

# INVESTIGACIÓN EN MARCHA

TESIS DOCTORAL  
CURSO 2018-19

**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

## FINALIDAD



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

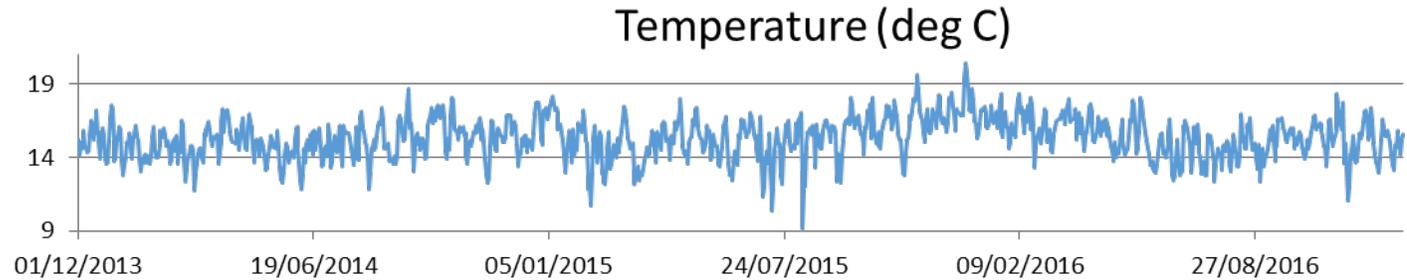
### Análisis de factores antropogénicos y naturales

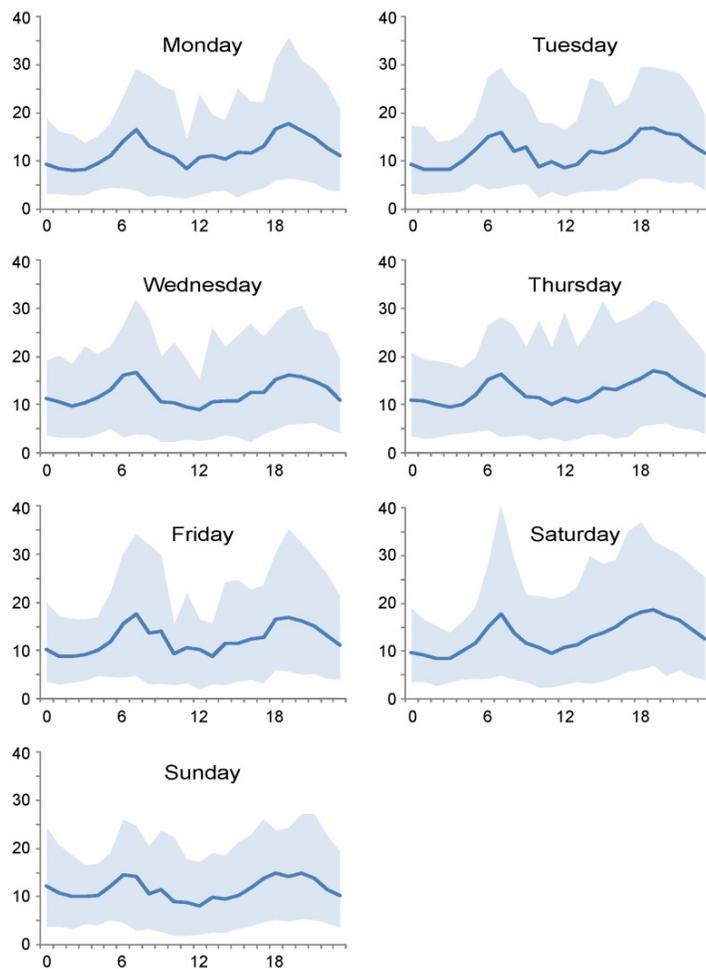
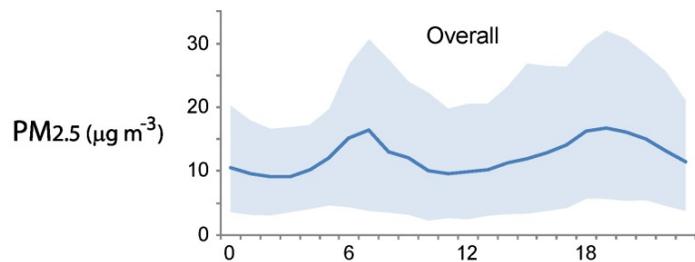
- Datos agregados (análisis estadístico)
- Análisis de casos

- 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.

