



Flujo del aire en superficie en el valle del río Cauca

Flujo del aire en
superficie en el
valle del río Cauca

www.cenicana.org

Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia





Preciado V., Mónica

Flujo del aire en superficie en la región productora de caña de azúcar del valle del río Cauca / Mónica Preciado V.; Andrés Javier Peña Quiñónez. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed.) -- Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2023.

20 p.; (Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia)

Incluye referencias bibliográficas

ISBN

1. Caña de azúcar. 2. Valle del río Cauca. 3. Climatología. 4. Presión atmosférica. 5. Corrientes atmosféricas. 6. Red Meteorológica Automatizada.

I. Peña Quiñónez, Andrés Javier. II. Título. III. Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia

551.517 CDD 23 ed.

P923

Cenicaña – Biblioteca Guillermo Ramos Núñez

Flujo del aire en superficie en el valle del río Cauca

Mónica Preciado V.,
Andrés J. Peña Q.

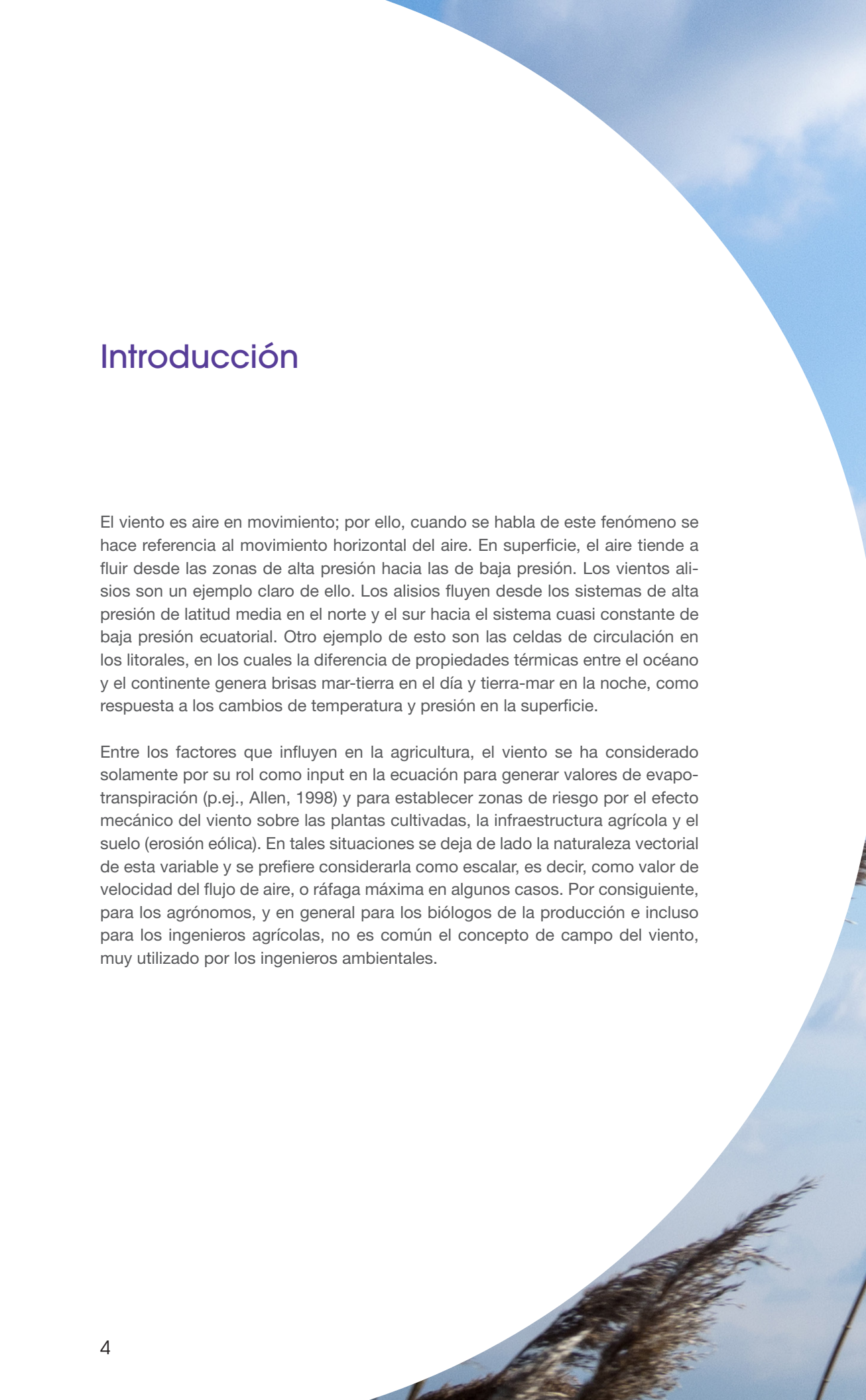
Cenicaña © 2023
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
Calle 38 norte No. 3CN-75. Cali, Valle del Cauca, Colombia
Estación experimental: San Antonio de los Caballeros, vía Cali-Florida km 26
www.cenicana.org

Producción editorial: Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología
Coordinación editorial: Victoria Carrillo C.
Corrección de textos: Ernesto Fernández R.
Diseño e ilustración: Alcira Arias V.



Contenido

Introducción	4
Generalidades	6
Particularidades	10
Consideraciones para el manejo del cultivo	14
Referencias	18



Introducción

El viento es aire en movimiento; por ello, cuando se habla de este fenómeno se hace referencia al movimiento horizontal del aire. En superficie, el aire tiende a fluir desde las zonas de alta presión hacia las de baja presión. Los vientos alisios son un ejemplo claro de ello. Los alisios fluyen desde los sistemas de alta presión de latitud media en el norte y el sur hacia el sistema cuasi constante de baja presión ecuatorial. Otro ejemplo de esto son las celdas de circulación en los litorales, en los cuales la diferencia de propiedades térmicas entre el océano y el continente genera brisas mar-tierra en el día y tierra-mar en la noche, como respuesta a los cambios de temperatura y presión en la superficie.

Entre los factores que influyen en la agricultura, el viento se ha considerado solamente por su rol como input en la ecuación para generar valores de evapotranspiración (p.ej., Allen, 1998) y para establecer zonas de riesgo por el efecto mecánico del viento sobre las plantas cultivadas, la infraestructura agrícola y el suelo (erosión eólica). En tales situaciones se deja de lado la naturaleza vectorial de esta variable y se prefiere considerarla como escalar, es decir, como valor de velocidad del flujo de aire, o ráfaga máxima en algunos casos. Por consiguiente, para los agrónomos, y en general para los biólogos de la producción e incluso para los ingenieros agrícolas, no es común el concepto de campo del viento, muy utilizado por los ingenieros ambientales.

El campo del viento no es otra cosa que el patrón espacial del viento, es decir, la dirección y la velocidad del viento predominantes en una localidad o región en un momento dado. Los resultados que aquí se consignan corresponden al análisis, en diferentes escalas de tiempo, de los datos de velocidad y dirección del viento registrados en las estaciones de la red meteorológica del sector sucro-energético, cuyos detalles se presentan en el capítulo que describe las variables meteorológicas. En las estaciones de la red, el sensor del viento está ubicado a 10 m de altura sobre la superficie, contrario a las estaciones de tipo agroclimático, en las que el sensor se ubica a 2 m de altura. La programación de quemas agrícolas controladas es la razón de ser de la ubicación de los sensores de viento en las estaciones de la agroindustria.

Generalidades

El valle del río Cauca se encuentra en la zona ecuatorial, al norte de Sudamérica, lo que significa que, de acuerdo con los modelos de circulación general atmosférica, este valle debería ser una zona de convergencia entre los alisios del este y el viento del oeste, procedente del Pacífico. No obstante, las cordilleras Central¹ y Occidental ejercen un efecto de barrera que impide el flujo continuo del viento desde dichas direcciones. Esta peculiaridad hace del valle del río Cauca una isla en la que el flujo del aire en su superficie depende de la orografía (Zardi & Whiteman, 2012).

