

## VARIACION DE LA TEMPERATURA NOCTURNA EN EL AREA URBANA-RURAL DE SAN MIGUEL DE TUCUMAN, Argentina

Prof. Claudia Hernández (\*)  
Prof. María Elvira Bobba(\*\*)  
Prof. Ana Carolina Rueda(\*\*\*)

**RESUMEN** -El objetivo de este trabajo es determinar las causas y los efectos de la irrupción de corrientes de aire cálido nocturno en el área pedemontana de la Sierra de San Javier, donde se asienta la ciudad de San Miguel de Tucumán.

La metodología utilizada fue un análisis comparativo entre los valores térmicos-anemométricos registrados en distintas estaciones distribuidas en el área de estudio. Se analizó una muestra de cartas del tiempo seleccionadas en base a la ocurrencia del fenómeno, con la finalidad de establecer las condiciones sinópticas predominantes.

La variación nocturna de la temperatura del aire en las capas bajas es el resultado de la advección de brisas catabáticas, que se generan cuando el aire frío y pesado desciende por la ladera y se calienta adiabáticamente.

La mayor frecuencia coincide con la estación invernal, cuando predominan condiciones sinópticas con tiempo despejado, seco y calmo, que son favorables para la formación de la capa de inversión térmica; bajo esta situación se producen las heladas y la acumulación de contaminantes en la capa límite urbana. Por lo tanto, las brisas favorecerían a la disminución del número de heladas en un sector donde predomina la actividad agrícola, especialmente hortícola, que es muy sensible a las heladas y por otra parte, realizan una labor de barrido horizontal de los contaminantes urbanos.

### INTRODUCCIÓN

La marcha diaria térmica puede ser modificada por distintos fenómenos a escalas diversas como pasajes frontales, presencia de nubosidad, irrupción de vientos locales entre otros, provocando anomalías en el trazado termométrico. Una de ellas es el aumento de temperatura que se produce en horas antes de la salida del sol y en las posteriores a su puesta, cuando no influye la radiación solar.

Esta alteración fue observada en los termohigrógrafos instalados en el área de estudio (Würschmidt, 1995), que se localiza en el piedemonte oriental de la Sierra de San Javier y al sur de las estribaciones meridionales de la Sierra de Medina.

La relación entre estas alteraciones y su entorno físico llevó a suponer que la componente topográfica sería uno de los principales elementos que influyen en la aparición de este fenómeno combinado con el efecto urbano, que establece las diferencias entre el área rural -urbana.

En la búsqueda de correlacionar los efectos topográficos y urbanos con las alteraciones térmicas dentro de una zona subtropical, este trabajo propone un análisis de las causas y los efectos de la afluencia de aire cálido nocturno en el área pedemontana comprendida entre la ciudad y el piedemonte tucumano.

Investigaciones similares aparecen poco desarrolladas en la bibliografía, que generalmente estudian distintos fenómenos como los vientos catabáticos y anabáticos regionales, brisas de mar-tierra, montaña-valle y brisas de campo-ciudad en latitudes medias y altas, especialmente en el hemisferio norte (Barry, 1981;) Barlag y Kuttler, 1990; Goldreich, 1984). Dos importantes antecedentes realizados en nuestro país motivaron a la profundización de este tema relacionándolo con las condiciones urbanas y topográficas locales. Garabatos (1973) observó la ocurrencia del fenómeno en el Valle de Río Negro y Neuquén, donde

---

(\*) Jefe de trabajos Prácticos. Cátedra de Cartografía Teórica y Práctica. Dpto. de Geografía. Univ. Nacional de Tucumán. Argentina.

(\*\*) Jefe de Trabajos Prácticos. Cátedra de Meteorología y Climatología. Dpto de Geografía. Univ. Nacional de Tucumán. Argentina.

(\*\*\*) Becaria de CONICET. Instituto de Estudios Geográficos. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.

Area de interés: Geografía y medio ambiente

Proyecto: Bases socio ambientales para el desarrollo urbano de Tucumán. Instituto de Estudios Geográficos. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.

no presentaba simultaneidad y similitud por tratarse de un área con condiciones morfológicas diferentes. El estudio realizado por Würschmidt (1995) en nuestra área de estudio constituye el principal antecedente; dado que detecta el fenómeno con una elevada frecuencia con características similares en las estaciones y simultaneidad entre las mismas, dejando

planteada la hipótesis de la influencia urbana y de las condiciones topográficas, a partir de la cual hemos esbozado esta nueva investigación.

## **ASPECTOS FISOGRÁFICOS Y CLIMÁTICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El área de estudio se encuentra localizada en la provincia de Tucumán (Argentina) entre los 26° y los 28° de latitud sur. En este sector convergen dos unidades morfológicas bien diferenciadas: la llanura aluvial de piedemonte y la montaña, que a modo de arco, rodea a la ciudad por el norte y el oeste. (Figura 1)

La llanura pedemontana, donde se encuentra emplazada la ciudad de San Miguel de Tucumán, constituye una zona de contacto entre el macizo montañoso y la llanura chaqueña que se extiende hacia el este. Su límite norte y oeste lo constituyen las últimas estribaciones de las sierras del Noreste y la Sierra de San Javier, respectivamente. Está cubierta por sedimentos de origen fluvial y eólico, presentando una serie de ondulaciones que son producto de la coalescencia de los conos de deyección que se forman al pie de las sierras. Su altura disminuye paulatinamente hacia el este.

El sector montañoso perteneciente a la unidad morfoestructural de Sierras Subandinas está formado por la Sierra de San Javier al oeste y noroeste, y por las Sierras del Noreste al norte y noreste.