## Metodología

- 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.
- Estudio de precipitación en Arequipa y en transecto desde el Pacífico al Amazonas, con datos locales y de satélite
- 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.





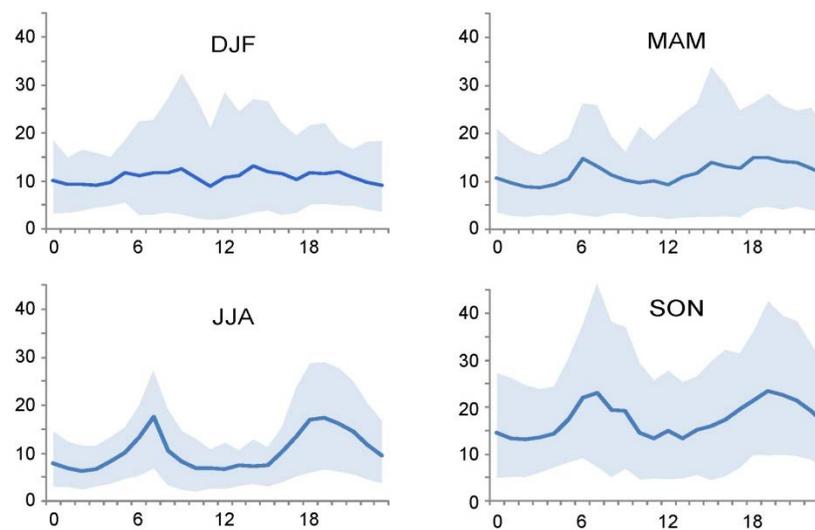
## Caracterización de PM2.5

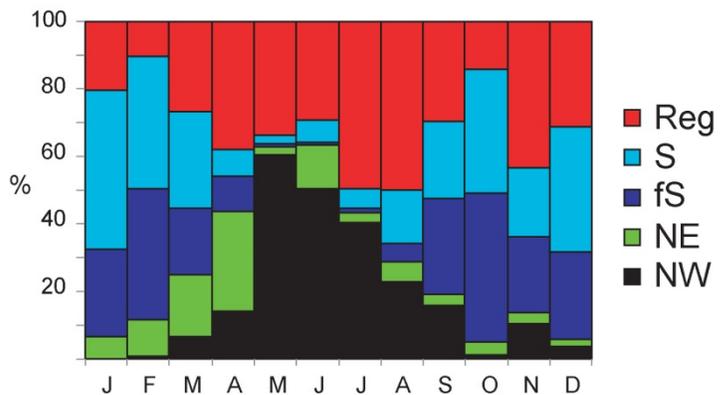
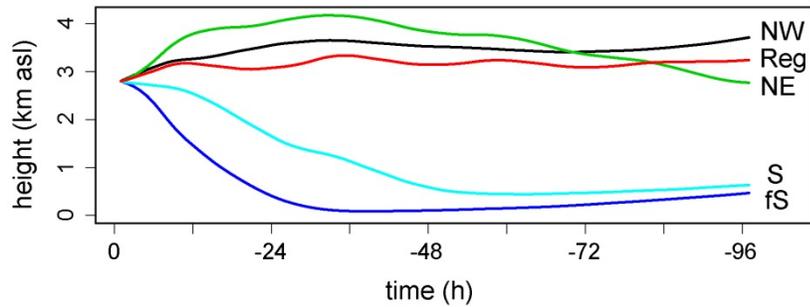
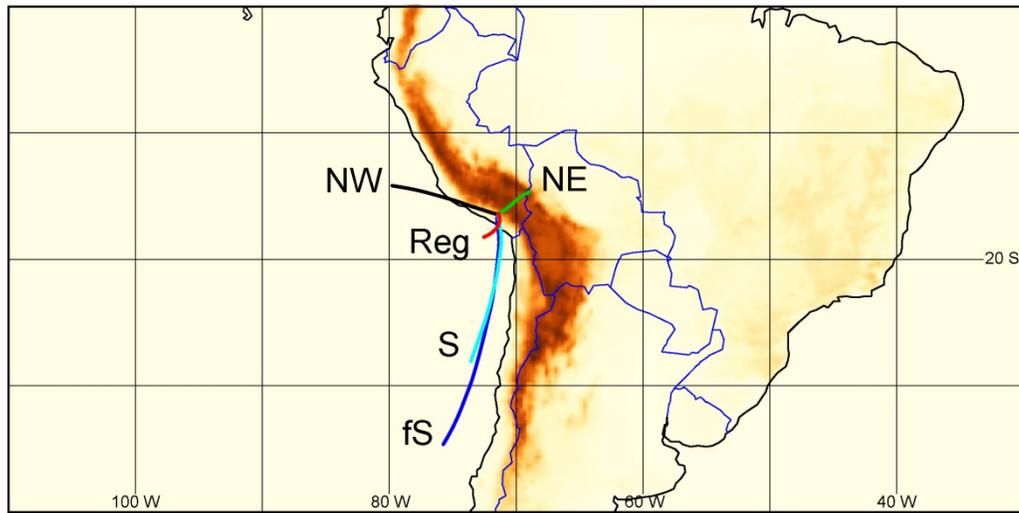
A partir de datos horarios TEOM en estación urbana

