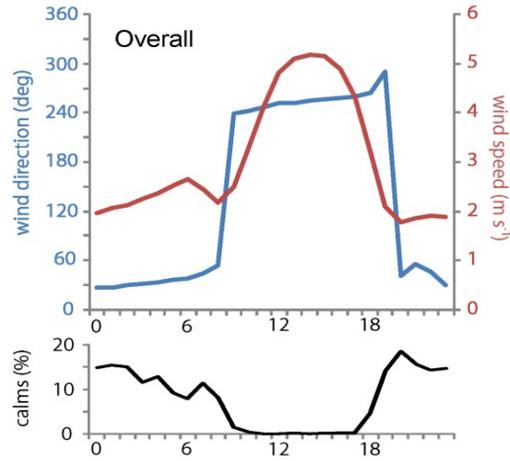
Los resultados son muy semejantes: se desdoblán los flujos del NW y del S; y aparecen, con muy pocos casos, flujos del oeste en invierno con circulación anticiclónica (fW)



La influencia de los patrones de advección sinópticos *es mayor* que la del día de la semana, a pesar de que la influencia antrópica es clara en los patrones diurnos.

Los patrones de advección influyen más sobre los parámetros meteorológicos y sobre SO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> que sobre PM2.5



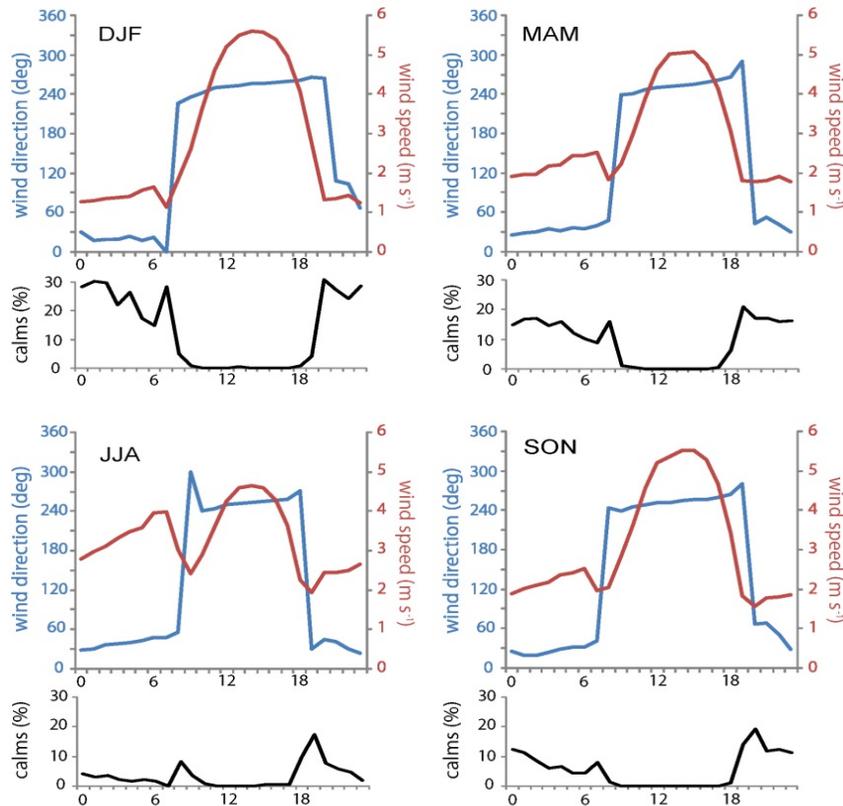


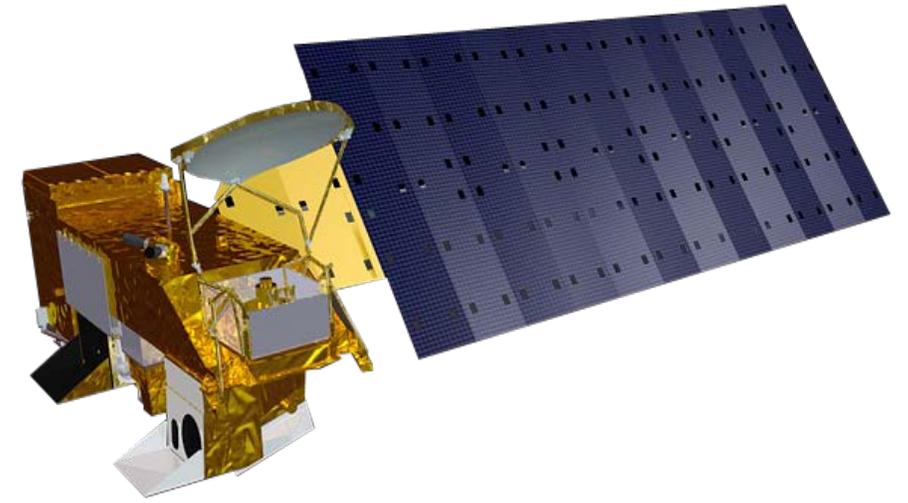
## Patrón diario del viento local

Se corresponde con ciclo de brisas de montaña, condicionado por la orografía local:

Los regímenes dominantes con cambio abrupto a vientos de ascenso de procedencia WSW a las 7-8 LT, y vuelta a vientos descendientes del NNE a las 19-20 LT (en verano retrasados a las 22 LT).

Los flujos a escala sinóptica, son localmente modificados por la orografía.





## Acciones de futuro:

- Terminar el artículo sobre la influencia de los patrones de advección en larga escala y los factores locales en la calidad del aire en Arequipa.
- Se seguirá estudiando la dispersión de partículas atmosféricas en la ciudad de Arequipa ya que ésta es bien compleja. En particular se realizarán estudios de casos y la influencia de la actividad volcánica.
- Se estudiará la precipitación, en un transecto que pase por Arequipa, desde el nivel del mar hasta el altiplano.