Predominan en el valle, por ende, las calmas a lo largo de todo el año, como lo ilustra la Figura 1, en la que se aprecia claramente que en las épocas en que la baja presión es más fuerte sobre el territorio (épocas de paso de la zona de

confluencia intertropical, ZCIT), los vientos disminuyen su velocidad. Por el contrario, cuando la baja presión es menor se presentan vientos de mayor velocidad. De acuerdo con el modelo clásico de circulación general de la atmósfera, la intensificación de los vientos en los periodos secos se asocia con el movimiento de los anticiclones hacia latitudes más bajas, que determinan una mayor velocidad en el desplazamiento del aire en superficie en la región.

El valle del río Cauca se encuentra en la zona ecuatorial, al norte de Sudamérica.

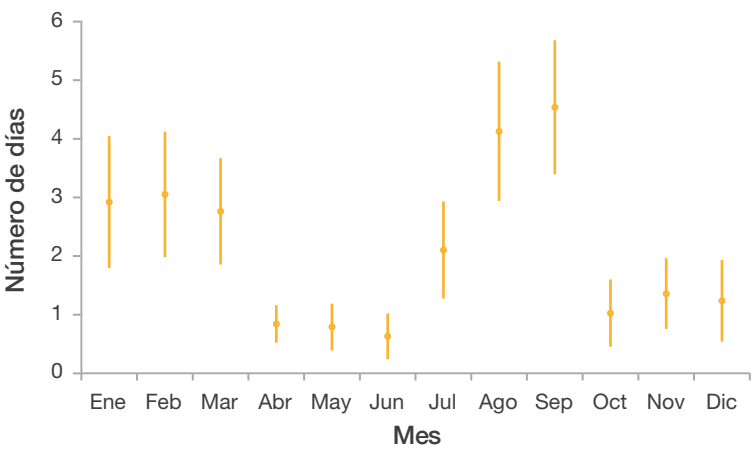


Figura 1. Promedio de número de días por mes entre 2018 y 2019 con valores medios de velocidad media del viento superiores a 2 m/s.

¹ El efecto de la cordillera Oriental también es apreciable, aunque no tan directo como el de las otras dos.

La mayor parte del tiempo el promedio horario de velocidad del viento en superficie es bajo (1.34 m/s) (Figura 2). Predominan en la región velocidades entre 0 m/s y 1.5 m/s, y rara vez superan los 3.5 m/s (menos del 4% de los casos). En general, los vientos más raudos provienen del oeste y los más lentos, del este. En cuanto a la dirección promedio del viento (vector resultante), esta es norte-noreste (31°) y el 17% del tiempo el viento sopla desde esa dirección (Figura 3). Sin embargo, hay una diferencia marcada entre el día y la noche; en general, entre media noche y medio día (am) el viento sopla a bajas velocidades, y después de mediodía estas se intensifican significativamente (Figura 4).

Las estaciones en las que se registran las más altas velocidades medias del viento son La Seca (Roldanillo) y Roza (Palmira), y las más bajas, en La Virginia y en general en el sur del valle del río Cauca, entre Jamundí y Santander de Quilichao, con excepción de Guachinte y Ortigal (Figura 5A). Durante los años 2015-2019 la máxima velocidad del viento se registró en la estación RUT. Sin embargo, este último dato es bastante aleatorio, pues se observa que en la mayoría de

estaciones la velocidad anotada es alrededor de 20 m/s (Figura 5B).

Como se mencionó, no es lo mismo medir el flujo del viento a 10 m de altura sobre la superficie que a 2 m de ella. Por efecto de la fricción, su velocidad a 2 m es inferior que la que se registra a mayor altura. Según los valores de velocidad del viento medidos a 2 m y a 10 m de altura en la estación meteorológica Cenicaña (Florida, Valle del Cauca), a 10 m se registran, en promedio, valores 23% más altos que los medidos a 2 m. El factor de corrección para calcular la velocidad del viento a 2 m de altura con base en medidas tomadas a 10 metros (Figura 6) es similar al reportado por Allen et al. (1998), derivado de la siguiente ecuación:

$$\mu_2 = \mu_{10} \frac{4.87}{\ln(678 - 5.42)}$$

Donde μ_2 es la velocidad del viento a 2 metros de altura sobre la superficie y μ_{10} , la velocidad del viento a 10 metros de altura.

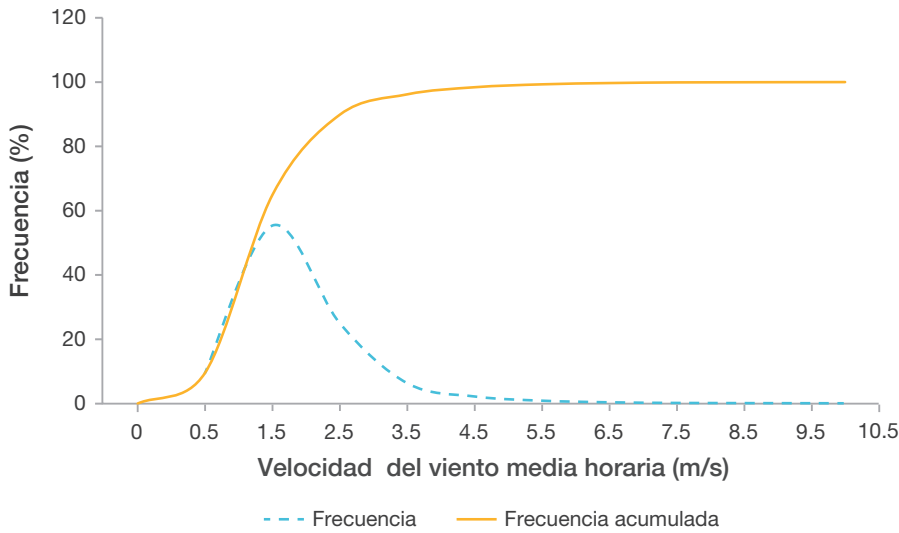


Figura 2. Frecuencia de ocurrencia de diferentes velocidades del viento a escala horaria en el valle del río Cauca (2010-2019).

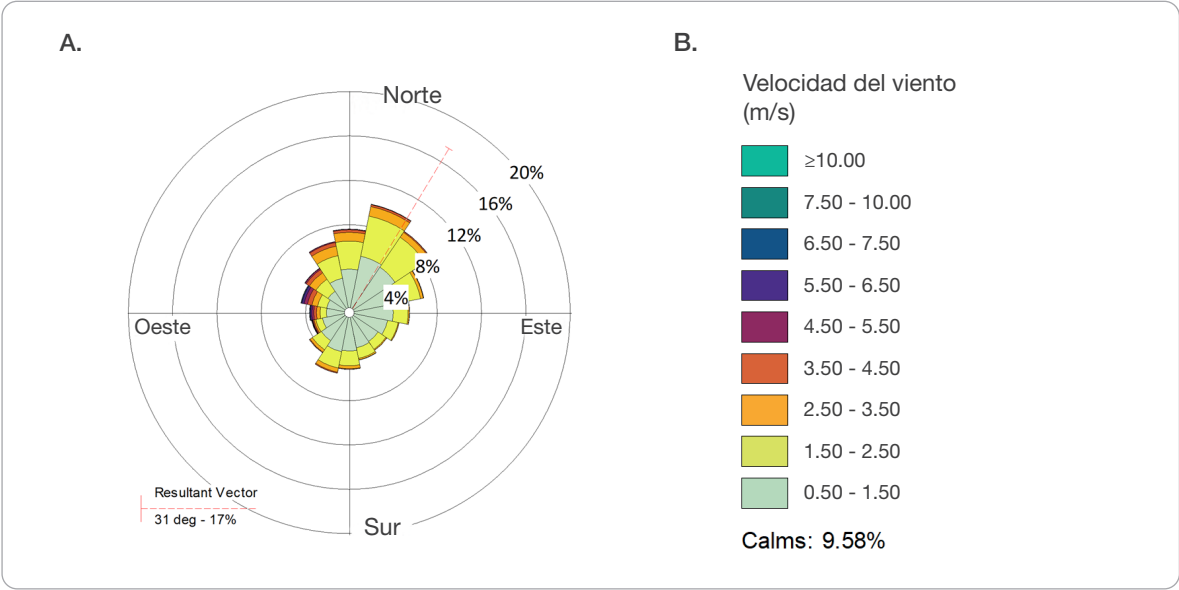


Figura 3. (A) Dirección media del viento, y (B) su velocidad en el valle del río Cauca (periodo de los datos?).