- Límite diario ( $25 \mu\text{g m}^{-3}$ ) superado en 64 días ( $\sim 10\%$  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.

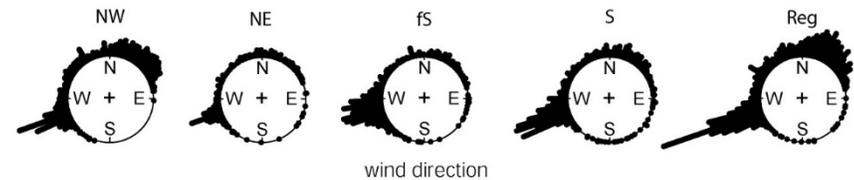
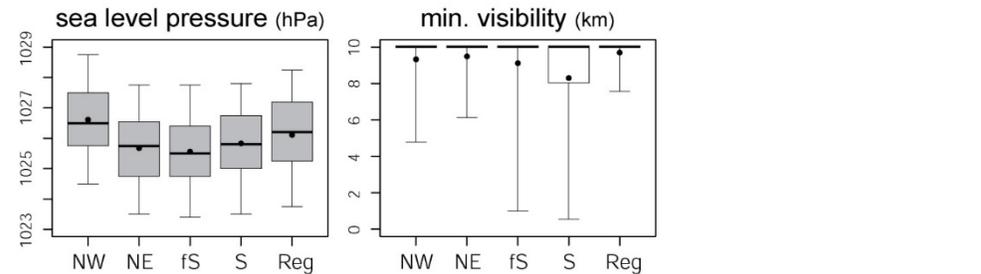
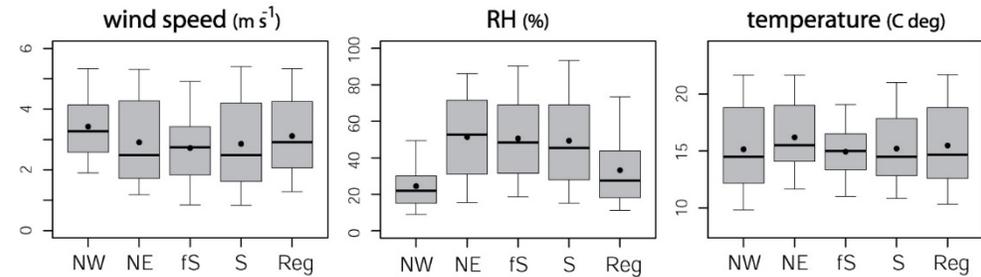
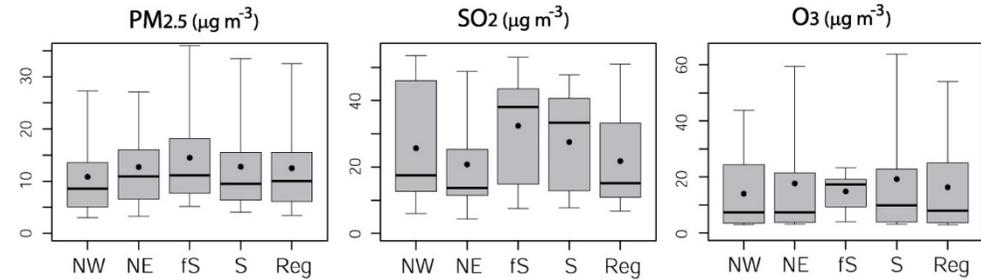
El sábado los valores son máximos, el domingo mínimos. La primavera presenta valores superiores y el verano inferiores.