La sierra de San Javier es un bloque montañoso, en dirección NNE – SSW, que se eleva aproximadamente a 15 Km al oeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán. Morfológicamente se presenta con suaves lomadas, separadas por numerosos arroyos que avenan ambas vertientes, especialmente su borde oriental

se encuentra muy seccionado por estos arroyos (activos en la actualidad), que conforman una red de drenaje muy densa, debido a la importancia de las precipitaciones ya que se trata de una ladera de barlovento. La altura de la sierra, aumenta de sur a norte, culminando en la Cumbre de Tafi (1800 m.s.n.m) y la parte más baja, se encuentra al frente de la ciudad de San Miguel de Tucumán y se denomina la "Puerta de San Javier" (Santillán de Andrés y Ricci, 1980). Hacia el oeste de San Javier se levantan las Sierras Pampeanas, que constituyen el principal el bloque montañoso de la provincia con alturas que en algunos casos superan los 5000 m.s.n.m.

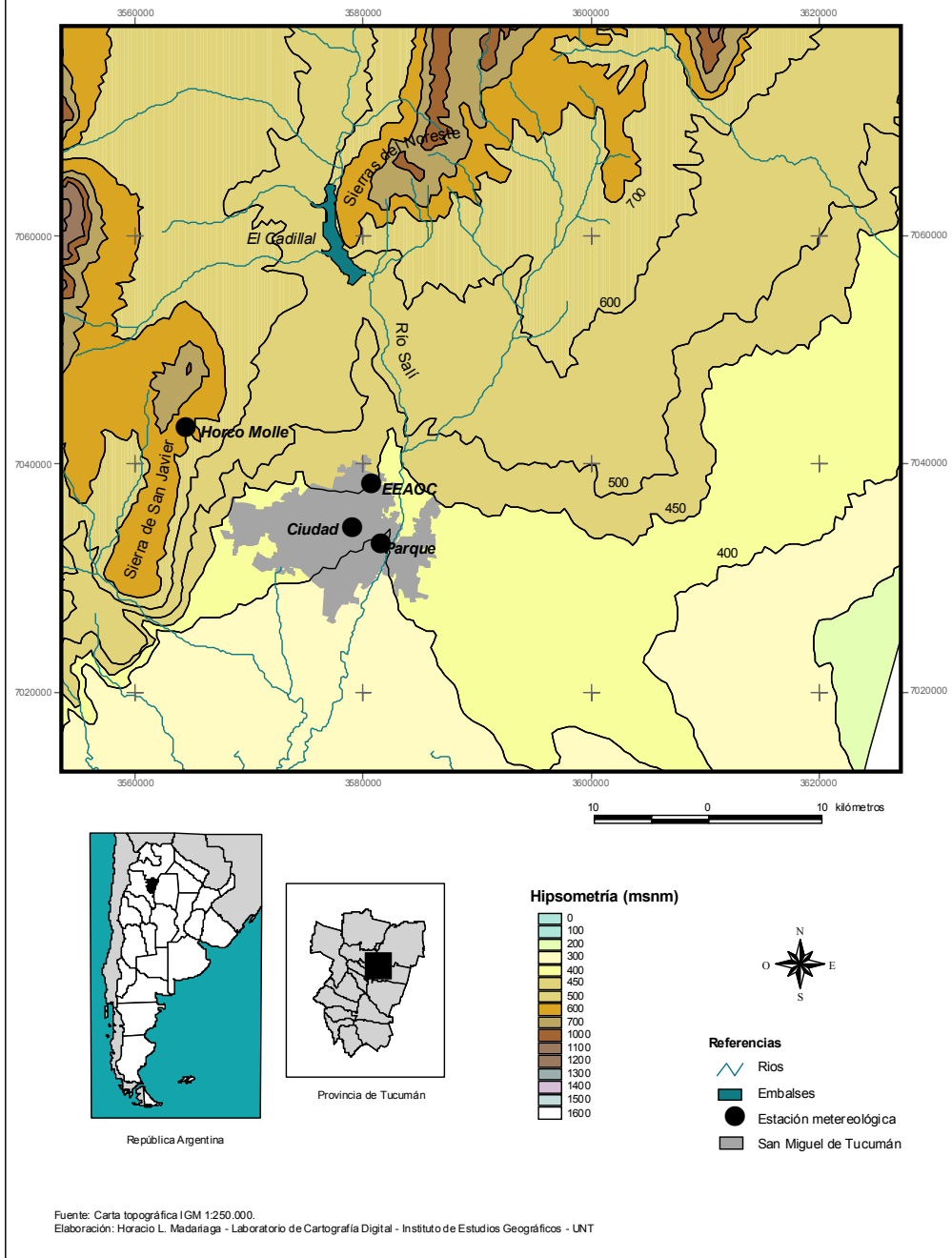
Las Sierras del Nordeste se extienden desde Bolivia y se internan en el territorio tucumano con dirección NNE – SSW. Están formadas por cuatro alineaciones montañosas paralelas: Sierra de Medina, del Nogalito, de la Ramada y del Campo, separadas por valles intermontanos. Las cumbres tienen forma chata y redondeada, sus alturas oscilan entre los 2065 y los 1100 m.s.n.m. La ladera occidental (que constituye el límite este de la cuenca de Tapia – Trancas) es abrupta, mientras que la oriental que se extiende hacia el este y sur, disminuyendo paulatinamente de altura hasta desaparecer en la llanura tucumana.

Al norte de la ciudad de San Miguel de Tucumán se produce la aproximación de la parte meridional de la Sierra de Medina con la parte septentrional de la Sierra de San Javier, dando lugar a la formación del Cajón del Cadillal que es atravesado por el río Salí (principal colector de la provincia).