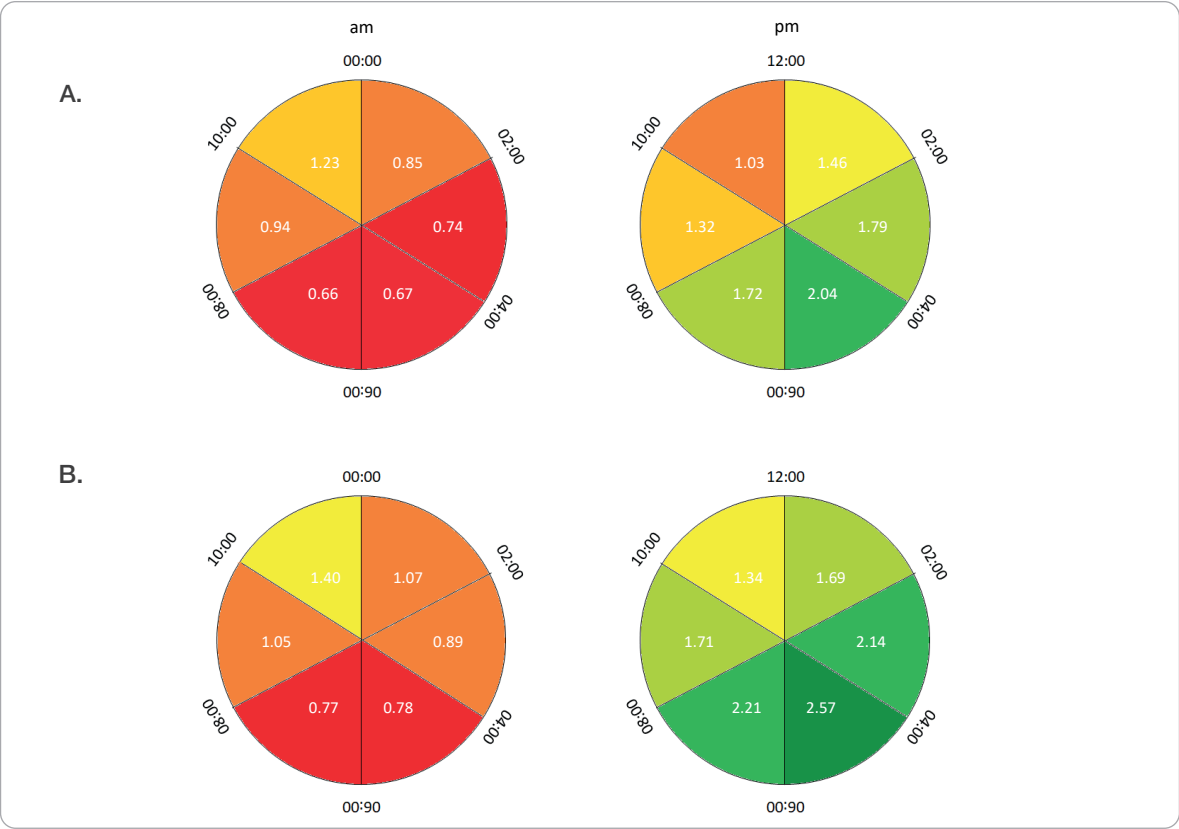


Figura 4. Velocidad media del viento en el valle del río Cauca en diferentes horas del día para dos meses del año: (A) mayo y (B) agosto.

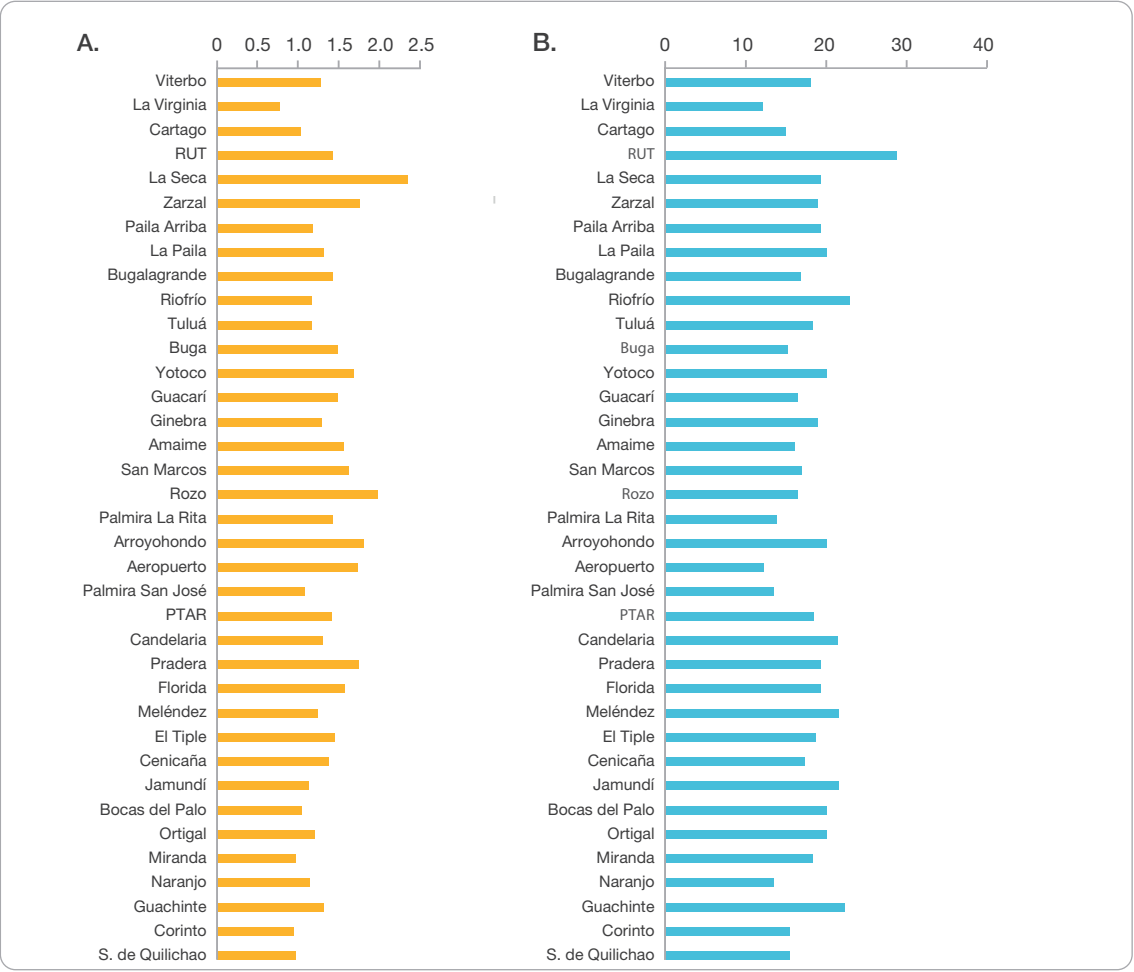


Figura 5. (A) Velocidad media del viento a 10 metros de altura, medida en las estaciones meteorológicas del sector. (B) Máxima velocidad del viento medida en las mismas estaciones.