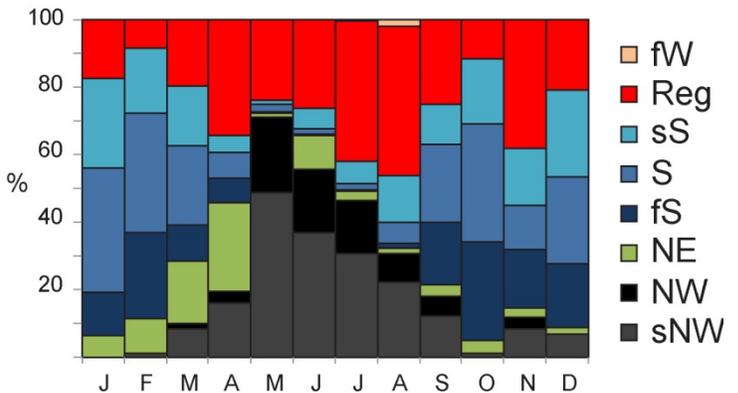
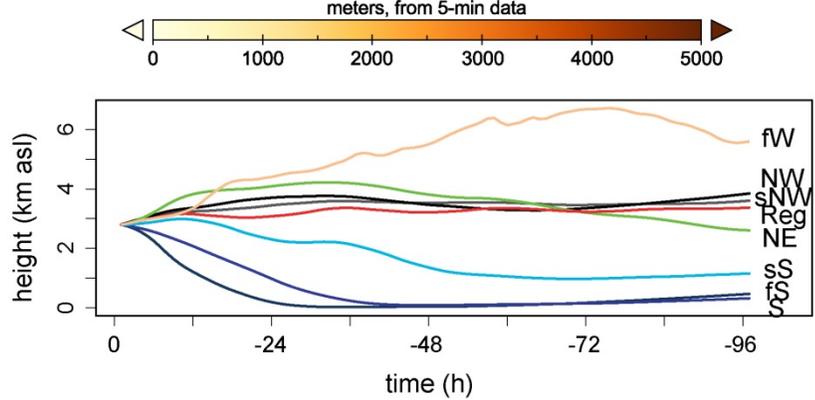
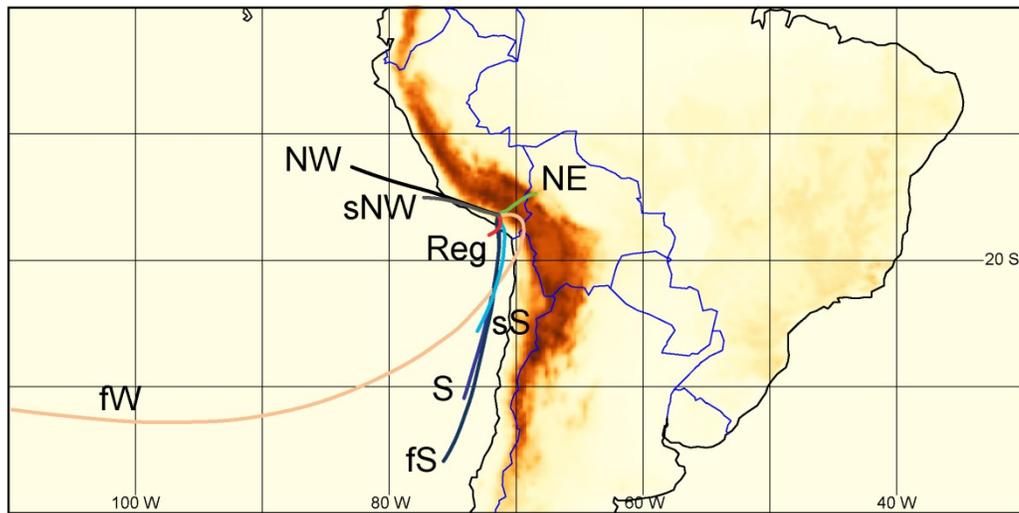