La provincia de Tucumán según su posición latitudinal se ubica dentro de los climas subtropicales. Se encuentra bajo la influencia de dos centros de alta presión semipermanentes: el anticiclón del océano Atlántico y el del Pacífico, desde donde divergen masas de aire con distintas condiciones de temperatura y humedad. El desplazamiento estacional de estos centros de alta presión determina estaciones climáticas con marcados contrastes ya que los veranos son lluviosos y el período invernal se caracteriza por su sequedad. En verano se forma en el Noroeste argentino un centro de baja presión estacional de origen termo – orográfico que influye sobre el gradiente bórico, que genera un mayor flujo de aire Atlántico.

La masa de aire tropical es la que aporta humedad desde el este, mientras que la masa de origen Pacífico constituye un factor dinámico que incide en la formación de sistemas frontales. Esta masa de aire ingresa al territorio tucumano por el Sur, pero no aporta humedad, ya que la ha descargado al atravesar la cordillera de los Andes.

**Figura 1: Area de estudio**



En verano el anticiclón del Atlántico se encuentra desplazado hacia el Sur y las masas de aire cargadas de humedad ingresan directamente por el Este, al alcanzar el territorio tucumano encuentran una importante barrera orográfica dispuesta en sentido de los meridianos, que favorece al aumento de las precipitaciones y de la nubosidad.

En invierno las condiciones atmosféricas varían notablemente; el anticiclón del Atlántico Sur se desplaza hacia el Norte y la presencia de un puente anticiclónico entre las altas subtropicales en el sector continental provoca un fenómeno de subsidencia, que deshidrata del aire en la vertical. Estas condiciones favorecen al enfriamiento de las capas bajas de la troposfera que producirá, en algunas oportunidades, una inversión térmica cerca del suelo que permite la ocurrencia de heladas (Hernández, C. Y Bobba, M., 1997).

## DATOS Y MÉTODOS

Los datos de temperatura y viento utilizados fueron extraídos de las estaciones ubicadas en un perfil Este-Oeste desde la ciudad hasta el piedemonte de la Sierra de San Javier. Las estaciones comparadas se localizan en;(Figura 1)

1- el predio del área verde más importante de la ciudad de San Miguel de Tucumán, el Parque 9 de Julio a 435 m. s.n.m. (Parque).

2- el centro de la ciudad en un terreno baldío (termohigrógrafo) y en el edificio del Diario Local (anemógrafo), ubicados próximos a la plaza principal, esta área representa las mayor densidad edilicia, 451 m. s.n.m. (Ciudad).

3- la zona de piedemonte, la Reserva de Flora y Fauna de Horco Molle perteneciente a la Universidad Nacional de Tucumán, 610 m.s.n.m. (Horco Molle).

La confección de la base de datos se realizó mediante la lectura horaria de temperatura cada décima de grado entre las horas 18:00 y 08:00, solamente los días que se detectaba un aumento térmico (mínimo de 0,5°C) en alguna de las estaciones comparándolo con el comportamiento de las otras.

Las brisas fueron agrupadas según:

- las precipitaciones en dos períodos; estación lluviosa (octubre-marzo) y estación seca (abril-setiembre)
- el horario de ocurrencia: a) de 18:00 a 24:00 y b) de 01:00 a 06:00.

La obtención de las diferencias entre el máximo y el mínimo del incremento de temperatura, para cada una de las observaciones permitió determinar el grado de aumento térmico, cuyas diferencias fueron agrupadas en los siguientes intervalos de clases: 1) de 0,5°C a menos de 1,5°C; 2) de 1,5°C a menos de 2,5°C; 3) de 2,5°C a menos de 3,5°C; 4) de 3,5°C y más.

La aparición en forma simultánea de las brisas permitió establecer la siguiente categorización:

1-A. Horco Molle-Ciudad-Parque: cuando en las tres estaciones se detectaba un aumento igual o mayor a un 1°C.

1-B. Horco Molle-Ciudad-Parque: cuando el aumento era igual o mayor a 0,5°C en las tres estaciones.

2- Horco Molle-Ciudad

3- Horco Molle-Parque

4- Ciudad-Parque

El criterio de clasificación establecido para las categorías 2, 3 y 4 fue que el valor mínimo de incremento debía ser mayor o igual a 1°C en una de las estaciones y en la otra mayor o igual a 0,5°C.

Los datos de dirección y velocidad del viento fueron obtenidos de dos anemógrafos instalados en la Reserva de Horco Molle en el piedemonte y en el tercer piso del edificio perteneciente a un diario local que se encuentra ubicado en el centro comercial de la ciudad.

El análisis de los datos de vientos se realizó con el propósito de detectar la procedencia de los mismos y establecer sus direcciones prevalentes, registrados en la hora de máximo incremento y en las dos horas precedentes.

La estaciones relevadas dentro del perfil fueron contrastadas con dos estaciones meteorológicas ubicadas en el área del piedemonte de las Sierra del Aconquija hacia el sur de la ciudad de Tucumán, una en el departamento de Famallá a 30 km de la ciudad y la otra en el departamento de La Cocha a 90 km. Asimismo, fueron consultados los registros en la Estación Experimental agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) localizada en el área de estudio, donde se obtuvo los datos de ocurrencia de variaciones térmicas coincidente con los categorizados en las tres estaciones, con el objeto de corroborar los resultados obtenidos.