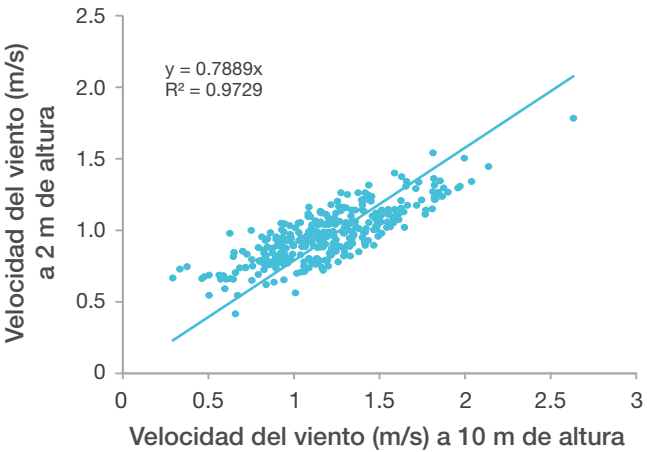


Figura 6. Relación entre la velocidad del viento medida a 10 m y a 2 m de altura sobre la superficie en la estación Cenicaña (Florida, Valle del Cauca).

Particularidades

El flujo del aire en superficie en el valle del río Cauca responde mayormente al movimiento de masas de aire conocidas coloquialmente como brisas “valle arriba” y “valle abajo”. Hay en la región dos zonas donde este sistema de brisas explica los datos registrados de dirección y velocidad del viento. En el norte, en la cuenca del río Risaralda (Viterbo y La Virginia), cuya orientación es norte-sur, contrario al resto del valle del río Cauca, este sistema genera las brisas valle abajo, como se observa en la **Figura 7**, en la que se aprecia que en esta zona predominan los vientos del sur durante el día, y en la noche prevalecen los vientos de componente norte.

En el sur del valle del río Cauca el mencionado sistema de brisas explica el flujo de aire valle arriba en superficie. Sin embargo, por la configuración de esta cuenca, que presenta cambios abruptos de pendiente, el flujo tiene sentido contrario: durante el día el aire fluye mayormente desde el norte y en la noche fluye desde el sur (**Figura 8**). En el resto del valle el flujo de aire registrado por las estaciones meteorológicas depende del efecto que sobre dicho flujo tienen las cordilleras en la localidad en la que está instalada la estación.

Además del sistema de brisas valle arriba y valle abajo hay sectores en los que predominan los vientos del este y del oeste. Son sitios localizados generalmente en la margen derecha del valle del río Cauca, hacia el piedemonte de la cordillera Central; por ejemplo, Ginebra, Amaime, Palmira La Rita, Tuluá, La Paila y Distrito RUT (**Figura 9**).

En las estaciones localizadas allí se observa un patrón de cambio en la dirección del viento a través del día. En la noche y en la madrugada predomina la brisa montaña-valle, en este caso,

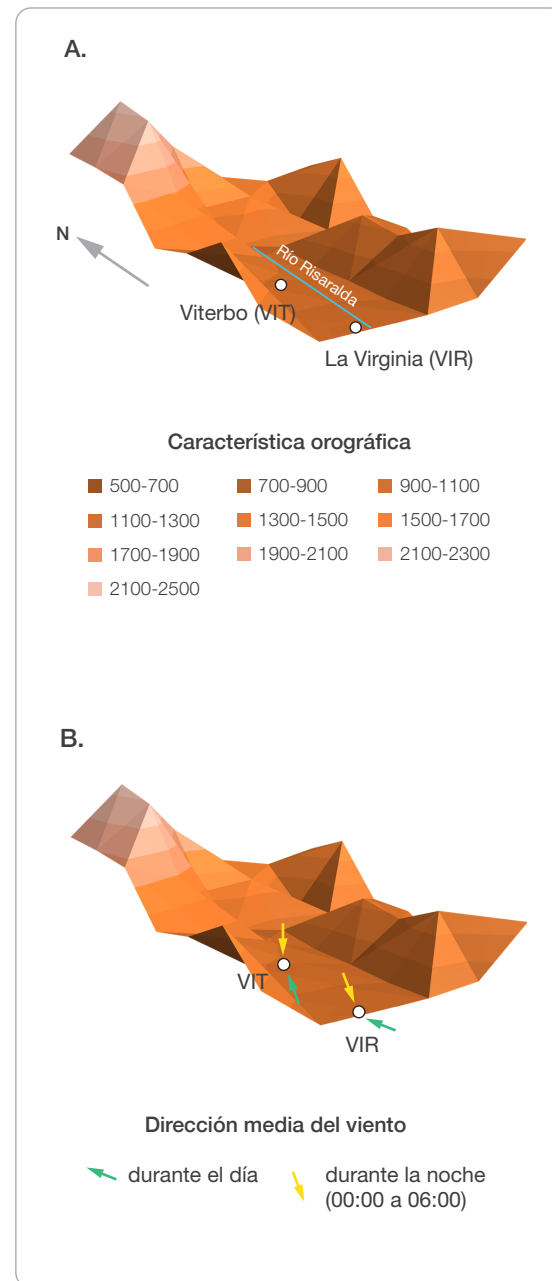


Figura 7. (A) Características orográficas del valle del río Risaralda, (B) y dirección media del viento durante el día y durante la noche (00:00 a 06:00).

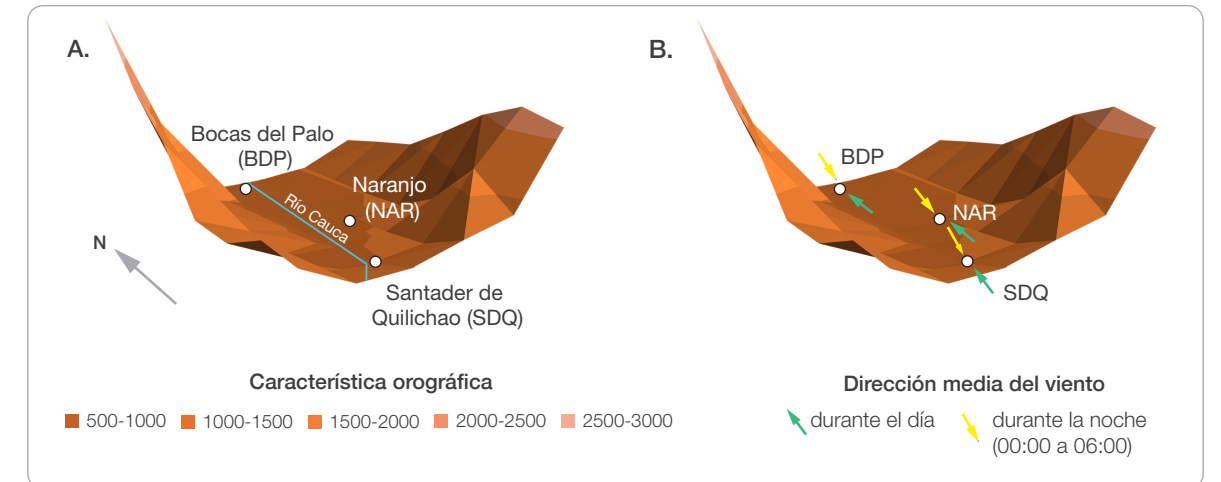


Figura 8. (A) Características orográficas del sur del valle del río Cauca, (B) dirección media del viento durante el día y durante la noche (00:00 a 06:00).