# Principales patrones de advección en Arequipa y su relación con los contaminantes y la meteorología local

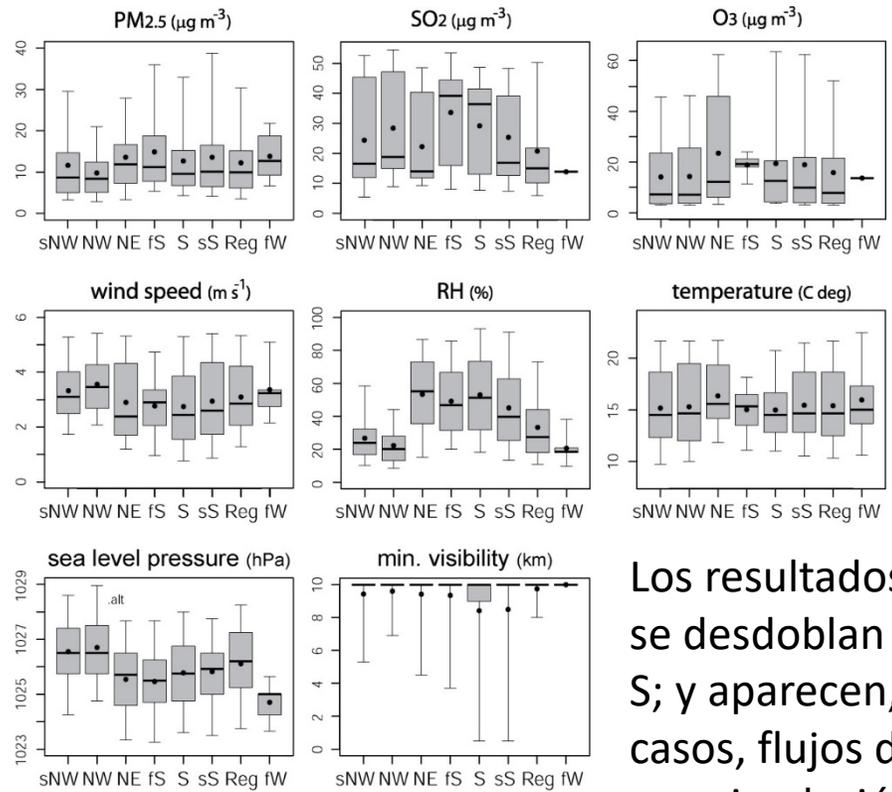
## Obtenidos del clustering de retro-trayectorias con 5 grupos