Se analizó una muestra de cartas del tiempo del Servicio Meteorológico Nacional correspondiente al período bajo estudio para determinar las condiciones sinópticas más frecuentes en situaciones de brisas y el grado de asociación entre el tiempo meteorológico en San Miguel de Tucumán y la advección de aire húmedo desde el Atlántico. Se extrajo los valores de presión de San Miguel de Tucumán y de Gualaguaychú para establecer el gradiente bórico ( $\Delta P$ ) entre ambas, que se clasificó en :1) Gradiente Débil (de menos 3 a 1 mb) 2) Gradiente Medio (de 2 a menos 6 mb) y 3) Gradiente Fuerte (de 7 y más mb). Estos gradientes fueron correlacionados con tipos de tiempos básicos: cielo despejado, cielo cubierto, cielo despejado con calma y cielo cubierto con calma, en una tabla de contingencia. Para obtener el grado de probabilidad de ocurrencia del fenómeno se aplicó la siguiente fórmula:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Perfil Oeste – Este

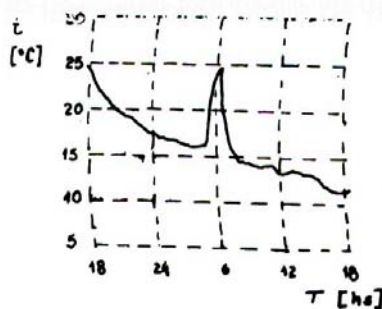
La variación de la temperatura diaria y anual es el resultado del balance energético resultante de la radiación entrante (input) y la saliente (output) entre el sol y la tierra, lo que determina un exceso y un déficit de energía con cíclicos aumentos y disminuciones de temperaturas. Si observamos el registro de la temperatura en un termógrafo, la curva en un día despejado alcanza un mínimo cerca de la salida del sol y un máximo a media tarde, entre las 14 y 16 horas, a partir de la cual comienza a descender rápidamente, y continúa el proceso de enfriamiento debido a la ausencia de ingreso de radiación solar y a la pérdida por irradiación terrestre.

Este descenso puede verse alterado, durante una o dos horas aproximadamente, con un aumento de temperatura, modificando así el trazado normal de la curva en ese período de tiempo. Este fenómeno pudo ser observado en las fajas termométricas de las estaciones meteorológicas consideradas, un ejemplo de ello ocurrió el día 04/05/1993 en la estación de Horco Molle (Figura 2).

Figura 2

Banda termométrica de la Estación de Horco Molle de la fecha 04/05/1993

El origen de esta anomalía térmica se relacionaría con la advección de aire más cálido; según Yoshino,



M. (1975, p. 202), existen cuatro posibles causas que explican el movimiento del aire cerca del suelo.

- 1. Las diferencias entre los gradientes de presión que se observan en los mapas sinópticos.
- 2. Diferencias horizontales de temperatura sobre la superficie de la tierra.
- 3. El efecto de desnivel del terreno que ocasionaría drenaje de aire frío hacia la partes bajas durante la noche y ascenso del aire durante las horas del día.
- 4. La inestabilidad atmosférica que causa los ciclones tropicales y tornados.

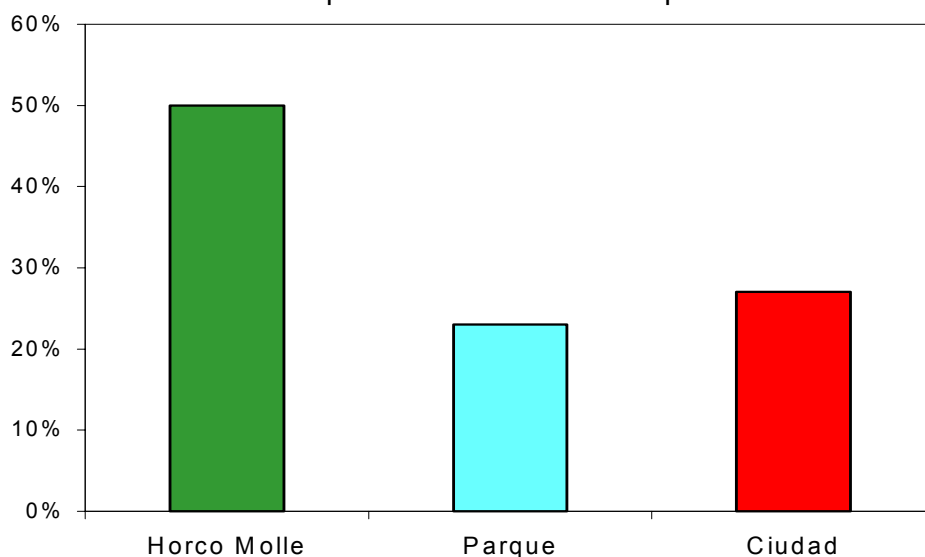
Partiendo de la hipótesis de trabajo, la causa del incremento térmico observado entre el horario vespertino y nocturno estaría dado por la advección de aire cálido originado por el efecto del desnivel en el terreno y las diferencias en la densidad del aire. En las áreas con presencia de montañas se observa la aparición de sistemas de vientos locales (brisas de montaña- valle), que se generan por la diferencia en la densidad del aire. Cuando el aire pesado y frío de las laderas desciende, se calienta adiabáticamente según el gradiente adiabático (1°C cada 100 metros), así al ingresar con una temperatura mayor a la zona de piedemonte eleva el registro térmico.

Estas alteraciones fueron registradas también en otras estaciones del piedemonte como Famaillá y La Cocha situadas al sur y la E.E.A.O.C ubicada al norte del área de estudio, por ello se puede inferir que la

ocurrencia de este fenómeno se produciría en toda el área pedemontana de la provincia. Asimismo, este evento también fue detectado en otra región montañosa de nuestro país por Garabatos (1973).

Esta anomalía presenta como características la simultaneidad, similitud y disminución progresiva hacia el este en función de la pendiente general del terreno. A partir del análisis de los registros térmicos se detectaron 441 casos según el límite inferior térmico establecido, concentrando el 50% de la ocurrencia en la estación de Horco Molle, mientras que el resto se divide entre las otras dos estaciones. La buena correlación entre la mayor frecuencia de ocurrencia y la menor distancia a la zona montañosa corrobora que la orografía es la principal causa, dado que es evidente la disminución del fenómeno hacia el Este (Figura 3).