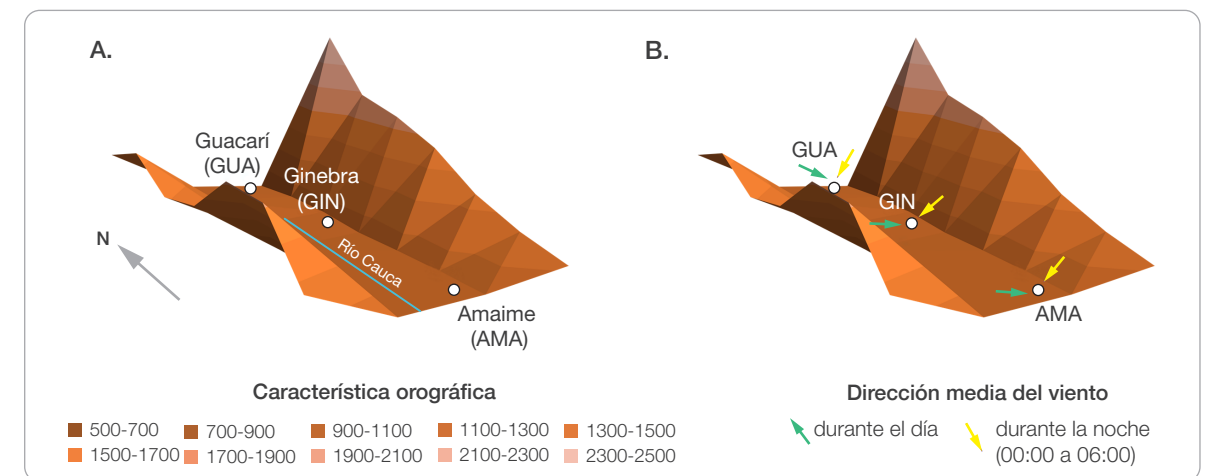


Figura 9. (A) Características orográficas del centro del valle del río Cauca, y (B) dirección media del viento durante el día y durante la noche (00:00 a 06:00).

desde el este (cordillera Central), y en el día prevalece el flujo desde el oeste, es decir la brisa valle-montaña.

En el resto de estaciones el patrón de brisas registrado durante el día depende de la configuración de la cuenca en el sitio donde se encuentra instalada la estación. Por ejemplo, en la estación Yotoco, ubicada en un sector que drena en

sentido norte-sur, el patrón de brisas anotado es diferente al reportado por el resto de estaciones: durante la noche predominan allí los vientos del norte, y en el día la dirección media es desde el sur (**Figura 10**).

A raíz de lo anterior, en algunas estaciones se fusionan aspectos de las brisas valle arriba y valle abajo con aspectos de las brisas valle-montaña

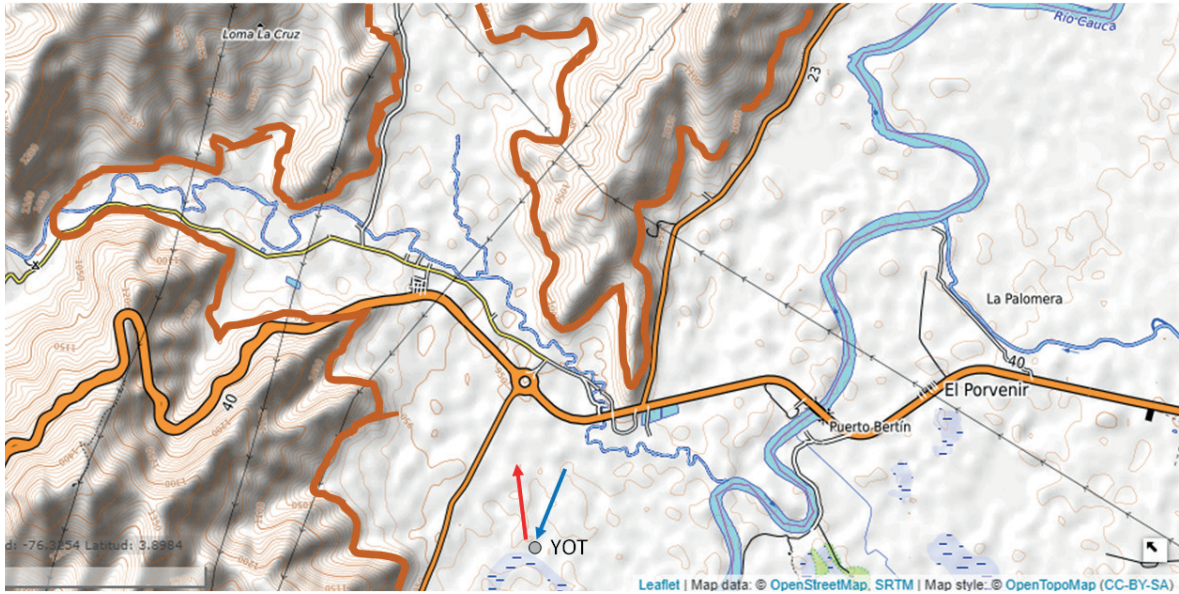


Figura 10. Vientos predominantes en la estación Yotoco entre 00:00 y 06:00 (flecha azul) y entre 12:00 y 18:00 (flecha roja).

y montaña-valle. En Arroyohondo, por ejemplo, el flujo de aire es mayoritariamente del oeste durante el día y la noche. En la noche predomina el flujo montaña-valle proveniente del oeste, cordillera Occidental, pero durante el día la dirección del viento no varía, dado que ingresa aire de menor contenido de humedad y temperatura, como resultado de la brisa mar-tierra en el litoral Pacífico. Este fenómeno, conocido como efecto Föhn², no sólo afecta los registros eólicos de la estación Arroyohondo, sino que influye en las mediciones de otras estaciones (San Marcos, Rozo y Guacarí) en las que en horas de la tarde la dirección del viento es prevalentemente del oeste, pese a estar alejadas de la cordillera Central. Es de anotar que este mismo efecto se observa en las estaciones RUT y Zarzal (Figura 11).



Figura 11. Dirección media diurna del viento (12:00 a 18:00) y nocturna (00:00 a 06:00) en algunas localidades con flujo del oeste marcado durante el día.

² Como lo corroboró Armenta (2013), cuando a una corriente de aire se interpone un obstáculo (montaña) el flujo se ve forzado a ascender, lo que propicia el enfriamiento adiabático del aire. Si la masa de aire tiene suficiente humedad, el aire en ella puede llegar a condensarse (liberación de calor latente) y producir nubes verticales. Si estas nubes precipitan del lado del que sopla el viento (barlovento) el aire queda más seco. Este aire frío y más seco desciende por la ladera de sotavento (del lado contrario al de donde proviene el aire) y se recalienta por compresión adiabática hasta temperaturas mayores que en barlovento. Este es el efecto Föhn.

Como se mencionó anteriormente, el aire que fluye con dirección este (desde el oeste) tiene mayor velocidad, por lo cual en los sitios donde esto sucede el clima varía en horas de la tarde. En sectores en que se presenta el efecto Föhn (p.ej., Rozo y Guacarí), las estaciones allí ubicadas registran valores del flujo del viento durante la noche que pueden estar influenciados por el efecto de la cordillera Central, y consignan vestigios de la brisa montaña-valle (desde el este). No sucede igual en Zarzal y San Marcos, donde la brisa sopla valle abajo. Como puede deducirse, a pesar de que existen algunos patrones, la dirección del viento varía bastante en el valle del río Cauca.

Con base en lo anterior, no es extraño encontrar en la región estaciones muy próximas unas de otras en las que, sin embargo, la dirección media del viento que sopla en sus sectores es opuesta durante todo el año; por ejemplo, Yotoco y Buga (separadas 13.3 km) y Zarzal y

La Paila (10 km una de otra), como muestra la Figura 12, en la que se evidencia además que los cambios estacionales en la dirección del viento son pocos, debido, como ya se comentó, a que en el valle del río Cauca el flujo del aire está determinado por la orografía.