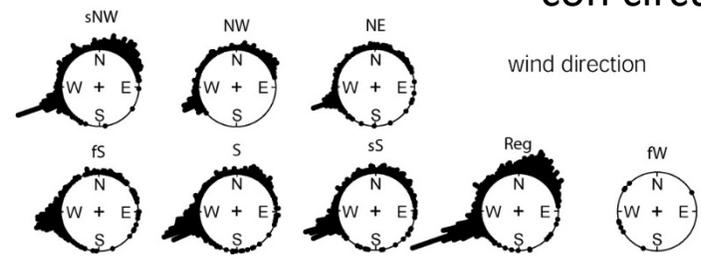


# Principales patrones de advección en Arequipa y su relación con los contaminantes y la meteorología local

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

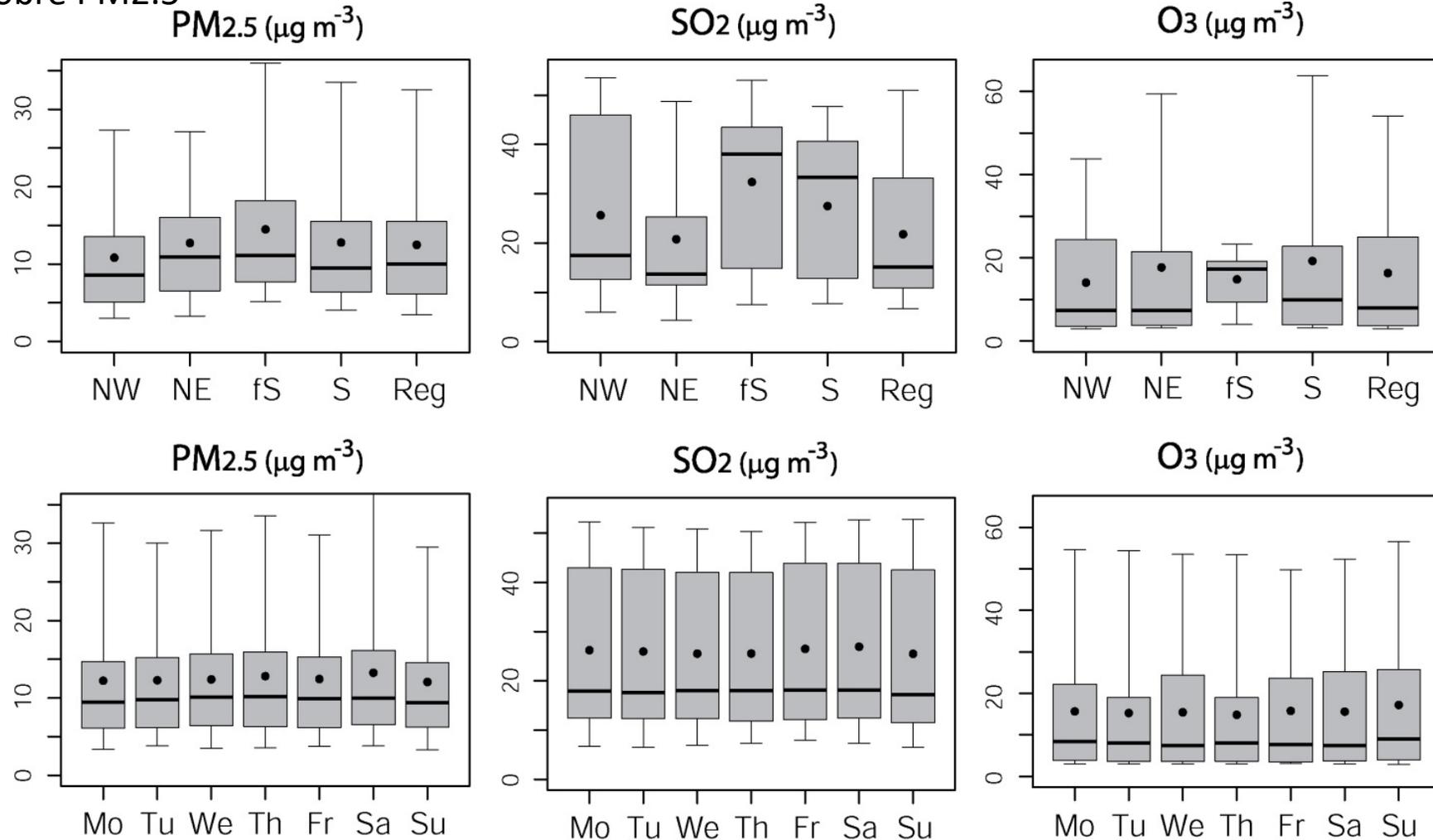


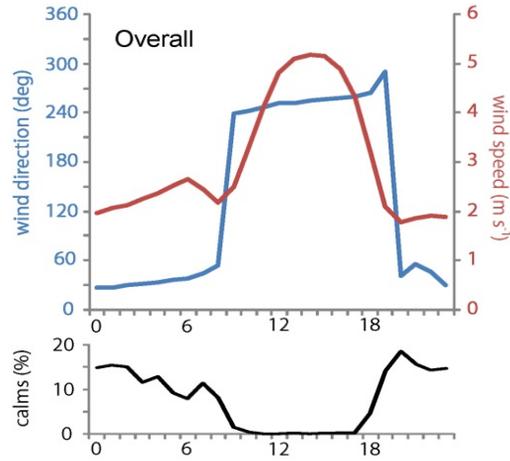
Los resultados son muy semejantes: se desdoblán los flujos del NW y del S; y aparecen, con muy pocos casos, flujos del oeste en invierno con circulación anticiclónica (fW)



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  $\text{SO}_2$  y  $\text{O}_3$  que sobre  $\text{PM}_{2.5}$