Figura 3  
Distribución porcentual de casos por estación



El 50% del total de los incrementos térmicos observados en el área de estudio se ocasionaron dentro de un rango horario similar entre tres o dos de las estaciones. Esta simultaneidad podría explicarse debido a las condiciones topográficas del área, que constituye la zona de transición entre la Sierra de San Javier y la llanura tucumana, presentando un declive progresivo hacia el Este. En la investigación realizada por Garabatos (1973) en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, no se encontró simultaneidad y similitud en el fenómeno por tratarse de un área con características morfológicas diferentes.

Estas coincidencias significativas han permitido clasificar las variaciones térmicas en distintas categorías que fueron explicadas en la metodología, cuyos resultados se especifican en el cuadro N°1.

Cuadro N° 1: Frecuencias de anomalías térmicas según las categorías

CATEGORÍAS	Frecuencias
1.A. Horco Molle – Ciudad – Parque	20
1.B. Horco Molle – Ciudad – Parque	18
2. Horco Molle – Ciudad	10
3. Horco Molle – Parque	16
4. Ciudad – Parque	23

De donde se puede extraer que, las categorías que vinculan a las tres estaciones agrupan el 44% de los casos y el porcentaje restante se distribuye entre las demás asociaciones constituidas por dos estaciones. En los binomios, la estación de Horco Molle aparece con una leve predominancia (30% del total).

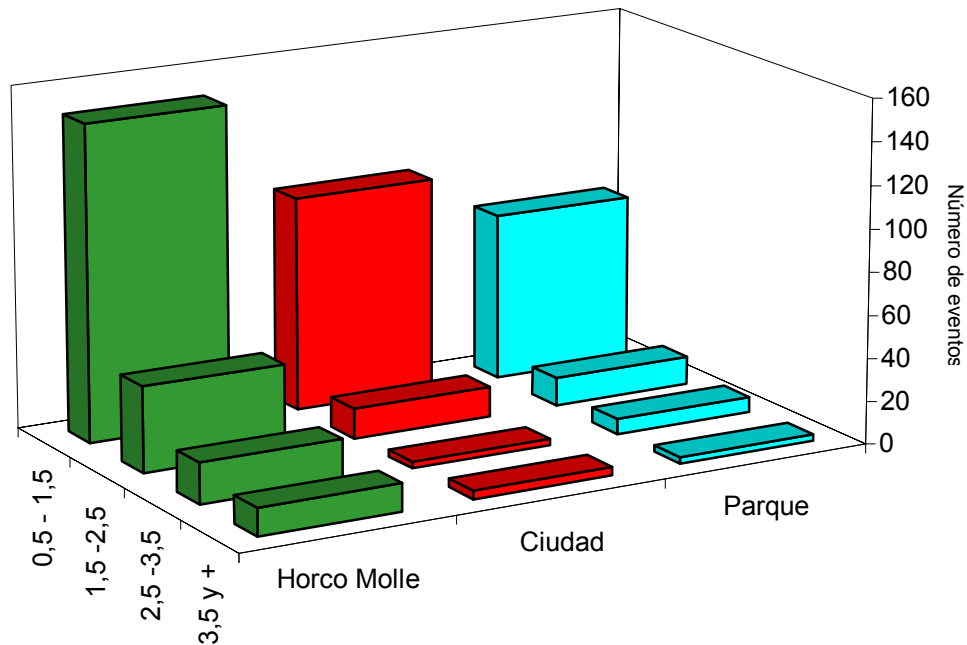
Los casos que no pudieron ser agrupados se los consideró como individuales; si bien la variación se observaba en dos o tres de las estaciones no alcanzaban el valor mínimo (0,5°C) para ser incluidas dentro de las categorías (Cuadro N°2).

Cuadro N° 2: Casos de individuales de anomalías térmicas

ESTACIONES	Frecuencias
Horco Molle	155
Ciudad	51
Parque	23

El rango de aumento de la temperatura por efecto de las brisas oscila entre 0,5 y 8,7°C, lo que permitió un agrupación por clase (Figura 4). El intervalo que contiene los menores aumentos concentra la mayor cantidad de casos en las tres estaciones. En los tres intervalos siguientes es notable el decrecimiento en la ocurrencia de brisas en todas las estaciones. El fenómeno tiende a disminuir hacia el Este tanto en número de eventos como en aumento de temperatura, es decir a mayor distancia de la montaña menor incremento térmico y frecuencia de brisas.

Figura 4  
Distribución de eventos por intervalos de clases y por estación



El último intervalo encierra los valores más elevados como por ejemplo los casos en que la temperatura se eleva 6,8 °C y 8,7 °C en Horco Molle, en cambio en las otras estaciones no supera los 5 °C. El aire que desciende con mayor velocidad, como resultado de un fuerte enfriamiento, provoca un aumento en la turbulencia que determina la remoción de las capas frías estratificadas, causando los mayores incrementos que no son observados hacia el este por el debilitamiento de la pendiente, por la rugosidad y el efecto térmico de la isla de calor urbana.