En sectores en que se presenta el efecto Föhn (p.ej., Rozo y Guacarí), las estaciones allí ubicadas registran valores del flujo del viento durante la noche que pueden estar influenciados por el efecto de la cordillera Central, y consignan vestigios de la brisa montaña-valle (desde el este). No sucede igual en Zarzal y San Marcos, donde la brisa sopla valle abajo.

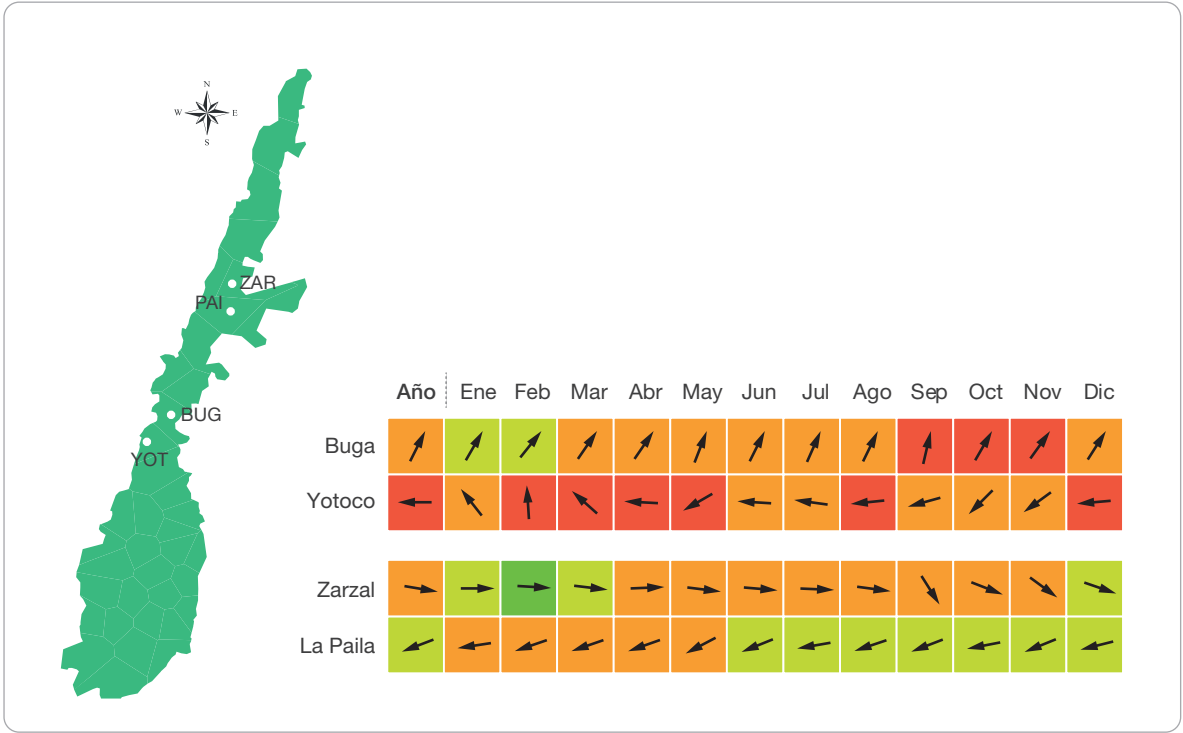


Figura 12. Dirección media anual y mensual del viento en dos pares de estaciones meteorológicas adyacentes.

Consideraciones para el manejo del cultivo

Conocer la variabilidad del viento es de vital importancia en la logística de la cosecha manual de la caña de azúcar en áreas donde es permitida la quema controlada de la biomasa foliar antes del corte de los tallos. La dirección del viento indica el rumbo que podrían tomar las cenizas y el material particulado producto de la quema; pero es la velocidad del flujo de aire la que determina la oportunidad de la labor, dado que la quema del cultivo no puede efectuarse cuando el valor de esta variable es inferior a 1.5 m/s o viento en calma,

que predomina en la región azucarera (Cortés, 2004).

Preciado et al. (2021) determinaron la frecuencia horaria de eventos de viento en calma para 30 estaciones (2010-2019), y encontraron que, comúnmente, el 65% del tiempo la velocidad del viento en la región es inferior a 1.5 m/s. El comportamiento diario de esta frecuencia muestra básicamente tres zonas o grupos³ de manejo de la quema en el valle del río Cauca (Figuras 13 y 14).

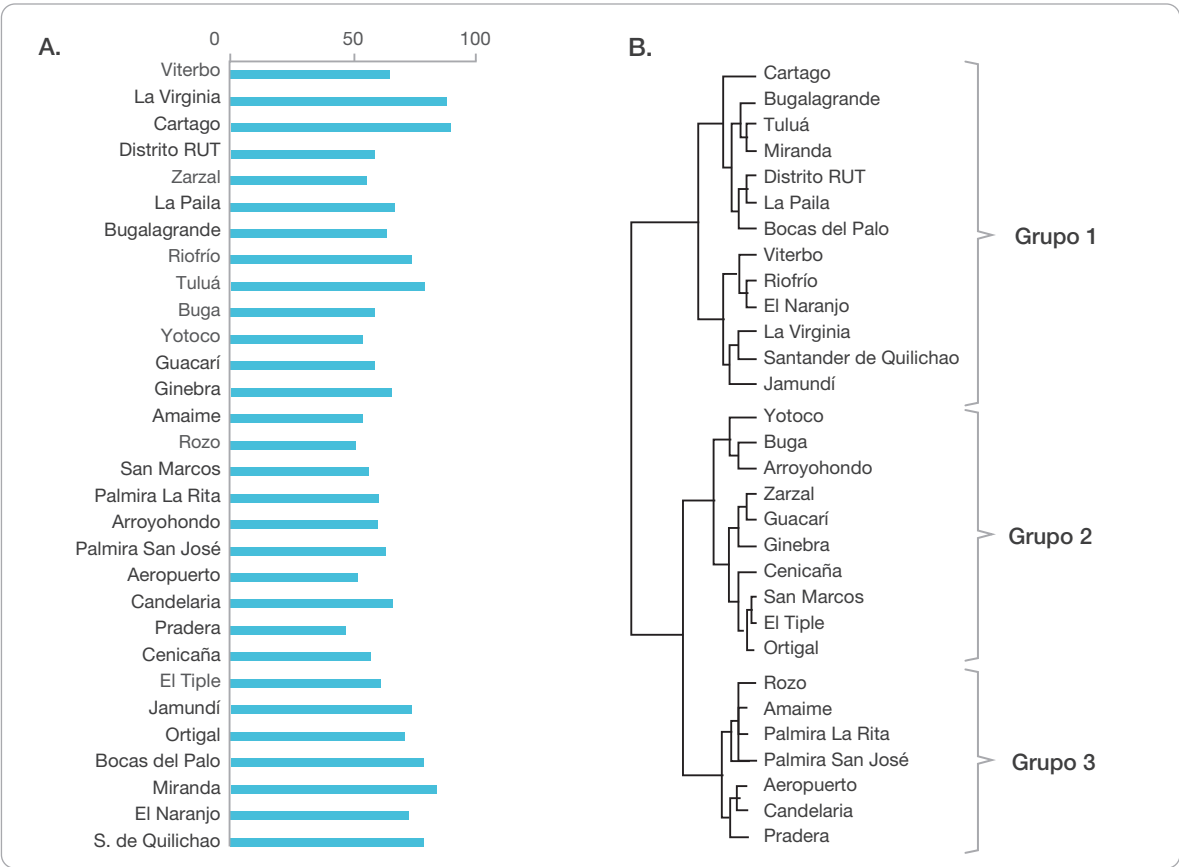


Figura 13. (A) Porcentaje de horas con velocidad media del viento inferior a 1.5 m/s, y (B) clasificación de acuerdo con el comportamiento diario de dicho porcentaje (2010-2019).