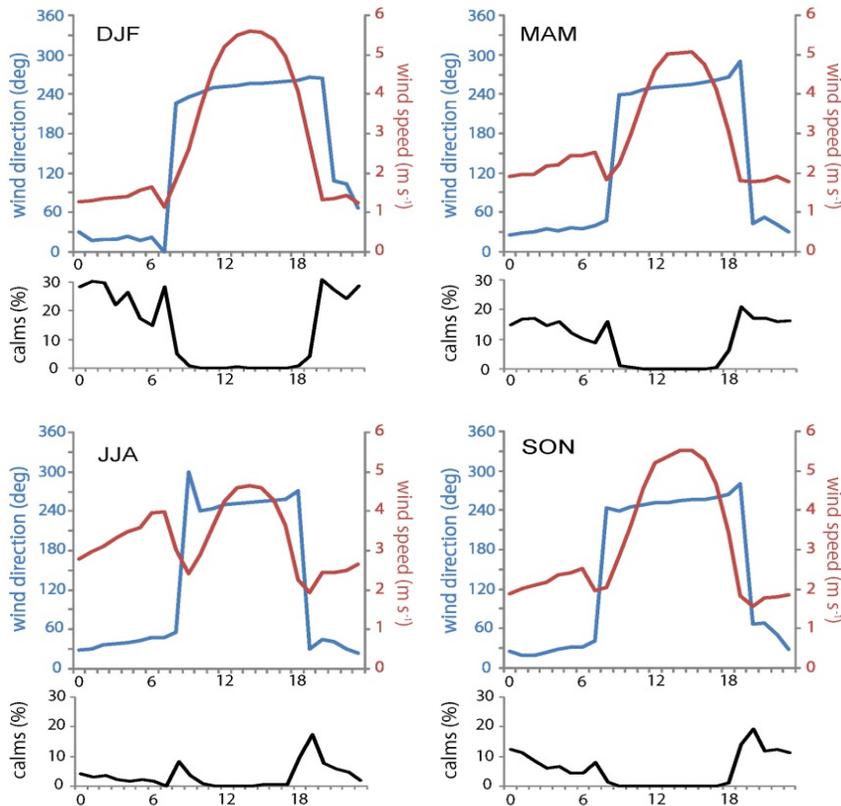


## Patrón diurno del viento local

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

Dos 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).

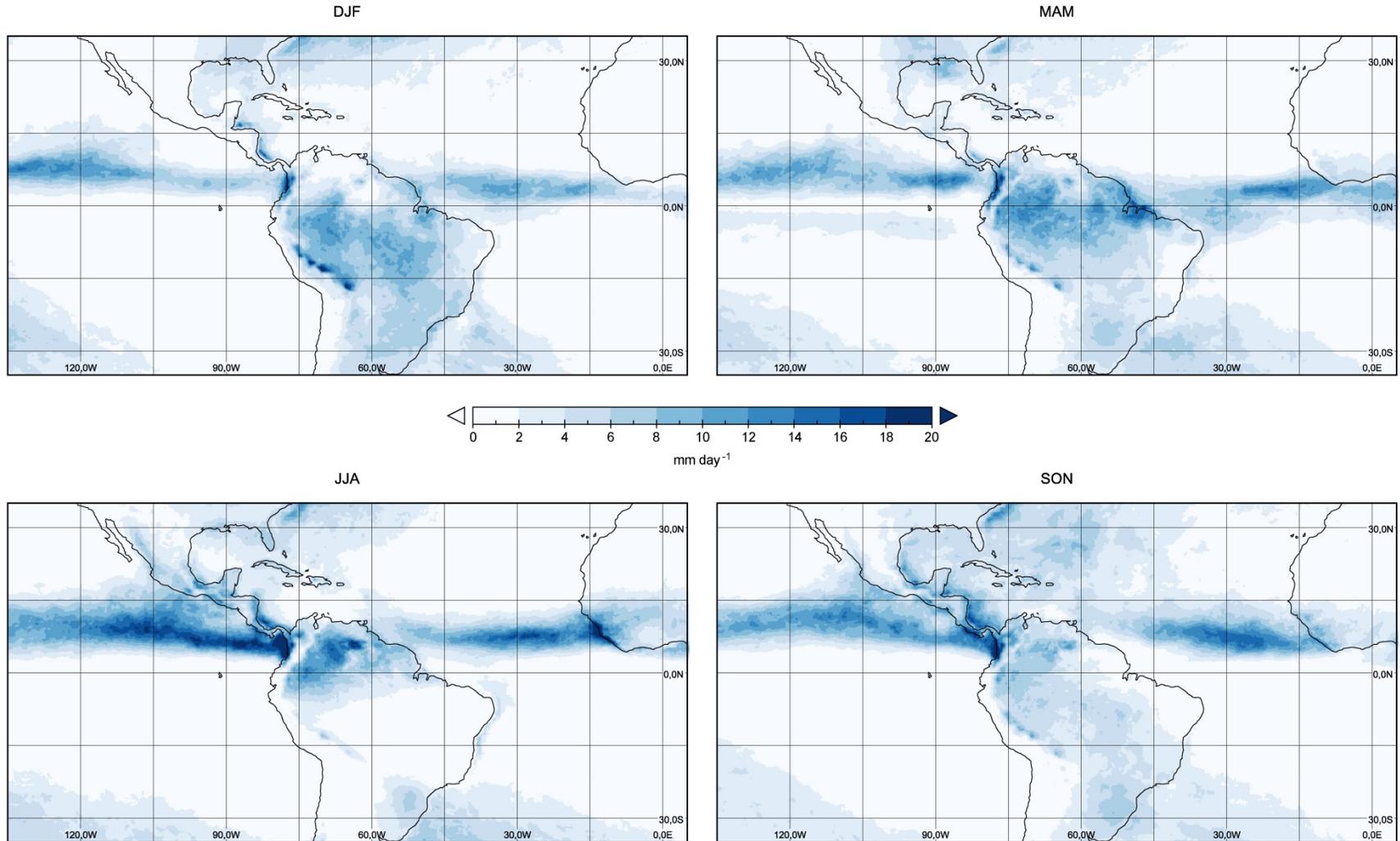
Los flujos a escala sinóptica, son localmente modificados por la orografía.