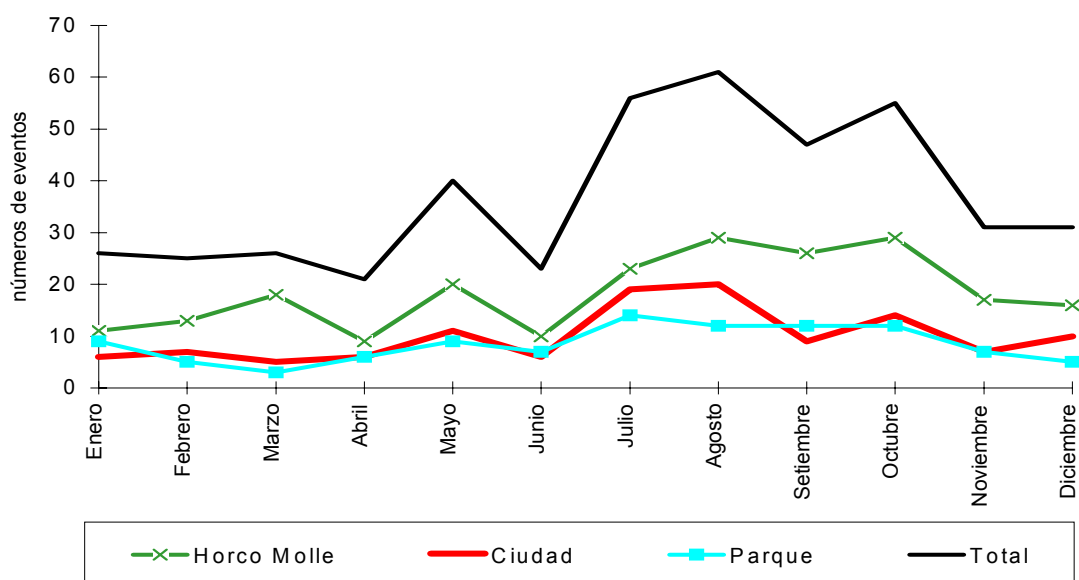
Lo que llevaría a inferir que las zonas con variaciones térmicas más elevadas, dentro del área de estudio, serían la periurbanas con una localización Norte y Oeste. Lo que fue corroborado al analizar los datos de la EEAOC, en la cual se encontró un elevado porcentaje de simultaneidad y de incremento térmico comparado sólo con la estación de Horco Molle.

### Distribución anual de las anomalías térmicas. Casos estacionales y horarios

La curva mensual de frecuencias de brisas (Figura 5) muestra una distribución irregular con una concentración entre los meses de mayo y octubre observándose un pico máximo en el mes de agosto, precedido y sucedido por dos aumentos menores en los meses de mayo y octubre, respectivamente. Esta concentración coincide con la estación seca cuando disminuye la insolación, el vapor de agua y la nubosidad por lo tanto "la pérdida neta de calor por radiación terrestre es mucho mayor en las grandes elevaciones, porque la baja densidad del aire hace que se absorba menor cantidad de la radiación reflejada"(Barry y Chorley, 1985, p.52), es así que el aire frío y pesado de las montañas drena hacia las partes más bajas encausándose por las quebradas y elevando su temperatura adiabáticamente.

En la llanura, estas condiciones son favorables para la estratificación térmica dando lugar a la estabilidad atmosférica, la cual controla la intensidad de la turbulencia termal. Esta situación de estabilidad termodinámica del aire es frecuente en Tucumán en esta estación, que se demuestra al comparar las temperaturas mínimas de julio entre Villa Nougues (1200 m.s.n.m.) y San Miguel de Tucumán (451 m.s.n.m.) donde se obtiene un gradiente vertical de  $-0.01^{\circ}\text{C}/\text{Km}$  (Minetti et al, 1995).

Figura 5  
Distribución mensual de eventos por estaciones  
(1991-1993)



La combinación de las mencionadas condiciones determina la formación de una capa de inversión térmica, que constituye el factor clave para explicar el proceso de acumulación de contaminantes en la capa límite urbana. Cuando la atmósfera está estable y los movimientos ascendentes se ven obstaculizados, en consecuencia la difusión vertical de los contaminantes es muy pequeña (Clavero, 1990). Estas condiciones atmosféricas unidas a la fuerte actividad azucarera desarrollada, entre los meses de mayo a octubre, y el intenso tránsito vehicular eleva los niveles de contaminación (Porcel y Hernández, 1995; Hernández, 1997). Por lo tanto, cuando aire más limpio que llega desde la zona montañosa ingresa al sector urbano y periurbano favorece a la disminución de los niveles de contaminación, porque realiza un barrido horizontal de los poluentes por efecto de turbulencia y tiende a alejarlos de la fuente de emisión.

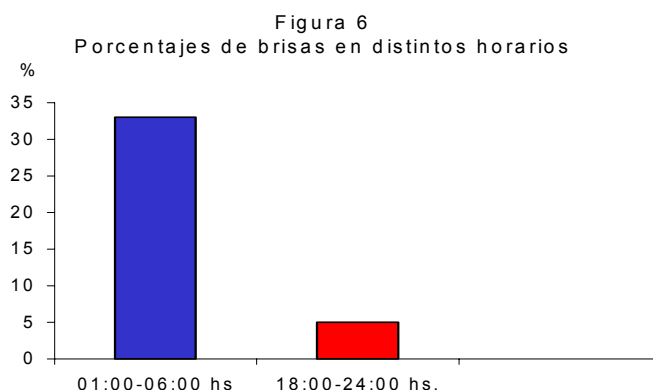
En el mes de noviembre (Figura 5) se observa un fuerte descenso en la frecuencia de eventos que coincide con la mayor advección de aire cálido y húmedo subtropical, característico de la estación lluviosa. En dicha estación el total de brisas apenas supera los 30 casos por mes, en oposición al pico máximo, en el que se han registrado casi 70 casos durante el período de dos años de análisis; algunos días del mes de agosto este fenómeno ocurrió tanto en el horario matutino como vespertino.



El comportamiento de la curva de Horco Molle es muy similar con el de la ciudad, mientras que la del Parque muestra menores fluctuaciones. Cuando se compara las curvas durante la estación lluviosa se aprecia un ligero aumento en la ciudad (diciembre) y en Parque (enero) que no es observado en Horco Molle, cuya explicación estaría dada por la combinación de la influencia del desnivel topográfico desde el norte y las diferencias térmicas entre el área rural - urbana, generando un gradiente térmico horizontal que produce ascensos convectivos que permiten la difusión de los poluentes urbanos hacia capas superiores

El mayor porcentaje (87%) de brisas ocurre entre la 1 y 6 horas y el restante entre las 18 y 24 horas (Figura 6). La mayor ocurrencia del fenómeno en este horario tendría un efecto positivo durante el período de heladas, ya que se presentan cercanas a la hora que se da periódicamente la temperatura mínima diaria, elevando a la misma, lo que favorecería a la agricultura del área pedemontana dedicada al cultivo de frutas y hortalizas que son sensibles a las heladas. Con el objeto de corroborar esta afirmación se consultaron los archivos de la Estación Experimental Obispo Colombres, situada al Norte del casco urbano de San Miguel de Tucumán, donde se observaron 42 casos de heladas agronómicas para el período de análisis; en 3 casos llegaron a profundizarse y alcanzaron valores de heladas meteorológicas, que durante su ocurrencia no se registraron brisas. Por lo que se infiere, que éstas impiden el enfriamiento profundo en las capas de aire inferiores.