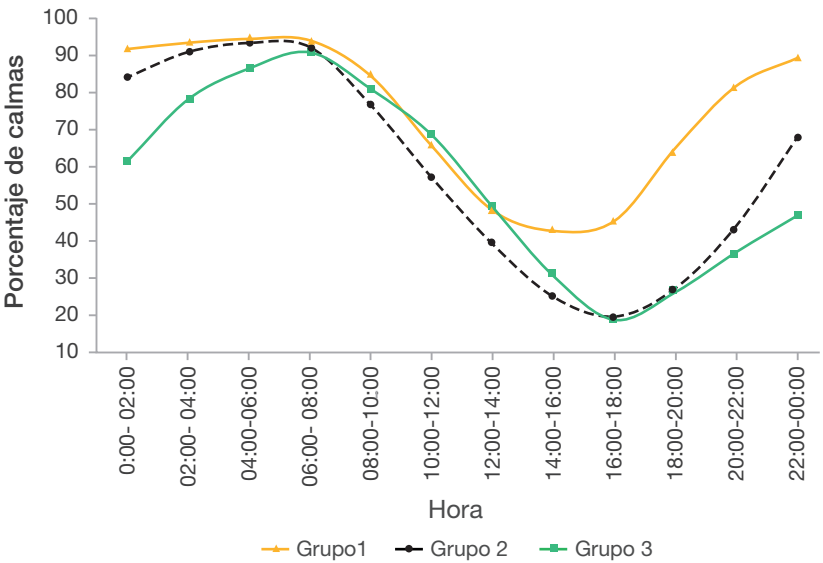


Figura 14. Características de los grupos que describen el comportamiento del porcentaje de horas con velocidad del viento inferior a 1.5 m/s.

- El grupo 1 concentra las estaciones que en general registran en sus sectores un alto porcentaje de horas con valores de velocidad del viento inferiores a 1.5 m/s, que a su vez se relacionan con menores valores de velocidad media del viento (Figura 5). Por ello, en dichos sectores es corto el horario del día apto para la quema del cultivo de caña de azúcar: probablemente entre el medio día y las 19:00 horas.
- Los grupos 2 y 3 no guardan relación con el porcentaje de horas con valores inferiores a 1.5 m/s. El grupo 2 concentra las localidades en las que la ventana propicia para la quema va de 11:00 h a 23:00 h, y el grupo 3, los sitios en los que esta ventana va de 12:00 h a 00:00 h.

Por ejemplo, si se generaliza una ventana de quema entre las 12:00 h y las 22:00 h, queda claro que el tipo de brisa preponderante en cada localidad determina la amenaza de los efectos de la quema. Es decir, en zonas del valle del río Cauca en las que en horas de la tarde predomina la brisa valle arriba (norte-sur), la quema de la caña representa un gran riesgo para los municipios y

corregimientos situados al norte de los plantíos, pues los vientos procedentes del norte podrían transportar las cenizas y el material particulado a las zonas urbanas, con el consiguiente peligro para la salud de sus pobladores. Esto es válido igualmente para las zonas donde predomina el flujo valle-montaña.

La Figura 15A muestra una aproximación de lo que sería la amenaza media asociada a la dirección del viento en diferentes horas para varias localidades. De allí la importancia que para reducir la incertidumbre sobre el momento propicio de llevar a cabo una quema tiene Sinpavesa (Rivas et al., 2020), la herramienta desarrollada por Cenicaña para decidir en tiempo real cuándo puede quemarse un lote de caña de azúcar con el mínimo impacto sobre la población circundante.

De otra parte, de acuerdo con la zonificación por grupos con base en la velocidad del viento que sopla durante el día en determinados sectores del valle, y acogiendo los resultados reportados por varios autores (p. ej., Dechmi et al., 2003; Dukes, 2006), las actividades de riego por aspersión deberían promoverse en localidades del

grupo 1, en donde la ventana diaria para su uso es mayor en comparación con sitios en donde la velocidad del viento se incrementa en horas de la tarde, dado que si se asperja cuando soplan ráfagas de viento superiores a 3.5 m/s disminuyen los coeficientes de uniformidad del riego. En esta contingencia, como recomienda Dukes (2006), debe seleccionarse la presión de aspersión teniendo en cuenta la velocidad y ráfaga media del viento para tratar de lograr un efecto uniforme de la operación. En el mismo sentido, Díaz (2020), al evaluar la uniformidad de riego de un sistema de cañón viajero en un plantío de caña de azúcar del Valle del Cauca, en similares condiciones de operación, observó que la distribución del agua se ve afectada por la velocidad del viento, que hace que el perfil del riego se concentre más en uno de los lados del cultivo.

Por los mismos factores detallados, debe procurarse que la aplicación aérea al cultivo de diversos insumos se haga en horas de la mañana, cuando es mayor la probabilidad de un viento calmo y por tanto mayor la eficacia de la operación y menor la amenaza potencial para los cultivos vecinos y particularmente para los pobladores rurales (Cuadros 1 a 3 y Figura 15B).

La predominancia de viento es un estimativo de su variabilidad en determinado tiempo y lugar. Así, predominancias altas denotan que la dirección media del viento tiene poca variación; por el contrario, bajas predominancias indican que en ese sitio y hora las condiciones eólicas son muy cambiantes. Por tanto, para tomar decisiones sobre el momento oportuno de realizar estas operaciones, Sinpavesa es también una invaluable herramienta.