# Precipitación acumulada diaria media

(Estimación combinada microondas-IR, de satélite, con calibración de pluviómetros en tierra)

TRMM –TMPA 3B42 v7



Height (m)

5000 -

4000 -

3000 -

2000 -

1000 -

0

W

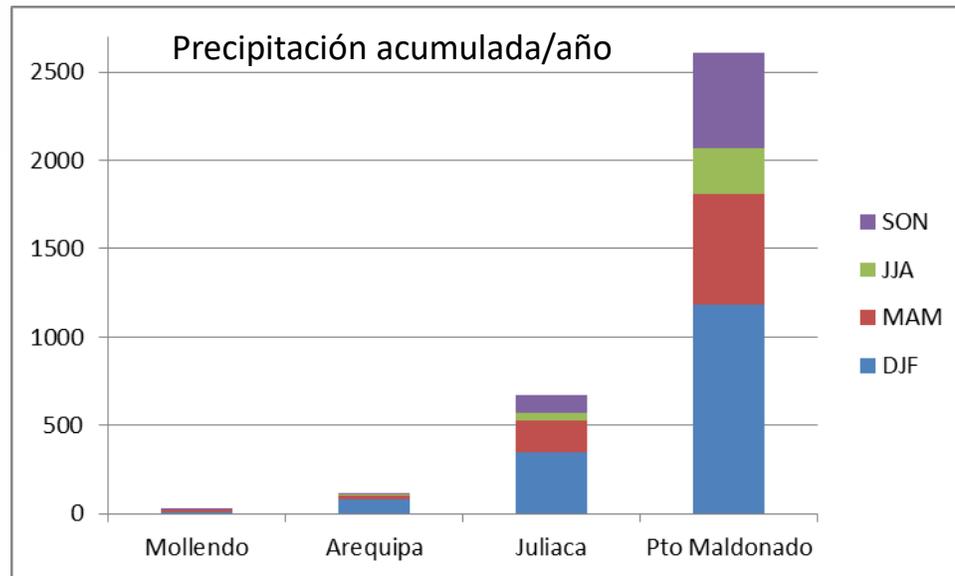
E

Mollendo

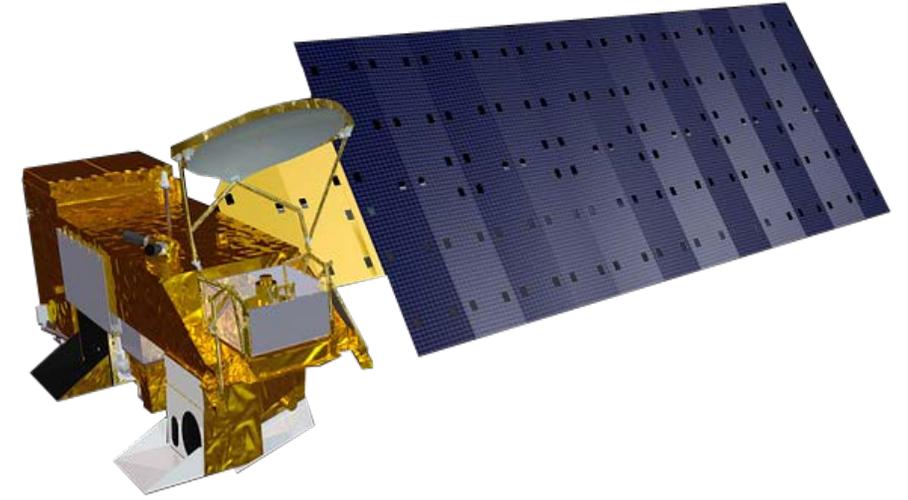
Arequipa

Juliaca

Puerto  
Maldonado



## ACCIONES DE FUTURO



- Publicar 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, realizando estudios de casos y la influencia de la actividad volcánica.
- Se seguirá estudiando la precipitación en un transecto que pase por Arequipa, desde el nivel del mar hasta el altiplano y hasta la selva amazónica. Se discriminará entre precipitación convectiva y estratiforme y se relacionará con la meteorología. Se analizará también la cobertura nubosa.