En las situaciones de brisa se produce la homogeneización de la temperatura en la capa de inversión por efecto de la turbulencia (Garabatos, 1973), lo que provoca una mezcla dinámica que reemplaza el aire frío subyacente al suelo por aire más caliente de las capas superiores, a lo que se suma la advección de aire tibio de las brisas, produciendo un incremento en el registro térmico. Esta situación evita que el aire en



contacto con la superficie del suelo se enfríe y alcance temperaturas bajo cero, especialmente en las horas cercanas al registro de la mínima.

La casi totalidad de las brisas que ocurren entre las 18:00-24:00 horas se observan durante la estación lluviosa, esto podría ser explicado como consecuencia del enfriamiento del aire provocado por tres causas: a) por las tormentas convectivas sobre las montañas, b) por la evaporación de la humedad del suelo y c) por irradiación nocturna. Esta situación fue confirmada con el análisis sinóptico, cuyo ejemplo más significativo fue el día 08/12/91, cuando se produjeron tormentas con granizo y posteriormente, se registró la alteración térmica.

#### **Condiciones sinópticas observadas durante las anomalías térmicas**

Con el objeto de indagar sobre las condiciones del tiempo conectado con el fenómeno en estudio, se analizó una muestra de cartas sinópticas de superficie coincidentes todas con los días de ocurrencia del evento; en base a la cual se confeccionó el siguiente cuadro en donde se relacionan los tipos de gradientes béricos con situaciones sinópticas locales de San Miguel de Tucumán.

Cuadro N° 3: Tipos de gradientes y condiciones sinópticas

Tipo de Tiempo	Gradiente	Débil	Medio	Fuerte	Total
Cielo Despejado		4	15	10	29
Cielo Cubierto		1	5	4	10
Cielo Despejado/ Calma		0	5	4	9
Cielo cubierto/ Calma		0	1	1	2
Total		5	26	19	50

En donde se puede observar que una proporción del 0.58 corresponde a cielo despejado y con una probabilidad de 0.80<sup>1</sup> a condiciones de cielo despejado con gradiente medio (2 a 6 mb de  $\Delta P$ ).

Las condiciones de cielo despejado favorecerían al enfriamiento nocturno por irradiación y por lo tanto, al deslizamiento del aire más denso por las laderas de las montañas que circundan la ciudad tanto por el oeste, noroeste y norte.

Se observa además que es altamente frecuente la presencia en la muestra de bajas o vaguadas en el NOA coincidentes en la mayoría de los casos con viento Norte. Lo que unido al pasaje constante de anticiclones migratorios, con trayectoria SW-NE, explicaría el mayor porcentaje de casos coincidentes de cielo despejado y gradientes mediano y fuerte.

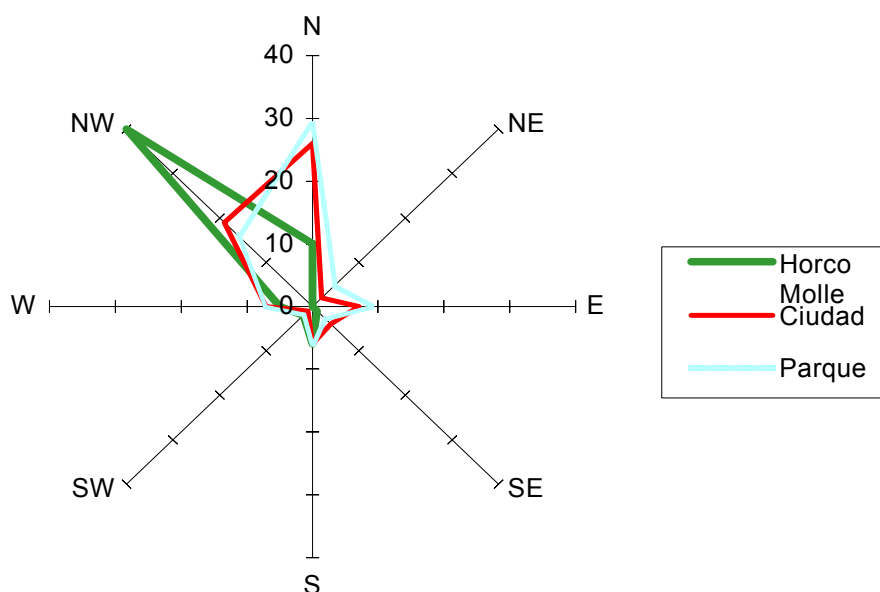
Cuando la ocurrencia de las brisas se da en las tres estaciones, el registro anemográfico revela una marcada dirección de los cuadrantes N para las estaciones de Ciudad y Parque, y NW para la estación de Horco Molle, por lo que se infiere que la advección de aire depende de un enfriamiento generalizado de toda el área montañosa circundante produciendo el drenaje del aire.