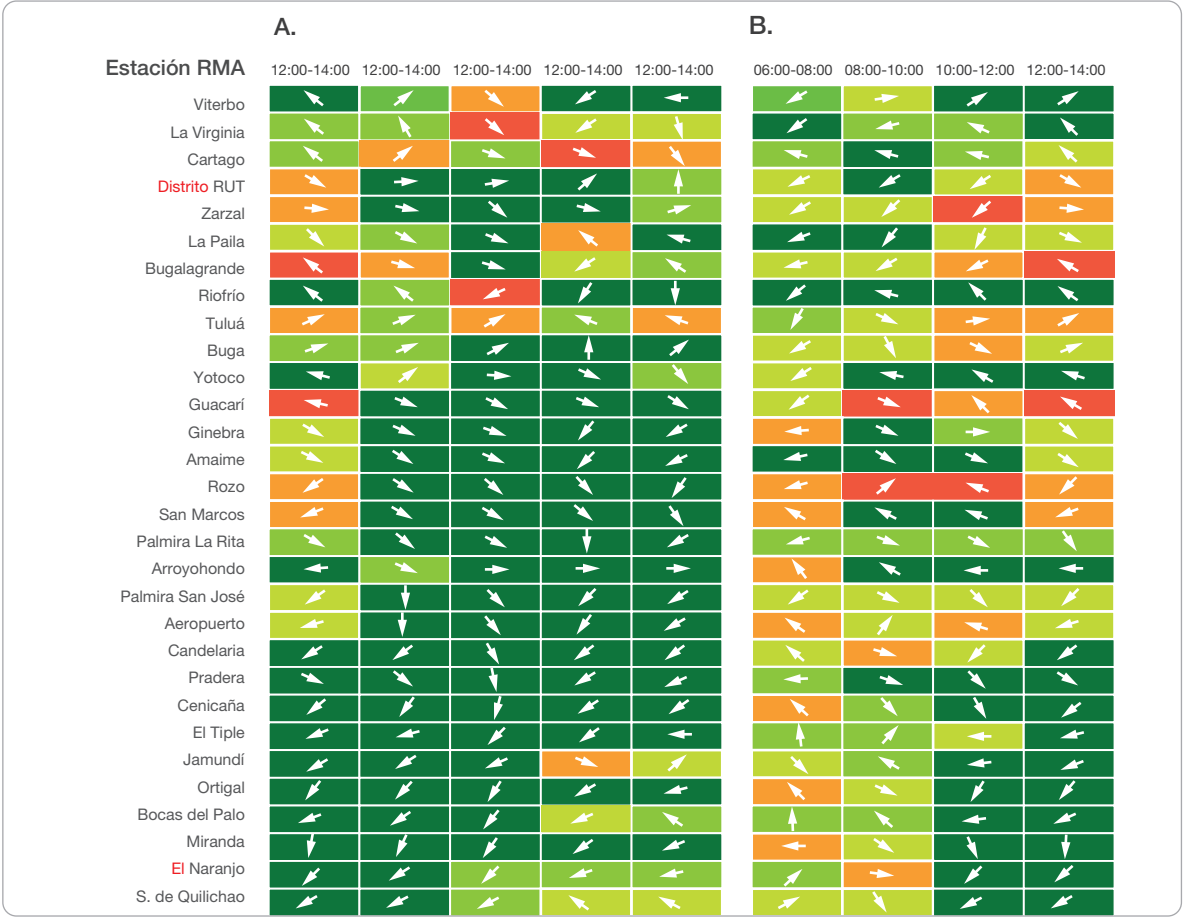


Figura 15. (A) Viento medio horario y (B) valores de predominancia (Fuente: Preciado et al., 2021).

Cuadro 1. Frecuencia media de calmas (velocidad < 0.5 m/s) por mes y hora en el valle del río Cauca, expresada en porcentaje.

Hora		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0:00	2:00	14.0	12.5	13.2	15.9	18.5	15.1	11.7	9.6	11.4	15.5	17.7	17.4
2:00	4:00	19.3	17.0	17.7	19.9	23.1	18.8	16.0	13.5	15.2	19.2	22.4	22.6
4:00	6:00	23.1	20.1	20.6	23.1	26.7	22.7	19.5	17.1	18.8	22.9	26.8	26.7
6:00	8:00	25.1	23.3	22.1	23.6	26.5	25.3	21.3	18.9	19.4	23.5	26.1	28.3
8:00	10:00	12.7	12.1	11.1	11.0	11.8	11.2	9.9	7.6	7.4	9.2	11.0	12.6
10:00	12:00	2.5	1.7	3.8	2.2	2.7	1.4	1.3	0.9	1.1	1.8	2.4	2.1
12:00	14:00	1.5	1.0	1.0	1.2	1.8	0.7	0.6	0.5	0.7	1.3	1.3	1.2
14:00	16:00	1.3	0.9	0.9	1.3	1.8	0.8	0.6	0.6	0.7	1.4	1.2	1.3
16:00	18:00	2.2	1.6	1.8	2.6	3.7	2.9	1.7	1.3	1.5	2.6	2.7	2.9
18:00	20:00	3.2	2.7	3.5	4.8	6.3	5.0	3.1	2.3	2.6	4.5	4.9	4.3
20:00	22:00	4.7	4.1	5.1	6.5	8.4	5.8	4.5	2.9	3.9	6.4	7.7	6.3
22:00	0:00	9.1	7.9	8.9	10.9	13.3	10.0	7.8	5.9	7.6	10.4	12.3	11.7

Cuadro 2. Dirección media del viento (vector resultante) por mes y hora en el valle del río Cauca.

Hora		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0:00	2:00	ENE	ENE	ENE	E	ENE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ENE
2:00	4:00	ENE	ENE	E	E	NNE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE
4:00	6:00	E	E	E	E	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	E
6:00	8:00	E	E	E	E	ENE	E	E	E	E	ENE	ENE	E
8:00	10:00	ESE	SSE	SE	E	NE	ENE	E	ENE	NE	NE	NNE	ENE
10:00	12:00	NE	SSE	SE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	NE	NE	NE	NE
12:00	14:00	NNE	NNE	NE	NE	NE	ENE	ENE	ENE	NE	NNE	NNE	NNE
14:00	16:00	NNW	NNW	NNW	N	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	N	NNW	N
16:00	18:00	NNW	NW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW
18:00	20:00	NNW	NNW	NNW	N	N	N	NNW	NNW	N	N	N	N
20:00	22:00	NNE	NNE	NNE	NE	NE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NE	NNE
22:00	0:00	NE	NE	NE	ENE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Cuadro 3. Predominancia media de la dirección del viento por mes y hora en el valle del río Cauca.

Hora		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0:00	2:00	22	22	18	15	18	23	22	27	26	21	21	20
2:00	4:00	19	19	16	15	17	19	19	21	22	18	17	20
4:00	6:00	18	17	17	16	17	19	18	20	20	18	16	19
6:00	8:00	19	17	16	15	14	16	15	16	16	16	15	18
8:00	10:00	5	6	5	2	3	6	4	5	8	6	4	7
10:00	12:00	12	3	4	5	8	13	10	15	18	12	6	9
12:00	14:00	18	9	10	15	19	20	20	21	26	23	16	23
14:00	16:00	28	25	19	19	21	17	19	19	27	30	28	30
16:00	18:00	41	40	32	28	32	28	31	34	39	38	37	39
18:00	20:00	41	37	29	26	32	36	40	45	41	36	33	38
20:00	22:00	35	31	24	22	28	36	37	41	40	32	30	33
22:00	0:00	28	26	22	19	21	31	32	37	35	26	25	25

Referencias

- Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO. Irrigation and drainage paper 56. FAO, Roma. Tomado de <http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>
- Armenta, G. (2013). Análisis detallado del efecto Föhn generado por la cordillera Oriental en el alto Magdalena (Huila y Tolima). Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencias – Meteorología. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://bdigital.unal.edu.co/11389/1/194144.2013.pdf>
- Cortés, E. (2004). Advising Growers on Conditions for Sugarcane Burning in Cauca Valley (Colombia) Using Data Obtained From an Automated Weather Network. In: Motha et al. (eds), Strengthening Operational Agrometeorological Services at the National Level. Proceedings of a Inter-Regional Workshop held 22-26 March 2004 in Manila, Philippines. Tomado de <http://www.wamis.org/agm/pubs/agm9/agm9p21.pdf>
- Dechmi, F.; Playán, E.; Caverro, J.; Faci, J. M. & Martínez-Cob, A. (2003). Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (Zea mays). Irrigation Science, 22 (2), pp. 67–77. doi:10.1007/s00271-003-0071-9
- Díaz, V. (2020). Evaluación de desempeño de un sistema de riego mecanizado tipo cañón viajero en el cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) en la hacienda Florencia Valle, Ingenio Incauca S.A.S. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Agrícola. Universidad del Valle, 105 pp.
- Dukes, M. (2006). Effect of wind speed and pressure on linear move irrigation system uniformity. Applied Engineering in Agriculture, 22 (4), pp. 541-548. doi:10.13031/2013.21222
- Peña, D. (2002). Análisis de datos multivariantes. McGrawHill / Interamericana de España, Madrid, 527 pp.
- Preciado Vargas, M., Chica Ramirez, H.A., Solarte Rodriguez, E. et al. Regional wind pattern, a basis for defining the appropriate lapse of time for sugarcane burning in the Cauca Valley (Colombia). Environ Dev Sustain 23, 9477–9492 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00992-8>

Rivas, J.; Herrera, F.; Borrero, J.; Castrillón, J.; Peña, A.; Cortés, E. (2020). Sinpavesa™: a real-time decision support system to reduce the effect of sugarcane preharvest burning on human health in the Cauca valley, Colombia. Sometido a Environmental Monitoring and Assessment. [NO SE ENCUENTRA...]

Zardi, D. & Whiteman, C. D. (2012). Diurnal Mountain Wind Systems. Mountain Weather Research and Forecasting, 35-119. doi:10.1007/978-94-007-4098-3-2.