La dinámica del viento superficial se complica debido a la diversidad de topoformas que configuran el área (Pérez Villegas, 1992), es decir que las irregularidades del terreno inciden en el comportamiento eólico, controlando su dirección y velocidad. Una marcada influencia topográfica se manifiesta en la estación de Horco Molle que presenta una predominancia del NW (Figura 7), por estar localizada en la salida de una quebrada con orientación NW-SE, por donde el aire fluye hacia el piedemonte; las direcciones N y W le siguen en importancia. Las estaciones del Parque y Ciudad registran predominancia del N seguida por la del NW; a diferencia de Horco Molle, éstas si registran flujos procedentes desde el E y NE.

<sup>1</sup> Se aplica la fórmula del apartado de Datos y Métodos:

$$P(CD_{oGM}) = \frac{26}{50} + \frac{29}{50} - \frac{15}{50}$$

Figura 7  
Distribución de las direcciones en las estaciones



## CONCLUSIONES

Estas variaciones térmicas nocturnas son explicadas por brisas catabáticas que llegan al piedemonte elevando la temperatura, tanto por el calentamiento adiabático como por efecto de mezcla dinámica. La mayor ocurrencia e intensidad del fenómeno se observó en las estaciones de Horco Molle y EEAOC, debido a condiciones topográficas, es decir a la proximidad a la montaña y a la menor influencia de la rugosidad urbana por ubicarse en el área periurbana donde predominan los espacios abiertos.

La mayor frecuencia se registró durante la estación seca cuando prevalecen los días con cielo despejado y atmósfera en calma sumado a la disminución de la insolación, el vapor de agua y la nubosidad que intensifican el enfriamiento del aire subyacente en el área montañosa. El porcentaje más alto ocurre en horarios entre 01:00-06:00 horas en dicha estación, lo cual favorece a la menor ocurrencia de heladas.

Las condiciones sinópticas más frecuentes son la presencia de la Baja del NOA y el pasaje de anticiclones migratorios con trayectoria SW-NE, especialmente en la estación seca cuando las condiciones de cielo despejado con gradiente medio obtuvieron con una probabilidad 0.80 en la muestra.

Por último se puede inferir que la variación nocturna de la temperatura del aire en las capas bajas ocurre en toda el área pedemontana como se lo comprueba al confrontar los datos con los de la estaciones de Famallá y de La Cocha, donde estas alteraciones también fueron registradas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barry, R. (1981) "Mountain, weather and climate". London
- Barry, R. y Chorley, R. (1985) "Atmósfera, tiempo y clima". Barcelona. España.
- Barlag, A. y Kuttler, W. (1990-1991) "The significance of country breezes for urban planning". Energy and Building, 15-16, p. 291-297. Holanda.
- Caillou de Sierra, M., García, I. y Salvatierra de Desjardines, D. N. (1979) "Caracteres fisiográficos del sitio de la ciudad de San Miguel de Tucumán". Boletín de la Filial Tucumán. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos.
- Clavero, P. (1990) "La estabilidad atmosférica como factor de contaminación del aire: otoño de 1985 en Barcelona". Revista de Geografía. Vol. XXIV. p.17-26. Departamento de Geografía. Universidad de Barcelona. España.
- Di Lullo, R. y Giobellina, B. (1996) La otra ciudad . Tucumán Frente al 2000. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán. p. 206.
- Ebdon, D. (1982) Estadística para geógrafos. Colección Ciencias geográfica. Oikos –tau. p.348
- Garabatos, M. (1973) "Acerca d la variación nocturna de la temperatura del aire en las capas bajas en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén". Servicio Meteorológico Nacional. Bs. As.
- Goldreich, Y. (1984). "Urban topocliamtology". Progress in Physical Geography. Vol 8, Nº3. p.336-364.
- Hernández, C. (1997) "Clima y Contaminación en San Miguel de Tucumán". Geoespacios–11. Serie Ciudades intermedias: San Miguel de Tucumán. p.101-118
- Hernández, C. M. y Bobba, M E. (1997) "Variación pluviométrica en una transecta desde Sierra de San Javier a la llanura Tucumana". Actas. Primeras Jornadas de Geografía Física. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, p. 82-90
- Kühn, F y Rohemeder, G. (1942) "Estudio fisiográfico de las Sierras de Tucumán". Monografías del Instituto de Estudios Geográficos 3. U.N.T, p.7-96
- Landsberg, H. (1981) "The urban climate". International Geophysics Series. Vol 28. New York.
- Minetti, J., Bobba, M.E. y Hernández, C. (1995) "Variabilidad térmica espacial en el noroeste argentino: sus causas". Actas del Congreso Cimatology and air pollution. Mendoza. P. 335-348.
- Perez Villegas, G. (1992) "El recurso viento y su disponibilidad en las áreas geográficas de México". Revista de Estudios Geográficos. Instituto de Economía y Geografía Aplicadas. Tomo L III, 206. p.149-165. Madrid.
- Porcel, M y Hernández, C. (1995) "Fuentes de Contaminación atmosférica en el gran San Miguel de Tucumán". Marburger Geographische Schriften. Heft 128, Marbirg, Alemania, p.167-183.
- Santillán de Andrés, S. y Ricci, T. (1980) Geografía de Tucumán. Fac. de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Tucumán, p. 175.
- Wanner, H y Filliger, P. (1989). "Orographic influence on urban climate". Weather and Climate. Vol. 9. p.22-28.
- Würschmidt, E. (1995). "Brisas nocturnas cálidas". Marburger Geographische Schriften. Heft128. p.159-166. Marburg-Lahn, Alemania.
- Yoshino, M. (1975). "Climate in a small area. An introduction to local meteorology". Tokyo.
- Yoshino, M. (1881). "Orographically-induced atmospheric circulations". Progress in Physical Geography. Vol. 5. Nº1. p.76-98.

## Agradecimientos

Las autoras agradecen al Prof. Enrique Würschmidt del Instituto de Estudios Geográficos y al Dr. Juan Leonidas Minetti por las orientaciones brindadas para la elaboración de este trabajo.